

# 뇌성마비 Crouch 보행에서 고관절 회전각에 따른 3차원 근-골격 모델에서의 근-건 길이 변화

Changes of the Muscle-tendon Lengths in a Three-dimensional Musculoskeletal Model according to the Hip Transverse Angle in Cerebral Palsy Patients with Crouch Gait

김주영\* · 김현우 · 이기석 · 한수봉 · 박희완 · 박건보†

연세대학교 의과대학 정형외과학교실, \*남강병원 정형외과, †인제대학교 의과대학 정형외과학교실

**목적:** Crouch 보행은 뇌성마비 환자의 흔한 보행 이상 중의 한 가지로서 슬관절 굴곡의 회전을 위한 슬와부 근육 연장술은 crouch 보행의 치료에 있어서 기본적인 술식의 하나로 생각되어 왔다. 그러나 슬와부 근육의 길이의 단축에 있어서는 다양한 연구결과가 존재하였다. 회전면에서의 crouch보행 분류를 시행하고 각 군에서 근육의 길이를 분석하여 슬와부 근육 연장술에 대한 기준을 제시하고자 한다.

**대상 및 방법:** Crouch 보행을 보이는 경직성 뇌성마비 환자 중 초기 입각기의 슬관절 굴곡이 20° 이상이거나 중기 입각기의 슬관절 굴곡이 20° 이상인 환자를 대상으로 하였다. 총 62명의 환자(124예)가 선별되었으며 보행 분석 지표와 중둔근, 내전근, 대퇴 직근, 대퇴 이두근, 반막양근, 박근의 길이를 비교하였다. 중기 입각기의 평균 회전을 측정 후 정상의  $\pm 1$  표준편차 범위를 정상으로 간주하여 고관절의 회전 지표에 따라 고관절 외회전(제 1 군), 정상범위(제 2 군), 고관절 내회전(제 3 군)인 세 군으로 분류하였다. 동 연령대의 정상인 15명을 모집하여 정상군과의 비교를 시행하였다.

**결과:** 제 3 군에서 슬관절 및 고관절 굴곡이 가장 증가되어 있었으며 제 1 군에서 족관절 배부 굴곡이 가장 감소되어 있었다. 시상면 상에서의 모멘트 및 힘의 비교에서는 각 군간 유의한 차이가 관찰되지 않았다. 중둔근 및 대퇴 직근의 길이는 각 군간 통계상 유의한 차이가 관찰되지 않았다. 제 3 군에서 내전근, 대퇴 이두근과 박근의 평균 비례 근길이가 가장 증가되어 있었으며 반막양근의 평균 비례 근길이가 가장 감소되어 있었다. 정상군과의 비교 시에는 각 군 모두 통계상 유의한 차이가 관찰되지 않았다.

**결론:** Crouch 보행을 보이는 환자에서 고관절 회전에 관계없이 슬와부 근육의 길이는 정상군과 차이가 관찰되지 않았다. 그러나 고관절 내회전이 증가된 crouch 보행의 수술 시 대퇴골 전염전에 대한 교정 절골술이 시행된다면 반막양근에 대한 연장술을 시행하는 것이 보행 호전에 유효할 것으로 생각된다.

**색인단어:** 뇌성마비, Crouch 보행, 근-골격 모델, 고관절 회전

## 서 론

뇌성마비 환자는 근육의 경직 혹은 강직이나 신경조절의 장애 등으로 보행 중 적절한 근육 작용의 실패, 이차적인 골격계 변형의 발생으로 다양한 병적인 보행을 보인다.<sup>1,2)</sup> Crouch 보행(슬관절 굴곡 보행)은 가장 흔하게 관찰되는 뇌성마비 환자의 병적 보행으로 슬관절 굴곡근에 과도한 긴장이 있는 환자에서 나타나며 말기 유각기와 입각기의 과도한 슬관절의 굴곡이 특징이다. 일차적인 슬관절 굴곡근의 경직에 의한, 혹은 족저 굴곡근의 약화나 슬관

접수일 2010년 5월 21일 게재확정일 2010년 12월 7일

교신저자 박건보

부산시 해운대구 좌동 1435, 인제대학교 의과대학 해운대백병원 정형외과

TEL 051-797-0611, FAX 051-797-2203

E-mail kunbopark@gmail.com

\*이 논문은 2008년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(E00185).

절 신전근의 약화에 의한 이차적인 슬관절 굴곡의 증가가 crouch 보행의 원인으로 제시되었으며,<sup>3)</sup> 많은 환아에서 슬와부 근육(hamstring muscle)에 대한 연장술은 crouch 보행의 치료에 있어서 가장 기본적인 술식의 하나로 생각되어 왔다. 슬와부 근육은 임상적으로 슬관절 굴곡과 고관절 신전에 관여하는 외측의 대퇴 이두근(biceps femoris), 내측의 반막양근(semimembranosus), 반건양근(semi-tendinosus), 박근(gracilis)등을 통칭한다. 또한 슬와부 근육은 슬관절 굴곡뿐만 아니라 고관절의 신전에도 관여하는 이 관절 근육(biarticular muscle)이므로 고관절의 운동에도 영향을 받으며, 따라서 슬와부 근육에 대한 수술은 슬관절과 고관절에 동시에 영향을 미친다.<sup>4-7)</sup>

Crouch 보행 시에 슬와부 근육의 길이에 대해서는 다양한 연구 결과가 있었다. 일련의 뇌성마비 환아의 보행분석을 통해 Schutte 등<sup>7)</sup>은 67%에서 슬와부 근육의 길이가 짧다고 하였으며 Delp 등<sup>5)</sup>은 20%에서, Arnold 등<sup>4)</sup>은 35%에서 짧다고 하였다. 또한 슬와부 근육의 길이는 정상보다 짧지 않으며 변화 속도만이 정상보다 느리다는 주장도 있다.<sup>8)</sup> 이러한 다양한 결과는 crouch 보행을 단지 시상면에서의 슬관절 굴곡이라는 측면에서만 연구를 하였기 때문으로 생각된다. Schutte 등<sup>7)</sup>은 대퇴골 전염전과 슬와부 근육의 길이에 대해 연구한 바 있으며 Lovejoy 등<sup>9)</sup>은 슬와부 근육에 대한 연장술 후 고관절 내회전의 호전을 보고한 바 있다. 슬와부 근육은 골반에서 시작되어 대퇴골을 경유하여 경골에 부착되는 근육이므로 길이에 대해 정확한 평가를 위해서는 고관절의 회전에 의한 영향을 고려하여야 한다.

자기 공명 영상 촬영 혹은 초음파를 이용하여 근-건 길이의 분석을 하고자 시도된 바가 있으나, 보행 중 근-건 길이의 분석을 위해서는 3차원 보행분석에서 근-골격 모델(musculoskeletal model)을 이용하여 근-건 길이를 측정하는 것이 가장 유효하다.<sup>4-6,8,10)</sup> 3차원 보행분석은 보행 중 피험자의 역동적 관절의 움직임을 카메라를 이용하여 측정하고, 측정된 결과로서 구성된 근-골격모델에서 시상면, 관상면, 횡단면에서 시간에 따른 관절 운동각의 변화, 관절 모멘트 및 힘의 변화를 3차원적으로 분석할 수 있도록 객관적인 자료를 제공하며 동시 발생하는 동작을 다차원에서 관찰할 수 있다.<sup>4,8,11)</sup> 또한, 이를 이용하여 구성된 모델에서 보행 중 각 근육의 길이 변화를 측정하는 방법은 정적인 근육의 길이가 아니라 보행 중 각 근육의 길이 변화를 측정할 수 있고 각 관절 및 골격의 변화가 반영된 모델이므로 가장 정확하게 근육의 길이를 측정할 수 있다.

본 연구에서는 crouch 보행이 관찰되는 뇌성마비 환아의 보행을 3차원 보행 분석상에서의 고관절의 회전 양상에 따라 분류하고 각각의 분류에서 역동적 근-건 길이 분석을 통해 슬와부 근육 및 고관절 주변 근육의 관계를 정량적으로 분석하고자 한다. 이러한 분석을 통하여 crouch 보행을 보이는 뇌성마비 환아 중 슬와부 근육의 연장술이 필요한 환자군을 제시하고 또한 이러한 군에

서 어느 정도의 연장술이 필요한 지에 대한 객관적인 기준을 제시하고자 한다.

## 대상 및 방법

### 1. 연구 대상

본 연구는 임상연구심의위원회의 심사에서 승인된 후향적 연구이다. 최하 만 5세 이상의 경직성 뇌성마비 환아 중, crouch 보행을 보이는 환아를 대상으로 하였다. Crouch보행의 보행 분석 상에서의 정의에 대해서는 아직 확립된 바가 없으나 본 연구에서는 이전 연구를 토대로 하여 초기 입각기의 슬관절 굴곡이 20° 이상이거나 중기 입각기의 슬관절 굴곡이 20° 이상인 환아로 정의하였다.<sup>4,7)</sup> 독립보행이 가능한 환아를 대상으로 하였으며 보행분석 검사상 보행이 불안정하여 모멘트의 측정 및 근-건 길이의 측정이 불가능한 환아는 제외하였다. 선택적 후방 신경근 절단술(selective posterior rhizotomy)을 시행하였거나 기타 뇌성마비에 관련된 다른 수술을 시행받은 환아는 제외하였으며 최소 6개월 이내 보툴리눔 등의 주사를 받은 환아도 제외하였다. 총 62명의 환아(124예)가 연구대상이었으며 남아가 40명, 여아가 22명이었다. 환아의 검사 당시 평균 연령은 8세(5세 5개월-20세 2개월)였다. 정상군과의 비교를 위하여 실험대상인 환아와 동 연령대의 정상인을 모집하였으며, 신장 및 체중에 있어 실험군의 평균치로부터 2 표준편차 이내인 정상인만을 선별하였다. 정상군으로는 15명(30예)이 대상이었으며 남아가 9명, 여아가 6명이었다. 정상군의 평균 연령은 8세 11개월(5세 1개월-15세 10개월)이었다.

### 2. 연구 방법

보행은 삼차원 보행분석기인 Vicon 370 Motion Analysis System<sup>®</sup> (Oxford Metrics Inc., Oxford, UK)을 이용하여 시공간적인 지표(temporospatial data), 운동형상학적 지표(kinematic data) 및 운동역학적 지표(kinetic data)를 관찰하여 분석하였다. 13개의 수동 표식자를 각각 제 1 천추골, 양측 전상방 장골극, 대퇴골 외측면 중간지점, 대퇴골 외측 상과 직하방의 슬관절축, 비골 외측면의 중간지점, 외측 복사골, 두 번째와 세 번째 중족골 사이에 부착하였다. 검사 전 10미터 길이의 보도를 수 차례 걷게 하여 자연스러운 보행을 유도하였고, 검사하는 동안 최소 10차례의 보행을 시도하여 분석하였다. 운동역학적 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. 보행주기 동안 골반과 고관절, 슬관절, 족관절, 족부의 운동형상학적 변화와 운동역학적 변화를 시상면(sagittal plane), 관상면(coronal plane), 횡단면(transverse plane)에서 측정하여 표시하였다. 운동형상학적 지표는 관절 운동각도(degree)로 측정되었으며 운동역학적 지표 중 모멘트(moment)는

N.m/kg으로 힘(power)은 N/kg으로 측정되었다.

근-건 길이의 측정은 Polygon 3.0<sup>®</sup> (Oxford Metrics Inc., Oxford, UK)을 이용하여 3차원 보행분석에서 얻어진 자료를 이용하여 컴퓨터 상에서 3차원 모델을 구성하고 재구성된 골격 모델 하에서 각 근-건의 기시부로부터 종지부까지의 길이를 측정하였다.<sup>5,7,12)</sup>

근-건 길이는 보행주기 중 2%마다 측정되었다.<sup>5,7)</sup> 근-건 길이는 보행 중 모델에서 측정된 실제 길이와 휴지기(재구성된 모델의 직립-중립 상태)<sup>13)</sup>의 길이에 대한 비로서 비례 근길이(percent muscle length, ratio)로 측정하였다. 중둔근(gluteus medius), 내전근(adductor), 대퇴 직근(rectus femoris), 대퇴 이두근(biceps femoris), 반막양근(semimembranosus), 박근(gracilis)의 길이를 측정하였다.

보행 분석 상 측정된 전 보행 주기의 10%에서 50%에 준하는 중기 입각기<sup>14)</sup>의 평균 회전을 측정 한 후 정상인의  $\pm 1$  표준편차 범위를 정상으로 간주하여 고관절의 회전 지표에 따라 고관절 외회전(제 1 군), 정상범위(제 2 군), 고관절 내회전(제 3 군)인 세 군으로 분류하였다. 각 군에서 중기 입각기의 운동형상학 지표, 운동역학 지표 및 각 근-건의 평균 길이와 컴퓨터 단층 촬영상에서의 대퇴골 전염전을 비교하였다.

### 3. 통계 분석

통계 분석은 SAS software package (version 9.1, SAS Institute, Cary, NC, USA)를 이용하였다. 반복 측정에 의한 오류와 성별, 나이, 하지 길이, 좌우 등의 변수를 고려한 다중 분석을 위해 Mixed model을 시행하였다. 뇌성마비 환자군과 정상군의 시공간적 지표, 운동형상학 지표, 운동역학 지표 및 근-건 길이를 비교하였다. 고관절

의 회전에 따라 분류한 세 군에서 시공간적 지표, 운동형상학 지표, 운동역학 지표, 근-건 길이 및 대퇴골 전염전을 비교하였으며 대퇴골 전염전과 보행 분석상에서의 고관절 회전과의 상관 관계를 분석하였다. p 값이 0.05 미만일 경우 통계학적으로 의미있는 것으로 정의하였다.

## 결 과

### 1. 뇌성마비 환자와 정상군의 비교

뇌성마비 군에서 분속( $107.8 \pm 42.3$ ,  $151.0 \pm 35.1$  (정상),  $p < 0.0001$ ), 활보장( $0.54 \pm 0.29$ ,  $0.82 \pm 0.37$  (정상),  $p < 0.0001$ ), 보행속도( $0.51 \pm 0.33$ ,  $0.93 \pm 0.40$  (정상),  $p < 0.0001$ )가 감소되어 있었다.

중기 입각기의 최대 골반 전방 경사가 증가되어 있었으며, 중기 입각기의 고관절 굴곡이 증가되어 있었다. 초기 입각기의 슬관절 굴곡이 증가되어 있었으며 중기 입각기의 슬관절 신전이 감소되어 있었다. 족관절의 중기 입각기의 최대 족배굴곡이 정상군보다 감소되어 있었다. 중기 입각기의 평균 골반 회전, 고관절 회전, 족부 진행각은 정상군과 차이가 없었다. 입각기의 슬관절 신전 모멘트가 증가되어 있었으며 족관절의 족저굴곡 모멘트와 힘이 정상군보다 감소되어 있었다(Table 1).

중기 입각기의 중둔근, 대퇴 이두근, 반막양근의 평균 비례 근 길이는 정상군과 차이가 없었으나, 내전근과 박근의 평균 비례 근 길이는 정상보다 증가되어 있었고, 대퇴 직근의 평균 비례 근 길이는 정상보다 감소되어 있었다(Table 2).

Table 1. Comparison of Kinematic Parameters between Cerebral Palsy and Normal Control

		Cerebral palsy	Normal	p-value
Sagittal kinematics	Midstance peak pelvic anterior tilt	19.67±8.24	14.51±5.79	0.0299*
	Midstance minimum hip flexion angle	8.26±10.94	-4.75±4.72	<0.0001*
	Initial contact knee flexion angle	36.56±11.40	11.81±5.48	<0.0001*
	Midstance minimum knee flexion angle	16.49±16.94	9.31±3.67	0.1597
	Midstance peak ankle dorsiflexion angle	12.48±8.64	20.53±2.91	<0.0001*
Transverse kinematics	Midstance average pelvic transverse angle	1.51±10.52	-1.32±4.25	0.2377
	Midstance average hip transverse angle	0.56±8.76	-1.86±4.14	0.2264
	Midstance average foot progression angle	-4.69±15.14	-3.69±6.57	0.7737
Sagittal kinetics	Midstance peak hip extension moment	0.75±0.53	0.79±0.29	0.6235
	Midstance peak hip power generation	1.07±1.02	1.05±0.71	0.9174
	Midstance peak knee extension moment	0.43±0.59	0.20±0.16	<0.0001*
	Midstance peak knee power generation	0.59±0.80	0.62±0.33	0.8154
	Midstance peak ankle plantarflexion moment	0.84±0.59	1.07±0.16	<0.0001*
	Midstance peak ankle power generation	1.24±1.79	2.71±0.90	<0.0001*

Values are mean±standard deviation.

\*The difference is significant ( $p < 0.05$ ).

## 2. 고관절 회전에 따른 세 군 간의 비교

제 2 군에서 분속, 보행속도, 보장, 활보장, 단 하지 지지기가 가장 감소되어 있었으며 양 하지 지지기는 가장 증가되어 있었다. 발 들림에서는 각 군간 의미 있는 차이가 관찰되지 않았다(Table 3).

제 3 군에서 중기 입각기의 최대 골반 전방 경사가 가장 감소되어 있었으며, 고관절의 굴곡은 가장 증가되어 있었다. 초기 입각기의 슬관절 굴곡 또한 제 3 군에서 가장 증가되어 있었다. 중기 입각기의 최대 족관절 배부 굴곡은 제 1 군에서 가장 감소되어 있었다. 중기 입각기의 평균 족부 진행각은 제 3 군에서 내회전이 가장 증가되어 있었으며 고관절의 내회전 또한 제 3 군에서 가장 증가되어 있었다. 골반의 내회전은 제 1 군에서 가장 증가되어 있었다(Fig. 1). 각 군간 입각기 중 시상면 상에서의 운동역학적 인자의 비교에서는 의미 있는 차이가 관찰되지 않았다(Table 4).

중둔근 및 대퇴 직근의 길이는 각 군간 통계상 유의한 차이가 관찰되지 않았다. 제 3 군에서 내전근, 대퇴 이두근과 박근의 평균 비례 근길이가 가장 증가되어 있었으며 반막양근의 평균 비례 근길이가 가장 감소되어 있었다(Table 5)(Fig. 2). 그러나, 정상군과의 비교 시 중둔근(제 1 군  $p=0.8745$ , 제 2 군  $p=0.6574$ , 제 3 군  $p=0.9710$ ), 내전근(제 1 군  $p=0.0520$ , 제 2 군  $p=0.1420$ , 제 3 군  $p=0.9475$ ), 대퇴 직근(제 1 군  $p=0.6582$ , 제 2 군  $p=0.4757$ , 제 3 군  $p=0.9634$ ), 대퇴 이두근(제 1 군  $p=0.7012$ , 제 2 군  $p=0.7230$ , 제 3 군  $p=0.8154$ ), 반막양근(제 1 군  $p=0.1458$ , 제 2 군  $p=0.1760$ , 제 3 군  $p=0.9745$ ), 박근(제 1 군  $p=0.1297$ , 제 2 군  $p=0.4152$ , 제 3 군  $p=0.9732$ )의 모든 비례 근길이에서 정상군과 통계 상 유의한 차이는 관찰되지 않았다.

각 군의 대퇴골 전염각은 제 1 군( $29.4 \pm 12.64$ ), 제 2 군( $26.43 \pm 13.37$ ), 제 3 군( $33.93 \pm 10.99$ )로서 제 3 군에서 가장 증가되어 있었다( $p=0.0178$ ). 대퇴골 전염각과 중기 입각기의 평균 고관절 회전에서 통계상 유의한 상관관계는 관찰되지 않았다( $r=0.1070$ ,  $p=0.2380$ ).

## 고찰

Crouch 보행의 원인으로 슬와부 근육의 경직이 주원인으로 생각되었으나 슬와부 근육 길이의 단축에 있어서는 다양한 연구결과가 존재하였다.<sup>4,5,7)</sup> 이는 crouch 보행의 정의가 불분명하다는 문제점도 있지만 이전 연구에서 관상면과 회전면에서의 고려가 없었다는 점도 고려하여야 한다. 본 연구에서 대상으로 삼은 초기 입각기의 슬관절 굴곡이  $20^\circ$  이상이거나 중기 입각기의 슬관절 굴곡이  $20^\circ$  이상인 뇌성마비 환아에서는 대퇴 이두근과 반막양근의 비례 근길이는 정상군과 차이가 없었다. Delp 등<sup>5)</sup>은  $20^\circ$  이상의 슬관절 굴곡을 대상으로 80%에서 반막양근의 길이가 정상군과 차이가 없었다고 하였으며 이들 환아에서 골반 전방 경사가 증가하였기에 길이 차이가 없었다고 설명하였다. 본 연구에서도 골반 전방 경사가 증가되어 있음이 확인되었으며 슬관절 굴곡에도 불구하고 대퇴 직근의 길이가 정상보다 감소되어 있음을 감안하면 슬관절 굴곡보다 골반 전방 경사가 상대적으로 심하다고 평가할 수 있다. 따라서 슬관절 굴곡에 의한 슬와부 근육 길이의 단축이 골반 전방 경사에 의해 충분히 보상됨을 간접적으로 확인할 수 있다. 대부분의 crouch 보행 환아에서 골반 전방 경사가 증가되어 있으므로 crouch 보행에서 반막양근의 길이가 짧다고 단정지어서는 안될 것으로 생각된다. 또한 내전근과 박근의 비례 근길이는 오히려 정상군보다 증가되어 있었는데 이들 근육이 하 치골지에서 기시하는 점을 고려하면 이 또한 골반 전방 경사의 증가로 인해 길이가 증가된 것으로 추측된다.

본 연구에서는 고관절 회전에 따라서 근육의 길이가 다르게 나타날 수 있다는 가정하에 중기 입각기의 평균 고관절 회전에 따라 세 군으로 분류하고 각 군에서의 보행을 비교 분석하였다. 시공간적 요소에서는 고관절 회전이 정상범위였던 제 2 군에서 분속, 보행속도 등 모든 요소가 가장 저하되어 있었다. 반면 시상면에서 고관절과 슬관절의 굴곡은 고관절이 내회전되어 있는 제 3 군에서 가장 증가되어 있었다. van der Krogt 등<sup>15)</sup>은 최근 연구에서 crouch 보행에서는 요근(psoas)의 길이만이 정상보다 단축되어

Table 2. Comparison of Midstance Average Percent Muscle Lengths between Cerebral Palsy and Normal Control

	Cerebral palsy	Normal	p-value
Gluteus medius	0.961±0.072	0.973±0.051	0.4823
Adductor	1.060±0.277	0.925±0.223	0.0395*
Rectus femoris	0.936±0.032	0.978±0.017	<0.0001*
Biceps femoris	1.008±0.067	0.986±0.045	0.1585
Semimembranosus	1.002±0.058	0.977±0.024	0.0559
Gracilis	1.064±0.074	1.018±0.041	0.0082*

Values are mean±standard deviation.

\*The difference is significant ( $p<0.05$ ).

Table 3. Comparison of Tempospatial Parameters among Groups

	Group I	Group II	Group III	p-value
Cadence	110.85±42.40	102.43±46.20	119.28±28.37	0.0002*
Walking speed	0.59±0.28	0.44±0.35	0.63±0.26	<0.0001*
Step length	0.29±0.12	0.26±0.15	0.33±0.13	<0.0001*
Stride length	0.59±0.22	0.49±0.31	0.63±0.24	0.0004*
Single support	24.15±14.96	21.18±15.88	23.03±15.75	<0.0001*
Double support	31.02±23.06	36.36±26.73	23.33±16.17	0.0019*
Foot off	70.83±11.79	75.52±12.85	67.35±6.11	0.5617

Values are mean±standard deviation.

\*The difference is significant ( $p<0.05$ ).

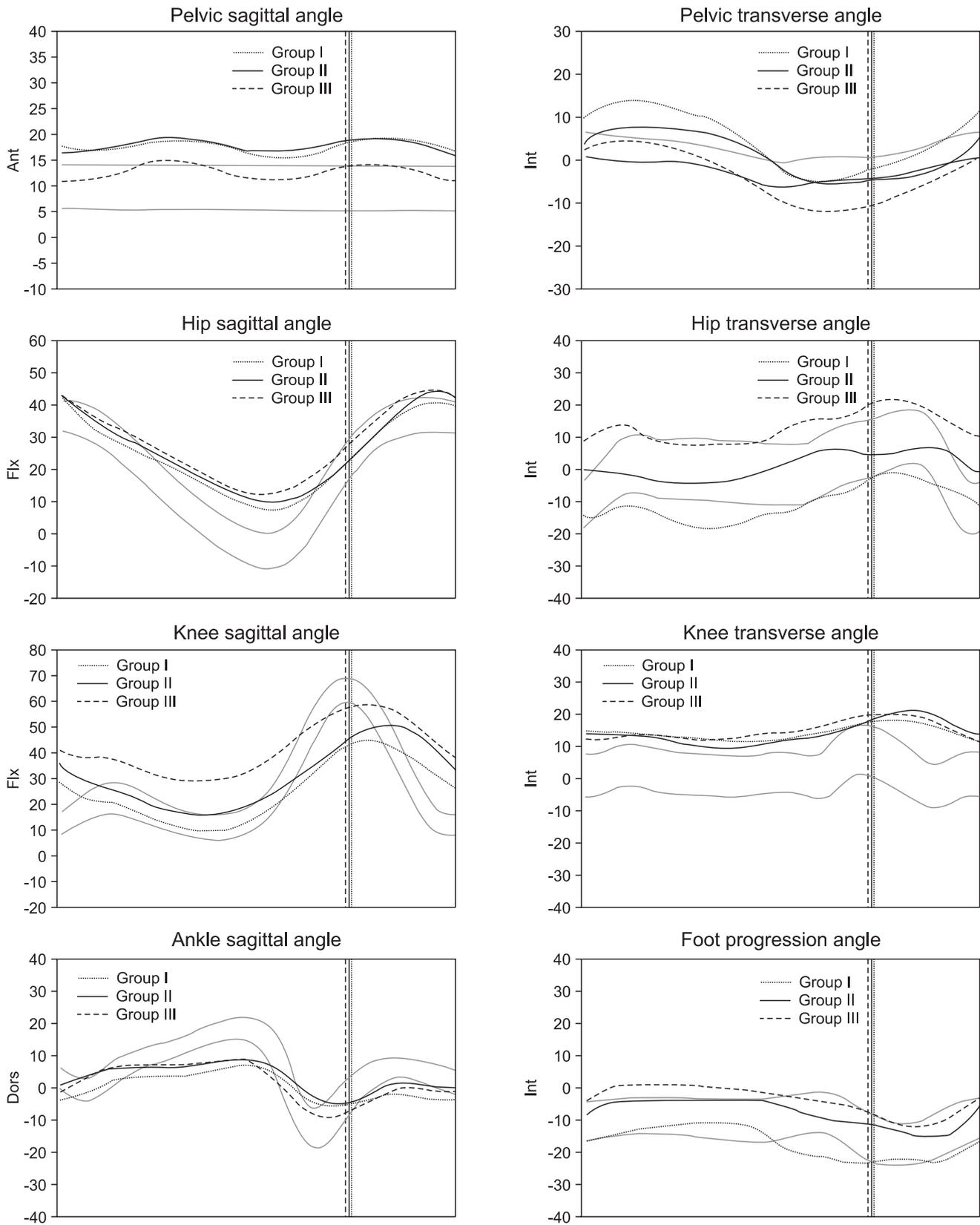


Figure 1. Sagittal and transverse kinematics during gait. The flexion of knee during midstance and internal rotation of hip are more increased in group III compared to the other groups. Patients in group III show more severe crouch and internal rotating gait. The two thin solid lines represent the normal ranges.

Table 4. Comparison of Kinematic Parameters among Groups

		Group I	Group II	Group III	p value
Sagittal kinematics	Midstance peak pelvic anterior tilt	21.29±8.91	20.97±6.89	15.95±9.70	0.0299*
	Midstance minimum hip flexion angle	6.69±12.04	7.50±9.97	10.70±12.32	<0.0001*
	Initial contact knee flexion angle	28.54±9.96	36.08±9.99	41.19±13.12	<0.0001*
	Midstance minimum knee flexion angle	7.62±14.60	13.68±14.98	26.79±17.74	0.1597
	Midstance peak ankle dorsiflexion angle	10.29±7.43	12.99±6.99	12.22±12.00	<0.0001*
Transverse kinematics	Midstance average pelvic transverse angle	5.54±16.59	2.76±9.15	-3.10±9.07	0.0078*
	Midstance average hip transverse angle	-13.97±3.84	-1.04±5.46	10.47±4.27	<0.0001*
	Midstance average foot progression angle	-14.13±10.34	-4.68±13.05	-0.69±19.43	0.0195*
Sagittal kinetics	Midstance peak hip extension moment	0.79±0.43	0.67±0.48	0.93±0.63	0.0759
	Midstance peak hip power generation	1.09±0.56	1.02±1.13	1.19±0.92	0.9759
	Midstance peak knee extension moment	0.24±0.15	0.45±0.32	0.46±1.02	0.4636
	Midstance peak knee power generation	0.40±0.39	0.63±0.93	0.58±0.55	0.2669
	Midstance peak ankle plantarflexion moment	0.51±0.26	0.49±0.28	0.60±0.17	0.1791
	Midstance peak ankle power generation	-0.08±0.13	0.08±0.13	0.09±0.24	0.2470

Values are mean ± standard deviation.

\* The difference was significant ( $p<0.05$ ).

Table 5. Comparison of Midstance Average Percent Muscle Lengths among Groups

	Group I	Group II	Group III	p-value
Gluteus medius	0.936±0.065	0.959±0.074	0.975±0.068	0.1178
Adductor	1.009±0.316	1.044±0.279	1.100±0.207	0.0039*
Rectus femoris	0.935±0.033	0.935±0.032	0.942±0.032	0.4199
Biceps femoris	1.003±0.075	1.006±0.068	1.030±0.046	0.0014*
Semimembranosus	1.012±0.076	1.004±0.051	0.992±0.051	0.0001*
Gracilis	1.055±0.104	1.060±0.072	1.069±0.054	0.0142*

Values are mean ± standard deviation.

\*The difference was significant ( $p<0.05$ ).

있고 슬와부 근육에서는 길이의 차이가 없다고 하였으며, 근육의 경직은 보행 속도의 감소를 유발하며 crouch 보행과는 관련이 없다고 하였다. 본 결과에서도 심한 crouch 보행을 보인 제 3 군보다 제 2 군에서 보행 속도가 감소되어 있었으므로 crouch 보행의 정도와 보행 속도 등의 시공간적 평가를 연관 지어서는 안될 것으로 생각된다.

제 3 군에서 슬관절 및 고관절 굴곡이 가장 증가되어 있으므로 시상면 상에서의 모멘트 또한 가장 증가할 것으로 생각되었으나 세 군간 시상면상에서의 모멘트와 힘의 비교에서 유의한 차이는 관찰되지 않았다. 이는 관상면과 회전면 상에서의 상호 작용이 있었을 것으로 생각된다. 그러나 본 연구에서는 중기 입각기

의 지표만을 비교 대상으로 하였기에 모멘트와 힘에서 차이가 없었던 점은 초기 및 말기 입각기 혹은 유각기의 차이에서 비롯된 것일 수도 있다. Crouch 보행의 정의 상 슬관절 굴곡이 영향을 줄 수 있는 중기 입각기의 지표만을 분석하였으나 추후 보행 중 다른 시기에서의 운동학적 및 운동역학적 분석도 필요할 것으로 생각된다.

Rethlefsen 등<sup>16)</sup>은 뇌성마비 환자에서 내 족지 보행의 가장 흔한 원인은 대퇴골 염전의 증가이며, 양하지 마비에서 내 족지 보행의 가장 흔한 원인은 대퇴골 염전의 증가라고 하였다. 본 연구에서는 각 관절의 회전 요소를 분석하지는 않았으나 제 3 군에서 족부 진행각의 내회전이 가장 증가한 점을 볼 때, 고관절 내회전의 증가가 족부 진행각의 내회전에 영향을 준다고 생각된다 그러나 대퇴골 전염각의 증가와 고관절 내회전 사이에서는 의미 있는 상관관계는 관찰되지 않았다. 또한 과거 연구에서 대퇴골 전염각의 증가로 내 족지 보행이 있을 때 회전 절골술을 시행해야 하는 기준 각도가 제시된 바도 없었다. 내측 슬와부 근육에 대한 연장술 후 고관절 내회전이 호전됨<sup>9)</sup>을 고려할 때 crouch 보행의 수술적 치료에 있어서 대퇴골 전염각의 측정보다는 보행 중 고관절 회전에 대한 분석이 더 중요하다고 생각되며 고관절 내회전의 증가와 대퇴골 전염각의 증가가 동시에 존재할 때 회전 절골술을 고려해야 할 것이다. 이 경우에도 내측 슬와부 근육에 대한 연장술로 인해 고관절 내회전이 호전되는 점을 감안하여야 할 것이다.

보행 중 대퇴골의 내회전의 원인에 있어서 Banks 등<sup>17)</sup>과 Steel 등<sup>18)</sup>은 중둔근이 대퇴골 내회전의 원인이라고 한 바 있으며, Ar-

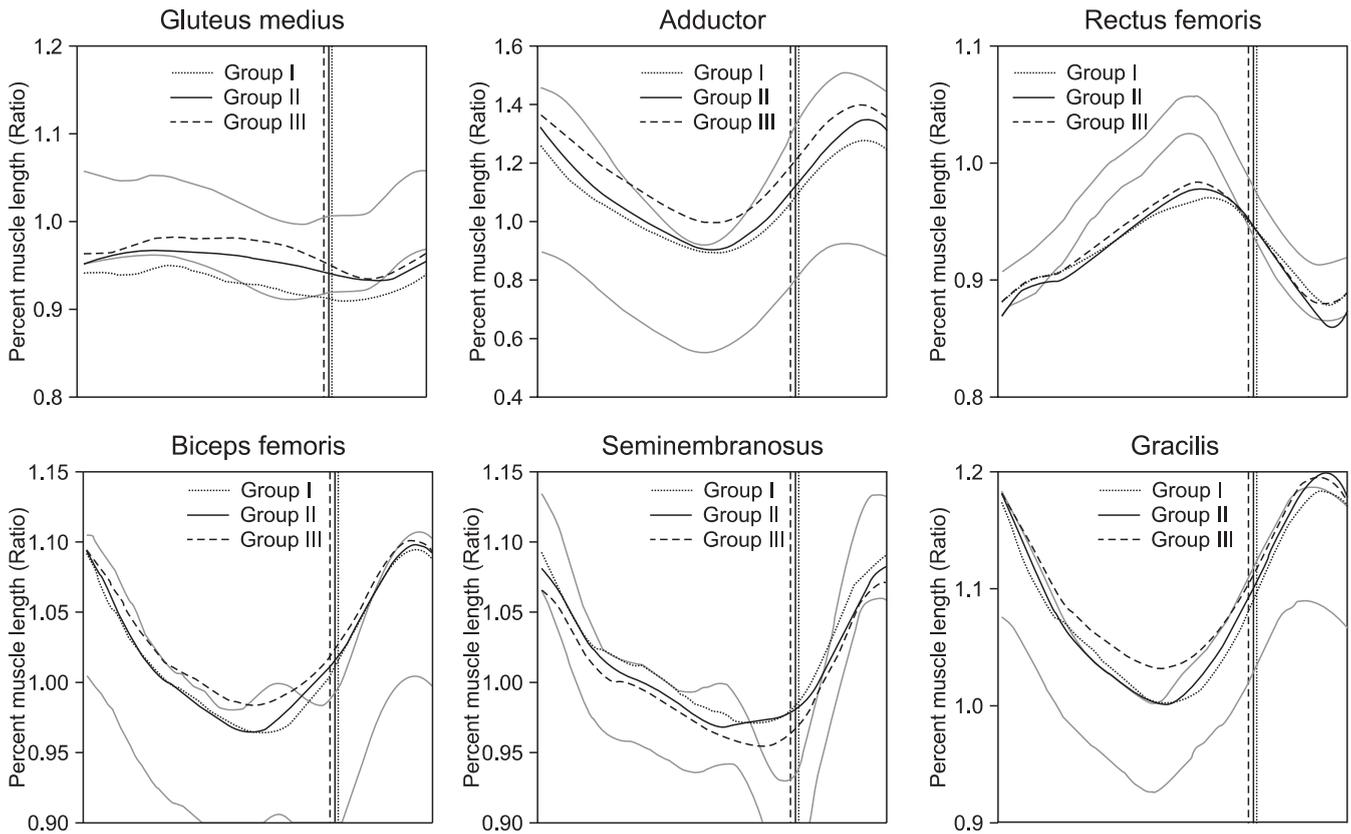


Figure 2. Percent muscle lengths during gait cycle. In group III, percent lengths of adductor, biceps femoris and gracilis muscle are increased and percent length of semimembranosus is decreased compared to the other groups during midstance phase. However there are no statistical differences between these groups and normal control. The two thin solid lines represent the normal ranges.

onson 등<sup>19</sup>)과 Majestro와 Frost<sup>20</sup>)는 내전근이 대퇴골 내회전의 원인이라고 하였다. 반면 Arnold 등<sup>21</sup>)과 Lovejoy 등<sup>9</sup>)은 내측 슬와부 근육이 대퇴골 내회전의 원인이라고 하였으며, 이러한 다양한 근육의 상호작용에 의해 대퇴골 내회전이 나타난다고 하였다. 본 연구에서는 고관절이 내회전된 제 3 군에서 반막양근의 길이가 가장 감소되어 있었다. 과거의 연구와 비교해 볼 때 내측 슬와부 근육 중 반막양근이 가장 고관절 내회전에 영향을 주는 것으로 생각된다. 그러나 반대로 내전근 및 박근의 길이는 고관절 내회전이 증가된 제 3 군에서 가장 증가되어 있었다. 따라서 근육의 길이가 고관절의 내회전을 결정하는 요소라고 단정할 수는 없다. 또한 본 연구에서는 외측 슬와부 근육(대퇴 이두근)은 오히려 제 3 군에서 길이가 가장 증가되어 있었다. 대퇴 이두근과 고관절 회전에 대해서도 추후 연구가 필요할 것으로 생각된다.

세 군 모두에서 중기 입각기의 고관절과 슬관절 주변 근육의 길이는 정상군과 차이가 없었다. 따라서 중기 입각기의 슬관절 신전을 위해 슬와부 근육에 대한 연장술을 시행하는 것은 길이만을 대상으로 보았을 때는 타당성이 없다. 그러나 슬와부 근육에 대한 연장술을 결정하기 위해서는 초기 입각기의 근육의 길이

및 유각기 중 슬와부 근육의 수축-이완 속도에 대한 검토도 필요하다.<sup>4</sup>) 따라서 본 연구 결과로서 crouch 보행의 호전을 위해서는 슬와부 근육의 연장술의 효용성을 단정할 수는 없다고 생각된다. 슬관절 굴곡이 가장 심하고 고관절 내회전이 가장 심한 제 3 군에서는 내측 슬와부 근육 중 반막양근의 길이가 세 군중 가장 짧은 것으로 나타났다. 비록 제 3 군의 반막양근과 정상군과의 비교 시에는 통계 상 유의한 차이는 관찰되지 않았으나, 중기 입각기의 정적인 모델만을 가정한다면 제 3 군의 환자에서 대퇴골 전염각이 교정되면 반막양근의 주행거리는 길어질 것으로 예상된다. 대퇴골 전염각의 증가가 기존의 경직에 의한 변형이라고 가정하면 대퇴골 전염각이 교정된다면 반막양근의 경직으로 인한 슬관절의 굴곡은 더욱 악화될 것이다. 따라서 제 3 군과 같은 환자에서 대퇴골 전염각의 교정 수술이 시행된다면 반막양근에 대한 연장술이 동반되어야 할 것으로 생각된다. 같은 슬관절 굴곡임에도 불구하고 대퇴 이두근과 박근의 길이는 제 3 군에서 가장 증가되어 있었으며 과거 연구에서 고관절 회전에 관여한다고 생각된 내전근<sup>19,20</sup>) 또한 제 3 군에서 가장 증가되어 있었다. 이 또한 추후 근육의 수축-이완 속도에 대한 평가가 보완되어야 정확히 평가할

수 있다고 생각된다.

본 연구에 사용된 근-골격 모델 및 근-건 길이의 측정은 역동적인 측정이 가능하며, 객관적이며 정량적인 측정이 가능하다는 장점이 있다.<sup>13)</sup> 반면, 근육과 인대 부위의 구분이 불가능하며 이를 같은 성질로 정의한다는 한계가 있다. 즉 각 구간 근육의 길이에 차이가 있을 때, 근육 부분이 짧은 지 인대 부분이 짧은 지에 대한 평가가 불가능하며, 정상근과 근육의 길이에 있어 차이가 발견되지 않은 근육에서도 근육과 인대 각각의 부분을 평가한다면 차이가 있을 수 있다. 근육과 인대의 운동 성상이 다르기 때문에 수축과 이완 속도를 같이 평가한다면 도움이 될 수 있으나 이 또한 상대적인 측정일 뿐 근육부위와 인대부위의 비교는 사실 상 보행 분석을 이용한 3차원 골격 모델에서는 측정 불가능하다. 이러한 한계를 극복하고자 한다면 근육의 성상을 연구하기 위하여 시도되었던 과거의 연구를 바탕으로 자기 공명 영상 혹은 초음파 영상을 이용하여 근육의 정적인 성상에 대한 연구가 보완되어야 할 것이며 수축-이완 속도에 대한 보완 또한 추가되어야 할 것이다. 또한 본 연구에서 사용한 모델은 경골의 회전은 수동적 입력을 통해 모델에서 편집을 시행하나 대퇴골의 전염전에 대해서는 편집을 시행하지 않는다는 한계가 있다. 비록 3차원 모델에서 대퇴골 전염전이 반막양근 등의 슬와부 근육의 길이측정에 미치는 영향이 적다고 언급된 바 있으며,<sup>7)</sup> 본 연구에서는 이를 고려하여 고관절 굴곡근에 대해서는 평가하지는 않았으나, 고관절 굴곡근과 슬와부 근육의 상호 영향이 있을 수 있으며, 추후 이에 대한 보완이 이루어져야 할 것이다. 본 연구에서는 슬관절 굴곡과 고관절 회전의 상호작용을 평가하여 crouch 보행을 평가하고자 하였다. 그러나 많은 환자에서 족관절의 회전에서도 병적인 외회전이 관찰된다. 향후 하부 관절의 회전에 대해서도 연구가 시행되어야 할 것이다.

Crouch 보행을 보이는 환아에서 고관절 회전에 관계없이 슬와부 근육의 길이는 정상근과 차이가 관찰되지 않았다. 그러나 고관절 내회전이 증가된 crouch 보행의 수술 시 대퇴골 전염전에 대한 교정 절골술이 시행된다면 반막양근에 대한 연장술을 시행하는 것이 보행 호전에 유효할 것으로 생각된다.

## 참고문헌

1. Tachdjian MO, Herring JA. Tachdjian's pediatric orthopaedics. 3rd ed. Philadelphia: Saunders; 2002. 1275-382.
2. Morrissy RT, Weinstein S, Lovell and Winter's pediatric orthopaedics. 6th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2006. 551-98.
3. Perry J. Knee abnormal gait. In: Perry J, ed. Gait analysis: normal and pathological function. Thorofare, NJ: SLACK; 1992. 223-43.
4. Arnold AS, Liu MQ, Schwartz MH, Ounpuu S, Delp SL. The role of estimating muscle-tendon lengths and velocities of the hamstrings in the evaluation and treatment of crouch gait. *Gait Posture*. 2006;23:273-81.
5. 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;14:144-51.
6. Jonkers I, Stewart C, Desloovere K, Molenaers G, Spaepen A. Musculo-tendon length and lengthening velocity of rectus femoris in stiff knee gait. *Gait Posture*. 2006;23:222-9.
7. Schutte LM, Hayden SW, Gage JR. Lengths of hamstrings and psoas muscles during crouch gait: effects of femoral anteversion. *J Orthop Res*. 1997;15:615-21.
8. Hoffinger SA, Rab GT, Abou-Ghaida H. Hamstrings in cerebral palsy crouch gait. *J Pediatr Orthop*. 1993;13:722-6.
9. Lovejoy SA, Tylkowski C, Oeffinger D, Sander L. The effects of hamstring lengthening on hip rotation. *J Pediatr Orthop*. 2007;27:142-6.
10. Shortland AP, Harris CA, Gough M, Robinson RO. Architecture of the medial gastrocnemius in children with spastic diplegia. *Dev Med Child Neurol*. 2001;43:796-801.
11. Stewart C, Jonkers I, Roberts A. Estimation of hamstring length at initial contact based on kinematic gait data. *Gait Posture*. 2004;20:61-6.
12. Arnold AS, Liu MQ, Schwartz MH, Ounpuu S, Dias LS, Delp SL. Do the hamstrings operate at increased muscle-tendon lengths and velocities after surgical lengthening? *J Biomech*. 2006;39:1498-506.
13. Zajac FE. Muscle and tendon: properties, models, scaling, and application to biomechanics and motor control. *Crit Rev Biomed Eng*. 1989;17:359-411.
14. Winter DA. Concerning the scientific basis for the diagnosis of pathological gait and for rehabilitation protocols. *Physiother Can*. 1985;37:245-52.
15. van der Krogt MM, Doorenbosch CA, Harlaar J. Muscle length and lengthening velocity in voluntary crouch gait. *Gait Posture*. 2007;26:532-8.
16. 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;88:2175-80.
17. Banks HH, Green WT. Adductor myotomy and obturator neurectomy for the correction of adduction contracture of the hip in cerebral palsy. *J Bone Joint Surg Am*. 1960;42-A:111-26.
18. Steel HH. Gluteus medius and minimus insertion advance-

- ment for correction of internal rotation gait in spastic cerebral palsy. *J Bone Joint Surg Am.* 1980;62:919-27.
19. Aronson DD, Zak PJ, Lee CL, Bollinger RO, Lamont RL. Posterior transfer of the adductors in children who have cerebral palsy. A long-term study. *J Bone Joint Surg Am.* 1991;73:59-65.
20. Majestro TC, Frost HM. Cerebral palsy. Spastic internal femoral torsion. *Clin Orthop Relat Res.* 1971;79:44-56.
21. Arnold AS, Blemker SS, Delp SL. Evaluation of a deformable musculoskeletal model for estimating muscle-tendon lengths during crouch gait. *Ann Biomed Eng.* 2001;29:263-74.

## Changes of the Muscle-tendon Lengths in a Three-dimensional Musculoskeletal Model according to the Hip Transverse Angle in Cerebral Palsy Patients with Crouch Gait

Ju-Young Kim, M.D.\*<sup>†</sup>, Hyun-Woo Kim, M.D., Ki-Seok Lee, M.D., Soo-Bong Hahn, M.D.,  
Hui-Wan Park, M.D., and Kun-Bo Park, M.D.<sup>†</sup>

*Department of Orthopaedic Surgery, Yonsei University Medical College, Seoul,*

*\*Namgang Hospital, Junju, <sup>†</sup>Inje University College of Medical, Pusan, Korea*

**Purpose:** Crouch gait is one of the common pathologic gaits in children with cerebral palsy. Hamstring lengthening for alleviation of knee flexion is often considered as a first choice for the treatment of crouch gait. However, there have been a variety of reports about the lengths of the hamstring muscle. The purpose of this study was to classify the crouch gait on the transverse plane and to suggest a guide line for hamstring lengthening by analyzing the length of these muscles.

**Materials and Methods:** The subjects for this study were selected in ambulatory spastic diplegia patients with crouch gait. A total of sixty-two patients (124 cases) were included. The gait parameters and the muscle lengths were compared. The range of  $\pm 1$  standard deviation of the normal middle stance hip rotation was considered as the normal range. The subjects were divided into three groups as hip external rotated (group I), normal (group II) and hip internal rotated (group III) according to the hip rotation.

**Results:** The flexion of the knee and hip was the greatest in group III and dorsiflexion of the ankle was the least in group I. On comparison of moment and power on the sagittal plane, there was no significant difference among the groups. In group III, the percent lengths of the adductor, biceps femoris and gracilis muscles were increased the most, whereas the percent length of the semimembranosus was decreased the most. There was no statistical difference between groups I and II and the normal control group.

**Conclusion:** Irrespective of the hip rotation, the length of the hamstring muscle in patients with crouch gait did not differ compared to that of the normal control. But if rotational osteotomy is done for the correction of the increased femoral anteversion in group III, then we should consider lengthening the semimembranosus muscle.

**Key words:** cerebral palsy, crouch gait, musculoskeletal model, hip rotation

**Received** May 21, 2010 **Accepted** December 7, 2010

**Correspondence to:** Kun-Bo Park, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Haeundae Paik Hospital, Inje University College of Medicine, 1435, Jwa-dong, Haeundae-gu, Pusan 612-030, Korea

**TEL:** +82-51-797-0611 **FAX:** +82-51-797-2203 **E-mail:** kunbopark@gmail.com