

첨족 변형을 지닌 뇌성마비 환자의 보행 중 비복근과 가자미근의 길이 변화

김하용 · 안재훈 · 이항호* · 구제윤 · 이한철 · 최원식

을지대학교 의과대학 정형외과학교실, 홍성의료원 정형외과학교실*

Changes in the Gastrocnemius and Soleus Muscle Length during Gait in CP Patients with an Equinus Deformity

Hayong Kim, M.D., Jae Hoon Ahn, M.D., Hang Ho Lee, M.D.,
Jea Yun Koo, M.D., Han Cheri Yee, Ph.D., and Won Sik Choy, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Eulji University College of Medicine, Daejeon,
Hongseong Medical Center*, Hongseong, Korea

Purpose: To measure the muscle length of the gastrocnemius and soleus during gait in CP patients with an equinus deformity before and after surgery.

Materials and Methods: Twelve CP patients with an equinus deformity (17 limbs) were examined by gait analysis preoperatively and postoperatively. The patient group was further classified into the TAL and Strayer group according to the surgical technique. The mean age and mean follow-up periods were 14.3 years (5-25 years) and 15.3 months (12.5-18.5 months), respectively. The muscle length of the Gastrocnemius and Soleus was measured during gait using the SIMM program linked to a gait analysis system.

Results: The ankle ROM, knee ROM, maximal muscle length and peak-to-peak excursion during gait improved after surgery. There was a significant difference between the preoperative and postoperative measurements ($p < 0.05$), but no difference between the postoperative and control groups ($p > 0.05$). The muscle length of the soleus was elongated during gait after the Strayer procedure.

Conclusion: Patients with an equinus deformity had a contracted triceps muscle, which was elongated after surgery. These changes were quantified by a comparison of the preoperative and postoperative measurements.

Key Words: Cerebral palsy, Equinus deformity, TAL, Strayer, Gait analysis

서 론

뇌성마비 환자에서 골 변형은 그 정도를 정량화하여, 교정 절골술의 정도를 결정할 수 있지만, 근육의 구축은 변형의 정도를 정량화하고, 수술의 정도를 정량화 할 수 있는 방법이 아직은 제한적이다. 첨족 변형은 입각기 불안정성, 유각기의 발끝림, 슬관절 과신전과 족저부의 못 형성 등을 일으키며, 뇌성마비 환자의 가장 흔한 변형^{2,4,5,7)}으로, 비복근과 가자미근의 경직 혹은 구축이 원인이다^{2,3,14)}. 첨족 보행의 평가는 전통적인 이학적 검사와 보행 분석

검사 등이 이용되어 왔지만, 근육 길이에 대한 측정은 아직 초보적인 단계이다. 보행 분석 검사는 정량적인 검사로 알려져 있지만^{6,9,10-12)}, 직접 비복근과 가자미근의 길이를 측정하여 그 단축의 정도를 알 수 있는 검사는 아니므로 정량화에 한계가 있다. 최근 Polygon[®] (Vicon)이나 SIMM[®] (MotionAnalysis)^{1,3)} 등은 내장된 근육 모델링 프로그램을 통해 근육 길이를 보행 도중 실시간으로 측정할 값을 제공한다. 본 연구에서는 보행 분석 검사와 SIMM을 연동하여 뇌성마비 환자에서 수술 전·후에 보행

통신저자 : 안 재 훈
대전시 서구 둔산동 1306
을지대학교 의과대학 정형외과학교실
TEL: 042-611-3268 • FAX: 042-259-1289
E-mail: hykim@eulji.ac.kr

Address reprint requests to
Jae Hoon Ahn, M.D.
Department of Orthopaedic Surgery, Eulji University College of Medicine,
1306, Dunsan-dong, Seo-gu, Daejeon 302-799, Korea
Tel: +82,42-611-3268, Fax: +82,42-259-1289
E-mail: hykim@eulji.ac.kr

*본 논문의 요지는 2007년도 대한정형외과학회 추계학술대회에서 발표되었음.

도중 비복근과 가자미근의 길이 변화를 측정하여 분석하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 연구대상

2005년부터 2006년까지 침족 변형으로 수술 받은 뇌성마비 환자 중 수술 전, 그리고 수술 1년 이후(평균 15.3개월)에 보행 분석 검사를 한 12명을 환자군으로 하였다. 환자군은 남자 11명, 여자 1명이었다(Table 1). 수술은 Silfverskiold 검사 음성이며, 침족 변형이 심한 9 하지에는 Z-성형식 아킬레스건 연장술(TAL, Tendo Achilles Lengthening)을, Silfverskiold 검사 양성이며, 침족 변형이 심하지 않은 8 하지에는 비복근 건막 연장술(Strayer procedure)을 시행하였다^{2,7,8,15)}. 환자군은 SEMLS (Single event multi-level surgery)의 원칙^{2,6)}에 따라 수술 시에 TAL 및 Strayer술식 외에 다른 수술이 추가되었다(Table 2).

환자군은 수술 방식에 따라 TAL군(n=9)과 Strayer군(n=8)으로 분류하였다. TAL군은 수술 전 보행 검사 당시 평균 연령 14.7세(5-25세), 평균 신장은 151.4 cm (102.9-178.4 cm)였고, 추시 보행 검사 당시 평균 연령 16.0세(6-28세), 평균 신장은 154.3 cm (115.9-177.9

cm)였다. Strayer군은 수술 전 보행 검사 당시 평균 연령 13.2세(5-22세), 평균 신장은 141.4 cm (102.9-172.5 cm)였고, 추시 보행 검사 당시 평균 연령 14.9세(7-25세), 평균 신장은 146.3 cm (115.9-172.4 cm)였다. 비교 분석을 위해 기존의 근골격계 질환이 없었던 건강한 성인 남녀 각 6명(전체 12명, 24하지, n=24)을 대조군으로 하였다. 대조군은 병력 조사와 하지 전장의 방사선 검사로 근골격계 질환이 없는 젊은이로 하였다. 보행 분석 검사 당시 대조군의 평균 연령은 21.3세(18-29세)였고, 평균 신장은 167.1 cm (154.0-183.4 cm)였다.

2. 보행 분석검사

보행 분석 당시 이학적 검사로 족저 굴곡(plantar flexion)과 슬관절을 신전한 위치와 90도 굴곡한 위치에서의 족배 굴곡(dorsiflexion)의 정도를 측정하였다. 수동적 반사 표식자(passive reflective marker)는 Helen-Hayes 표식자 부착법(Helen-Hayes marker set)에 의해 부착하였고, 보행은 본인에게 편안한 속도로 걷도록 하였다. motion capture는 6대의 카메라로 구성된 Eagle 카메라 시스템(Eagle system, Motion Analysis®, CA, USA)을 이용하였다. 자료의 처리는 EvaRT (Motion Analysis®, CA, USA)와 Orthotrak (Motion Analysis®, Santa Rosa, CA, USA), SIMM (Software for Interactive Musculoskeletal Modeling, Motion Analysis®, Santa Rosa, CA, USA)을 이용하였다. 보행 분석을 통해 얻은 데이터 중 운동형상학 자료와 근육 길이 만을 본 연구에서 분석하였다.

3. 근육의 길이 측정

보행 도중 가자미근과 비복근의 길이를 측정하기 위해, 피검자의 보행 분석 자료를 SIMM과 연동하여, 근육 모델

Table 1. Patient Data Profiles

No	Case	Sex	Age (years)	Side	Diagnosis	Surgical procedure
1	1	M	20	Rt	CP spastic diplegia	Strayer
2				Lt	CP spastic diplegia	TAL
3	2	M	20	Lt	CP spastic hemiplegia	TAL
4	3	M	5	Lt	CP spastic diplegia	TAL
5	4	M	6	Rt	CP spastic diplegia	Strayer
6				Lt	CP spastic diplegia	Strayer
7	5	M	22	Rt	CP spastic diplegia	Strayer
8				Lt	CP spastic diplegia	Strayer
9	6	M	19	Rt	CP spastic hemiplegia	TAL
10	7	M	19	Rt	CP spastic diplegia	Strayer
11				Lt	CP spastic diplegia	TAL
12	8	M	5	Rt	CP spastic diplegia	Strayer
13				Lt	CP spastic diplegia	TAL
14	9	M	13	Lt	CP spastic hemiplegia	TAL
15	10	M	8	Rt	CP spastic hemiplegia	Strayer
16	11	M	25	Rt	CP spastic hemiplegia	TAL
17	12	F	7	Lt	CP spastic hemiplegia	TAL

M, male; F, female; Rt, right; Lt, left; TAL, Z-plasty tendo-achilles lengthening.

Table 2. Associated Procedures

Procedure	N (limbs)
Psoas lengthening	4
Adductor tenotomy	5
Rectus transfer	4
Semitendinosus transfer	3
Distal hamstring release	8
Calcaneal lengthening	4
Femoral derotational osteotomy	5
Tibial derotational osteotomy	2

(Fig. 1)을 생성하였다. 이 근육 모델을 이용하여, 보행 동안 실시간으로 가자미근(SOL, Soleus)과 내측(MGAS, Medial Gastrocnemius) 및 외측(LGAS, Lateral Gastrocnemius) 비복근의 길이 변화를 측정하였다. 결과는 두 개의 환자군(TAL군, Strayer군)과 하나의 대조군에서 얻었으며, 환자군은 수술 전과 후의 자료를 각각 구하였다.

4. 자료 처리 및 분석

경첩 관절에 가까운 족관절에서는 보행 중 근육의 길이 변화가 시상면 상의 운동 형상학 그래프와 상관 관계가 있으리라는 가정 하에, 족관절 시상면 그래프 5개 꼭지점에 해당하는 시기(a1, a2, a3, a5, a5)에 계측된 근육의 길이를 각 구간 비교하였다(Fig. 2). 피검자의 신장이 근육의 길이 비교에 영향을 줄 수 있으므로 신장에 의한 개인차를 보정하기 위해 Loan 등⁴⁾이 제시한 보정법(nor-

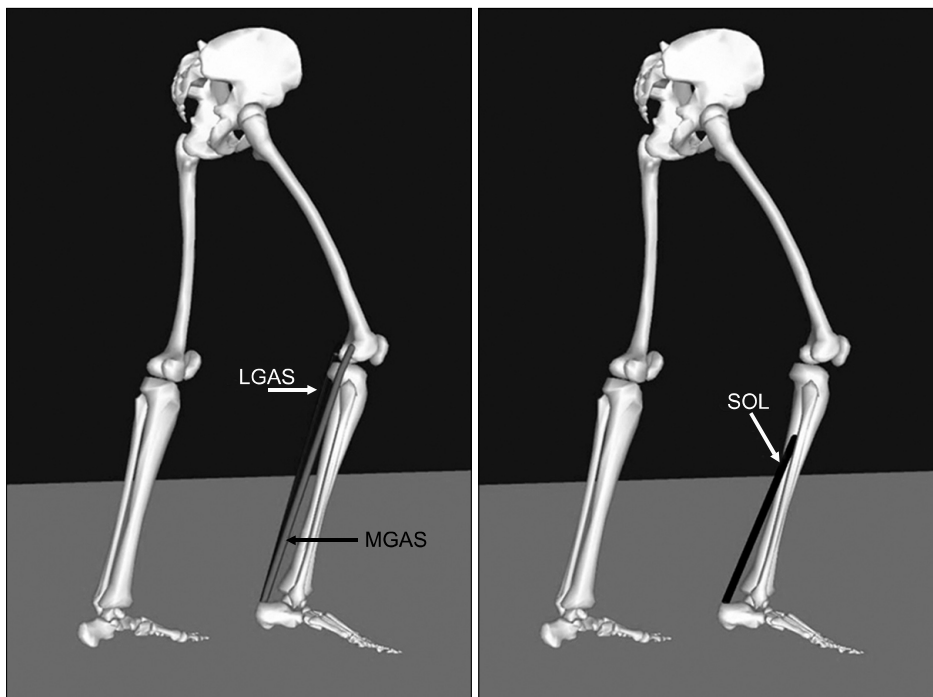


Fig. 1. Muscle modeling using SIMM. Muscle model was made for the lateral head of gastrocnemius (LGAS), medial head of gastrocnemius (MGAS), and soleus (SOL). The changes of muscle lengths during gait were measured with these muscle models.

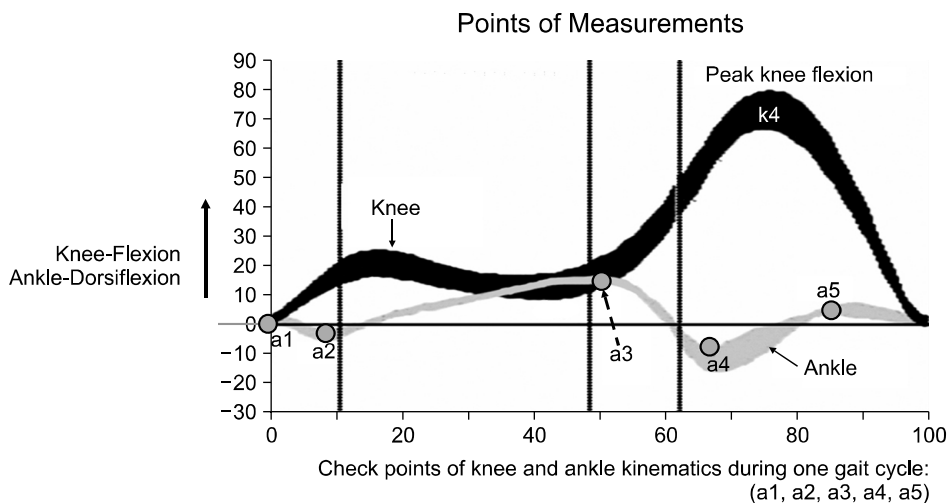


Fig. 2. Ankle and knee kinematic curve and points (a1-a5) at which the muscle length was measured.

malization)을 이용 하여 보행 중 측정된 근육의 길이 (dynamic muscle length)를 기립 시 길이(static muscle length)에 대한 비로 환산하였다(Normalized muscle length=Dynamic muscle length during gait/Static muscle length). 각 군간의 비교는 paired *t*-test를 이용하였고 유의수준은 $p < 0.05$ 로 하였다. 환자군에서 수술 후 비복근과 가자미근의 늘어난 정도의 비교는 Wilcoxon signed rank test를 이용하였고, 유의수준은 $p < 0.05$ 로 하였다.

결 과

1. 이학적 검사

이학적 검사 상 환자군에서 족배굴곡이 감소하여 있었다. 수술 전 TAL군은 평균 ADKF (ankle dorsiflexion with the knee in flexed position, 슬관절 굴곡 상태에서 족배굴곡) -13.1° (-30° – 0°), 평균 ADKE (ankle dorsiflexion with the knee in extended position, 슬관절 신전 상태에서의 족배굴곡) -17.3° (-40° – -5°), Strayer군은 ADKF -8.8° (-20° – 0°), ADKE -11.3° (-25° – -5°)였다. 수술 후 TAL군은 ADKF 18.1° ($+5^\circ$ – $+30^\circ$), ADKE 11.9° (0° – $+20^\circ$), Strayer군은 ADKF 20.6° ($+10^\circ$ – $+30^\circ$), ADKE 13.8° ($+5^\circ$ – $+20^\circ$)로 족배굴곡의 정도는 회복되었다.

2. 운동 형상학

Strayer군(Fig. 3A)은 수술 전, 족관절 시상면에서 제 2 발구름(second rocker)이 족저 굴곡 쪽으로 전위(shift)된 양상을 보였고, 슬관절 시상면에서 뚜렷한 plantar flexion–knee extension couple 현상을 보였다. 수술 후 이러한 현상이 없어지고, 정상에 가까운 운동형상학 결과를 보였다. TAL군(Fig. 3B)은 수술 전 족관절 운동형상학 그래프에서 제1 발구름이 없어졌고, 제 2, 제3 발구름 그래프가 약 30 – 40° 족저 굴곡 쪽으로 변이를 보여, 심한 침묵 변형을 보였으며, 유각기에도 40° 족저굴곡에 해당하는 소견을 보였다. 수술 후 족관절은 입각기에 제1, 2, 3 발구름이 회복되었고, 유각기에 족저굴곡의 소견도 사라져 정상에 가까운 운동형상학 소견을 보였다.

3. 근육 길이의 변화

1) 대조군 (Table 3, Fig. 4)

보행 중 가자미근의 길이 변화(Fig. 4A)는 시상면 상의 족관절 운동 형상학 그래프(Fig. 4E)와 동일한 변화 형태를 보였다. 비복근의 경우(Fig. 4B, C), 입각기에는 비교적 족관절의 운동 형상학 그래프와 동일한 형태를 보였지만, 유각기에는 꾸준히 길이가 늘어나는 형태를 보여 족관절 운동 형상학 그래프와는 차이를 보였다. 제 2구름(second rocker)의 끝 지점(a3)에서 족관절은 최대 족배

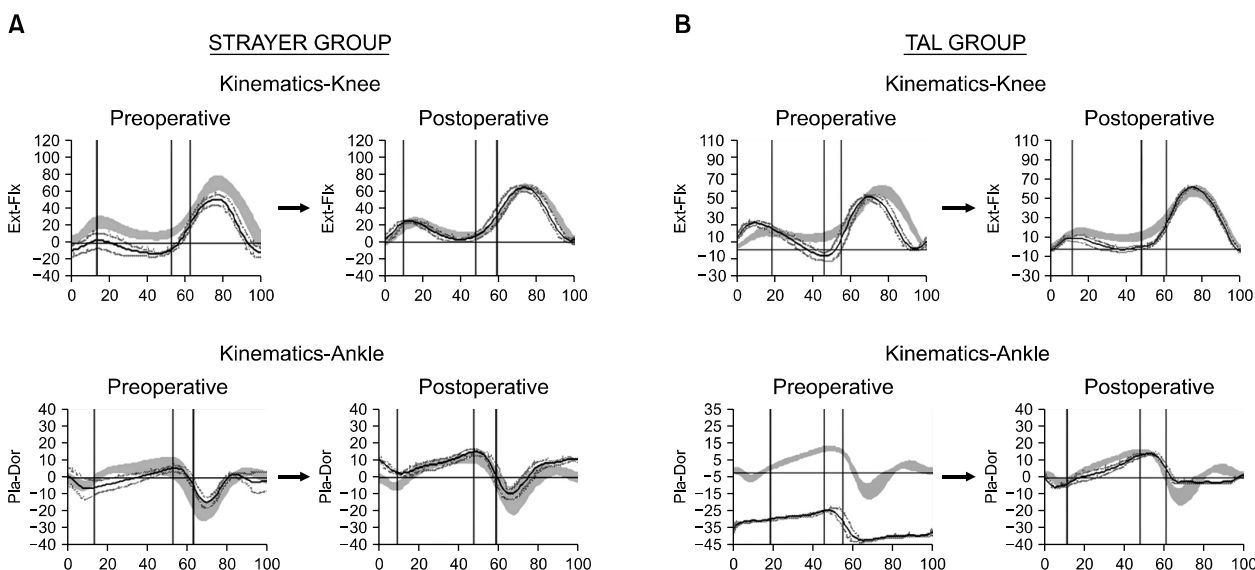


Fig. 3. The changes of ankle and knee kinematics after the operation in Strayer and TAL group.

Table 3. Results of Mean Muscle Length and Ankle Joint Kinematics of Control and Patient Group

	Point	Preoperative gait					Postoperative gait				
		Muscle length (mm (% of height))			Joint ROM (degree)		Muscle length			Joint ROM (degree)	
		MGAS	LGAS	SOL	Knee	Ankle	MGAS	LGAS	SOL	Knee	Ankle
Control	a1	412.9 (24.7%)	392.4 (23.5%)	265.5 (15.9%)	2.0	0.0					
	a2	406.8 (24.3%)	386.6 (23.1%)	262.3 (15.7%)	4.8	-5.9					
	a3	419.3 (25.1%)	398.9 (23.9%)	271.7 (16.3%)	27.8	11.7					
	a4	384.7 (23.0%)	364.7 (21.8%)	249.3 (14.9%)	27.8	-20.3					
	a5	407.6 (24.4%)	387.1 (23.2%)	266.3 (15.9%)	25.1	0.4					
Strayer	a1	345.3 (24.4%)	342.9 (24.3%)	223.4 (15.8%)	18.0	0.7	365.3 (25.0%)	363.1 (24.8%)	236.0 (16.1%)	12.6	2.8
	a2	344.1 (24.3%)	341.7 (24.2%)	222.2 (15.7%)	15.6	-1.4	360.2 (24.6%)	357.7 (24.4%)	233.4 (16.0%)	13.5	-1.3
	a3	350.4 (24.8%)	348.3 (24.6%)	226.8 (16.0%)	27.5	5.7	372.9 (25.5%)	370.7 (25.3%)	240.0 (16.4%)	18.2	10.5
	a4	330.8 (23.4%)	327.8 (23.2%)	215.9 (15.3%)	26.1	-11.7	348.1 (23.8%)	345.1 (23.6%)	226.0 (15.4%)	17.8	-10.7
	a5	339.9 (24.0%)	337.2 (23.8%)	223.2 (15.8%)	38.0	-0.8	359.9 (24.6%)	357.1 (24.4%)	236.1 (16.1%)	37.1	3.3
TAL	a1	370.1 (24.4%)	367.7 (24.3%)	234.6 (15.5%)	6.8	-14.7	397.4 (25.8%)	395.1 (25.6%)	254.5 (16.5%)	7.3	2.0
	a2	368.0 (24.3%)	365.3 (24.1%)	234.2 (15.5%)	8.2	-15.5	391.3 (25.4%)	388.9 (25.2%)	250.1 (16.2%)	6.6	-5.2
	a3	377.2 (24.9%)	374.5 (24.7%)	239.3 (15.8%)	22.0	-5.9	403.7 (26.2%)	401.4 (26.0%)	259.9 (16.8%)	23.0	11.1
	a4	356.9 (23.6%)	353.2 (23.3%)	228.7 (15.1%)	21.6	-23.6	379.5 (24.6%)	376.3 (24.4%)	246.3 (16.0%)	23.0	-9.8
	a5	366.2 (24.2%)	363.2 (24.0%)	234.4 (15.5%)	23.3	-15.9	390.7 (25.3%)	387.9 (25.1%)	254.4 (16.5%)	30.1	1.4

a1, ankle joint at IC (initial contact); a3, ankle at the end of second rocker (Lmax); a4, ankle at the end of third rocker (Lmin); a5, ankle at its maximum dorsiflexion during swing phase; MGAS, medial head of gastrocnemius; LGAS, lateral head of gastrocnemius; SOL, soleus.

굴곡이 되고, 하퇴 삼두근의 길이는 가장 길어졌다. 제 3 구름(third rocker)의 끝지점(a4)에서 족관절은 최대 족저 굴곡되고, 하퇴 삼두근의 길이는 가장 짧아졌다. 평균 신장이 167.1 cm (154.0-183.4 cm)인 정상인이 기립 시(Table 3)에 MGAS가 412.9±35.2 mm, LGAS가 392.4±94.3 mm, SOL은 265.5±22.6 mm로 측정되었다. 가장 길이가 길어지는 a3 시기에서는 MGAS가 419.3±36.3 mm, LGAS가 398.9±96.1 mm, SOL은 271.7±23.0 mm로 측정되었고, 가장 길이가 짧아지는 a4 시기에서는 MGAS가 384.7±36.7 mm, LGAS가 364.7±89.2 mm, SOL은 249.3±24.0 mm로 측정되었다. 이 값들을 정상화(normalization) 하면, 보행 주기

동안 삼두근은 a3 (maximum length)에 약 102% (101.5-102.6%), a4 (minimum length)에 93% (92.9-94.3%)의 길이 변화를 보였다.

2) 환자군 (Table 3, Fig. 5)

(1) 수술 전 근육 길이의 변화

Strayer군(평균 신장 141.4 cm)은 기립 시(a1)에 MGAS는 345.3±64.3 mm, LGAS는 342.9±63.8 mm, SOL은 223.4±22.6 mm였다(Table 3). 근육 길이가 가장 길어지는 a3 (maximum length)에 MGAS는 350.4±71.5 mm, LGAS는 348.3±71.5 mm, SOL은 226.8±47.4 mm이었다. 근육 길이가 가장 짧아지는

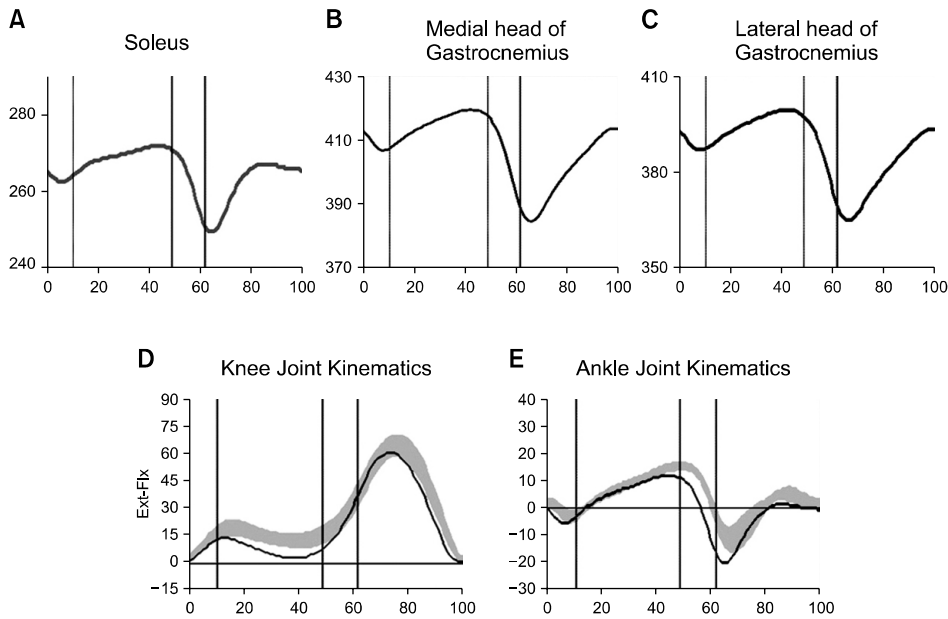


Fig. 4. The changes of muscle length during gait in control group.

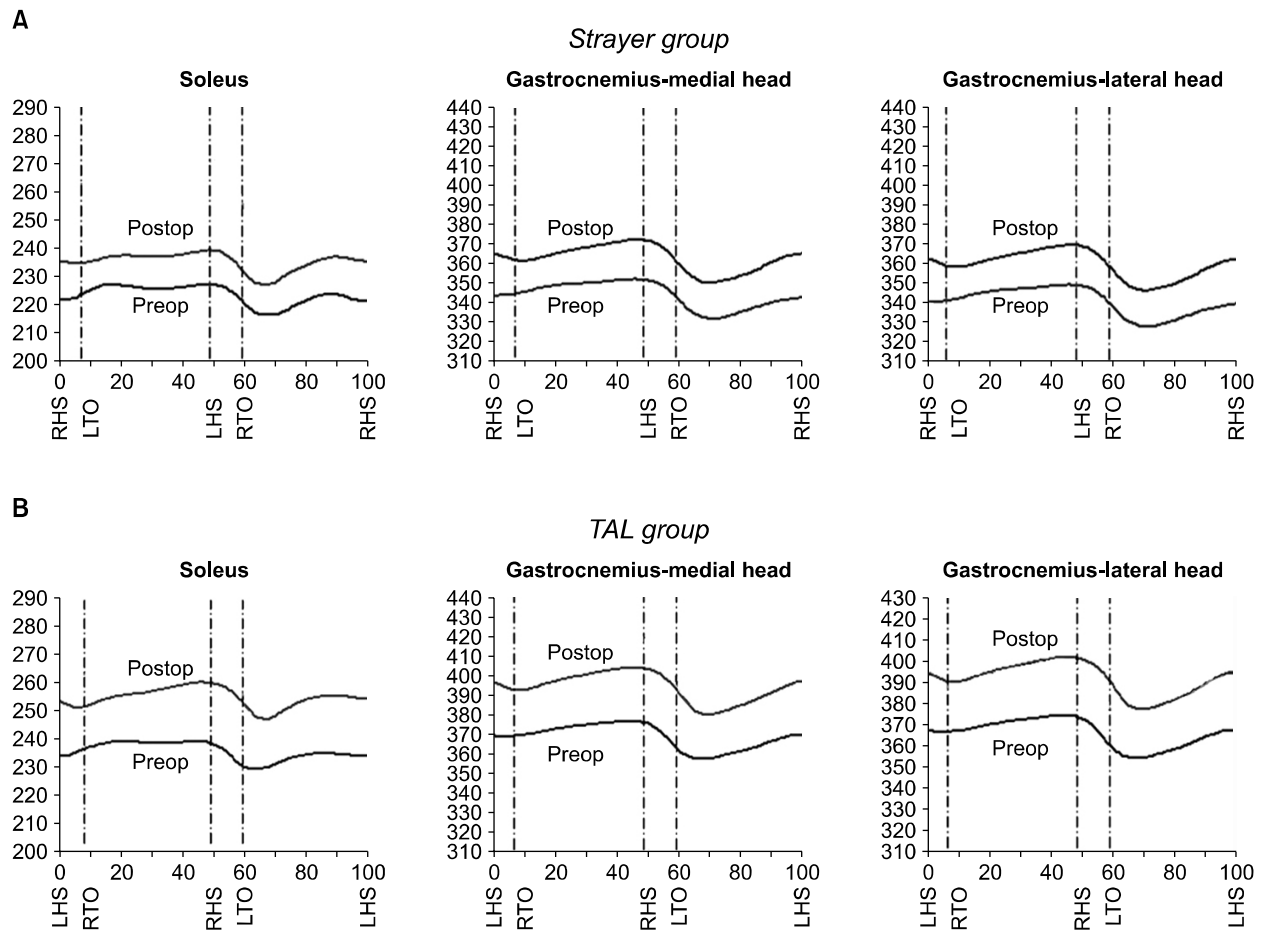


Fig. 5. The changes of muscle length during gait in patient group at preoperative and postoperative gait analysis.

a4 (minimum length)에 MGAS는 330.8 ± 68.1 mm, LGAS는 327.8 ± 67.9 mm, SOL은 215.9 ± 45.7 mm이었다. TAL군(평균 신장 151.4 cm)은 기립 시(a1)에 MGAS는 370.1 ± 79.2 mm, LGAS는 367.6 ± 79.1 mm, SOL은 234.6 ± 50.1 mm였다(Table 3). 근육 길이가 가장 길어지는 a3 (maximum length)에 MGAS는 377.2 ± 81.9 mm, LGAS는 374.5 ± 81.8 mm, SOL은 239.3 ± 52.1 mm였다. 근육 길이가 가장 짧아지는 a4 (minimum length)에 MGAS는 356.9 ± 78.2 mm, LGAS는 353.2 ± 77.8 mm, SOL은 228.7 ± 50.6 mm였다.

(2) 수술 후 근육 길이의 변화

Strayer군(평균 신장: 146.3 cm)은 기립 시(a1)에 MGAS는 365.3 ± 53.5 mm, LGAS는 363.1 ± 53.3 mm, SOL은 236.0 ± 33.5 mm였다(Table 3). 근육 길이가 가장 길어지는 a3 (maximum length)에 MGAS는 372.9 ± 55.7 mm, LGAS는 370.7 ± 55.5 mm, SOL은 240.0 ± 35.8 mm이었다. 근육 길이가 가장 짧아지는 a4 (minimum length)에 MGAS는 348.1 ± 52.5 mm, LGAS는 345.1 ± 52.3 mm, SOL은 226.0 ± 34.1 mm였다. 이상의 결과로 수술 후 Strayer군에서 가자미근은 약 11–14 mm, 비복근은 18–22 mm의 증가를 보였다(Table 3, Fig. 5). a3에서 비복근의 길이 증가 정도는 가자미근의 증가 정도에 비하여 통계적으로 유의하게 컸다($p < 0.05$).

TAL군(평균 신장 154.3 cm)은 기립 시(a1)에 MGAS는 397.4 ± 64.2 mm, LGAS는 395.1 ± 64.2 mm, SOL은 254.5 ± 40.5 mm였다(Table 3). 근육 길이가 가장 길어지는 a3 (maximum length)에 MGAS는 403.7 ± 63.6 mm, LGAS는 401.4 ± 63.4 mm, SOL은 259.9 ± 41.1 mm였다. 근육 길이가 가장 짧아지는 a4 (minimum length)에 MGAS는 379.5 ± 61.0 mm, LGAS는 376.3 ± 60.7 mm, SOL은 246.3 ± 40.0 mm였다. 수술 후 TAL군에서는 가자미근은 약 18–20 mm 비복근은 21–27 mm의 증가를 보였다(Table 3, Fig. 5). a3에서 비복근과 가자미근은 수술 전에 비하여 각각 통계적으로 유의하게 길이가 늘어났지만, 두 근육 간에 통계적으로 유의한 차이는 없었다($p > 0.05$).

환자군에서 측정된 보행 도중 근육의 길이 변화는 수술 전-후, 수술 전-대조군 간에 대체적으로 통계적으로 유의한 차이를 보였고($p < 0.05$), 수술 후-대조군 사이에

Table 4. Normalization Values of Muscle Length Changes

Normalization (%)		a3 (%)	a4 (%)
Control	MGAS	101.5	93.2
	LGAS	101.5	92.9
	SOL	102.5	94.3
Strayer	MGAS		
	Preoperative	100.0	94.6
	Postoperative	101.1	94.8
	LGAS		
	Preoperative	99.9	94.3
	Postoperative	101.1	94.5
TAL	SOL		
	Preoperative	100.6	96.0
	Postoperative	101.8	96.4
	MGAS		
	Preoperative	100.0	94.6
	Postoperative	101.3	94.6
	LGAS		
	Preoperative	100.0	94.3
	Postoperative	101.3	94.3
	SOL		
	Preoperative	100.5	96.0
	Postoperative	102.2	96.4

는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않아($p > 0.05$), 침묵 변형이 수술 후 정상에 가깝게 호전됨을 알 수 있었다.

(3) 근육 길이의 보정(Table 4)

근육 길이가 가장 길어지는 a3에서 대조군은 101.5%였고, 이에 비하여 Strayer군은 MGAS는 1.5%, LGAS는 1.6%, SOL은 1.9% 만큼 단축 되었다. TAL군은 MGAS는 1.5%, LGAS는 1.5%, SOL은 2.1%만큼 단축 되었다. 근육 길이를 직접 측정할 경우에 TAL군이 단축이 더 심한 군이었지만, 보정을 한 후 단축의 정도를 비교할 때, 두 군간의 차이는 없었다.

고 찰

침묵 변형 환자에서 수술 후 보행의 변화나 관절 운동의 변화 등에 대한 다양한 연구들이 있었다^{2,6,10-12}. 본 연구에서는 보행 분석과 더불어 SIMM을 이용해 정상인과 환자군에서 보행 중 비복근과 가자미근의 길이 변화를 정량적으로 측정하였다. 본 연구에서 측정된 근육 길이가 과연 실제 근육의 길이를 정확히 반영하는지는 논란이 있으리라 사료된다. 의학의 특성 상 계측에 오차가 발생할 여지는 언제나 있지만, 근육을 다루는 경우에는 근육 자체의 물성과 해부학적 특징으로 인해, "근육의 길이"의 정의부터 논란이 있을 수 있다. 근육은 고체이지만, 강체

(rigid body)가 아니며, 생체에서 근육은 관절의 위치와 수축에 따라 길이가 계속 변화한다. 또한 여러 개의 기시부와 부착부를 가지며, 사람마다 해부학적 변이(normal anatomic variation)가 있다.

SIMM은 정상 성인의 MRI 자료를 기반으로 제작된 프로그램^{1,3)}으로, 주어진 보행 분석 자료를 이용하여 피검자의 골격과 근육을 생성하고, 원하는 측정치를 엑셀, 그래프 혹은 애니메이션 형태로 제공한다. 근육의 길이 측정을 위해, 개개 근육은 몇 개의 점(point)과 운곽(wrapping), 그리고 이들의 상호 관계로 정해진 경로(path)를 결정하게 된다. SIMM프로그램의 정확도(accuracy)에 대한 연구는 Arnold 등¹⁾에 의하여 보고되었다. Arnold 등은 고관절의 장요근과 슬굴곡근에 대하여, MRI, 사체, SIMM프로그램으로 측정된 결과를 비교하여, SIMM으로 측정된 근육 모델의 오차(error)는 4 mm 미만으로 보고하였다. 하지만, 본 연구에서처럼, 해부학적으로 복잡한 부위를 연구 대상으로 하지 않은 경우에는 bone deformation editor도 필요하지 않으며, 오차 범위도 고관절에 비하여 적으리라 사료된다.

본 연구를 통해 보행 도중 근육의 길이 변화는 운동형상학 자료와 밀접한 연관이 있음을 알 수 있었다. 다만, 비복근은 유각기에서 족관절 운동 형상학 그래프와는 차이를 보였는데, 이는 비복근이 이관절 근육(two joint muscle)으로 유각기의 슬관절 최대 굴곡(peak knee flexion)에 영향을 받는 것으로 사료된다. 본 연구에서 환자군의 보행 도중 근육의 길이 변화를 측정하여, 이미 알려진 대로 침족 보행을 하는 환자에서 가자미근과 비복근이 단축되어 있고^{2,4,9,11,14)}, 수술적 연장을 통해 근육의 길이가 늘어나 생리적인 범위를 보임을 알 수 있었고, 그 정도를 정량화 할 수 있었다. Strayer군과 TAL군 모두에서 수술 후 최소 1년 후 시행한 재평가에서 보행 중 종아리 근육의 최대 길이 및 침족 변형은 크게 향상되었음을 확인할 수 있었다(Table 3, Table 4). 늘어난 길이의 정도 비교에서 Strayer군보다 TAL군에서 더 많이 늘어났다. 그리고, TAL 군은 가자미근과 비복근 모두 비슷한 정도로 연장된 반면, Strayer군에서는 가자미근 근의 근육 길이가 늘어났지만, 그 정도가 상대적으로 적었다. Strayer 술식이 TAL술식에 비하여 연장의 정도가 적은은 수술의 기법만으로도 충분히 연역적으로 추론이 가능하나^{2,15)}, Strayer 술식 후에 가자미근의 근육의 길

이가 늘어났다는 것은 추론이 어렵다. 본 연구에서 Strayer 술식 후에 가자미근 역시 a3에서 13.2 mm의 길이 증가를 보였다. 이것은 수술 전 구축된 비복근이 가자미근에 작용하여 가자미근의 긴장도를 증가시키는데 기여하였고, 수술로 비복근이 근위부로 퇴축하면, 가자미근에 작용하던 긴장도가 감소되는 것(Fig. 6)으로 사료된다(Fig. 6). 본 연구에서는 수술 시 시행된 연장의 정도가 SIMM으로 측정된 값과 어떠한 상관관계를 갖는지는 고찰할 수 없었다. 실제로 연장의 정도를 측정하는 것은 족관절의 굴신 정도에 따라 달라져서, 이를 측정하는 것이 쉽지 않다. 향후 연구에서 족관절 중립 위치에서 측정된 연장 정도를 기준으로 한다면, 입력(input (dose)-수술 시 연장된 정도)과 출력(output (effect)-보행 시 근육의 길이 변화)의 정량적인 연구가 가능하리라 사료된다.

수술 전 TAL군이 이학적 검사나 보행 검사에서 근육의 구축이 심한 군으로 분류 되었지만, 본 연구에서 Loan의 보정을 한 후 단축의 정도를 비교할 때, 두 군간의 차이는 없었다. 이는 Loan의 보정 방식에 문제가 있기 때문으로 사료된다. 이 방식에서는 기준치를 "기립 시(a1) 근육의 길이"로 하였는데, 환자들의 수술 전 검사에서 기립 시 측정치는 "정상 값"이라기 보다는 "질병 상태의 값"이다. SIMM으로 근육의 길이 만을 측정하는 것이 아니고, 개별 환자마다 그 근육이 정말 짧아졌는지, 그리고 얼마나 짧아졌는지를 해석하기 위하여는 "기립 시(a1) 근육의 길이"에 대한 비로 해석하는 것보다는, 환자의 키, 혹은 하지 길이와 연령에 따른 정상치에 비교하거나, 이

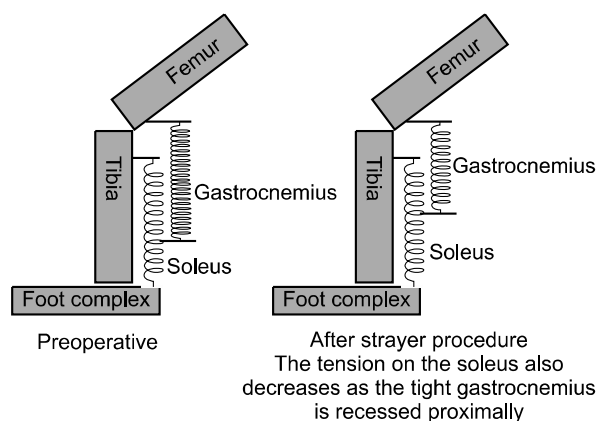


Fig. 6. Schematic relationships of gastrocnemius and soleus muscle after Strayer procedure.

에 대한 비율을 구하는 것이 이상적인 방법이다. 현재로서는 이러한 '정상치'가 없는 상태이므로 향후 이에 대한 자료 확보가 필요할 것으로 사료된다.

동반 수술 중, 종골 연장술과 경골 감염술은 본 연구의 결과에 영향을 미칠 수 있으리라 사료된다. 일반적으로 보행 분석 검사에서는 족부를 하나의 강체(solid bar)로 인식하므로, 3차원적인 족부 변형이 제대로 측정되지 못한다. 따라서 침착 변형과 동반되어 중족부 함몰(mid-foot breakage)이 있는 족부에 대하여 검사 자체에 한계가 있다. 보행 분석 검사를 기반으로 재구성된 SIMM도 이 한계를 가지고 있다고 사료되며, 본 연구에서는 이상의 수술을 받은 환자군이 작아서 따로 분석할 수는 없었다.

결론

정상 성인에서 보행 중 가자미근의 근육 길이는 족관절 운동형상학과, 비복근은 족관절과 슬관절의 운동형상학과 밀접한 관련이 있었다. 수술 전 환자 군은 대조군에 비하여 두 근육 모두 단축을 보였으나, 아킬레스 건 연장술과 Strayer술식 후 근육의 길이가 연장되었으며, 보행 시 정상과 유사한 운동 형상학 결과를 보였다. 두 술식 간에 차이점은 아킬레스 건 연장술이 더 많은 근육 길이의 연장을 보였고, Strayer 술식은 비복근의 연장된 정도에 비하여 가자미근의 연장된 정도가 작았다.

뇌성마비 환자의 평가에 SIMM프로그램을 직접 적용시키는 데는 현재로서는 일부 제한 점이 있으나, 보행 분석 자료와 더불어 적용함으로써 환자 평가의 강력한 도구로 사용될 수 있으리라 사료된다.

참고문헌

1. Arnold AS, Delp SL: Computer modeling of gait abnormalities in cerebral palsy: application to treatment planning. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 6: 305-312, 2005.
2. Chung CY, Ahn CH, Choi IH, Cho TJ, Shin YW, Yoo WJ: Kinematic and kinetic changes of the ankle after the correction of spastic equinus deformity: Z-plastic lengthening versus Strayer method. *J Korean Orthop Assoc*, 37: 759-765, 2002.
3. Delp SL, Loan JP: A graphics-based software system to develop and analyze models of musculoskeletal structures. *Comput Biol Med*, 25: 21-34, 1995.
4. Etnyre B, Chambers CS, Scarborough NH, Cain TE: Preoperative and postoperative assessment of surgical intervention for equinus gait in children with cerebral palsy. *J Pediatr Orthop*, 13: 24-31, 1993.
5. Fish DJ, Nielsen JP: Clinical assessment of human gait. *Journal of Prosthetics & Orthotics*, 5: 39-48, 1993.
6. Gage JR, Fabian D, Hicks R, Tashman S: Pre- and post-operative gait analysis in patients with spastic diplegia: a preliminary report. *J Pediatr Orthop*, 4: 715-725, 1984.
7. Goldstein M, Harper DC: Management of cerebral palsy: equinus gait. *Dev Med Child Neurol*, 43: 563-569, 1999.
8. Hemo Y, Macdessi SJ, Pierce RA, Aiona MD, Sussman MD: Outcome of patients after Achilles tendon lengthening for treatment of idiopathic toe walking. *J Pediatr Orthop*, 26: 336-340, 2006.
9. 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*, 25: 479-483, 2005.
10. Perry J, Hoffer MM, Giovan P, Antonelli D, Greenberg R: Gait analysis of the triceps surae in cerebral palsy. A preoperative and postoperative clinical and electromyographic study. *J Bone Joint Surg Am*, 56: 511-520, 1974.
11. Rose SA, DeLuca PA, Davis RB 3rd, Ounpuu S, 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.
12. Joo SY, Park HW, Park KB, Kim HW: Changes in gait pattern after surgeries for equinus gait in cerebral palsy spastic hemiplegia. *J Korean Orthop Assoc*, 40: 709-716, 2005.
13. Winters TF Jr, Gage JR, Hicks R: Gait patterns in spastic hemiplegia in children and young adults. *J Bone Joint Surg Am*, 69: 437-441, 1987.
14. Wren TA, Do KP, Kay RM: Gastrocnemius and soleus lengths in cerebral palsy equinus gait-differences between children with and without static contracture and effects of gastrocnemius recession. *J Biomech* 37: 1321-1327, 2004.
15. Yngve DA, Chambers C: Vulpius and Z-lengthening. *J Pediatr Orthop*, 16: 759-764, 1996.

= 국문초록 =

목 적: 첨족 변형을 가진 뇌성마비 환자의 보행 도중 비복근과 가자미근의 길이 변화를 측정하고자 하였다.
대상 및 방법: 환자군은 첨족 변형을 가진 뇌성마비 환자로 수술 전과 후에 보행 검사를 시행한 12명, 17하지로 하였으며, 대조군은 정상 성인 12명, 24 하지로 하였다. 환자군은 11명이 남자였으며, 평균 연령은 14.3세(5-25세)였으며 평균 추시기간은 15.3개월(12.5-18.5개월)이었다. 수술 방법에 따라 Strayer군과 TAL군으로 분류하였으며, 보행 검사와 SIMM을 연동하여 보행 중 비복근과 가자미근의 길이 변화를 측정하였다.

결 과: 수술 후 족관절 및 슬관절의 운동형상학은 호전되었고, 보행 도중 측정된 근육의 길이도 연장되었다. 아킬레스건 연장술과 Strayer 술식 후 수술 전·후 비복근과 가자미근 길이 변화 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 있었다. Strayer 술식 후에 보행 도중 가자미근의 근육 길이도 연장되었다.

결 론: 환자군에서 SIMM을 이용하여 보행 도중 하퇴 삼두근의 길이 변화를 측정하여, 수술 후 구축된 하퇴 삼두근이 연장되었음을 정량적으로 확인할 수 있었다.

색인 단어: 뇌성마비, 첨족 변형, 아킬레스건 연장술, Strayer 술식, 보행 분석