

초음파 영상기법과  
동작 분석을 이용한  
뇌성마비 환아의 하퇴삼두근의  
내적 구조 평가

연세대학교 대학원

의 학 과

박 건 보

초음파 영상기법과  
동작 분석을 이용한  
뇌성마비 환아의 하퇴삼두근의  
내적 구조 평가

지도교수 김 현 우

이 논문을 박사 학위논문으로 제출함

2007 년 12 월 일

연세대학교 대학원

의 학 과

박 건 보

# 박건보 의 박사 학위논문 을 인준 함

심사위원 \_\_\_\_\_ 인

심사위원 \_\_\_\_\_ 인

심사위원 \_\_\_\_\_ 인

심사위원 \_\_\_\_\_ 인

심사위원 \_\_\_\_\_ 인

연세대학교 대학원

2007 년 12 월 일

## 감사의 글

본 논문이 완성되기까지 함께 하여주신 모든 분께 감사를 드립니다. 정형외과 의사로서 학문을 연구하는 학자로서 모범을 보여주시고 깊은 애정과 자상한 지도로 이끌어 주신 김현우 교수님께 진심으로 감사를 드립니다. 또한 바쁘신 와중에도 본 연구를 위하여 각별한 조언을 아끼지 않으신 박희완 교수님, 서진석 교수님, 김영호 교수님, 이해동 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 전공의 시절과 전임의 과정을 거치면서 애정 어린 가르침과 지도를 해주신 정형외과학 교실의 모든 교수님들께도 감사를 드립니다.

언제나 변함없이 저를 후원해 주시고 사랑해 주시는 양가 부모님들께도 감사를 드리며 논문 완성의 기쁨을 함께 하고 싶습니다. 마지막으로 늘 제 곁에서 후원을 아끼지 않은 사랑하는 아내 한지연과 이 세상 그 무엇과도 바꿀 수 없는 사랑스런 딸 박지유에게 이 논문을 바칩니다.

저자 씀

## <차례>

국문요약	1
I. 서론	4
II. 재료 및 방법	7
1. 연구 대상	7
2. 연구 방법	9
가. 3차원 보행 분석	9
나. 초음파 분석	10
3. 통계학적 분석	12
III. 결과	13
1. 3차원 보행 분석 결과	13
가. 운동형상학 및 운동역학적 분석	13
나. 3차원 골격 모델을 이용한 근-건 길이 분석	15
2. 각 구간 초음파 분석 결과	17
가. 근섬유속 길이	17
나. 근섬유속 표준 길이	18
다. 근섬유 정렬각	19
라. 근 두께	21
3. 슬관절 각도에 따른 변화	22
가. 근섬유속 길이	22
나. 근섬유 정렬각	23
다. 근 두께	24
4. 심부 근막의 변화	25
가. 족관절 최대 운동 시 슬관절 각도에 따른 변화	25
나. 족관절 족저굴곡 15-30도 운동 시 슬관절 각도에 따른 변화	26
IV. 고찰	27
V. 결론	32
VI. 참고문헌	33

영문요약.....37

## 그림 차례

Fig. 1. Measurement of changes of deep aponeurosis. .....	11
Fig. 2. Changes of sagittal kinetics and kinematics. .....	13
Fig. 3. Changes of percent muscle length and velocity. .....	15
Fig. 4. Pennation angle of lateral gastrocnemius in paretic group and normal group at knee 0° and ankle plantarflexion 15°. Fascicle angle is smaller in group I (paretic). ....	19
Fig. 5. Changes of fascicle length. ....	22
Fig. 6. Changes of pennation angle. ....	23
Fig. 7. Changes of muscle width. ....	24
Fig. 8. Changes in the distance of deep aponeurosis during full ankle motion. ....	25
Fig. 9. The model of muscle architecture at different ankle joint. ....	31

## 표 차례

Table 1. Patient data. ....	8
Table 2. Comparisons of kinetics and kinematics during stance phase. ....	14
Table 3. Comparisons of percent muscle length. ...	16
Table 4. Comparisons of fascicle length. ....	17
Table 5. Comparisons of normalized fascicle length. ....	18
Table 6. Comparisons of pennation angle. ....	20
Table 7. Comparisons of muscle width. ....	21
Table 8. Comparisons of changes in deep aponeurosis. ....	26



## <국문요약>

### 초음파 영상기법과 동작 분석을 이용한 뇌성마비 환자의 하퇴삼두근의 내적 구조 평가

하퇴삼두근은 발목의 족저굴곡을 유발하는 주동근으로써 근섬유 분포뿐만 아니라 구조적 배열에 있어서도 그 특성에 차이를 보이는 가자미근과 내, 외측 비복근으로 구성되어 있다. 침족 보행을 보이는 편마비 환자의 하퇴삼두근 연장술은 일반적으로 고식적인 Silverskiold 검사에 의해 결정되는데 검사자의 주관적인 경험에 의존하는 경우가 현실이다. 하퇴삼두근을 구성하는 세 근육이 주어진 운동과제에 따라 특징적으로 그 기능을 수행하고 복잡한 건 구조를 동반하는 점을 고려할 때 현재 사용되는 술식 결정법은 보다 객관적인 방법으로 발전되어야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 초음파 검사를 이용하여 슬관절과 족관절의 조건에 따른 근육의 미세구조의 차이를 정량적으로 분석하고, 침족 보행에서 3차원 동작분석을 통하여 하퇴삼두근의 역동적 변화의 차이를 분석하여 뇌성마비 환자를 대상으로 한 Silverskiold 검사를 보완, 대체할 하퇴삼두근 연장술의 생역학적 근거 및 치료 기준을 제시하고자 한다.

총 10명의 편마비 환자가 연구대상이었으며 모든 환자는 Silverskiold검사 상 음성으로 아킬레스 건에서의 연장이 필요하다고 판단되었다. 남아가 6명, 여아가 4명이었으며 검사 당시 평균연령은 7년1개월 (5년~10년1개월) 이었다. 동 연령대의 정상아 10명을 선발하여 대조군으로 하였다. 정상아의 평균 연령은 6년7개월 (5년2개월~8년)이었으며 남아가 6명 여아가 4명이었다. 편마비 환자와 정상환아 간의 연령 및 성비에는 통계학적으로 유의한 차이는 관찰되지 않았다. 제 1 군(Group I, 편마비 환자의 환측, 10예)과 제

2 군(Group II, 편마비 환아의 건측, 10예) 그리고 제 3 군(Group III, 정상아, 20예)의 결과를 비교하였다. 3차원 보행분석을 통하여 운동형상학적 지표(kinematic data)와 운동역학적 지표(kinetic data), 근-건 길이변화를 분석하였다. 슬관절, 족관절의 운동형상학적 변화와 운동역학적 변화는 시상면(sagittal plane)에서 측정하였다. 재구성된 근-골격 모델을 이용하여 하퇴삼두근(triceps surae muscle-tendon complex)과 반막양근(semimembranosus)의 비례 근길기와 근속도를 측정하였다. 초음파를 이용한 측정은 Accuvix XQ<sup>®</sup> (5~12Mhz, 40mm)를 이용하여 시행 하였다. 내, 외측 비복근(Gastrocnemius)과 가자미근(Soleus)의 근섬유속 길이(fascicle length), 근섬유 정렬각(pennation angle)을 측정 하였다.

편마비 환측군에서 정상군보다 입각기 중 내, 외측 하퇴삼두근의 최대 길이가 감소되어 있었으나 편마비 건측 군과는 뚜렷한 차이가 관찰되지 않았다. 편마비 환측군에서 내, 외측 하퇴삼두근 및 반막양근의 최대 수축 속도가 감소되어 있었다. 편마비 환측군의 외측 비복근의 근섬유속 길이가 슬관절 0도와 45도 굴곡 및 족관절 30도 족저굴곡 시에 제 3 군보다 길게 측정되었다. 편마비 환측군의 외측 비복근의 근섬유 정렬각이 모든 관절의 각도에서 정상군보다 감소되어 있었으며, 내측 비복근의 근섬유 정렬각은 슬관절 45도 굴곡 시에만 정상군보다 감소되어 있었다. 편마비 환측군에서 외측 비복근의 두께가 슬관절 0도-족관절 15도 족저굴곡, 슬관절 45도-족관절 15도 족저굴곡, 슬관절 90도-족관절 30도 족저굴곡 시에 정상군보다 감소되어 있었다. 슬관절 신전 시에 편마비 환측군의 내, 외측 비복근의 심부 근막의 변화가 정상군보다 감소되어 있었다. 족관절 족저굴곡 15-30도 운동 시에는 각 구간 심부 근막의 변화에서 차이가 관찰되지 않았다.

뇌성마비에 의한 근위축의 영향을 가장 많이 받는 근육은 외측 비복근으로 생각된다. 또한 정상군과의 비교 결과 외측 비복근은

근섬유속 길이는 길고 근섬유 정렬각과 두께는 감소된 상태로 생각된다. 같은 관절 조건하에서는 편마비 환아의 내, 외측 비복근의 근섬유 정렬각이 정상군보다 감소되어 있었다. 즉, 편마비 환아에서 족관절 족저굴곡 상태의 비복근의 근섬유 정렬각은 이미 정상아에서 족관절 중립 위의 상태와 유사하며, 편마비 환아에서 족관절 중립 위에서의 근섬유속의 상태는 정상아의 족관절 배부 굴곡상태와 같기 때문에 더 이상의 배부 굴곡이 불가능하다. 또한 이러한 모델 하에서는 같은 족관절 운동범위, 즉 족저굴곡 15도-30도에서는 비복근의 심부 근막의 이동거리에 차이가 없으나, 정상아에서 배부 굴곡 10도까지 심부 근막이 이동한 거리와 비교하였을 때는 두 군간 차이가 나타났던 본 연구의 결과에도 일치한다. 비복근의 심부 근막에 해당하는 부위 혹은 아킬레스 건의 연장이 적합하다고 생각된다.

편마비 환아에서는 비복근의 근섬유 정렬각이 같은 관절 조건하에서 정상아보다 감소되어 있으며, 심부 근막의 이동에는 차이가 없었다. 족관절 배부 굴곡의 호전을 위해서는 Silverskiold 검사 상 음성인 환아에서는 아킬레스 건의 연장이 효과적일 것으로 생각된다.

---

핵심 되는 말: 하퇴삼두근, 뇌성마비, 보행 분석, 초음파

초음파 영상기법과 3차원 동작 분석을 이용한  
뇌성마비 환자의 하퇴삼두근의 내적 구조 평가

<지도교수 김 현 우>

연세대학교 대학원 의학과

박 건 보

I. 서론

발목 족저굴곡의 주동근인 하퇴삼두근(triceps surae)은 내, 외측 비복근(medial and lateral gastrocnemius)과 가자미근(soleus)으로 구성된 근육 복합체이다. 하퇴삼두근은 원위 대퇴골 내, 외과의 상방과 경골 근위부의 세 지점으로부터 기원하며 아킬레스 건(Achilles tendon)이라는 건 구조 연결되어 종골(calcaneus)에 부착되는 독특한 구조를 가진다. 보행 중 족관절 신전근과 함께 족관절의 움직임에 중요한 기능을 하여 하퇴삼두근의 구조와 기능간의 연관성을 밝히기 위한 많은 연구가 수행되고 있다.<sup>1-9</sup>

정상적인 보행에서 입각기 중 족관절의 운동은 세 단계(rocker)로 이루어진다. 초기 접지기에서 중간 입각기까지 족관절 신전근의 신장성 수축(eccentric contraction)에 의해 족관절이 90도 중립위치에서 족저굴곡이 되는 제 1 단계(rocker), 중간 입각기 동안 하퇴삼두근의 신장성 수축(eccentric contraction)에 의해 발바닥이 지면에 닿은 후부터 발뒤꿈치가 들리기 전까지 하퇴부가 전진하는 제 2 단계(rocker), 그리고 하퇴삼두근의 단축성 수축(concentric contraction)

에 의해 발 뒤꿈치가 들리기 시작해 유각기가 시작되는 3단계의 운동에 의하여 정상적인 보행이 이루어진다. 침족 보행은 족관절의 족배 굴곡의 제한과 과도한 족저굴곡으로 인한 병적 보행으로 제 1-2 단계의 소실과 족관절 굴곡-슬관절 신전조합의 불균형으로 중간 입각기에 슬관절의 굴곡 혹은 과도한 신전이 발생한다.<sup>10, 11</sup> 침족 보행은 원인 미상의 침족 보행과 신경 근육계 질환에 의한 침족 보행이 있으며, 과거에 비해 미숙아의 생존율이 증가함에 따라 뇌성마비에 의한 침족 보행에 대한 치료가 증가하고 있다.

뇌성마비 환아에서 침족 보행의 교정을 위한 하퇴삼두근의 연장은 고식적인 Silverskiold 검사<sup>12</sup>에 의해 결정되었다. Silverskiold 검사 상 양성에서는 비복근만이 경직되어 슬관절 신전 위에서는 족관절의 배부 굴곡이 이루어지지 않으나 슬관절을 굴곡하여 원위 대퇴골에서 기시하는 비복근을 이완시켰을 때는 족관절이 수동적으로 배부 굴곡이 이루어지므로 비복근만을 연장하며, 반대로 90도 굴곡 위에서도 배부 굴곡이 이루어지지 않는 음성에서는 가자미근까지 연장을 요하며 아킬레스 건 부위에서 연장을 하게 된다.<sup>10-12</sup> 그러나 Silverskiold 검사는 두 개의 근육이 분리된 가상의 모델에서는 적용이 가능하나, 하퇴삼두근은 세 근육 간의 상호작용뿐만 아니라 탄성특성을 갖는 건 조직과 근육의 역동적 상호작용도 고려해야 하는 복합적인 구조이다. 비복근의 경직이 심부 근막 혹은 아킬레스 건을 통해 가자미근의 운동에 영향을 줄 수 있으며, 각각의 근육 및 건의 탄성특성에 대한 고려가 필요하다.<sup>4, 6, 7, 13</sup> 또한 슬관절 굴곡에 따른 비복근의 이완 정도에 대한 정확한 기준이 제시된 바도 없으며 보행의 호전을 위해서는 운동 각도의 호전뿐만 아니라 뇌성마비에 의한 근력의 약화도 고려해야 한다.

보행 중 하퇴삼두근의 변화에 대해서는 모델을 이용한 3차원 동작 분석 연구가 실시된 바 있다.<sup>9, 14, 15</sup> 그러나 3차원 동작 분석에서 현재 사용되는 모델은 근육과 건의 역동적인 상호작용을 고려하지 않은 근

-건 복합체 전체의 길이를 측정한다는 한계가 있다. 역동적인 근육 및 건에 대한 연구로서 초음파를 이용한 연구가 시행된 바 있다. 특히 하퇴삼두근을 구성하는 세 근육은 상이한 근섬유 분포를 가지고 있을 뿐만 아니라, 근섬유의 배열에 있어서도 각각 특징적인 성향을 가지고 있으므로 그 구조적 특징과 기능간의 연관성을 밝히고자 최근 비침습적 초음파 영상 기법을 사용한 많은 연구가 수행되고 있다.<sup>2, 3, 16-18</sup>

정상 보행에서는 하퇴삼두근의 역동적 변화에 대해 보행 분석 및 초음파를 이용한 다양한 연구가 있었으나, 병적 보행에 대해서는 다양한 원인 및 보행의 다양성, 측정의 어려움 등으로 인해 제한된 연구만이 시행되었다.<sup>14, 15, 19-21</sup> 비록 뇌성마비 환자의 하퇴삼두근에 대한 초음파 연구가 있었으나, 측정의 어려움으로 인해 휴지기 길이만을 측정하거나 관절 각도에 따라 측정을 하였다 하더라도 일부 근육에 제한되어 있었다.<sup>19, 21, 22</sup> 또한, Silverskiold 검사 시에 비복근과 가자미근의 근육 구조의 변화 및 검사 결과에 따른 병적 보행의 차이에 대해서는 연구된 바가 없다. 뇌성마비 환자의 침족 보행의 치료결정에서 Silverskiold 검사에 의해 연장술의 방법이 결정되므로 슬관절 및 족관절의 조건에 따른 근육 구조의 차이 및 병적 보행의 차이간의 연관성이 정립된다면, 술식에 따른 결과 또한 예측 가능할 것이다.

초음파 검사를 이용하여 슬관절과 족관절의 조건에 따른 근육의 미세구조의 차이를 정량적으로 분석하고, 정상 보행과 침족 보행에서 3차원 동작분석을 통하여 하퇴삼두근의 역동적 변화의 차이를 분석하고자 한다. 이를 바탕으로 뇌성 마비 환자를 대상으로 현재 사용되고 있는 Silverskiold 검사를 보완, 대체할 하퇴삼두근 연장술의 생체역학적 근거 및 치료 기준을 제시하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 연구 대상

독립보행이 가능한 편마비 환아를 대상으로 하였다. 선택적 후방 신경근 절단술(selective posterior rhizotomy)을 시행하였거나 기타 뇌성마비에 관련된 다른 수술을 시행 받았거나 최소 6개월 이내 보툴리눔(Botulinum)등의 주사치료를 시행 받은 환아는 제외하였다. 또한 이학적 검사 및 컴퓨터 단층 촬영상 대퇴골 염전이 30도 이상인 환아 및 경골 외회전이 20도 이상, 내회전이 10도 이상인 환아는 제외하였다. 골격계 기형에 의한 검사상의 착오를 줄이기 위해, 첨내반족 혹은 편평 외반족등의 족부 변형 및 상위 슬개골 혹은 슬관절 굴곡 구축과 같은 슬관절의 변화가 있는 환아는 제외하였다.

총 10명의 편마비 환아가 연구대상이었으며 모든 환아는 Silverskiold검사 상 음성으로 아킬레스 건에서의 연장이 필요하다고 판단되었다. 남아가 6명, 여아가 4명이었으며 검사 당시 평균연령은 7년1개월 (5년~10년1개월) 이었다. 같은 연령대의 정상아 10명을 선발하여 대조군으로 하였다. 정상아의 평균 연령은 6년7개월 (5년2개월~8년)이었으며 남아가 6명 여아가 4명이었다. 제 1 군(Group I, 편마비 환아의 환측, 10예)과 제 2 군(Group II, 편마비 환아의 건측, 10예) 그리고 제 3 군(Group III, 정상아, 20예)의 결과를 비교하였다. 정상아군과 편마비군의 성별, 연령, 신장, 체중, 비골 길이에는 통계상 유의한 차이가 관찰되지 않았다. (Table 1)

Table 1. Patient data.

	No.	Sex	Age (month)	Height (cm)	Weight (kg)	Fibular length (mm)	GMFCS	Winter classification
Normal	1	M	83	124	23	260		
	2	M	62	114	21	240		
	3	M	85	131	26	290		
	4	M	85	125	34	270		
	5	M	84	126	26	290		
	6	F	96	116	20	305		
	7	F	88	135	34	264		
	8	F	73	112	20	247		
	9	F	76	128	22	249		
	10	M	92	116	21	281		
	Avg.			82.4	122.7	24.7	269.6	
SD			9.8	7.8	5.4	21.5		
Hemiplegia	1	M	87	135	40	241	II	III
	2	M	60	110	19	237	I	II
	3	M	60	105	18	241	I	III
	4	M	66	112	14	235	II	III
	5	M	60	118	23	230	I	II
	6	F	20	105	14	225	I	II
	7	F	109	163	55	265	I	II
	8	F	121	155	49	334	II	II
	9	F	71	112	18	250	I	II
	10	M	70	104	15	214	I	II
	Avg.			72.4	121.9	26.5	247.2	
SD			28.2	21.6	15.5	33.5		



## 2. 연구 방법

### 가. 3차원 보행 분석

보행은 삼차원 보행분석기인 Vicon 370 Motion Analysis System<sup>®</sup> (Vicon Motion Systems)을 이용하여 운동형상학적 지표(kinematic data)와 운동역학적 지표(kinetic data), 근-건 길이변화를 분석하였다. 13개의 수동 표식자를 각각 제 1 천추골, 양측 전 상방 장골극, 대퇴골 외측 면 중간지점, 대퇴골 외측 상과 직하방의 슬관절 축, 비골 외측 면의 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.<sup>1, 15, 23, 24</sup> 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 슬관절, 족관절의 운동형상학적 변화와 운동역학적 변화는 시상면(sagittal plane)에서 측정하여 표시하였다. 과거 연구에서 시상면을 제외한 다른 면에서의 운동은 하퇴삼두근에 매우 적은 영향을 끼치며 시상면에서의 운동 분석은 신뢰도가 가장 높다고 하였다.<sup>14, 25</sup> 운동형상학적 지표는 관절 운동각(degree)으로 측정되었다. 운동역학적 지표는 환자의 체중을 기준으로 하여 모멘트(moment)는 N·m/kg으로 힘(power)은 N/kg으로 측정되었다. 근육의 길이와 변화 속도는 3차원 보행분석상에서 얻어진 운동형상학적 지표를 이용하여 컴퓨터 상에서 3차원 모델을 작성하고 이에 각 근육의 해부학적 위치를 입력하여 측정하였다. 재구성된 골격 모델에서 각 근육의 기시부로부터 종지부까지의 길이를 측정하고 보행 중 각 근육의 변화 속도를 보행주기 중 2%마다 측정하였다.<sup>23</sup>

근육의 길이(muscle-tendon length)는 보행 중 측정된 근육 길이의 휴지기 길이에 대한 비, 비례 근길이(percent muscle length)로 나타

내었다. 근육의 변화 속도(muscle-tendon velocity)는 보행 중 수축 혹은 연장되는 근육 길이의 변화 속도를 측정하였다. 보행 중 측정된 근육의 길이 변화 속도와 최대 길이 변화 속도에 대한 비율인 비례 근속도(percent muscle velocity)를 계산하였다.<sup>1, 15, 23, 24</sup> 하퇴삼두근(gastrocnemius-soleus complex)과 반막양근(semimembranosus)의 비례 근길기와 근속도를 측정하였다.

측정된 운동형상학적 지표, 운동역학적 지표, 근-건 길이변화는 보행주기의 각 2%마다 측정된 수치를 평균화 하여 각 군의 평균 보행 분석 그래프를 작성하였다. 입각기 중 최대, 최소값의 비교분석을 시행하였다.

#### 나. 초음파 분석

초음파를 이용한 측정은 Accuvix XQ<sup>®</sup> (5~12Mhz, 40mm)를 이용하여 시행하였다. 내, 외측 비복근(Gastrocnemius)과 가자미근(Soleus)의 근섬유속 길이(fascicle length)와 근섬유 정렬각(pennation angle)을 측정하였다. 각 근육의 측정은 근육의 횡단 면적이 최대인 부위에서 시행하였다. 슬와부와 족관절의 외과까지의 길이를 측정하여 내측 비복근과 외측 비복근은 근위부에서 30%, 가자미근은 50% 지점에서 측정을 시행하였다.<sup>2</sup> 정해진 부위에서 초음파 측정 하에 각 근육의 폭을 측정하고 정 중앙에서 측정을 시행하였다.

복와위에서 환자의 긴장을 최소화한 상태로 슬관절의 신전, 45도 굴곡, 90도 굴곡 위와 족관절의 족저굴곡 30도, 15도 와 중립 위, 배부 굴곡 10도의 수동적 조건하에서 근섬유속 길이와 근섬유 정렬각을 측정하였다. 편마비 환자의 경우 모든 환자에서 족저굴곡 15도 이상의 배부 굴곡이 불가능하여 편마비 환자의 환측 및 건측에서는 족저굴곡 30도와 15도만을 측정하였다. 근섬유속 길이는 실제 길이와 함께 비굴 길이에 따라 표준화된 근섬유속 표준 길이를 측정하였다.<sup>19</sup>

근육의 두께는 측정된 근섬유속 길이와 근섬유 정렬각을 이용하여

근육의 두께(근섬유속 길이( $L_{Fascicle}$ ) x Sin(근섬유 정렬각( $\alpha$ )))를 측정하였다<sup>19</sup>. 하퇴삼두근의 모델에서 각 근육의 심부 근막의 변화는 같은 성상의 근 섬유의 변화에 의하여 수동적인 운동 하에서도 일정한 변화를 보인다는 가정하에<sup>3, 5, 6</sup> 근섬유속 길이와 근섬유 정렬각을 이용하여 관절 각도의 변화 시 각 근육의 심부 근막이 이동하는 길이를 측정하였다.(Fig. 1)<sup>2, 8</sup> 적용된 모델은 심부 근막과 표재 근막이 평행한 가상의 모델을 사용하므로 모델에서 측정되는 거리의 변화는 근속-근막 교차점의 변위이다. 그러나 실제 근육은 본 모델이 소구간 연속된 형태라 할 수 있으므로 본 연구에서는 근속-근막 교차점의 변위를 이용하여 간접적으로 심부 근막의 길이변화를 측정하여 비교하였다.

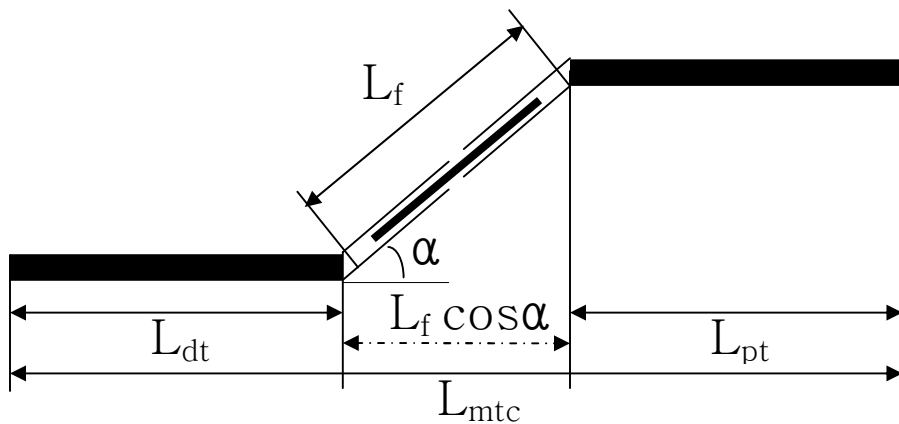


Fig. 1. Measurement of changes of deep aponeurosis.

$$\begin{aligned} \Delta \text{ Deep aponeurosis } (L_f \times \cos \alpha) \\ = (L_{Fascicle-1} \times \cos \alpha_{-1}) - (L_{Fascicle-2} \times \cos \alpha_{-2}) \end{aligned}$$

### 3. 통계학적 분석

편마비 환아의 건축과 환측, 정상군의 세 군의 비교를 시행하였다.

3차원 동작분석 결과의 비교 시 ANOVA test를 사용하여 각 군간의 차이를 검사한 후 Bonfferoni method를 이용하여 사후 검정을 시행하였다. 입각기 중 운동학, 운동역학적 측정치와 근-건 비례 근길이와 비례 근속도의 각 구간 차이를 분석하였다.

초음파 분석 결과는 근섬유속 길이, 근섬유속 표준 길이, 근섬유 정렬각, 근 두께를 각 구간 비교하였으며 Mixed procedure를 이용하여 분석하였다. 각 군내에서 슬관절의 관절운동 범위에 따른 근섬유속 길이 및 근섬유 정렬의 변화를 비교하였으며 GLM procedure(repeated)후 LSD method를 이용하여 사후 검정을 시행하였다. 측정된 근섬유속 길이와 근섬유 정렬각을 통해 측정된 심부 근막의 변화는 각 군에서 족관절 운동이 최대인 경우와 각 군에서 족관절 운동이 동일 범위인 두 조건하에서 Mixed procedure를 이용하여 분석을 시행하였다.

모든 검정에서 각 군의 결과는 정규 분포를 이루었다. P value가 0.05 미만일 경우 통계학적으로 의미 있는 것으로 정의하였다.

### III. 결과

#### 1. 3차원 보행 분석 결과

##### 가. 운동형상학 및 운동역학적 분석

제 1 군의 족저굴곡이 건측 및 정상에 비해 입각기와 유각기의 모든 보행 주기 동안 증가되어 있었으며, 족저굴곡 모멘트와 힘의 생성이 말기 입각기에 감소되어 있었다. 제 1 군에서 초기 입각기의 슬관절 굴곡이 증가되어 있었다. (Fig. 2)

입각기 중 족관절 최대 족저굴곡은 제 1 군에서 최대로 나타났으며 최소 족배굴곡 또한 감소되어 있었다. 제 1 군은 제 3 군보다 최대 족저굴곡 모멘트가 감소되어 있었다. 최대 힘의 생성은 제 1, 2 군 모두 제 3 군보다 감소되어 있었으나, 흡수에서는 차이가 관찰되지 않았다. 슬관절의 입각기 중 최대 굴곡 및 신전은 세 군간 차이가 없었으나 슬관절의 최대 굴곡 모멘트는 제 1 군에서 가장 증가되어 있었다.(Table 2)

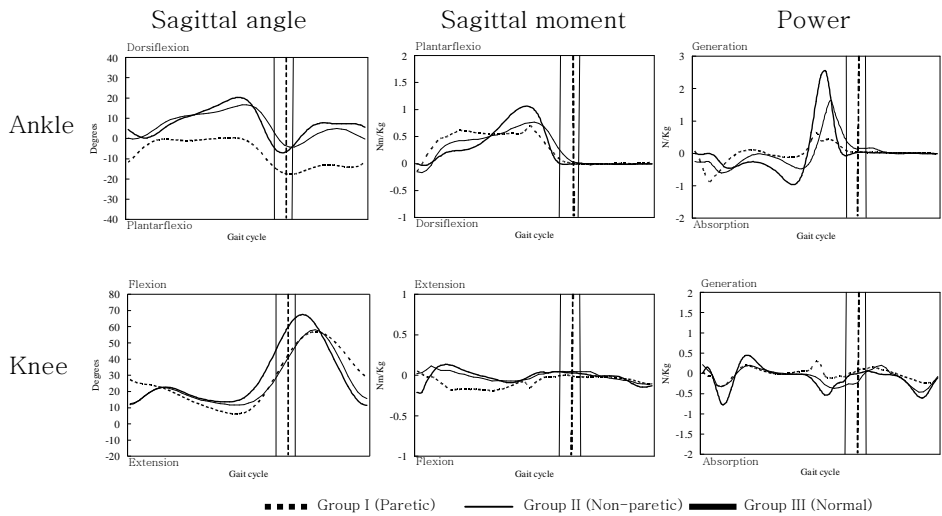


Fig. 2. Changes of sagittal kinetics and kinematics.

Table 2. Comparisons of kinetics and kinematics during stance phase.

		Group I	Group II	Group III	I - III	II - III	I - II
Ankle sagittal angle (Degrees)	Max	3.754 ± 7.271	18.141 ± 3.673	20.530 ± 2.908	***		***
	Min	-16.698 ± 12.346	-4.281 ± 5.445	-2.274 ± 5.740	***		***
Ankle sagittal moment (N·m/Kg)	Max	0.859 ± 0.589	0.819 ± 0.461	1.072 ± 0.156	***		
	Min	-0.244 ± 0.691	-0.234 ± 0.498	-0.074 ± 0.083			
Ankle power (N/Kg)	Max	0.861 ± 0.955	1.657 ± 1.338	2.709 ± 0.904	***	***	
	Min	-0.887 ± 0.740	-1.010 ± 0.813	-1.138 ± 0.308			
Knee sagittal angle (Degrees)	Max	34.677 ± 8.729	35.233 ± 8.291	40.931 ± 15.069			
	Min	5.327 ± 11.056	8.248 ± 4.167	9.309 ± 3.672			
Knee sagittal moment (N·m/Kg)	Max	0.268 ± 0.460	0.228 ± 0.320	0.201 ± 0.157			
	Min	-0.439 ± 0.374	-0.155 ± 0.078	-0.271 ± 0.120		***	
Knee power (N/Kg)	Max	0.643 ± 0.802	0.555 ± 0.495	0.617 ± 0.327			
	Min	-0.589 ± 0.406	-0.687 ± 0.607	-1.114 ± 0.685			

\*\*\*:  $p < 0.05$

Min: minimum

Max: maximum

나. 3차원 골격 모델을 이용한 근-건 길이 분석

제 1 군에서 내, 외측 하퇴삼두근의 비례 근길이가 보행 주기 동안 감소되어 있으며, 비례 근속도의 변화가 특정 구간에서 감소되어 있었다. 제 1 군에서 내, 외측 하퇴삼두근 및 반막양근의 최대 수축 속도가 감소되어 있었다. 제 2 군에서 반막양근의 최대 수축 속도가 제 3 군보다 감소되어 있었다. (Fig. 3)

제 1 군에서 제 3 군보다 입각기 중 내, 외측 하퇴삼두근의 최대 길이가 감소되어 있었으나 제 2 군과는 뚜렷한 차이가 관찰되지 않았다. (Table 3)

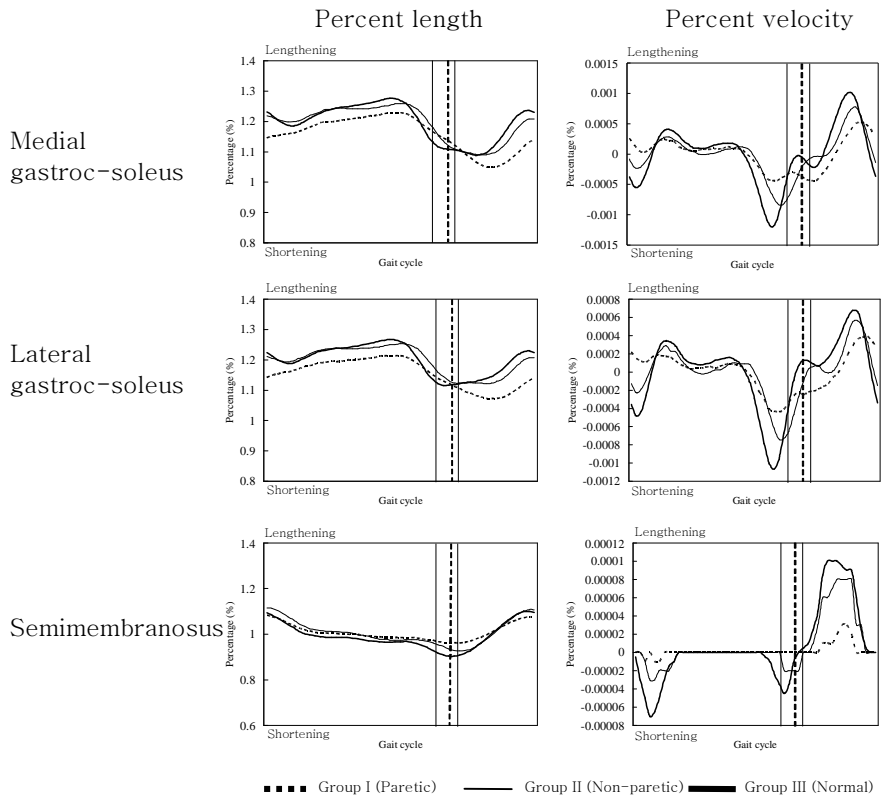


Fig. 3. Changes of percent muscle length and velocity.

Table 3. Comparisons of percent muscle length.

		Group I		Group II		Group III		I-III	II-III	I-II
Percent muscle length	Lateral gastrocnemius	Max	1.142 ± 0.051	1.206 ± 0.040	1.268 ± 0.023	***				
		Min	1.217 ± 0.047	1.258 ± 0.033	1.167 ± 0.030					
	Medial gastrocnemius	Max	1.140 ± 0.049	1.208 ± 0.038	1.277 ± 0.024	***				
		Min	1.232 ± 0.046	1.266 ± 0.026	1.156 ± 0.041					
	Soleus	Max	1.082 ± 0.058	1.115 ± 0.061	1.094 ± 0.049					
		Min	0.971 ± 0.044	0.952 ± 0.040	0.940 ± 0.033					

\*\*\*:  $p < 0.05$

Min: minimum

Max: maximum



## 2. 각 군간 초음파 분석 결과

### 가. 근섬유속 길이

제 1 군의 외측 비복근의 근섬유속 길이가 슬관절 0도와 45도 굴곡 위에서 족관절 30도 족저굴곡 시에 제 3 군보다 길게 측정되었다. (Table 4) 제 1 군의 외측 비복근이 제 2, 3 군보다 길게 측정되었다.

Table 4. Comparisons of fascicle length.

Muscle	Knee	Ankle	Group I (Paretic)	Group II (Non-paretic)	Group III (Normal)	I-III	II-III	I-II
LG	0°	P/F 15°	45.8 ± 10.9	40.5 ± 11.3	38.4 ± 4.8			
		P/F 30°	44.5 ± 10.5	38.3 ± 10.5	34.2 ± 3.5	***		
	45°	P/F 15°	38.9 ± 10.8	34.1 ± 6.4	32.3 ± 5.8			
		P/F 30°	37.3 ± 10.2	33.4 ± 8.4	29.9 ± 5.7	***		
	90°	P/F 15°	35.2 ± 7.1	34.0 ± 9.7	32.9 ± 6.0			
		P/F 30°	33.5 ± 9.0	32.6 ± 9.6	31.0 ± 5.0			
MG	0°	P/F 15°	46.3 ± 11.1	40.6 ± 10.3	44.8 ± 11.8			
		P/F 30°	44.4 ± 12.6	36.9 ± 9.6	40.2 ± 9.2			
	45°	P/F 15°	38.3 ± 8.4	37.7 ± 8.4	36.0 ± 4.7			
		P/F 30°	37.0 ± 9.8	33.9 ± 11.5	34.1 ± 3.6			
	90°	P/F 15°	34.2 ± 5.6	37.1 ± 10.4	36.1 ± 6.0			
		P/F 30°	32.2 ± 9.5	34.4 ± 7.8	36.2 ± 6.4			
SOL	0°	P/F 15°	27.6 ± 7.3	29.3 ± 8.5	28.9 ± 5.7			
		P/F 30°	23.3 ± 6.9	25.0 ± 13.4	27.6 ± 5.8			
	45°	P/F 15°	27.9 ± 4.4	30.1 ± 4.2	28.7 ± 3.9			
		P/F 30°	23.2 ± 3.2	25.2 ± 3.1	27.4 ± 3.8			
	90°	P/F 15°	28.7 ± 6.1	31.8 ± 5.5	33.0 ± 7.6			
		P/F 30°	25.3 ± 3.7	29.5 ± 2.9	29.1 ± 6.1			

\*\*\*:  $p < 0.05$ , Unit: mm

LG: lateral gastrocnemius; MG: medial gastrocnemius

SOL: soleus; P/F: plantarflexion

나. 근섬유속 표준 길이

제 1 군의 외측 비복근의 표준길이가 슬관절 0도 및 45도에서 제 3 군보다 길게 측정되었다. 제 1 군의 내측 비복근의 표준길이가 슬관절 45도 및 족저굴곡 15도에서 길게 측정되었다.(Table 5) 제 1 군의 외측 비복근의 표준 길이가 제 2, 3 군보다 길게 측정되었다.

Table 5. Comparisons of normalized fascicle length.

Muscle	Knee	Ankle	Group I (Paretic)	Group II (Non-paretic)	Group III (Normal)	I-III	II-III	I-II
LG	0°	P/F 15°	0.19 ± 0.04	0.16 ± 0.03	0.13 ± 0.03	***		
		P/F 30°	0.18 ± 0.04	0.15 ± 0.03	0.12 ± 0.03	***		
	45°	P/F 15°	0.16 ± 0.03	0.13 ± 0.02	0.11 ± 0.03	***		
		P/F 30°	0.15 ± 0.03	0.13 ± 0.03	0.11 ± 0.03	***		
	90°	P/F 15°	0.14 ± 0.02	0.13 ± 0.03	0.12 ± 0.03			
		P/F 30°	0.13 ± 0.03	0.13 ± 0.03	0.11 ± 0.03			
MG	0°	P/F 15°	0.19 ± 0.03	0.16 ± 0.04	0.15 ± 0.05			
		P/F 30°	0.18 ± 0.04	0.15 ± 0.03	0.14 ± 0.04			
	45°	P/F 15°	0.15 ± 0.02	0.15 ± 0.03	0.12 ± 0.03	***		
		P/F 30°	0.15 ± 0.03	0.14 ± 0.04	0.12 ± 0.03			
	90°	P/F 15°	0.14 ± 0.01	0.15 ± 0.04	0.12 ± 0.03			
		P/F 30°	0.13 ± 0.02	0.14 ± 0.03	0.13 ± 0.03			
SOL	0°	P/F 15°	0.11 ± 0.03	0.12 ± 0.03	0.10 ± 0.03			
		P/F 30°	0.10 ± 0.03	0.10 ± 0.05	0.09 ± 0.02			
	45°	P/F 15°	0.11 ± 0.02	0.12 ± 0.02	0.10 ± 0.02			
		P/F 30°	0.10 ± 0.01	0.10 ± 0.01	0.09 ± 0.02			
	90°	P/F 15°	0.11 ± 0.02	0.13 ± 0.02	0.11 ± 0.03			
		P/F 30°	0.10 ± 0.01	0.12 ± 0.01	0.10 ± 0.03			

\*\*\*:  $p < 0.05$

Unit: ratio

LG: lateral gastrocnemius

MG: medial gastrocnemius

SOL: soleus

P/F: plantarflexion

#### 다. 근섬유 정렬각

제 1 군의 외측 비복근의 근섬유 정렬각이 모든 관절의 각도에서 제 3 군보다 감소되어 있었으며(Fig. 4), 내측 비복근의 근섬유 정렬각은 슬관절 45도 굴곡 시에 제 3 군보다 감소되어 있었다. 제 2 군의 외측 비복근의 근섬유 정렬각이 슬관절 0도와 45도 굴곡 시 제 3 군보다 감소되어 있었다. (Table 6) 각 군 간 관절의 굴곡에 따른 외측 및 내측 비복근의 근섬유 정렬각의 증가는 통계상 유의한 차이가 있었다.

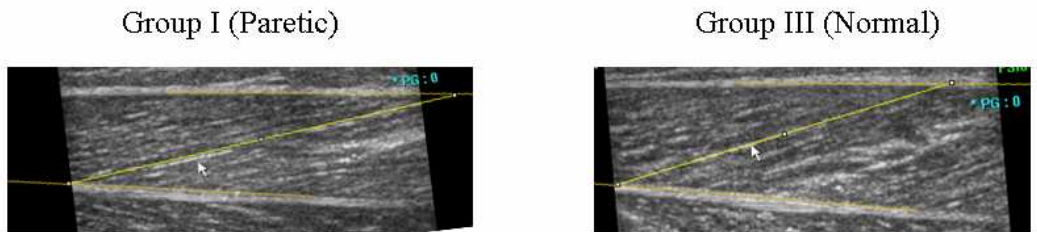


Fig. 4. Pennation angle of lateral gastrocnemius in paretic group and normal group at knee 0° and ankle plantarflexion 15°. Fascicle angle is smaller in group I (paretic).

Table 6. Comparisons of pennation angle.

Muscle	Knee	Ankle	Group I (Paretic)	Group II (Non-paretic)	Group III (Normal)	I-III	II-III	I-II
LG	0°	P/F 15°	13.0 ± 2.4	16.0 ± 3.2	20.0 ± 3.3	***	***	
		P/F 30°	14.9 ± 2.6	17.6 ± 3.7	21.7 ± 3.5	***	***	
	45°	P/F 15°	13.2 ± 5.6	16.0 ± 5.1	21.8 ± 3.2	***	***	
		P/F 30°	16.8 ± 4.8	17.9 ± 5.1	24.8 ± 3.8	***	***	
	90°	P/F 15°	15.6 ± 3.6	17.3 ± 6.3	21.7 ± 3.8	***		
		P/F 30°	15.4 ± 4.5	19.3 ± 8.3	23.7 ± 4.6	***		
MG	0°	P/F 15°	12.7 ± 2.8	14.2 ± 3.2	14.2 ± 3.1			
		P/F 30°	13.7 ± 2.2	15.1 ± 2.7	15.4 ± 3.8			
	45°	P/F 15°	10.8 ± 2.9	12.0 ± 4.6	15.1 ± 4.1	***		
		P/F 30°	12.5 ± 2.5	14.2 ± 4.5	15.8 ± 3.3	***		
	90°	P/F 15°	14.5 ± 4.1	15.4 ± 3.9	16.2 ± 3.4			
		P/F 30°	13.7 ± 4.9	17.5 ± 4.7	17.7 ± 4.2			
SOL	0°	P/F 15°	22.8 ± 6.9	18.4 ± 6.9	21.1 ± 4.9			
		P/F 30°	25.7 ± 4.7	17.5 ± 6.8	22.3 ± 5.7			
	45°	P/F 15°	21.0 ± 3.7	23.1 ± 5.3	21.3 ± 5.4			
		P/F 30°	24.4 ± 5.6	26.2 ± 8.0	24.3 ± 6.2			
	90°	P/F 15°	20.1 ± 6.3	17.8 ± 6.3	20.7 ± 4.4			
		P/F 30°	22.4 ± 3.8	19.7 ± 5.2	22.4 ± 6.7			

\*\*\*:  $p < 0.05$

Unit: degree

LG: lateral gastrocnemius

MG: medial gastrocnemius

SOL: soleus

P/F: plantarflexion

라. 근 두께

제 1 군에서 외측 비복근의 두께가 슬관절 0도-족관절 15도 족저굴곡, 슬관절 45도-족관절 15도 족저굴곡, 슬관절 90도-족관절 30도 족저굴곡 시에 제 3 군보다 감소되어 있었다. (Table 7) 제 1 군의 외측 및 내측 비복근의 두께가 감소되어 있었다.

Table 7. Comparisons of muscle width.

Muscle	Knee	Ankle	Group I (Paretic)	Group II (Non-paretic)	Group III (Normal)	I-III	II-III	I-II
LG	0°	P/F 15°	10.4 ± 3.8	11.2 ± 3.9	13.0 ± 1.9	***		
		P/F 30°	10.5 ± 4.8	11.9 ± 4.8	12.5 ± 1.4			
	45°	P/F 15°	8.6 ± 3.8	9.4 ± 3.7	11.8 ± 1.8	***		
		P/F 30°	10.8 ± 3.5	10.4 ± 4.3	12.3 ± 1.8			
	90°	P/F 15°	9.5 ± 3.1	10.2 ± 5.0	12.0 ± 2.2			
		P/F 30°	8.9 ± 3.8	11.2 ± 5.2	12.3 ± 2.3	***		
MG	0°	P/F 15°	10.2 ± 3.7	10.2 ± 4.0	10.8 ± 2.8			
		P/F 30°	10.3 ± 3.1	9.7 ± 3.5	10.5 ± 2.5			
	45°	P/F 15°	7.6 ± 3.0	7.8 ± 3.2	9.2 ± 2.5			
		P/F 30°	8.3 ± 3.4	8.4 ± 3.8	9.2 ± 1.5			
	90°	P/F 15°	8.7 ± 3.3	9.9 ± 4.0	9.8 ± 1.7			
		P/F 30°	7.7 ± 3.4	10.5 ± 4.5	10.7 ± 1.7	***		
SOL	0°	P/F 15°	9.5 ± 2.6	9.1 ± 7.0	10.2 ± 1.9			
		P/F 30°	9.0 ± 2.3	7.7 ± 7.1	10.5 ± 2.3			
	45°	P/F 15°	10.3 ± 2.4	11.6 ± 2.1	10.3 ± 2.5			
		P/F 30°	9.8 ± 2.9	11.0 ± 3.9	11.2 ± 3.1			
	90°	P/F 15°	9.5 ± 3.1	11.2 ± 5.7	11.4 ± 2.4			
		P/F 30°	9.2 ± 1.6	10.1 ± 3.7	10.7 ± 2.4			

\*\*\*:  $p < 0.05$

Unit: mm

LG: lateral gastrocnemius

MG: medial gastrocnemius

SOL: soleus

P/F: plantarflexion

### 3. 슬관절 각도에 따른 변화

#### 가. 근섬유속 길이

제 1 군 및 제 3 군에서 내, 외측 비복근의 근섬유속 길이가 슬관절 굴곡이 증가할수록 근섬유속 길이가 감소하였으나( $p < 0.05$ ) 가자미근에서는 슬관절 굴곡에 의한 영향이 뚜렷하지 않았다. 또한 제 3 군에서 슬관절 신전 시에는 족관절 굴곡에 따라 근섬유속 길이의 감소가 뚜렷하였으나( $p < 0.05$ ) 슬관절 90도 굴곡 위에서는 길이 변화가 관찰되지 않았다. (Fig. 5)

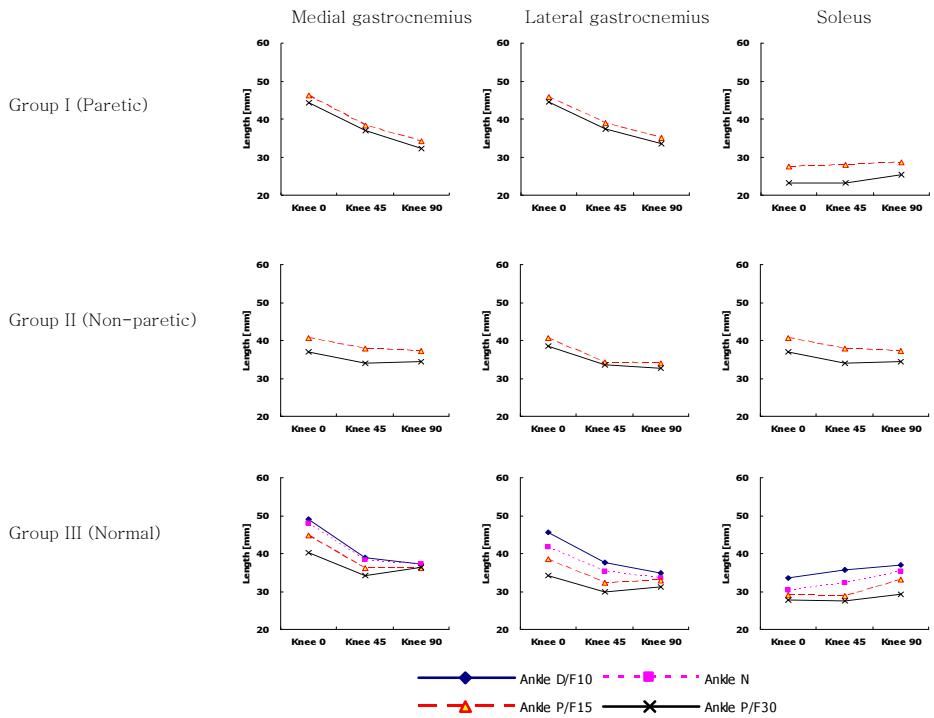


Fig. 5. Changes of fascicle length. Unit: mm

나. 근섬유 정렬각

제 3 군에서 내, 외측 비복근의 근섬유 정렬각이 슬관절 굴곡이 증가함에 따라 증가하였다. ( $p < 0.05$ ) 그러나 가자미근에서는 슬관절 굴곡에 따른 변화가 관찰되지 않았다. 제 1 군에서는 슬관절 굴곡에 따른 뚜렷한 변화가 관찰되지 않았다. (Fig. 6)

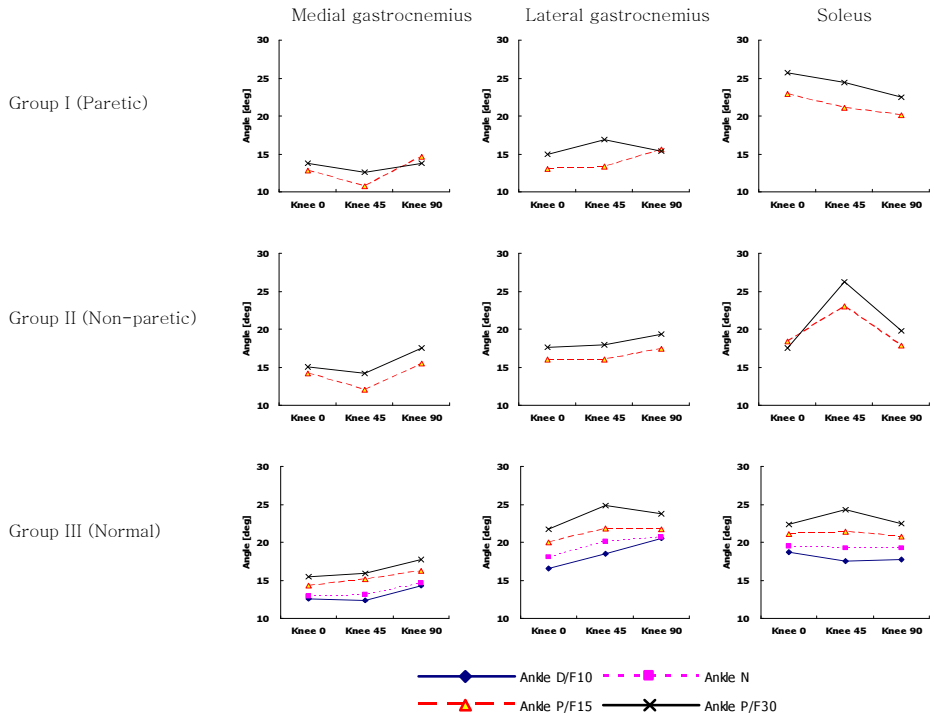


Fig. 6. Changes of pennation angle. Unit: degree

다. 근 두께  
 각 군에서 슬관절 굴곡에 따른 근 두께의 통계상 유의한 변화는 관찰되지 않았다. (Fig. 7)

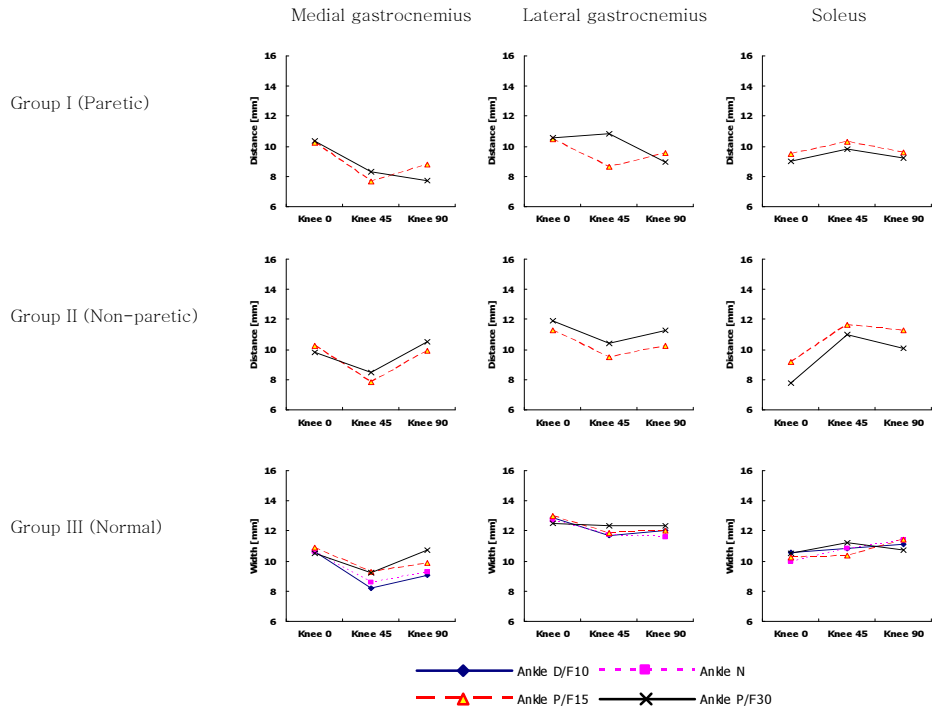


Fig. 7. Changes of muscle width. Unit: mm



#### 4. 심부 근막의 변화

가. 족관절 최대 운동 시 슬관절 각도에 따른 변화

슬관절 신전 시에 제 1 군의 내, 외측 비복근의 심부 근막의 변화가 제 3 군보다 감소되어 있었다. ( $p < 0.05$ ) 슬관절 굴곡이 증가함에 따라 제 3 군의 내, 외측 비복근의 심부 근막의 변화가 감소 하였으나( $p < 0.05$ ) 가자미근의 심부 근막의 변화는 뚜렷하지 않았다. 제 1 군에서는 비복근과 가자미근 모두에서 슬관절 굴곡에 따른 심부 근막의 변화는 관찰되지 않았다. (Fig. 8) 외측 및 내측 비복근의 심부 근막의 변화는 제 3 군에서 제 1, 2 군보다 증가되어 있었다.

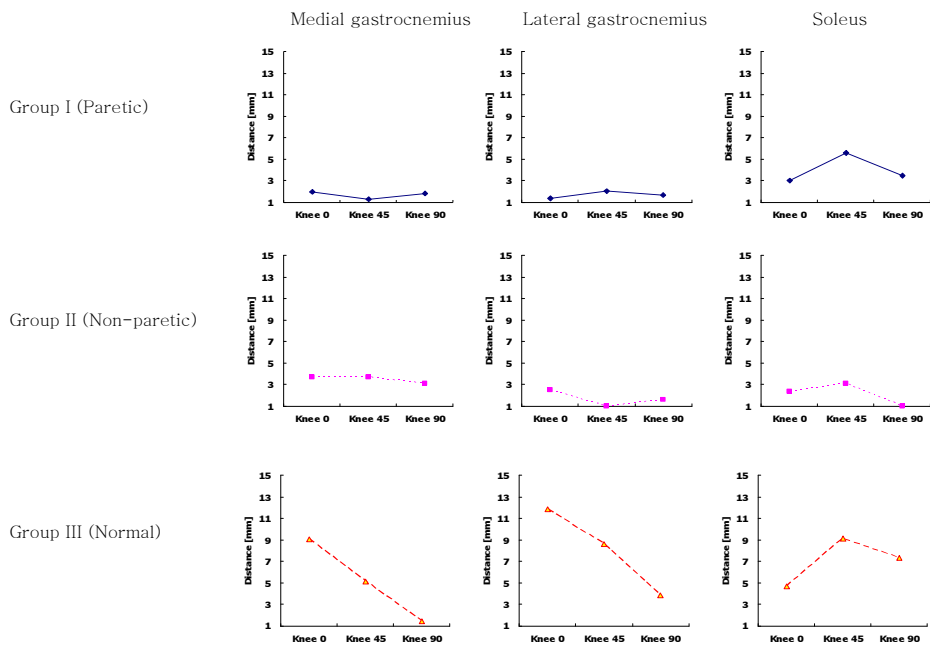


Fig. 8. Changes in the distance of deep aponeurosis during full ankle motion. Unit: mm

나. 족관절 족저굴곡 15-30도 운동 시 슬관절 각도에 따른 변화  
 족관절 족저굴곡 15-30도 운동 시에는 각 군간 심부 근막의  
 변화에서 차이가 관찰되지 않았다. (Table 8)

Table 8. Comparisons of changes in deep aponeurosis.

Muscle	Knee	Group I (Paretic)	Group II (Non-paretic)	Group III (Normal)	I-III	II-III	I-II
MG	0°	1.9 ± 4.4	3.6 ± 2.6	4.6 ± 5.9			
	90°	1.8 ± 6.0	3.1 ± 4.5	0.1 ± 5.6			
LG	0°	1.4 ± 2.7	2.4 ± 3.0	4.3 ± 3.6			
	90°	1.6 ± 4.9	1.6 ± 3.6	3.5 ± 7.8			
SOL	0°	3.0 ± 2.8	2.3 ± 6.6	1.1 ± 2.4			
	90°	3.4 ± 9.8	1.0 ± 2.1	6.2 ± 8.3			

Unit: mm

\*\*\*:  $p < 0.05$

LG: lateral gastrocnemius

MG: medial gastrocnemius

SOL: soleus

#### IV. 고찰

뇌성마비 환아에서 하퇴삼두근의 경직으로 인한 침족 보행에 대한 치료는 하퇴삼두근의 연장술이 가장 적합하며 유일한 치료로 제시되어 왔다. 그러나, 하퇴삼두근에 대한 연장술은 중기 입각기의 배부 굴곡을 호전 시킬 수는 있으나 근력이 약화된 환아에서 더욱 근력을 약화시킨다는 한계 때문에 임상에서 연장술의 범위와 정도의 결정에 있어 많은 어려움이 있었다. 따라서 고식적인 Silverskiold 방법 외에 3차원 보행 분석의 도움을 받았으나 여전히 연장부위에 있어서는 Silverskiold 방법에 의존해 왔다.

기존 3차원 동작분석에 더불어 근-골격 모델을 이용한 근-건 길이 측정방법이 소개된 후 하퇴삼두근의 길이 및 속도 변화에 대한 연구가 시도되었다. Baddar 등<sup>15</sup>은 비복근 퇴축술(gastrocnemius recession) 후 보행 호전 및 길이 호전을 보고하였으나 양하지 마비 환아만을 대상으로 하였고, Wren 등<sup>14</sup> 또한 비복근 퇴축술 후의 호전을 보고하였으나 편마비와 양하지 마비환아가 구분되지 않았다. 그러나 일련의 연구를 통해 하퇴삼두근의 길이가 정상 보행에서는 초기 유각기에 가장 짧으며 정적 구축이 있는 뇌성마비 환아에서 동적 구축이 있는 환아보다 하퇴삼두근의 길이가 짧다는 결과가 제시되었다.<sup>9, 14, 15</sup> 본 연구에서는 동일 연령대의 Silverskiold 음성인 편마비와 정상환아를 비교한 결과 하퇴삼두근의 길이가 짧게 나타났으며, 입각기 중 수축 및 이완속도 또한 감소되어 있었다. 그러나 본 연구에 적용된 모델 또한 근육과 건 부위에 대한 구분 및 비복근과 가자미근의 구분이 불가능하므로 근-건 길이 분석에 대한 결과만으로는 아킬레스 건 연장술을 결정할 수 없다고 생각된다.

초음파를 이용한 근육 내부 미세구조에 대해서는 많은 연구가 있었으며 하퇴삼두근은 근육의 구조적-기능적 특성이 다른 세 근육이 하나의 기능적 근육 군을 형성하고 있는 점을 들어 정상인에서 많은

연구가 시행되었다. Kawakami 등<sup>2</sup>은 정상 성인을 대상으로 한 연구를 통해 수동적 조건하에서 슬관절 및 족관절이 굴곡됨에 따라 비복근의 근섬유속 길이는 짧아지고 근섬유 정렬각은 커지며 가자미근은 족관절의 영향만을 받는다고 하였다. 본 연구에서도 슬관절 및 족관절이 굴곡됨에 따라 정상 소아에서는 비복근의 근섬유속 길이는 짧아졌으며 근섬유 정렬각은 증가하였다. 또한 가자미근은 족관절 굴곡이 증가할수록 근섬유속 길이는 짧아지고 근섬유 정렬각은 증가하였으나, 슬관절 각도에 따른 근섬유속 길이 및 각의 변화를 보이지 않았다. 따라서 Silverskiold의 가정과 같이 가자미근은 슬관절 굴곡에 따른 영향이 적다고 할 수 있다. Bojsen-Moller 등<sup>7</sup>은 슬관절 신전 위에서는 내측 비복근의 심부 근막이 가자미근보다 더 많이 이동하나 슬관절 굴곡이 증가할수록 심부 근막의 이동거리가 역전된다고 하였다. 본 연구에서도 비복근의 심부 근막의 변화는 슬관절 굴곡이 증가 함에 따라 순차적으로 감소하고 슬관절 90도 굴곡 위에서는 가자미근의 심부 근막의 이동이 더 증가하여 슬관절 90도 굴곡 위에서는 심부 근막의 이동거리가 역전되었다. 그러나, 가자미근의 심부 근막의 변화가 정상과 편마비 환측 모두에서 슬관절 굴곡 45도에서 가장 증가되어 있었으며, 따라서 45도까지는 비복근이 가자미근의 운동에 영향을 주며, 90도까지 굴곡이 되어야 비복근의 영향을 무시할 수 있을 것으로 생각된다.

Shortland 등<sup>19</sup>은 수동적 운동 하에서 경직성 양하지 마비 환아의 내측 비복근을 정상 소아와 비교하여 근섬유속 길이는 차이가 없으며 관절의 특정 각도에서 근섬유 정렬각이 감소되어 있다고 보고한 바 있으며, Malaiya 등<sup>22</sup>은 휴지기 상태와 족관절 최대 족배굴곡 상태의 편마비 환아와 정상 환아의 내측 비복근을 비교하여 근섬유 정렬각은 감소되어 있으나 근섬유속 길이는 차이가 없다고 하였다. 반면, Mohagheghi 등<sup>21</sup>은 편마비 환아에서 편측과 환측의 내, 외측

비복근의 휴지기 상태길이(resting length)을 측정하여 근섬유속 길이와 근육의 두께는 감소되어 있으나 근섬유 정렬각에는 차이가 없다고 보고한 바 있다. 이들 연구 모두 뇌성마비 환아를 대상으로 하였음에도 이러한 차이가 나타난 이유는 편마비와 양하지 마비라는 질환 자체의 차이, 관절각도의 변화에 따른 근육 간 상호작용에 의한 차이, 측정 부위에 따른 차이 등이 원인이 될 수 있다. 본 연구에서는 편마비 환아만을 대상으로 환측과 건측 뿐만 아니라 동 연령대의 정상 소아와 비교를 시행하였으며, 측정 부위에 따른 차이를 최소화하기 위해 Kawakami 등<sup>2</sup>이 제시한 바와 같이 근육의 횡단 면적이 최대인 부위의 정 중앙에서 초음파 검사를 시행하였다.

내측 비복근 및 가자미 근의 경우는 근섬유속 길이와 근육 두께가 정상군 및 편마비 환측과 비교 시에 차이가 없었으며 내측 비복근의 근섬유 정렬각만이 Shortland 등<sup>19</sup>과 Malaiya 등<sup>22</sup>의 결과와 같이 정상군 보다 감소되어 있었다. 반면 Mohagheghi 등<sup>21</sup>은 편마비 환아에서 근섬유속 길이는 감소되어 있고 근섬유 정렬각에는 차이가 없다고 하였지만, 본 결과에서는 외측 비복근의 근섬유속 길이는 정상군보다 증가하고 근섬유 정렬각은 정상군보다 감소되어 있었다. 이는 편마비 내에서의 비교와 정상군과의 비교라는 연구 대상의 차이 및 휴지기 근육의 길이와 관절의 변화에 따른 차이라는 연구 방법의 차이에 의한 결과로 인하여 직접적인 비교는 타당하지 않을 것으로 생각된다.

뇌성마비로 인한 근위축의 영향을 가장 많이 받는 근육은 외측 비복근으로 생각된다. 또한 정상군과의 비교 결과 수동적 조건하에서 외측 비복근은 근섬유속 길이는 길고 각과 두께는 감소된 상태였다. 정상인에서의 연구결과이나 근섬유 정렬각이 비후된 근육에서 증가되어 있다는<sup>18</sup> 연구결과를 고려할 때 위축된 근육에서는 근섬유 정렬각이 감소되어 있을 것으로 생각된다. Shortland 등<sup>20</sup>은 경직성 양하지 마비 환아에서 비복근 연장술을 시행하였을 때 휴지기의

근섬유속 길이는 짧아지고 각은 커진다고 보고한 바 있다. 근육 자체를 정상화 시키는 수술이라고 할 수는 없으나 연장술을 통해 비교적 정상에 가까운 운동을 할 수 있는 조건을 만들 수 있다고 가정할 때, 경직 상태에서 근섬유속 길이가 길고 각은 작은 상태에서 연장술 후 길이는 짧아지고 각은 커지는 변화가 생길 것으로 예상된다.

이와 같은 결과를 종합해 볼 때 같은 관절 조건하에서는 편마비 환자의 내, 외측 비복근의 근섬유 정렬각이 정상군보다 감소되어 있다. 즉, 편마비 환자에서 족관절 족저굴곡 상태의 비복근의 근섬유 정렬각은 이미 정상아에서 족관절 중립 위의 상태와 유사하며, 편마비 환자에서 족관절 중립 위에서의 근섬유속의 상태는 정상아의 족관절 배부 굴곡상태와 같기 때문에 더 이상의 배부 굴곡이 불가능하다. 또한 이러한 모델 하에서는 같은 족관절 운동범위, 즉 족저굴곡 15도-30도에서는 비복근의 심부 근막의 이동거리에 차이가 없으나 정상아에서 배부 굴곡 10도까지 심부 근막이 이동한 거리와 비교하였을 때는 두 군간 차이가 나타났던 본 연구의 결과에도 일치한다. 따라서 이러한 모델 하에서는 비복근의 심부 근막에 해당하는 부위 혹은 아킬레스 건의 연장이 적합하다고 생각된다. (Fig. 9)

Fukunaga 등<sup>3</sup>은 정상인에서 중기 입각기의 족관절 배부 굴곡 시 근섬유속 길이의 변화는 일정하고 인대의 길이 변화가 뚜렷하며, 따라서 족관절 배부 굴곡에는 아킬레스 건이 중요하다고 하였다. 또한 본 연구 결과에서 편마비 환자의 환측 비복근이 슬관절 90도 굴곡 위에서 초음파 상에서는 심부 근막의 이동에서 차이가 없었으나 3차원 동작 분석을 이용한 근-골격모델에서는 슬관절이 굴곡된 유각기에도 하퇴삼두근의 단축이 확인되었다. 비록 초음파 결과는 보행 중인 아닌 관절의 각도에 따른 변화만을 측정하였으나, 과거의 연구 결과와 본 연구의 모든 결과를 고려할 때 단지 비복근의 심부

근막에 대한 연장술을 시행하는 것보다는 아킬레스 건에 대한 연장술이 더 적합할 것으로 생각된다. 또한 Silverskiold 검사 음성인 편마비 환자에서도 같은 관절각도에서 정상군과 마비군에서 비복근의 심부 근막 이동거리가 차이가 없었던 점을 고려할 때 Silverskiold 검사 양성 혹은 경직성 양하지 마비환아에서는 아킬레스 건 연장술을 피해야 할 것으로 생각된다. 그러나, 본 연구 결과 제시된 근 모델에 대한 검증을 위하여 추후 아킬레스 건 연장술 후 근섬유속 및 심부 근막의 변화에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

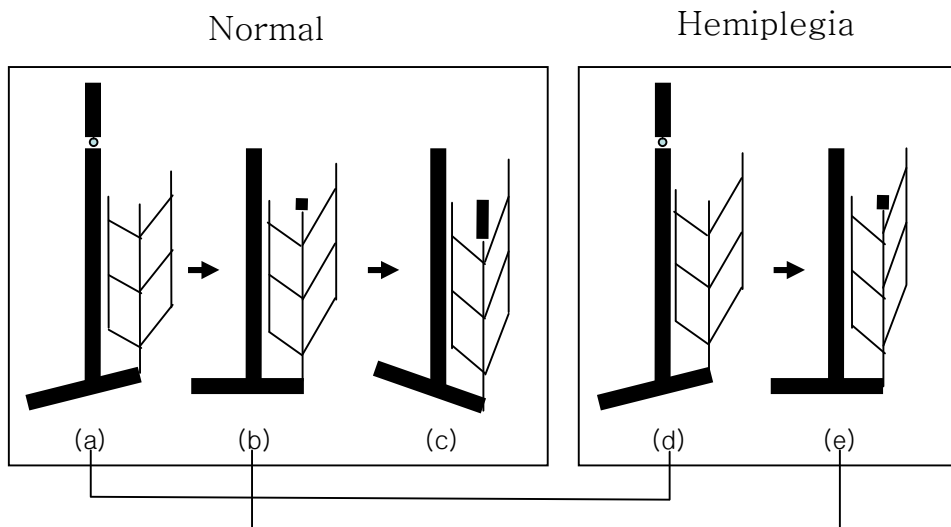


Fig. 9. The model of muscle architecture at different ankle joint: The fascicle angle of b and d are same. And the fascicle angle of c and e are same, so in hemiplegia, further ankle dorsiflexion cannot proceed. Changes of deep aponeurosis (thick line) show the same distance in b and e.

## V. 결론

편마비 환아에서는 비복근의 근섬유 정렬각이 같은 관절 조건하에서 정상아보다 감소되어 있으며, 심부 근막의 이동에는 차이가 없었다. 그러나 최대 관절 운동하에서는 편마비 환아의 비복근의 심부 근막 이동이 감소되어 있었다. 족관절 배부 굴곡의 호전을 위해서는 Silverskiold 검사 상 음성인 편마비 환아에서는 아킬레스 건의 연장이 효과적일 것으로 생각된다. 또한 Silverskiold 검사 상 양성인 뇌성마비 환아에서는 아킬레스 건 연장술을 피해야 할 것으로 생각된다.



## VI. 참고문헌

1. **Eames NWA, Baker RJ, Cosgrove AP.** *Defining gastrocnemius length in ambulant children. Gait Posture 1997; 6: 9-17.*
2. **Kawakami Y, Ichinose Y, Fukunaga T.** *Architectural and functional features of human triceps surae muscles during contraction. J Appl Physiol 1998; 85(2): 398-404.*
3. **Fukunaga T, Kubo K, Kawakami Y, Fukashiro S, Kanehisa H, Maganaris CN.** *In vivo behaviour of human muscle tendon during walking. Proc R Soc Lond B 2001; 268: 229-33.*
4. **Muramatsu T, Muraoka T, Takeshita D, Kawakami Y, Hirano Y, Fukunaga T.** *Mechanical properties of tendon and aponeurosis of human gastrocnemius muscle in vivo. J Appl Physiol 2001; 90(5): 1671-8.*
5. **Fukunaga T, Kawakami Y, Kubo K, Kanehisa H.** *Muscle and tendon interaction during human movements. Exerc Sport Sci Rev 2002; 30:106-10.*
6. **Muramatsu T, Muraoka T, Kawakami Y, Fukunaga T.** *Superficial aponeurosis of human gastrocnemius is elongated during contraction: implications for modeling muscle-tendon unit. J Biomech 2002; 35: 217-23.*
7. **Bojsen-Moller J, Hansen P, Aagaard P, Svantesson U, Kjaer M, Magnusson SP.** *Differential displacement of the human soleus and medial gastrocnemius aponeuroses during isometric plantar flexor contractions in vivo. J Appl Physiol 2004; 97(5): 1908-14.*

8. **Lichtwark GA, Bougoulas K, Wilson AM.** *Muscle fascicle and series elastic element length changes along the length of the human gastrocnemius during walking and running. J Biomech 2007; 40(1): 157-64.*
9. **Orendurff MS, Segal AD, Aiona MD, Dorociak RD.** *Triceps surae force, length and velocity during walking. Gait Posture 2005; 21: 157-63.*
10. **Morrissy RT, Weinstein SL.** *Lovell and Winter's Pediatric Orthopaedics. Vol. 1, 6th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2006.*
11. **Herring JA.** *Tachdjian's Pediatric Orthopaedics. Vol. 2, 3 ed. Philadelphia: W.B. Saunders Company; 2002.*
12. **Silfverskiold N.** *Reduction of the uncrossed two joint muscles of the one-to-one muscle in spastic conditions. Acta Chir Scand 1923; 56: 315.*
13. **Scott SH, Loed GE.** *Mechanical properties of aponeurosis and tendon of the cat soleus muscle during whole-muscle isometric contractions. J Morphol 1995; 224: 73-86.*
14. **Wren TAL, Patrick Do K, 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 2004; 37: 1321-7.*
15. **Baddar A, Granata K, Damiano DL, Carmines DV, Blanco JS, Abel MF.** *Ankle and knee coupling in patients with spastic diplegia: effect*

*of gastrocnemius-soleus lengthening. J Bone Joint Surg (Am) 2002; 84: 736-44.*

16. **Jones DA, Rutherford OM, Parker DF.** *Physiological changes in skeletal muscle as a result of strength training. QJ Exp Physiol 1989; 74: 233-56.*

17. **Kawakami Y, Fukunaga T.** *New insights into in vivo human skeletal muscle function. Exerc Sport Sci Rev 2006; 34(1): 16-21.*

18. **Kawakami Y, Abe T, Fukunaga T.** *Muscle-fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles. J Appl Physiol 1993; 74(6): 2740-4.*

19. **Shortland AP, Harris CA, Gough M, Robinson R.** *Architecture of the medial gastrocnemius in children with spastic diplegia. Dev Med Child Neurol 2001; 43: 796-801.*

20. **Shortland AP, Fry NR, Eve LC, Gough M.** *Changes to medial gastrocnemius architecture after surgical intervention in spastic diplegia. Dev Med Child Neurol 2004; 46: 667-73.*

21. **Mohagheghi AA, Khan T, Meadows TH, Giannikas K, Baltzopoulos V, Maganaris CN.** *Differences in gastrocnemius muscle architecture between the paretic and non-paretic legs in children with hemiplegic cerebral palsy. Clin biomech 2007; 22(6): 718-24.*

22. **Malaiya R, Mcnee AE, Fry NR, Eve LC, Gough M, Shortland AP.** *The morphology of the medial gastrocnemius in typically developing children and children with spastic hemiplegic cerebral palsy. J Electromyogr Kinesiol 2007; 17(6): 657-63.*

23. **Schutte LM HS, Gage JR.** *Lengths of hamstrings and psoas muscles during crouch gait: effects of femoral anteversion. J Orthop Res 1997; 15: 615-21.*

24. **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.*

## **Abstract**

Evaluation of triceps surae  
in children with cerebral palsy  
by ultrasonography and gait analysis

Kun-bo Park

*Department of Medicine  
The Graduate School, Yonsei University*

(Directed by Professor Hyun-woo Kim)

The most common ankle deformity in patients with cerebral palsy is ankle equinus deformity. The treatment of ankle equinus is the lengthening of triceps surae and the choice of surgical method was decided by Silverskiold test. Silverskiold test was effective in the model with independent muscle, but in vivo, the spasticity of gastrocnemius was affected by the spasticity of soleus and the differences of the strain between muscle and tendon affect to the spasticity of triceps surae. For application of Silverskiold test in patients with cerebral palsy, the changes of micro-architecture of the spastic triceps surae in accordance with knee joint angle should be proved. The purpose of this study is analysis of the changes and differences of micro-architecture of triceps surae in cerebral palsy and suggestion of the guide line for the lengthening of triceps surae.

Ten children with spastic hemiplegia were recruited and

age-matched 10 normally developing children were recruited for comparison. Ultrasonography and 3-dimensional gait analysis was used. The fascicle length, pennation angle, muscle width and changes of deep aponeurosis were measured. Sagittal kinetic and kinematic data were reported and the percent muscle length and velocity of gastrocnemius-soleus complex and semimembranosus were recorded. The data of paretic, non-paretic and normal were compared.

Percent muscle length and velocity of the gastrocnemius-soleus complex were short in paretic group. Fascicle length of the lateral gastrocnemius in paretic group was measured longer and pennation angle of the lateral gastrocnemius in paretic group was measured smaller than those of normal group. During ankle plantarflexion from 15 degrees to 30 degrees, the changes of deep aponeurosis was not different significantly between groups, but during ankle motion at possible range in each group, the changes of deep aponeurosis was increased in normal group.

At the same knee and ankle joint angle, pennation angle of the lateral gastrocnemius in hemiplegia was more decreased than normal children. From the neutral position of the ankle, pennation angle of lateral gastrocnemius in normal children was more decreased following ankle dorsiflexion, but in hemiplegia, pennation angle of lateral gastrocnemius was already decreased than normal children, so further ankle dorsiflexion is impossible. This model can explain the differences in the changes of deep aponeurosis during full ankle motion and no significant differences in the changes of deep aponeurosis during same degrees of ankle motion.

Pennation angle of lateral gastrocnemius is decreased in

hemiplegia and the changes of deep aponeurosis during same degrees of ankle plantarflexion were not significantly different between normal and hemiplegia. For improvement of gait in Silverskiold negative hemiplegia, heel cord lengthening is a more appropriate procedure

-----  
Key Words: triceps surae, cerebral palsy, gait analysis, ultrasonography