

## 보행 가능한 편마비 환자에서 편측 및 건측 하지 발목 관절의 인대와 힘줄의 초음파 비교

박지웅

순천향대학교 의과대학 재활의학과

안재기, 박용범, 배원식

인제대학교 의과대학 상계백병원 재활의학과

### Abstract

#### The Comparison of Sonographic Features of Ankle Ligament and Tendon in Affected Side With Non-Affected Side Ambulatory of Hemiplegic Patients

**Ji-woong Park, M.D.**

Dept. of Physical Medicine and Rehabilitation, College of Medicine, Soonchunhyang University

**Jae-ki An, Ph.D., M.D.**

**Yong-bum Park, M.D.**

**Won-sik Bae, P.T.**

Dept. of Physical Medicine and Rehabilitation, Sanggye Paik Hospital, College of Medicine, Inje University

In chronic ambulatory hemiplegic patients, structural changes might be developed at both ankles possibly due to unequal and repetitive weight bearing on tendons and ligaments. We examined ankles by sonography to find out structural changes of tendons and ligaments of both ankles in ambulatory hemiplegic patients. Nineteen ambulatory hemiplegic patients over 1 year were included as study subjects. All subjects had no previous trauma or disease history in their ankle joints and they were able to walk independently or with supervision but had spastic ankles with equinovarus tendency. We examined both ankle joints by sonography to see joint effusion and measure width, thickness, and area of tendons of the tibialis anterior, tibialis posterior, and Achilles, and also ligaments of the anterior talofibular and calcaneofibular. We compared sonographic features of the hemi-side ankle with the sound-side ankle. There were no significant differences between hemi-side and sound-side ankles in almost all measured parameters of tendons and ligaments. However, the width of the hemi-side tibialis posterior tendon ( $7.24 \pm 1.52$  mm) was narrower than the sound-side tendon ( $8.61 \pm 1.37$  mm). With the amount of active joint motion and weight bearing possibly preventing ligament and tendon atrophy even though marked weakness, spasticity occurred during the chronic hemiplegic phase.

**Key Words:** Hemiplegic; Ligament; Sonography; Tendon.

### I. 서론

뇌혈관 손상 등으로 인한 편마비 환자는 근력 약화, 경직, 비정상적인 보행 경향을 보이며, 또한 synergistic 움직임과 같은 상위운동신경 징후를 보인다(Chen 등, 2003; Richards 등, 2003). 편측의 하지 마비는 환자가

건측으로 체중을 지탱하는 경향이 생겨서 비대칭적이고 단절된 편마비 보행을 하게 한다. 이러한 비정상적인 보행은 양측 하지의 생역학적인 영향을 끼쳐서 근육, 힘줄, 인대 및 연부조직의 손상 및 변화를 일으킬 수 있다(Chen 등, 2003; Richards 등, 2003).

족관절의 경직성 과항진은 뇌경색 이후 발생하는 신체

장애를 유발하는 원인 중에 하나이다. 이러한 족관절의 경직성 과항진은 반사적, 비반사적 변화를 일으키고, 이로 인하여 뇌경색 환자의 기능에 나쁜 영향을 미칠 수 있다. 여러 연구에서 경직의 정도에 따른 수동적 구성물의 생역학적 변화는 족관절의 기능에 영향을 미칠 수 있다고 보고하였다. 따라서 뇌경색 환자의 환측 족관절의 생역학적 변화를 정확하게 검사하고 이해하는 것이 중요해졌다(Lamontagne 등, 2000; Siegler 등, 1984; Tardieu 등, 1989).

최근에 근골격계 질환의 진단과 상태 평가를 위하여 초음파 영상 진단방법이 많이 사용되고 있다. 이러한 초음파의 장점은 자기 공명 영상에 비하여 가격이 저렴하고 동적인 검사가 가능하며, 근육, 인대, 그리고 관절 주변 조직의 해상도가 자기 공명 영상과 비교하여 뒤지지 않으며, 방사선에 노출될 위험도 없다(van Holsbeeck과 Introcaso, 2001). 이러한 초음파를 이용하여 기계 부하에 대한 골격근의 적응성을 연구하였는데, 근육의 불용(disuse)은 근위축과 근섬유의 길이의 감소를 일으킬 수 있다(Bleakney와 Maffulli, 2002; Reeves 등, 2004; 2005). 이러한 사실로 뇌성 마비 환자에서 환측의 하지의 근섬유 단축 및 위축이 발생할 수 있다는 것을 알 수 있다.

Gao 등(2009)은 초음파를 사용하여 뇌졸중 환자의 환측 내측 장딴지근 생역학적 변화와 구조적 변화를 검사하였는데, 정상 대조군에 비하여 근육 다발의 길이와 위상각(pennation angle)이 감소하였다고 보고하였고, Mohagheghi 등(2007)은 뇌성 마비 환자의 환측 장딴지근육을 건축과 비교하였을 때 근육 다발의 길이 및 근육의 두께가 줄어 들었다고 하였다. 이러한 연구 결과들은 뇌혈관 사고 후에 환측 하지의 경직, 관절 강직, 근 위약에 의한 근육의 생역학적 변화의 기전의 연구에 도움을 주어 뇌손상 재활에 도움을 줄 수 있을 것이다.

본 연구는 보행 가능한 편마비 환자의 발목 주변의 힘줄과 인대의 너비, 두께, 면적을 근골격계 초음파를 이용하여 건축과 비교하여, 어떠한 차이가 있는지 확인 하고자 하였다. 본 연구에서는 환측이 건축에 비하여 인대 및 힘줄의 너비, 두께, 면적이 작거나, 얇을 것이라고 가정하였다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상자

본 연구의 대상은 2008년 1월부터 2009년 12월까지 제

활의학과 외래에 내원하는 편마비 환자 중 치료실에서 최소 50 m 이상 보행이 가능하며, 적어도 발병 후 1년이 지나고, 환측의 족관절에 경직이 있는 경우를 포함하여 총 환자 수는 19명이었다. 과거력 상에 발목 관절에 골절과 인대 파열 등의 사고에 의한 손상을 받은 경우와 Modified Ashworth Scale(MAS)을 이용하여 측정된 족관절의 경직성이 2단계 미만인 환자 경우에는 제외 시켰다.

### 2. 초음파 검사

초음파 검사 기기는 ACCUVIX XQ<sup>1)</sup>을 사용하였고, 3~10 MHz 주파수의 고해상 선형 탐침(linear probe)으로 검사하였고, 검사자 간의 차이를 최소화하기 위하여 근골격계 초음파에 숙달된 1인의 재활의학과 의사가 모든 환자를 검사하였다. 근골격계 초음파를 이용하여 횡단면으로 전경골근 힘줄, 후경골근 힘줄, 아킬레스 힘줄의 너비, 면적을 측정하였고, 종단면에서는 두께를 측정하였다. 동일한 방법으로 전방거비인대, 중비인대를 측정하여 각각을 편측 및 건축을 비교하였다.

전경골근 힘줄을 측정 시에는 환자가 앉은 자세로 무릎을 45도 굽혀 발바닥이 검사 테이블에 붙게 한 상태에서 시행하였다. 전경골근 힘줄의 측정시 횡단면과 종단면의 화면을 통하여 근육인대 접합부에서 아래부터 뼈 부착부위(bony insertion)까지 확인하여 횡단면에서 가장 넓고, 큰 부위를 찾아서 너비, 면적을 측정하고, 종단면에서 가장 두꺼운 부위를 찾아서 두께를 측정하였다(그림 1).

후경골근 힘줄을 측정 시에는 앉은 자세로 발을 검사대 모서리에 걸쳐놓고 족저 굴곡(plantar flexed)상태에서 약간 외측으로 회전 시켜서 시행하였고, 아킬레스 힘줄 경우에는 엷드린 자세로 발을 검사대의 모서리 위에 자유롭게 걸쳐서 시행하였다. 모두에서 너비, 두께, 면적을 측정하여 건축과 환측을 비교하였다(그림 2)(그림 3).

전방거비인대 및 중비인대를 측정시에는 환자가 앉은 상태에서 무릎을 45도 굽혀 발바닥이 검사 테이블에 편평(flat)하게 놓은 상태에서 측정하였고, 모든 족관절의 각도는 중립 위치에서 측정하였다. 위와 같이 측정하여 건축과 환측을 비교하였다(그림 4)(그림 5).

### 3. 통계분석

전경골근 힘줄, 아킬레스 힘줄, 후경골근 힘줄 그리고 전방거비인대 및 중비인대의 너비, 두께, 면적을 건축과 환측을 비교하기 위하여 짝 비교 t-검정을 이용하여 통계 분석

1) ACCUVIX XQ®, Medison, Hongchun, Korea.

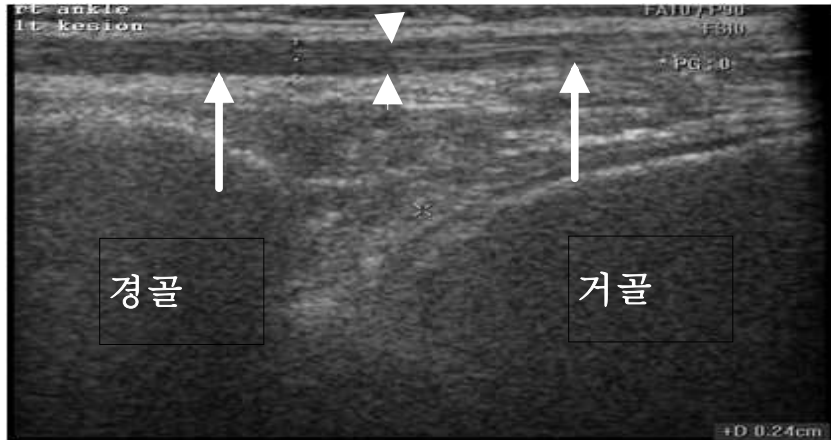


그림 1. 종단면에서 전경골근(화살표)의 두께(화살촉).



그림 2. 횡단면에서 후경골근의 너비 (흰 화살표)와 면적(타원형).



그림 3. 종단면에서 Kager씨 지방층 부위 아킬레스 힘줄의 두께(화살표).



그림 4. 종단면에서 전방거비인대의 두께(화살표).

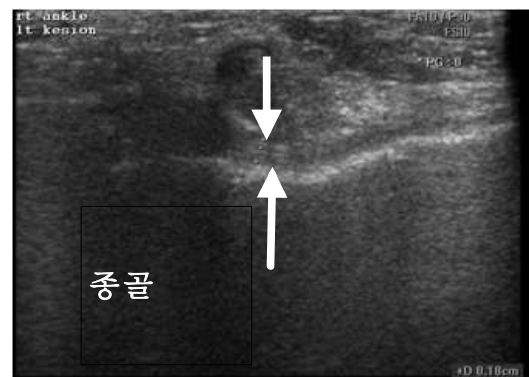


그림 5. 종단면에서 종비 인대의 두께(화살표).

하였다. 통계 프로그램으로는 SAS Enterprise Guide 4.1(41.0.471)이 사용되었으며, 유의 수준은  $\alpha=.05$ 로 하였다.

### III. 결과

#### 1. 연구대상자의 일반적 특성

환자의 평균 연령은  $57.9 \pm 12.4$ 세, 체중은  $69.4 \pm 11.2$  kg, 키는  $164 \pm 8.2$  cm이었고, 족관절의 경직은 MAS로 측정 시 평균  $2.38 \pm .42$ 이었다. 총 19명의 환자 중에 남자는 12명, 여자는 7명이었으며, 발병 원인은 뇌경색 14명, 뇌출혈 5명이고, 좌측 편마비는 10명, 우측은 9명이었다.

#### 2. 건축과 편측의 인대와 힘줄 초음파 결과 비교

초음파 측정한 전경골근 힘줄 과 아킬레스 힘줄의 너비, 두께 및 면적 그리고 후경골근 힘줄의 두께 및 면적에서 편측 및 건축에서 통계적으로 유의한 차이가 없었다( $p>.05$ ). 전방거비인대 및 종비인대의 너비, 두께 및 면적에서도 통계적으로 유의한 차이가 없었다( $p>.05$ ). 후경골근 힘줄의 너비에서는 편측  $7.24 \pm 1.52$  mm, 건축  $8.61 \pm 1.37$  mm으로 편측에서 좁은 것으로 통계적 유의성을 보였다(표 1)( $p<.05$ ).

### IV. 고찰

경직, 관절 강직 그리고 근 위약 등의 증상은 뇌혈관 손상 이후에 발생할 수 있으며, 이로 인한 기능 장애와 근골격계의 구조적 변화 등이 발생할 수 있다. 하지만 편마비 환자의 긴장 항진(hypertonia)과 근위약 등이 근육, 힘줄, 인대의 구성 요소의 구조적, 생역학적 변화에 어떠한 영향을 끼치는 지는 아직 명확치 않다 (Chung 등, 2004; Harlaar 등, 2000; Vattanasilp 등, 2000). 근긴장은 반사와 무반사적 변화에 의하여 결정되며, 수동적 관절과 근 강직과 동반되어 나타난다 (Singer 등, 2001). 경직성 하지에서 족관절의 과항진이 족굴과 관련된 근육의 생역학적 구성에 어떻게 변화를 일으키는지에 변화를 대해서 정확한 밝혀지지 않았다 (Harlaar 등, 2000; Katz 등, 1989).

최근에 초음파를 이용하여 뇌성마비와 뇌혈관 손상에 의한 편마비 환자의 환측 근육, 인대의 기능 및 구조적 변화를 연구한 결과가 보고되었다(Gao 등, 2009; Li 등, 2007; Mohagheghi 등, 2007; Shortland 등, 2001). Mohagheghi 등(2007)은 뇌성 마비 편마비 환자의 건축과 환측의 장딴지근의 근육 다발의 길이와 근육 두께를 비교 하였는데, 환측이 건축에 비하여 각각 18%, 20% 감소되었다고 보고하였다. 근육 다발의 길이의 감소는

표 1. 족관절의 인대 와 힘줄의 환측과 건축의 초음파 비교

(N=19)

초음파 결과	환측	건축	p
전경골근-너비(mm)	$7.74 \pm 1.53^a$	$7.75 \pm 1.47$	.88
두께(mm)	$2.55 \pm .29$	$2.59 \pm .49$	.78
면적(mm <sup>2</sup> )	$17.09 \pm 4.76$	$15.27 \pm 3.58$	.33
후경골근-너비(mm)	$7.24 \pm 1.52$	$8.61 \pm 1.37$	<.05
두께(mm)	$3.31 \pm .51$	$3.30 \pm .54$	.90
면적(mm <sup>2</sup> )	$21.03 \pm 5.48$	$21.62 \pm 4.29$	.56
아킬레스 힘줄-너비(mm)	$16.96 \pm 2.31$	$16.78 \pm 2.29$	.80
두께(mm)	$5.04 \pm .83$	$4.99 \pm .96$	.56
면적(mm <sup>2</sup> )	$66.96 \pm 15.12$	$63.22 \pm 10.81$	.27
전방거비인대-너비(mm)	$6.49 \pm 1.28$	$6.83 \pm 1.29$	.16
두께(mm)	$2.55 \pm .39$	$2.49 \pm .42$	.47
면적(mm <sup>2</sup> )	$12.73 \pm 3.11$	$13.02 \pm 2.98$	.47
종비인대-너비(mm)	$6.57 \pm 1.25$	$6.43 \pm 1.32$	.36
두께(mm)	$2.30 \pm .42$	$2.28 \pm .68$	.27
면적(mm <sup>2</sup> )	$14.18 \pm .79$	$12.35 \pm 3.10$	.16

<sup>a</sup>평균±표준편차.

환측에 물리적 하중이 감소되어 연속 근육 섬유원마디 (serial sarcomere)의 숫자가 감소되는 것과 관련되어 있으며, 근육 두께의 감소는 환측 근위축에 의한 것이다. Gao 등(2009)은 초음파를 이용하여 뇌경색 환자군과 정상 대조군의 장딴지근의 근육 다발 길이, 두께와 족관절의 생역학적 변화를 비교 연구 하였는데, 그들에 따르면 정상 대조군에 비하여 근육 다발 길이는 짧고 두께는 얇아진다고 하였으며, 이는 족관절의 경직 및 관절 운동 가동범위의 감소와 관련이 있다고 보고하였다. 근골격 구조의 기계적 변화는 주로 근육 다발의 길이, 우상각, 근육 두께등과 같은 골격근의 구조물에서 생기며, 근육 구조는 정상 근육의 기능에 중요한 역할을 하며, 관절의 기계적 구성과 관련이 있다(Lieber와 Bodine 1993). 생역학적 모델에 기초한 최근 연구에 따르면 족관절의 강직(stiffness)은 장딴지 근육의 단축과 관련이 있다고 보고했다(Harlaar 등, 2000). 뇌경색 환자에서 저항성 토크를 조절한 상태에서 내측 장딴지 근육 다발의 강직(stiffness), 배굴시 관절 강직(stiffness)과 관절 운동 제한이 심할수록 근육 다발의 단축과 더 많은 연관이 있다(Gao 등, 2009). 뇌경색 환자는 족굴과 관련된 근육의 단축으로 족하수가 발생하는데, 이와 관련된 메카니즘으로 내측 장딴지근육 다발의 강직을 생각할 수 있다(Gao 등, 2009). 이러한 메카니즘은 Friden와 Lieber(2003)에 의하여 주장되었는데, 그들에 따르면 정상적인 근육에 비하여 경직성 근육 세포가 훨씬 단축되고, 강직된다고 보고하였다. Svantesson 등(2000)은 뇌경색 환자에서 편측에 비하여 환측의 다리에서 근육 강직이 심하다고 보고하면서, 족관절의 강직과 MAS 점수 사이에 통계학적으로 관련이 있다고 보고하였다. 이들의 연구(Gao 등, 2009; Harlarr 등, 2000; Mohagheghi 등, 2007)는 장딴지 근육의 생역학적, 구조적 변화를 다루었고 다른 구조들에 대한 언급은 없었다.

본 연구는 뇌혈관 손상 후에 발생하는 경직, 근위약, 관절강직이 족관절 힘줄과 인대의 구조적 변화에 영향을 끼치는지를 초음파를 이용하여 검사하였다. 결과적으로 후경골인대의 너비를 제외 하고는 전방 거비인대, 종비인대, 아킬레스 힘줄, 전경골근 힘줄, 그리고 후경골근 힘줄의 면적 및 두께는 건측과 비교하여 차이가 없었다. 이러한 사실은 논문의 서론에서 언급한 가설과 다른 결과를 보였다. 우리가 앞에서 언급한 가설은 뇌혈관 손상 후에 발생한 환측의 인대 및 힘줄의 상태 변화를 다른 연구가 거의 없어서, 환측의 인대 및 힘줄의 상태를 disuse

atrophy와 immobilization 후에 발생하는 수동적 구조물의 생역학적, 생화학적 변화와 유사하다는 가정하에 세웠다. Akeson 등(1987)은 immobilization후에 인대 및 힘줄에 발생하는 생화학적 변화를 콜라겐의 합성 과 분해율이 모두 증가하지만, 합성에 비해 분해가 상대적으로 많아서 전체적인 mass는 10% 가량 줄어든다고 하였다. 그리고 글리코사미노글리칸(glucosaminoglycan) 경우는 전체적으로 20% 감소하고, 하이알루론산은 40%, 콘드로이틴 4,6은 20%, 더마탄 황산염(dermatan sulfate)은 8% 감소하였으며, 물의 함량은 3~4%정도 감소한다고 하였다(Akeson 등 1987). Klein 등(1982)은 어린 개의 뒷다리를 금속 고정물로 고정시켜 부동을 유발한 후에 12주 동안 경과 관찰을 하였는데, 인대, 반달연골(meniscus), 긴 뼈 등에서 위축이 일어난 것을 보고하였다. 이러한 무위 위축과 고정을 다른 연구 외에 Mohagheghi 등(2007)은 침족보행을 하는 뇌성마비 경우에 장딴지근과 족관절의 족굴(plantar flexor)과 관련된 다른 근육, 힘줄, 족관절의 관절낭 및 인대 등을 포함한 3가지 중에 하나 이상의 구조물이 힘줄의 단축(shortening)과 관련이 있다고 하였다. 이러한 사실들을 바탕으로 본 연구에서는 환측의 인대 및 힘줄이 건측에 비하여 줄어들거나 차이가 있을 것이라고 가정하였는데, 실제로는 큰 차이가 없었다.

Klein 등(1989)은 동물을 이용한 다른 연구에서 체중 부하를 하지 않는 슬관절을 이용하여 뼈와 반달 연골 그리고 인대 등의 변화를 살펴 보았는데, 슬관절의 능동적 운동만으로도 반달 연골 및 인대의 무위위축(disuse atrophy)를 예방 할 수 있다고 보고하였다. 그들의 연구에 따르면 족관절의 관절 이단술을 시행하여 대퇴골의 체중 부하를 없앤 후, 슬관절에 능동적 움직임만을 일어나게 한 경우 뼈의 위축은 발생하지만 전방 십자인대 및 측부 인대, 반달연골의 무위 위축을 방지할 수 있다고 보고하였다. 관절 구축에 대한 예방 및 치료에 대한 원리는 관절을 치료 기간 동안 가능한 자유롭게 가동할 수 있게 하는 것이다(Akeson 등, 1987). 근골격계 구조를 유지하기 위하여서는 기능적 부목, 관절가동 운동 그리고 환자의 올바른 자세 유지에 대한 보호자 교육 등이 필요하다(Akeson 등 1987). 또한 환자의 협조가 가능하면 집에서 할 수 있는 프로그램을 만들어서 실시하게끔 할 수 있으며, 의료진에 의한 지속적인 경과 관찰이 필요하다. 이러한 사실들은 주로 정형외과적 수술 환자들의 무위 위축에 관련된 것으로 경직성 편마비 환자들에게 바로 적용하기는 힘들 것이

다. 우리 연구의 대상 환자들은 MAS의 2단계 이상의 족관절 경직이 있는 상태로 내반 침족(equinovarus) 보행을 하며, 관절의 능동적 수동적 운동의 제한이 있다. 하지만 모든 환자가 50 m 이상의 독립적 보행이 가능하며, 체중 부하와 일부의 관절 운동이 가능하며, 외래에서 환자와 보호자의 교육을 통하여 하루에 2회 정도 수동적 관절 운동을 시행하고 있는 상태였다. 이러한 상태가 환측의 족관절의 힘줄 및 인대의 구조적 상태를 건측과 비교하여 비슷한 상태로 유지되지 않았는지 추측할 수 있다. 그 외에 후경골근 힘줄의 너비가 건측에 비하여 통계학적으로 줄어들었는데, 이는 실제로 disuse에 의하여 발생한 구조적 변화일 수도 있지만, 뇌혈관 사고 후에 발생한 후경골근의 증가된 긴장도 (tone)에 의한 힘줄의 단축으로 생긴 결과일 수도 있다.

본 연구의 제한점은 대상 환자가 적고, 처음으로 시도된 연구로 참고 문헌이 거의 없어 비교 연구가 될 수 없었고, 보행이 불가능한 환자와 정상 대조군을 이용하지 못하였다. 이후에 이 부분에 대한 충분한 연구가 필요할 것으로 사료된다. 우리의 연구 결과가 미약 하지만 뇌혈관 손상 후에 발생하는 하지 경직, 근위약, 관절강직에 의한 근육, 힘줄, 그리고 인대 등의 이차적인 상태 변화와 재활치료의 효과에 대한 연구에 도움이 되었으면 한다.

## V. 결론

뇌 혈관 손상 후 발생한 편마비 환자를 대상으로 편측 족관절의 후경골근 힘줄, 전경골근 힘줄, 아킬레스 힘줄과 전방거비인대, 종비인대의 너비, 두께, 넓이를 건측과 비교하였을 때 후경골근건의 너비가 건측과 비교하여 통계적으로 유의하게 너비가 좁은 것 외에는 차이가 없었다. 이러한 사실은 편마비 환자에서 환측의 경직, 근 위약, 관절강직이 발생하여도 보행, 체중부하가 가능하고 능동적, 수동적 관절운동을 할 수 있다면, 힘줄 및 인대의 이차적 구조적 변화를 예방할 수도 있을 것이라고 생각된다.

## 인용문헌

Akeson WH, Amiel D, Abel MF, et al. Effects of immobilization on joints. Clin Orthop Relat Res.

1987;219:28-37.

Chen CL, Chen HC, Tang SF, et al. Gait performance with compensatory adaptations in stroke patients with different degrees of motor recovery. Am J Phys Med Rehabil. 2003;82(12):925-935.

Chung SG, Van Rey E, Bai Z, et al. Biomechanic changes in passive properties of hemiplegic ankles with spastic hypertonia. Arch Phys Med Rehabil. 2004;85(10):1638-1646.

Gao F, Grant TH, Roth EJ, et al. Changes in passive mechanical properties of the gastrocnemius muscle at the muscle fascicle and joint levels in stroke survivors. Arch Phys Med Rehabil. 2009;90(15):819-826.

Harlaar J, Becher JG, Sniijders CJ, et al. Passive stiffness characteristics of ankle plantar flexors in hemiplegia. Clin Biomech. 2000;15(4):261-270.

Katz RT, Rymer WZ. Spastic hypertonia: Mechanisms and measurement. Arch Phys Med Rehabil. 1989;70:144-155.

Klein L, Player JS, Heiple KG, et al. Isotopic evidence for resorption of soft tissues and bone in immobilized dogs. J Bone Joint Surg Am. 1982;64(2):225-230.

Klein L, Heiple KG, Torzilli PA, et al. Prevention of ligament and meniscus atrophy by active joint motion in a non-weight-bearing model. J Orthop Res. 1989;7(1):80-85.

Lamontagne A, Malouin F, Richards C. Contribution of passive stiffness to ankle plantarflexor moment during gait after stroke. Arch Phys Med Rehabil. 2000;81:351-358.

Li L, Tong KY, Hu X. The effect of poststroke impairments on brachialis muscle architecture as measured by ultrasound. Arch Phys Med Rehabil. 2007;88(2):243-250.

Lieber RL, Bodine-Fowler SC. Skeletal muscle mechanics: Implications for rehabilitation. Phys Ther. 1993;73:844-856.

Mohagheghi AA, Khan T, Meadows TH, et al. Differences in gastrocnemius muscle architecture

- between the paretic and non-paretic legs in children with hemiplegic cerebral palsy. *Clin Biomech.* 2007;22(6):718-724.
- Reeves ND, Narici MV, Maganaris CN. Effect of resistance training on skeletal muscle-specific force in elderly humans. *J Appl Physiol.* 2004;96:885-892.
- Reeves ND, Maganaris CN, Ferretti G, et al. Influence of 90-day simulated microgravity on human tendon mechanical properties and the effect of resistive countermeasures. *J Appl Physiol.* 2005;98:2278-2286.
- Richards JD, Pramanik A, Sykes L, et al. Comparison of knee kinematic characteristics of stroke patients and age-matched healthy volunteers. *Clin Rehabil.* 2003;17(5):565-571.
- Shortland AP, Harris CA, Gough M, et al. Architecture of the medial gastrocnemius in children with spastic diplegia. *Dev Med Child Neurol.* 2001;43(12):796-801.
- Siegler S, Moskowitz G, Freedman W. Passive and active components of the internal moment developed about the ankle joint during human ambulation. *J Biomech.* 1984;17:647-652.
- Singer B, Dunne J, Allison G. Reflex and non-reflex elements of hypertonia in triceps surae muscles following acquired brain injury: Implications for rehabilitation. *Disabil Rehabil.* 2001;23:749-757.
- Svantesson U, Takahashi H, Carlsson U, et al. Muscle and tendon stiffness in patients with upper motor neuron lesion following a stroke. *Eur J Appl Physiol.* 2000;82:275-279.
- Tardieu C, Lespargot A, Tabary C, et al. Toe-walking in children with cerebral palsy: Contributions of contracture and excessive contraction of triceps surae muscle. *Phys Ther.* 1989;69:656-662.
- van Holsbeeck MT, Introcaso JH. *Musculoskeletal Ultrasound.* 2nd ed. Philadelphia, Mosby, 2001:235-236.
- Vattanasilp W, Ada L, Crosbie J. Contribution of thixotropy, spasticity, and contracture to ankle stiffness after stroke. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2000;69:34-39.
- 
- |         |              |
|---------|--------------|
| 논문접수일   | 2010년 4월 12일 |
| 논문게재승인일 | 2010년 5월 7일  |