



■ 박지원, 박성희¹, 고명환¹

■ 대구가톨릭대학교 보건과학대학 물리치료학과, ¹전북대학교 의학전문대학원 재활의학교실, 의과학 연구소 및 임상의학 연구소

Change of Plantar Fascia Thickness in Hemiplegic Patients

Ji-Won Park, PT, MT, PhD; Sung-Hee Park, MD, PhD¹; Myoung-Hwan Ko, MD, PhD¹

Department of Physical Therapy, College of Health Science, University of Daegu Catholic; ¹Department of Physical Medicine and Rehabilitation, Institute for Medical Science, and Research Institute of Clinical Medicine, Chonbuk National University Medical School

Purpose: This study investigated the change in plantar fascia thickness in hemiplegic and non-hemiplegic feet in stroke patients using an ultrasonographic evaluation.

Methods: Sixteen hemiplegic and non-hemiplegic feet from 16 hemiplegic patients (patient group) and 16 feet from 8 healthy subjects (control group) were evaluated by ultrasonography. The sagittal sonograms were obtained in the prone position, and the plantar fascia thickness was measured at its insertion into the calcaneus.

Results: The mean plantar fascia thickness was measured to be 4.5 ± 0.8 mm in hemiplegic feet of the patient group, 3.4 ± 1.0 mm for the contralateral non-hemiplegic feet and 2.8 ± 0.3 mm for the control group. There was a statistically significant difference in plantar fascia between the hemiplegic feet and contralateral non-hemiplegic feet as well as between the contralateral non-hemiplegic feet and control group ($p < 0.01$ and $p < 0.05$, respectively). The plantar fascia thickness according to the Brunnstrom stage and modified Ashworth scale was increased significantly in the hemiplegic feet ($p < 0.01$).

Conclusion: These results show that the plantar fascia is overloaded in the hemiplegic and non-hemiplegic feet of stroke patients. A therapeutic approach should be considered for these patients.

Keywords: Hemiplegia, Plantar fascia, Ultrasonography

논문접수일: 2009년 7월 4일

수정접수일: 2009년 9월 8일

게재승인일: 2009년 9월 11일

교신저자: 박성희, shpark0130@chonbuk.ac.kr

1. 서론

족저근막은 발의 중앙부와 중족지절관절을 수동적으로 지지하는 구조물로서 종골에서 발가락까지 연결되어 있으며 입각시 뒤꿈치를 들 때 팽팽해지기 시작해서 중족지절관절이 배측굴곡되면서 가장 팽팽해진다. 즉, 입각기의 마지막과 유각기의 초기에 발의 수동적인 안정성을 제공한다. 하지만 일반적인 보행시에는 족저근막이 팽팽해지는 효과가 그 다지 높지 않은데 그

이유는 중족지절관절의 배측굴곡 30° 정도까지는 “Windlass mechanism”에 의하여 발의 종궁(longitudinal arch)이 높아져 족저근막이 50% 정도 짧아지기 때문이다. 따라서 족저근막의 안정성은 보다 강한 활동을 할 경우에 더 필요하게 된다.¹

Hicks^{2,3}는 사체의 발에서 족저근막의 장력과 발 구조와의 연관성을 연구하였는데 내측 종궁의 높이가 족저근막염의 발생과 관련이 있다고 하였다. 특히 종궁의 높이가 낮고 발이 회내되어 있을 경우 족저근막의 장력이 높아 손상의 위험이 높은

것으로 보고하였다. 족저근막이 두꺼워지는 현상은 신경병증을 보이는 당뇨 환자의 발에서 흔히 발생하는데 그 원인은 전족 압력(forefoot pressure)의 증가로 설명할 수 있다.^{4,5} 즉, 발의 움직임이 제한되면서 발의 착지 시 잘못된 충격 흡수가 일어나 현상을 악화시키며, 보행 주기에서 발과 발목 복합체의 움직임이 전체적으로 변경되면서 “Windlass mechanism”을 사용하지 못하고 발의 앞쪽에 비정상적인 부하가 걸려 족저근막의 장력이 높아지게 된다.^{6,7}

당뇨 환자의 보행과 마찬가지로 뇌졸중 후 편마비 환자의 보행 양상은 마비, 경직, 공력 패턴에 의한 선택적 근육 조절능력의 소실로 비대칭적인 보행 주기가 나타나며 입각기 중 침족, 전반슬 등이 나타나고 유각기 중 족하수, 동적 내반 등이 관찰된다.⁸ 편마비 보행 환자에서 이러한 보행 양상의 변화는 당뇨 환자의 발에서와 마찬가지로 환측과 건측의 족저근막에 과부하와 생역학적 이상을 초래할 것을 예상할 수 있다. 그 기전을 예상하면 환측에서는 잘못된 입각기의 진행으로 발의 앞쪽에 많은 체중지지가 일어나 충격흡수 기전이 깨어질 것이며 건측의 경우 환측에 대한 상대적인 체중지지의 증가가 족저근막의 장력 증가로 연결되는 것으로 생각해 볼 수 있다. 따라서 이것은 족저근막의 두께에도 변화가 있을 수 있음을 시사한다.

오래된 연구이기는 하지만 Hicks^{2,3}의 연구를 시작으로 족저근막에 대한 연구는 광범위하게 진행되었고 최근에는 족저근막의 두께가 족저근막염의 초음파 영상검사상의 진단적 기준으로 사용되어 오면서 발의 구조적 요인과 국소적 부하와의 관련성에 대한 연구 또한 관심의 대상이 되고 있다. 초음파 영상검사는 생체 내(in vivo)에서 휴식시와 근수축시 비침습적인 방법으로 구조물을 확인하는데 사용되어 왔다.^{9,11} 특히, 컴퓨터 단층촬영이나 자기공명영상 보다 비용이 저렴하고 간편하게 영상을 얻을 수 있는 장점이 있어 근력의 측정과 연관된 근육의 특징에 관한 질적이고 양적인 정보를 제공할 수 있으며, 근막과 근막 주위 구조물의 평가에 있어서도 빠르게 통증없이 검사할 수 있는 장점이 있다.^{12,13} Wearing 등¹⁴은 초음파 영상을 이용한 연구결과 체중부하 시 뒤꿈치에 통증이 있을 경우 정상보다 족저근막의 두께가 더 두꺼워져 있음을 보고하였다.

일반적으로 편마비 환자의 보행에 대해서는 많은 연구들이 진행되어 왔지만 대부분 신경학적인 관점과 보행분석 차원에서의 언급이 주류를 이루었고, 발 자체의 근골격계적인 문제점의 발견에는 많은 연구가 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구에서는 독립적 보행이 가능한 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 환측과 건측의 족저근막의 두께 변화를 초음파 영상 검사를 통하여 알아보고, 이를 환자의 회복 정도와 경직의 정도에 따라 비교하여 편마비 환자의 발에 대한 구조적인 변화를 연구하기 위한 기초 자료를 얻고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구의 대상자는 뇌손상으로 인한 편마비로 외래를 통하여 치료받는 독립적 보행이 가능한 편마비 환자 16명을 환자군으로 하였으며, 아무런 증상이 없는 정상 성인 8명의 16족을 대조군으로 하였다. 환자군은 여자 4명, 남자 12명이었고, 평균 연령은 53±8세, 뇌졸중 발생 후 유병기간은 41±25(15~108)개월이었다. 대조군은 여자 7명, 남자 1명이었으며, 평균 연령은 55±4세였다. 환자군의 신체비만지수는 22.2±1.8, 대조군은 22.2±9.2로 양 군간에 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Table 1). 류마티스 관절염이나 통풍과 같은 전신적인 질환, 이전의 족부 수술, 최근의 족부 외상, 3개월 이내의 비스테로이드성 소염제 복용, 스테로이드 주사 등의 병력이 있는 경우 대조군에서 제외하였다. 실험 전 모든 대상자에게는 검사 목적에 대해 설명하였으며 동의서 작성 후 실험에 참여하였다.

Table 1. Demographic data of subjects

	Patient group	Control group
Number of cases	16	8
Number of feet	32 (16/16)*	16
Sex (Male/Female)	12/4	1/7
Age (years)	53.5±8.4	55.2±4.3
Body mass index	22.2±1.8	22.2±9.2

* (Hemiplegic feet/ Non-hemiplegic feet)
Values are mean±standard deviation.

2. 측정방법 및 분석

1) 초음파영상 측정 및 임상평가

검사자간의 차이를 최소화하기 위하여 모든 대상자에 대하여 동일 검사자가 초음파 영상술을 시행하였으며, 7.5MHz 선형 방사 탐촉자를 장착한 초음파 검사기기 SA-9900® (Medison, Hongcheon, 한국)를 사용하였다. 초음파 검사는 복와위에서 무릎과 발목을 90도 굴곡한 상태에서 족저부 근막이 종골조면에 부착하는 근위부의 내측에서 종축으로 스캔하여 족저근막이 기시하는 종골 결절부의 족저근막의 두께를 측정하였다.

환자군의 경우 신경학적 회복을 정량화하기 위하여 환측 하지의 Brunnstrom stage¹⁵를 평가하였고, 환측 족관절 저축굴근의 경직 정도를 평가하기 위하여 Modified Ashworth Scale¹⁶을 이용하였다. Modified Ashworth Scale은 대상 환자를 충분히 이완시켜 수의적 근 수축을 배제한 상태에서 검사자가 한 손으로 경골 내과 바로 위를 잡고 한 손은 발바닥 원위부를 잡은 후 최대 척굴위에서 최대 배굴위까지 최대한 빨리 수동적

Table 2. Comparison of plantar fascia thickness

	Patient group		Control group
	Hemiplegic feet	Non-hemiplegic Feet	
PFT (mm)	4.5±0.8 ^{*‡} (3.0-5.9)	3.4±1.0 [†] (1.5-5.3)	2.8±0.3 (2.2-3.5)
DPFT (mm)	1.0±0.9 [*] (0.1-2.4)		0.1±0.6 (0-1.3)

Values are mean±standard deviation., Figures in parenthesis refer to data range.

PFT: Plantar fascia thickness, DPFT: Difference between both feet

^{*}p<0.01 vs control group, [†]p<0.05 vs control group, [‡]p<0.01 vs contralateral non-hemiplegic side

관절운동을 가하면서 느껴지는 저항에 따라 등급 0부터 4까지로 평가하였다.

2) 자료분석

통계 분석은 윈도우용 SPSS version 12.0 통계프로그램을 이용하였으며 환자군의 환측과 건측의 족저근막의 두께를 비교하기 위하여 paired ttest를 이용하였으며, 대조군과 환자군의 환측 및 건측의 족저근막 두께를 비교하기 위해서 one-way ANOVA를 사용하였다. 환자군에서 Brunnstrom stage와 Modified Ashworth Scale에 의한 분류를 통한 환측과 건측의 비교를 위해서는 비모수통계인 Wilcoxon signed rank test를 이용하였으며, 환자군의 건측과 환측에서 각각의 Brunnstrom stage의 단계와 Modified Ashworth Scale의 분포에 따른 비교를 위해서 Kruskal-Wallis test를 이용하였다. $\alpha=0.05$ 를 통계적으로 유의한 수준으로 채택하였다.

III. 결과

1. 환자군과 대조군의 족저근막의 두께

편마비 환자군의 환측의 족저근막의 두께는 평균 4.5±0.8mm (이하 평균값)이었으며 건측의 족저근막의 두께는 3.4±1.0mm 이었다. 대조군에서 족저근막의 두께는 2.8±0.3mm 이었다. 편마비 환자군의 환측의 족저근막의 두께는 건측(p<0.01)과 대조군(p<0.01)의 족저근막과 비교하였을 때 의미있는 차이를 보이고 있었으며, 건측 족저근막의 두께 역시 대조군과 비교하였을 때 의미있는 차이를 보이고 있었다(p<0.05). 환자군의 환측과 건측의 족저근막 두께 차이는 1.0±0.9mm 로 대조군의 양측 두께 차이 0.1±0.6mm 에 비하여 통계적으로 의미있는 차이가 있었다(p<0.01)(Table 2).

2. 환자군에서 Brunnstrom stage와 Modified Ashworth Scale에 의한 족저근막의 두께

환자군에서 Brunnstrom stage의 분포는 3단계 6명, 4단계 5명,

5단계 5명이었으며, Modified Ashworth Scale의 분포는 1등급 5명, 1+등급 5명, 2등급 6명이었다. Brunnstrom stage 3단계 환자에서 환측의 족저근막 두께는 4.2±0.8mm 이었으며 건측의 족저근막 두께는 3.7±0.6mm 이었다. 4단계에서 환측의 족저근막 두께는 4.6±0.8mm, 건측은 3.5±1.1mm 이었고, 5단계에서 환측의 족저근막은 4.6±1.0mm, 건측은 3.2±1.4mm 이었다. 각 단계에서 환측의 족저근막 두께는 건측의 족저근막과 비교하였을 때 통계적으로 의미있게 두꺼웠다(p<0.01)(Table 3). 환측과 건측에서 각각 Brunnstrom stage 3, 4, 5 단계에 따라 각각의 족저근막을 비교하였을 때 통계적인 유의성은 없었다.

Table 3. Comparison of plantar fascia thickness according to brunnstrom stage

Brunnstrom stage	Plantar fascia thickness (mm)	
	Hemiplegic Feet	Non-hemiplegic Feet
3 (n=6)	4.2±0.8	3.7±0.6 [*]
4 (n=5)	4.6±0.8	3.5±1.1 [*]
5 (n=5)	4.6±1.0	3.2±1.4 [*]

Values are mean±standard deviation.

^{*}p<0.01, comparison between hemiplegic and non-hemiplegic feet

Modified Ashworth Scale 분포에서 1등급 환자군의 환측 족저근막의 두께는 4.7±0.9mm 이었고 건측은 3.5±1.4 mm 이었다. 1+등급에서 환측의 족저근막은 4.5±0.6mm, 건측은 3.3±0.5mm 이었고, 2등급 단계에서 환측의 족저근막은 4.2±1.4 mm, 건측은 3.5±1.1 mm 이었다. 각 등급에서 환측의 족저근막 두께를 건측의 족저근막 두께와 비교하였을 때 통계적으로 의미있는 차이를 보였다(p<0.01)(Table 4). 환측과 건측에서 각각 1, 1+, 2등급에 따라 각각의 족저근막을 비교하였을 때 양쪽 모두 통계적인 유의성은 없었다.

Table 4. Comparison of plantar fascia thickness according to Modified Ashworth Scale

Modified Ashworth Scale	Plantar fascia thickness (mm)	
	Hemiplegic Feet	Non hemiplegic Feet
1 (n=6)	4.7±0.9	3.5±1.4*
1+ (n=5)	4.5±0.6	3.3±0.5*
2 (n=5)	4.2±0.4	3.5±1.1*

Values are mean±standard deviation.

*p<0.01, comparison between hemiplegic and non-hemiplegic feet

IV. 고찰

본 연구 결과 뇌졸중 후 보행 가능한 편마비 환자군의 환측 및 건측의 족저근막은 대조군에 비하여 의미있게 두꺼워져 있었고, 환측의 족저근막은 건측과 비교하였을 때도 의미있게 두꺼웠다. 대상 환자군은 뇌졸중 후의 만성기 환자들로 운동 회복 단계는 Brunnstrom stage 3, 4, 5 단계에 분포하고 있었고 경직은 Modified Ashworth Scale의 grade 1, 1+, 2에 속하였으며 각 단계 및 등급에서 환측의 족저근막의 두께는 건측의 족저근막의 두께와 비교하였을 때 통계적으로 의미있게 두꺼웠다. 이러한 결과를 통하여 편마비 보행 환자에서 환측 및 건측의 족저근막에 과도한 부하가 가해지고 있음을 추측할 수 있다. 본 연구에서 환자군과 대조군의 연령 및 신체비만지수는 양군에서 통계적인 차이가 없기 때문에 연령과 체중에 의한 족저근막의 차이¹⁷는 배제할 수 있을 것으로 생각한다.

보행에서 발끝 밀기를 제대로 하기 위해서는 발의 종궁이 높아져 있어야 하며 발이 보다 회외 상태에 있어야 하는데 이렇게 되기 위해서는 여러 가지 방법이 있지만 그 중에서 “Windlass mechanism”은 1954년 Hicks가 언급한 이래로 가장 중요하게 생각되어 왔다. Hicks²에 의하면 “Windlass mechanism”이란 발의 기능을 정확하게 유지하기 위해서 필요한 기전으로 발의 안정성과 종궁의 높이를 유지하기 위하여 근육의 층, 건, 인대, 뼈의 구조 등이 조화로운 움직임을 가져야 한다는 것이다. 특히 엄지발가락의 배측굴곡은 족저근막을 팽팽하게 당겨 전족과 후족을 가까워지게 만드는 숏풋(short foot)을 만들어내는데, 이렇게 함으로서 발은 추진력을 얻게 된다. 하지만 여러 가지 병적인 원인으로 인하여 이 기전이 깨지게 되면 발은 발끝 밀기에서 효율적인 움직임을 만들어 내지 못하고 보행주기의 변화를 가져와 비정상적인 보행 패턴을 초래한다.

뇌졸중이나 두부 손상으로부터 생존한 환자들은 기능적으로 어느 정도 회복되어 일상생활로의 복귀 가능성을 가지며 편마비 환자들의 약 70% 정도에서 보행능력을 회복하게 된다. 하

지만 편마비 환자에서는 비효율적인 동작양상, 체중지지 능력의 감소, 과도한 신장반사, 부적절한 자세에 의한 통증 등의 이유로 보행을 하는데 어려움을 가지게 되며 선택적 근육 조절의 저하와 원시적 공력 패턴으로 인하여 특징적인 편마비 보행 양상을 보이게 된다.^{8,18} 특히, 족관절에서 족저굴근의 경직성 마비를 나타내며 동적 내반을 동반하는 족저굴곡 변형이 흔하여 발이 지면과 접촉시 전족부 또는 전족부 외측면이 초기 접지를 나타내거나 편평족 양상을 보이고 무게부하를 지탱하는데 어려움이 있다.¹⁹ 이러한 보행 양상은 환측 족부에 과부하를 초래하고 족저근막에 영향을 미칠 것으로 예상할 수 있다.

편마비 보행 시 양 하지의 보행의 대칭성이 깨지게 되어 편마비 환자에서 환측 하지의 입각기가 짧아지고 유각기가 길어지게 되어, 이에 대한 보상으로 건측 하지는 환측에 비하여 입각기는 길어지고 유각기는 짧아진다.²⁰ 또한 환측 하지의 입각기 시간 역시 건측에 비해서 감소하지만 정상인과 비교하였을 때 오히려 증가하기²¹ 때문에 상대적으로 증가한 입각기 동안의 체중부하가 환측과 건측의 족저근막에 변화를 초래할 수 있을 것으로 예상할 수 있다. 아울러 본 연구에서는 대조군에 비하여 환자군의 건측 족저근막이 의미있게 두꺼워진 결과를 제시하였는데 이는 환측 뿐만 아니라 건측 족부에도 과도한 부하가 가해졌기 때문으로 생각한다. 이러한 결과는 편마비 환자에서 환측 뿐만 아니라 건측 족부의 족저근막의 변화에 대한 치료적 접근이나 관리가 필요함을 시사한다.

족저근막의 두꺼워짐은 족저근막염으로 진행될 수 있다. 족저근막은 여러 층으로 나누어진 섬유 조직의 강한 구조물로서 종골 결절의 내측 돌기에서 시작하여 중족골 두부에 5개의 끈으로 나뉘어 부채꼴로 연결된다. 이 족저근막 자체나 근막 주위 구조물에 염증이 있을 때를 족저근막염이라 하며 아직까지 정확한 병리 기전은 밝혀진 바 없으나 족저근막 내 세포의 기질인 콜라겐 및 탄성 섬유에 과부하가 가해지면 탄성 섬유의 배열에 변화가 오면서 미세 파열과 염증이 발생하는 것으로 알려져 있다.²² 또한 족저근막 기시부에 국소적인 과부하가 가해지거나,^{23,24} 요족이나 편평족과 같은 족부의 구조적 문제로 인한 생역학적 문제가 있을 때,²⁵ 내측 종골 신경의 자극 및 포착과 후족부 내측의 인대 및 신경 부위가 반복적인 미세 외상에 노출되면 발생하는 것으로 알려져 있다.^{26,27}

족저근막염의 진단은 여러 가지 방법으로 가능하나 족저근막의 두께를 측정하고 염증 동반 여부를 판별하며 주변 연부조직을 관찰하기 위한 방법으로 초음파 영상술이 많이 사용되고 있다. Yoon 등²⁸에 의하면 임상적으로 족저근막염이 의심되는 환자의 초음파 검사 결과는 통증이 있는 쪽에서 족저근막의 두께가 3.8mm 이상이거나, 한쪽에만 통증이 있을 때 족저근막의 양쪽의 두께 차이가 1.0mm 이상일 경우, 족저근막에서 국소적

저음영이 나타날 경우를 족저근막염의 유의한 초음파 영상 소견이라고 하였다. 본 연구 결과 환자군의 족저근막의 두께 변화는 정상인과 다르며, 보행 양상의 변화가 환측과 건측의 족부에 모두 영향을 미치기 때문에 초음파 영상 검사에서 족저근막의 두께 측정에 의한 족저근막염의 진단적 기준을 따르기에는 어려움이 있을 것으로 생각하며, 향후 후족부 통증을 동반한 편마비 환자에서 초음파 영상검사를 통한 족저근막염의 진단 기준 설정을 위한 연구가 필요할 것으로 생각한다.

Riddle 등²⁶에 의하면 정상인에서 족관절의 배굴 정도가 감소함에 따라 족저근막염의 발생 위험이 높다고 하였다. 본 연구에서는 편마비 환자의 운동 회복 단계와 경직의 정도에 따라 족관절의 배측굴곡 정도, 보행주기의 변화, 족부의 구조적, 기능적 변화의 차이가 예상되기 때문에 이에 대한 족저근막의 변화를 알아보하고자 환자군을 Brunnstrom stage와 Modified Ashworth Scale의 단계 및 등급에 따라 분류하여 족저근막의 두께를 비교하였다. 그 결과 각각의 단계에서 환측과 건측의 족저근막을 비교하였을 때 통계적으로 유의한 차이가 있었으나, 환측과 건측의 족저근막을 Brunnstrom stage 3, 4, 5단계 사이에서, 그리고 Modified Ashworth Scale 1, 1+, 2등급 사이에서 비교하였을 때 각 단계 및 등급 간의 족저근막의 변화는 통계적인 의미가 없었다. 운동 회복 단계와 경직의 정도에 따른 족저근막의 변화가 통계적인 유의성이 없는 것은 본 연구가 제한된 수의 환자에서 실시되었기 때문으로 생각하며 추후 많은 환자를 대상으로 연구가 실시되어야 할 것으로 생각한다.

족저근막은 보행 주기 중 입각기의 역동적 부하를 후족부에서 전족부로 전달하는 역할을 하기 때문에²³ 보행 가능 여부에 따라 족저근막의 변화 양상이 다를 수 있다. 이에 향후 운동 회복의 초기 단계인 급성기 환자를 대상으로 연구를 시행하여 족저근막의 변화 양상에 대한 연구가 필요할 것으로 생각하며, 만성기 환자의 경우에도 보행 가능 거리나 하지 보조기의 착용 유무, 족관절의 운동범위에 따른 족저근막의 변화에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 생각한다. 이러한 연구를 통하여 보행 가능한 편마비 환자의 건측과 환측에 대해 족저근막의 변화에 대한 관리 및 치료 계획이 수립되어야 할 것이다.

V. 결론

뇌졸중 후 보행 가능한 편마비 환자군의 환측 및 건측의 족저근막은 정상인에 비하여 양측에서 모두 두꺼워진 변화를 보였다. 이러한 족저근막의 비후는 편마비 후 보행 양상의 변화가 족저근막에 과부하를 가하여 발생하였을 것으로 생각한다. 향후 족저근막의 변화에 영향을 줄 수 있는 여러 가지 복합적인

인상 요인들에 대한 연구가 지속되어야 하며, 편마비 환자에서 환측과 건측 족부의 관리에 대한 연구도 이루어져야 할 것으로 생각한다.

Author Contributions

Research design: Park JW, Park SH

Acquisition of data: Park SH

Analysis and interpretation of data: Park JW, Park SH

Drafting of the manuscript: Park JW, Park SH

Administrative, technical, and material support: Ko MH

Research supervision: Park SH

참고문헌

1. Perry J. Gait analysis: normal and pathological function. New Jersey, SLACK Inc, 1992:73-8.
2. Hicks JH. The mechanics of the foot. II. The plantar aponeurosis and the arch. *J Anat.* 1954;88(1):25-30.
3. Hicks JH. The foot as a support. *Acta Anat (Basel).* 1955;25(1):34-45.
4. D'Ambrogi E, Giacomozzi C, Macellari V et al. Abnormal foot function in diabetic patients: the altered onset of Windlass mechanism. *Diabet Med.* 2005;22(12):1713-9.
5. D'Ambrogi E, Giurato L, D'Agostino MA et al. Contribution of plantar fascia to the increased forefoot pressures in diabetic patients. *Diabetes Care.* 2003;26(5):1525-9.
6. Giacomozzi C, D'Ambrogi E, Uccioli L et al. Does the thickening of achilles tendon and plantar fascia contribute to the alteration of diabetic foot loading? *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2005;20(5):532-9.
7. Koh EK, Jung DY. A review of biomechanical treatments for the diabetic foot. *J Kor Soc Phys Ther.* 2007;19(5):51-63.
8. Wall JC, Turnbull GI. Gait asymmetries in residual hemiplegia. *Arch Phys Med Rehabil.* 1986;67(8):550-3.
9. Henriksson-Larsen K, Wretling ML, Lorentzon R et al. Do muscle fibre size and fibre angulation correlate in pennated human muscles? *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1992;64(1):68-72.
10. 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.
11. Kuno S, Fukunaga T. Measurement of muscle fibre displacement during contraction by real-time ultrasonography in humans. *Eur J Appl Physiol Occup*

- Physiol. 1995;70(1):45-8.
12. Cardinal E, Chhem RK, Beaugard CG et al. Plantar fasciitis: sonographic evaluation. *Radiology*. 1996;201(1):257-9.
 13. Seo SK. The analysis of ultrasonography on gastrocnemius medialis of patient with stroke. *J Kor Soc Phys Ther*. 2007;19(2):11-9.
 14. Wearing SC, Smeathers JE, Sullivan PM et al. Plantar fasciitis: are pain and fascial thickness associated with arch shape and loading? *Phy Ther*. 2007;87(8):1002-8.
 15. Brunnstrom S. Motor testing procedures in hemiplegia: Based on sequential recovery stages. *Phys Ther*. 1966;46(4):357-75.
 16. Bohannon RW, Smith MB. Interrater reliability of a modified Ashworth scale of muscle spasticity. *Phys Ther*. 1987;67(2):206-7.
 17. Uzel M, Cetinus E, Ekerbicer HC et al. The influence of athletic activity on the plantar fascia in healthy young adults. *J Clin Ultrasound*. 2006;34(1):17-21.
 18. Bransdaster ME, de Bruin H, Glowland C et al. Hemiplegic gait: analysis of temporal variables. *Arch Phys Med Rehabil*. 1983;64(12):583-7.
 19. Perry J. The mechanics of walking in hemiplegia. *Clin Orthop Relat Res*. 1969;63:23-31.
 20. Peat M, Dubo HI, Winter D. Electromyographic temporal analysis of gait: hemiplegic locomotion. *Arch Phys Med Rehabil*. 1976;57(9):421-5.
 21. Hong DJ, Park SB, Lee SG et al. Analysis of the stance phase in a hemiplegic patient by the measurement of plantar pressure. *J Korean Acad Rehab Med*. 1998;22(5):1123-8.
 22. Snider MP, Clancy WG, McBeath AA. Plantar fascia release for chronic plantar fasciitis in runners. *Am J Sports Med*. 1983;11(4):215-9.
 23. Erdemir A, Hamel AJ, Fauth AR et al. Dynamic loading of the plantar aponeurosis in walking. *J Bone Joint Surg Am*. 2004;86-A(3):546-52.
 24. Kwong PK, Kay D, Voner PT et al. Plantar fasciitis. Mechanics and pathomechanics of treatment. *Clin Sports Med*. 1988;7(1):119-26.
 25. Bolgla LA, Malone TR. Plantar fasciitis and the windlass mechanism: a biomechanical link to clinical practice. *J Athl Train*. 2004;39(1):77-82.
 26. Riddle DL, Pulisic M, Pidcoe P et al. Risk factors for plantar fasciitis: a matched case-control study. *J Bone Joint Surg Am*. 2003;85-A(5):872-7.
 27. Schepesis AA, Leach RE, Gorzyca J. Plantar fasciitis. Etiology, treatment, surgical results and review of the literature. *Clin Orthop Relat Res*. 1991;(266):185-96.
 28. Yoon KS, Kim SB, Park JS. Ultrasonographic findings in plantar fasciitis. *J Korean Acad Rehab Med*. 2002;26(2): 181-6.