

발목관절의 능동적 배측굴곡 시 정상과 망치 발가락 대상자의 전경골근과 장지신근의 근 활성화도의 비교

고은경 · 정도영¹ · 김태호²

마산대학 물리치료과, ¹중부대학교 물리치료학과, ²대구보건대학 물리치료과

Comparison of the Muscle Activity Ratio of Tibialis Anterior and Extensor Digitorum Longus in Subjects with the Normal Toe and the Hammer Toe during the Active Ankle Dorsiflexion

Eun-kyung Koh, PT, PhD, Do-young Jung, PT, PhD¹, Tae-ho Kim, PT, PhD²

Department of Physical Therapy, Masan College

¹Department of Physical Therapy, Jungbu University

²Department of Physical Therapy, Daegu Health College

<Abstract>

Purpose : The purposes of this study were to compare the muscle activity ratio of tibialis anterior (TA) / extensor digitorum longus (EDL) during the active ankle dorsiflexion in subjects with the normal toe (NT) and the hammer toe (HT).

Methods : Nineteen subjects with the NT group and nineteen subjects with the HT group were recruited for this study. The muscle activities of TA and EDL were measured by using surface electromyography (EMG) and the angles of ankle dorsiflexion and eversion of the subtalar joint were measured by using 3-dimensional motion analysis during the active ankle dorsiflexion in prone position.

Results : The muscle activity ratio of TA / EDL was significantly lower in the HT group compared to the NT group ($p<.05$). The angle of ankle dorsiflexion was significantly lower in the HT group compared to the NT group ($p<.05$).

Conclusions : These results suggest that muscle imbalance between TA and EDL muscle and decreased ankle dorsiflexion range of motion may contribute to hammer toe deformity. Further studies are needed to confirm that the correcting of this imbalance and the increasing ankle dorsiflexion could improve toe alignment in the subjects with HT.

Key Words : Extensor digitorum longus, Hammer toe, Muscle imbalance, Tibialis anterior.

I. 서 론

망치 발가락(hammer toe)은 중족지절 관절(metatarsophalangeal joint: MTP)과 근위지절 관절(proximal interphalangeal joint: PIP)에서 배측굴곡된 변형을 의미한다(Tollafield와 Merriman, 1995). 망치 발가락은 전족부의 변형으로 통증과 굳은살(callus)이 중족지절 관절의 두(head) 아래에 발생되기도 한다. 이러한 망치 발가락의 원인은 근육의 불균형(muscle imbalance), 발 내재근(foot intrinsic muscle)의 위축과 약화, 무지 외반증(hallux valgus), 외상, 감염성 관절염, 장지신근(extensor digitorum longus: EDL)의 단축, 당뇨, 발 형태(foot type)와 생체역학적 요인들이 있다(Coughlin, 1984; Coughlin 등, 2000; Dhukaram 등, 2002; Parrish, 1973; Hansen, 2000). 당뇨병 말초신경병, 운동성 신경병은 발 내재근을 약화시켜 망치 발가락 기형을 초래하고(Greenman 등, 2005), 전족부 족압을 증가시키며 족부궤양의 위험인자가 된다고 보고되었다(Mueller 등, 2003).

망치 발가락의 일반적인 원인이 발가락 신전근(toe extensor)들과 굴곡 내재근(intrinsic toe flexors) 간의 불균형이라고 몇몇 연구에서 보고되었다(Scheck, 1977; Hansen, 2000). 정상 발가락의 중족지절 관절은 강한 장지신근과 단지신근(extensor digitorum brevis: EDB)이 장지굴근(flexor digitorum longus), 골간근(interosseus muscle), 충양근(lumbrical muscle)에 의해 균형 잡혀 있다(Bhatia 등, 1994). 그리고 Boulton (1988)은 발가락을 굴곡하는 발 내재근이 약할 때 지속적인 발가락 신전근들의 반대되는 수축으로 인해 망치 발가락 기형을 초래할 수 있다고 보고하였다.

최근 연구에서 망치 발가락 군이 정상 발가락 군보다 발가락 굴곡/신전 근력 비(extensor/flexor toe muscle ratio)가 2.3~3.0배 더 높았으며 발목관절의 배측굴곡 각이 더 낮았다고 보고하였다(Kwon 등, 2009). 또한 몇몇 문헌에서 망치 발가락 기형은 기능적 활동 시 전경골근(tibialis anterior)보다 장지신

근을 더 지배적으로 수축함으로써 발목관절을 배측 굴곡 시킨다고 주장하였다(Hansen, 2000; Sharmann, 2002).

비록 발 근육의 불균형이 발가락 기형의 원인이라고 여겨지고 있지만 아직까지 전경골근과 장지신근의 근육 불균형을 정량적으로 알아본 연구는 없는 실정이다. 또한 이러한 근육 불균형은 발목관절과 거골하 관절의 움직임에 영향을 끼칠 수 있다. 따라서 본 연구의 목적은 정상 발가락 군과 망치 발가락 군 사이에 발목관절의 능동적 배측굴곡 시 전경골근과 장지신근 근 활성도 비(TA / EDL muscle activity ratio)와 발목관절의 배측굴곡과 거골하 관절(subtalar joint)의 외반(eversion) 각도의 차이가 있는지 알아보려고 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구 대상자는 실험 전 본 연구의 목적과 방법에 대해 충분히 설명을 듣고 자발적으로 실험 참여에 동의를 한 M대학 학생들이었다. 신경학적인 병력이 없고 보행에 문제가 없는 성인 총 38명을 대상으로 이 중 망치 발가락(hammer toe: HT) 군에 할당된 대상자는 19명(남성: 12명 여성: 7명)으로, 정상 발가락(normal toe: NT) 군에 19명(남성: 10명 여성: 9명)으로 지정되었으며 발목관절이 중립자세로 기립 시와 앉은 자세에서 관절축각기로 두 번째 발가락의 중족지절 관절이 신전 20° 이상 되는 대상자를 망치 발가락 군으로 지정하였다. 각 군 간의 나이, 몸무게, 신장, 발 길이는 유의한 차이가 없었다($p>.05$).

2. 연구 도구 및 측정방법

1) 실험 기기 및 도구

발목관절의 능동적 배측굴곡 시 배측굴곡과 거골

Table 1. Descriptive characteristics of the subjects (Mean±SD)

Variable	Group (N=38)		
	NT (n=19)	HT (n=19)	p
Age(years)	24.0±2.7	22.1±1.8	.37
Height(cm)	170.63±8.8	166.4±8.1	.81
Body weight(kg)	60.4±14.2	57.0±10.2	.40
Foot length(mm)	223.8±1.6	222.8±1.8	.86
ROM of 2 nd MTP joint extension(°)	27.8±6.4	8.5±7.3	.00

NT: Normal toe, HT: Hammer toe.

하 관절(subtalar joint) 각도를 측정하기 위해 실시간 삼차원 동작 분석기 CMS-70P(Zebris Mdzintechnik, GmbH, Isny, 독일) 2대를 사용하여 관상면과 시상면에서 각도를 측정하였다. 데이터를 수집하기 위해 Windata 2.19 프로그램을 이용하였고, 표본 수집률(sampling rate)을 20 Hz로 최대 배측굴곡과 거골하 관절의 각도를 부착된 단일 표식자의 위치 데이터를 수집하여 측정하였다. 전경골근과 장지신근 근 활성화 비를 알아보기 위해 무선 표면 근전도 시스템인 TeleMyo DTS(Noraxon, Scottsdale, AZ, USA)를 사용하였다. 표본 수집률은 1000 Hz로 하였으며 원 신호(raw signal)를 주파수 대역 필터인 20~450 Hz를 사용하였고 각 근육별 근전도 신호를 RMS (root mean square)로 처리하였다. 근전도 자료는 MyoResearch Master Edition 1.07 XP software (Noraxon, Scottsdale, AZ, 미국)를 사용하여 분석하였다.

2) 실험 절차 및 자료 처리

본 실험을 실행하기 전에 대상자에게 실험절차를 설명하였다. 발목관절의 능동적 배측굴곡 시 배측굴곡 각도를 측정하기 위해 3개의 단일 표식자(single marker)를 엮드린 자세에서 비골두, 외측 복숭아 뼈 중앙, 그리고 다섯 번째 중족지절 관절에 부착하였고(Fig 1A), 거골하 관절의 각도를 측정하기 위해 하퇴골의 1/3과 종골(calcaneus)의 이등분선을 표시한 후 이등분선의 종말 지점에 4개의 단일 표식자를 부착하였다(Fig 1B).

전경골근과 장지신근의 근 활성도를 알아보기 위해 각 근육의 전극 부착 부위를 유성펜으로 작게 표시하였다. 표시된 부위를 참조하여 맨손근력검사

(manual muscle testing: MMT)의 최대 근수축시 뚜렷이 보이는 근육에 근전도 전극 부착 부위를 최종적으로 표시하였다(Fig 2). 표면 근전도 신호에 대한 피부저항을 감소시키기 위해 부착부위를 가는 사포로 3~4회 문질러 피부 각질층을 제거하고 소독용 알코올로 피부지방을 제거한 후 표면 전극을 피부에 부착하였다.

일반적으로 발목관절의 능동적 배측굴곡 각도는 앉은 자세 또는 바로 누운 자세에서 측정하지만, 본 연구에서는 거골하 관절의 외변각도를 동시에 측정하기 위해서 치료용 테이블 위에 엮드린 자세에서 측정하였다. 발목관절의 능동적 배측굴곡을 3회 반복하여 실시하는 동안 배측굴곡과 거골하 관절의 외변각도를 측정하였고 동시에 전경골근과 장지신근의 근전도 신호량을 측정하였다. 발목관절의 능동적 배측굴곡을 5초간 실시하였으며, 반복 시 마다 3분의 휴식기간을 갖도록 하였다. 5초간의 능동적 발목관절의 배측굴곡과 거골하 관절의 외변 각도는 처음과 마지막 1초를 제외한 중간 3초 동안의 평균값으로 사용하였다.

표면근전도 신호의 개인차 및 개인 내 부위별 차이를 최소화하기 위해 정량화(normalization)하였다. 정량화를 위해 맨손근력검사로 최대 등척성수축(maximal voluntary isometric contraction: MVIC) 시 각 근육의 근활성도를 3회 반복 측정하였고 5초 동안의 RMS 자료값을 처음과 마지막 1초를 제외한 중간 3초 동안의 평균 근전도 신호량을 %MVIC로 사용하였다. 최대 등척성수축 시 전경골근은 발목관절의 족저굴곡과 내반방향으로 발등 내측부위에 저항을 주었고, 장지신근은 2~5번째 발가락의 굴곡방



Fig 1. Site of single marker for measurement of (A) ankle dorsiflexion and (B) eversion of subtalar joint

향으로 발가락 등에 저항을 주었다.

3. 통계 방법

각 군 간의 발목관절의 능동적 배측굴곡 시 배측 굴곡과 외번 각도, 그리고 각 근육 별 %MVIC, 전경골근과 장지신근의 근 활성화 비의 차이를 알아보기 위해 독립 t-검정을 실시하였다. 통계처리는 SPSS version 16.0을 사용하였으며 유의수준()은 .05로 하였다.

III. 연구 결과

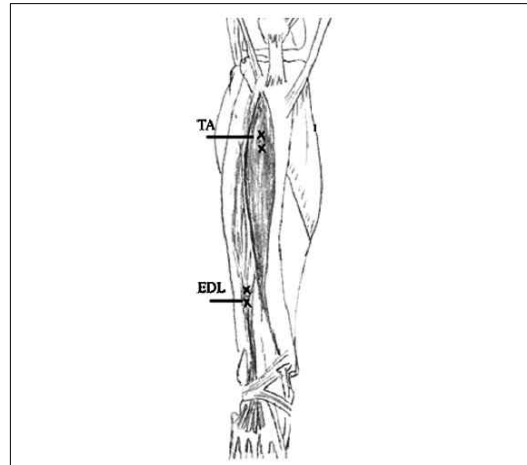


Fig 2. Site of electrodes for tibialis anterior (TA) and extensor digitorum longus (EDL).

1. 근 활성화도 비교

전경골근의 %MVIC값은 정상 발가락 군 보다 망치 발가락 군에서 유의하게 낮았고 ($p < .05$), 장지신근의 %MVIC값은 정상 발가락 군보다 망치 발가락 군에서 유의하게 높았다 ($p < .05$). 전경골근 과 장지신근 근 활성화도 비는 정상 발가락 군 보다 망치 발가락 군에서 통계학적으로 유의하게 낮았다($p < .05$) (Table 2).

Table 2. Comparison of %MVIC of TA, EDL and TA / EDL muscle activity ratio between HT and NT (Mean±SD)

Variables	NT group	HT group	p
TA%MVIC	80.23±11.23	51.64±14.30	.00*
EDL%MVIC	74.66±16.38	88.44±22.77	.04*
TA / EDL Muscle Activity Ratio	1.12±0.26	0.59±0.15	.00*

* Statistically significant at the level of $p < .05$.

NT: Normal toe, HT: Hammer toe, TA: Tibialis anterior, EDL: extensor digitorum longus, MVIC: maximum voluntary isometric contraction.

Table 3. Comparison of ankle dorsiflexion and eversion of subtalar joint between HT and NT (Mean±SD) (degree)

Variables	NT group	HT group	p
Dorsiflexion	22.38±8.42	5.04±2.41	.00*
Eversion	15.99±3.70	11.92±3.93	.25

* Statistically significant at the level of $p < .05$.

NT: Normal toe, HT: Hammer toe

2. 발목관절과 거골하 관절의 각도 비교

발목관절의 배측굴곡 각도는 망치 발가락 군이 정상 발가락 군 보다 유의하게 낮았으며($p < .05$), 거골하 관절의 외번 각도는 유의한 차이가 없었다($p > .05$)(Table 3).

IV. 고 찰

전경골근과 장지신근의 근육 불균형이 망치 발가락으로 발전시키는 위험인자 중 하나라고 설명하고 있지만 아직까지 이러한 근육 불균형을 정량적으로 알아본 연구는 없었다. 따라서 본 연구에서는 정상 발가락 군과 망치 발가락 군 사이에 발목관절의 능동적 배측굴곡 시 전경골근과 장지신근의 근 활성화도 비와 발목관절의 배측굴곡과 거골하 관절의 외번 각도의 차이가 있는지 알아보았다. 본 연구 결과, 전경골근과 장지신근의 근 활성화도 비는 정상 발가락 군 보다 망치 발가락 군에서 통계학적으로 유의하게 낮았다. 발목관절의 배측굴곡 각도는 망치 발가락이 정상 발가락보다 유의하게 낮았으며 거골하 관절의 외번 각도는 유의한 차이가 없었다.

전경골근은 배측굴곡 및 내번의 기능이 있으나 약화 시 발목관절의 배측굴곡이 감소되고 발이 외번 방향으로 움직이며 족하수(foot drop)와 회내전(pronation)이 되는 경향이 있다. 장지신근은 배측굴곡 및 내번의 기능이 있으나 약화 시 족하수와 전족의 내반(forefoot varus)을 일으키며 구축 시 중족지절 관절의 과신전을 일으킨다(Kendall, 1993). Perry (1992)는 내번 및 외번 기능을 하는 전전경골 근육(pretibial muscle)들 간의 근력 균형이 부적당하면 발을 내반(foot varus) 시키거나 발목관절의 배측굴곡을 감소시킨다고 하였다. Reynard 등(2009)의 연구에서 뇌졸중 환자들의 보행 시 발 내반은 전경골근과 장지신근의 근육 불균형, 즉 감소된 장지신근의 근 활성화도가 중요한 요인이라고 보고하였다. 반대로 본 연구에서는 정상 발가락 군과 비교했을 때 망치 발가락 군에서 전경골근의 %MVIC값에 비해 장지신근의 %MVIC값이 높았으며 배측굴곡 각도가 유의하게 낮았다. Hansen (2000)과 Sharmann (2002)

은 망치 발가락을 지닌 대상자에게서 기능적 활동 시 발목관절을 배측굴곡 시키기 위해 전경골근 보다 장지신근을 더 지배적으로 수축함으로써 즉, 발목관절의 배측굴곡을 위한 발가락 신전근 즉, 장지신근의 사용을 증가시켜 근육의 불균형을 일으킨다고 주장하였다. 또한 Hansen (2000)은 단축된 족저굴곡 근육에 의한 감소된 발목관절의 배측굴곡이 망치 발가락 기형에 기여할 수 있다고 하였으며 본 연구의 결과와 일치하는 내용으로 정상 발가락 군 보다 망치 발가락 군에서 발목관절의 배측굴곡 각도가 낮았다. Hansen (2000)은 단축된 족저굴곡 근육이 장지신근의 과사용에 기여 요인이므로 비복근(gastrocnemius)의 신장 치료를 제안하였다.

본 연구에서 정상 발가락 군과 망치 발가락 군 간의 거골하 관절의 외번 각도에는 유의한 차이가 없었으나 망치 발가락 군에서 외번이 제한되었다. Kwon 등(2009)은 정상 발가락 군과 망치 발가락 군 간의 거골하 관절의 회내전(외번)이 유의하게 제한되었다고 보고하였으며 이러한 결과는 거골하 관절의 완전한 관절가동범위(full range of motion)를 위해 장지신근의 근 활성화도를 증가시키고 지속적인 장지신근의 근 수축으로 인한 단축은 망치 발가락 기형에 기여한다고 설명하였다.

본 연구의 결과는 전경골근과 장지신근의 근육 불균형, 감소된 발목관절의 배측굴곡과 거골하 관절의 외번은 망치 발가락 기형에 기여할 수 있다고 제안한다. 향후 연구에서는 전경골근과 장지신근의 근육 불균형의 교정 그리고 발목 관절의 배측굴곡과 거골하 관절의 외번을 증가시키기 위한 중재가 약한 (mild) 망치 발가락 기형이 있는 대상자에게 망치 발가락 기형 각도를 줄이거나 예방할 수 있는지 알아볼 필요가 있다. 본 연구의 제한점으로 첫째, 정상 발가락 군과 망치 발가락 군의 대상자 선정 시 관절측각기를 이용하여 정상 발가락과 망치 발가락을 구분하였다. 따라서 향후 연구에서 망치 발가락에 대한 객관적인 분류 방법에 대한 선행 연구들이 필요할 것이다. 둘째, 전경골근과 장지신근의 근육 불균형 그리고 감소된 발목관절의 배측굴곡과 거골하 관절의 외번이 망치 발가락의 원인과 결과에 대한 관계를 확실히 알 수 없었으므로 향후

연구에서 알아볼 필요가 있다.

V. 결 론

본 연구는 정상 발가락 군과 망치 발가락 군 사이에 발목관절의 능동적 배측굴곡 시 전경골근과 장지신근의 근 활성화도 비, 발목관절의 배측굴곡과 거골하 관절의 외변 각도가 차이가 있는지 알아보기 위해 실시하였다. 본 연구 결과, 전경골근과 장지신근의 근 활성화도 비는 정상 발가락보다 망치 발가락에서 통계학적으로 유의하게 감소하였고, 발목관절의 배측굴곡 각도는 망치 발가락이 정상 발가락보다 유의하게 감소하였다. 따라서 이러한 연구 결과는 전경골근과 장지신근의 근육 불균형과 감소된 발목관절의 배측굴곡이 망치 발가락 기형에 기여한다고 제안한다. 향후 연구에서는 전경골근과 장지신근의 근육 불균형을 교정과 발목 관절의 배측굴곡과 거골하 관절의 외변을 증가시키기 위한 중재가 초기 망치 발가락 기형이 있는 대상자에게 망치 발가락 기형 각도를 줄이거나 예방할 수 있는지 알아볼 필요가 있다.

참 고 문 헌

Bhatia D, Myerson MS, Curtis MJ et al. Anatomical restraints to dislocation of the second metatarsophalangeal joint and assessment of a repair technique. *J Bone Joint Surg Am.* 1994;76(9): 1371-5.

Boulton AJ. The diabetic foot. *Med Clin North Am.* 1988;72(6):1513-30.

Coughlin MJ. Mallet toes, hammer toes, claw toes, and corns. Causes and treatment of lesser-toe deformities. *Postgrad Med.* 1984;75(5):191-8.

Coughlin MJ, Dorris J, Polk E. Operative repair of the fixed hammer toe deformity. *Foot Ankle Int.* 2000;21(2):94-104.

Dhukaram V, Hossain S, Sampath J et al. Correction

of hammer toe with an extended release of the metatarsophalangeal joint. *J Bone Joint Surg Br.* 2002;84(7):986-90.

Greenman RL, Khaodhiar L, Lima C et al. Foot small muscle atrophy is present before the detection of clinical neuropathy. *Diabetes Care.* 2005;28(6):1425-30.

Hansen ST. Functional reconstruction of the foot and ankle. Philadelphia. Lippincott Williams & Wilkins. 2000.

Kendall FP, McCreary EK, Provance PG. *Muscles: Testing and Function.* 4th ed. Philadelphia. Lippincott Williams & Wilkins. 1993 .

Kwon OY, Tuttle LJ, Johnson JE et al. Muscle imbalance and reduced ankle joint motion in people with hammer toe deformity. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2009;24(8):670-5.

Mueller MJ, Hastings M, Commean PK et al. Forefoot structural predictors of plantar pressures during walking in people with diabetes and peripheral neuropathy. *J Biomech.* 2003;36(7): 1009-17.

Parrish TF. Dynamic correction of clawtoes. *Orthop Clin North Am.* 1973;4(1):97-102.

Perry J. *Gait analysis: Normal and pathological function.* SLACK: Thorofare; 1992.

Reynard F, Deriaz O, Bergeau J. Foot varus in stroke patients: muscular activity of extensor digitorum longus during the swing phase of gait. *Foot (Edinb).* 2009;19(2):69-74.

Scheck M. Etiology of acquired hammertoe deformity. *Clin Orthop Relat Res.* 1977;(123):63-9.

Sharman SA. *Diagnosis and treatment of movement impairment syndrome.* Mosby. St. Louis. 2002.

Tollafild DR, Merriman LM. Assessment of the lower limb. In: Merriman LM, Tollafild DR. *Assessment of the locomotor system.* Churchill Livingstone. 1995.