

발목자세가 엄지발가락 굽힘 힘과 엄지별림근의 근활성도에 미치는 효과

정도영[‡]

[‡]중부대학교 물리치료학과, 운동병리과학연구소

Effect of Ankle Position on Hallux Flexion Force and Muscles Activity of Abductor Hallucis

Jung Doyoung, PT, Ph.D[‡]

[‡]*Dept. of Physical Therapy, Kinesio-pathologic Institute, Joongbu University*

Abstract

Purpose : There is no validated method for measuring the toe flexor strength that can isolate the intrinsic muscles of the foot from the extrinsic muscles. This study compared the hallux flexion force (HFF) and muscle activity in the foot and ankle according to ankle position [plantarflexion (PF), neutral, and dorsiflexion (DF)].

Method : The study enrolled 17 subjects. In the sitting position, the HFF and activities of the abductor hallucis (AbdH), tibialis anterior (TA), and gastrocnemius (GCM) muscles were measured using a digital dynamometer and a wireless electromyography system, respectively. Subjects were instructed to flex the great toe maximally in three different ankle positions. Three 5-second trials were performed to measure the HFF and muscle activities in each condition. Repeated-measures ANOVA was used to compare the variables and paired t-tests with the Bonferroni correction were used for post-hoc pair-wise comparisons. The significance level was set at .016.

Result : The HFF in DF was significantly greater than in any other ankle position ($p < .01$). The TA activity was greatest in ankle DF and that of the GCM was greatest in PF (both $p < .01$). However, there was no significant difference in AbdH activity according to ankle position.

Conclusion : These results suggest that selective strength measurement of the foot intrinsic muscles in HFF should be performed with the ankle in the neutral position.

Key Words : abductor hallucis, electromyography, foot intrinsic muscles, hallux flexion force

[‡]교신저자 : 정도영 ptsports@joongbu.ac.kr

논문접수일 : 2017년 05월 04일 | 수정일 : 2017년 05월 31일 | 게재승인일 : 2017년 06월 05일

※ 이 논문은 2016년도 중부대학교 학술연구비 지원에 의하여 이루어진 것임

I. 서론

발 근육들은 종아리에서 기시하여 발목관절을 가로질러 긴 힘줄을 가지고 있는 발 외재근(extrinsic foot muscles)과 발에서 기시하여 발에서 정지하는 4개 층으로 이루어진 발 내재근(intrinsic foot muscles)으로 이루어진다(Kura 등, 1997; Williams 등, 1989). 발 내재근은 안쪽 세로활(medial longitudinal arch)을 지지하며 보행 시 발바닥 근막(plantar aponeurosis), 인대, 그리고 발 외재근들과 함께 발에 가해지는 스트레스를 조절하는 역할을 한다(Allen & Gross, 2003; Basmajian & Stecko, 1963; Mann & Inman, 1964).

발 내재근의 근력 약화는 샤르코-마리-투스병(charcot-marie-tooth disease)에 의한 요족(pes cavus), 뒤꿈치 통증, 갈퀴발가락(claw toe), 망치발가락(hammer toe) 그리고 엄지발가락가쪽굽증(hallux valgus)과 관련이 있다(Arinci Incel 등, 2003; Gallardo 등, 2006; Kwon 등, 2009; Myerson & Shereff, 1989). 따라서 발 내재근의 약화 정도를 측정하거나 발 내재근의 근력 강화에 대한 효과를 알아보기 위해서는 발 내재근의 근력 측정방법이 타당하고 신뢰성이 있어야 한다.

발 내재근의 근력을 측정하는 방법에는 직접적인 방법과 간접적인 방법이 있다. 간접적인 방법으로는 자기공명영상(magnetic resonance imaging: MRI), 컴퓨터단층촬영술(computed tomography: CT), 초음파 검사, 근전도 측정 그리고 생검이 있다(Bus 등, 2006; Cameron 등, 2008; Hing 등, 2009; Mickle 등, 2013). 엄지벌림근(abductor hallucis: AbdH)은 발 내재근 중 가장 크며 엄지발가락의 벌림과 굽힘 기능을 하며 첫 번째 열(first ray: 췌기뼈(cuneiform)와 발허리뼈 사이 관절)에 위치한다. 최근 연구에서 엄지벌림근을 대상으로 근육의 단면적과 표면 근활성도를 이용하여 간접적으로 발 내재근의 근력을 측정하였다(Jung 등, 2011; Lee 등, 2016). 그러나 직접적으로 발가락 굽힘 힘을 측정할 때 발 내재근과 외재근을 구분지어 선택적인 발 내재근의 힘을 측정할 수 없다는 단점이 있다(Soysa 등, 2012). 발 내재근의 특징을 알아보기 위한 다양한 방법들

이 있지만 아직까지 가장 적절한 발 내재근의 근력 측정 방법에 대한 합의가 부족하다.

발가락 굽힘 힘 측정을 바탕으로 발 내재근의 근력을 직접적으로 측정하는 방법으로는 발가락 압력계(toe dynamometer), 종이 쥐기 검사(paper grip test), 내재근 양성 검사(intrinsic positive test) 그리고 발바닥 압력 검사가 있다(de Win 등, 2002; Garth & Miller, 1989; Goldmann & Bruggemann, 2012; Menz 등, 2006; Mickle 등, 2009; Spink 등, 2010). 이 중 발가락 압력계를 이용한 발 내재근의 근력 측정은 객관적인 방법으로 측정자 내 신뢰도가 (intra-rater reliability)인 ICC_{2,1}이 0.83 이상으로 높았다 (Goldmann & Bruggemann, 2012; Spink 등, 2010).

Garth와 Miller(1989)는 발 외재근들은 발허리발가락 관절(metatarsophalangeal joint) 뿐만 아니라 발가락사이 관절(interphalangeal joint)을 굽힘시키는 반면에 발 내재근은 해부학적인 기시점을 근거로 발허리발가락 관절을 굽힘시키고 발가락사이 관절을 펴 시킨다고 주장하였다. 따라서 발가락의 자세에 따라 발 내재근의 근활성도가 다르기 때문에 발가락 압력계를 이용하여 발 내재근의 근력 측정 시 발허리발가락 관절은 굽힘시키고 발가락사이 관절은 과도하게 굽힘하는 것을 제한하도록 해야 한다. 또한 발 내재근의 근력 측정 시 다른 중요한 고려사항으로 발목관절의 자세이다. Spink 등(2010)은 발목관절의 최대 발바닥굽힘 자세가 발 외재근들이 최대로 단축된 길이로 놓여져 힘을 발휘할 수 없기 때문에 발 외재근들의 영향을 덜 받는다고 주장하였다. 이러한 가설은 Goldmann과 Bruggemann (2012)에 의해 뒷받침 되었는데 발 외재근이 단축된 자세인 발목과 발허리발가락 관절의 최대 발바닥굽힘 자세에서 가장 낮은 모멘트가 발생한다고 보고하였다. 이 연구자들은 발 외재근보다는 발 내재근이 주로 발허리발가락 관절에서 주로 모멘트를 발휘하기 때문에 더 낮은 모멘트가 발생된다고 제안하였다. 그러나 이전 연구들에서는 발목 관절 자세에 따른 실질적인 발 내재근의 직접적인 변화를 알아보지 않았기 때문에 타당성 있는 주장이 아니므로 본 연구에서는 발목자세에 따른 발 내재근의 근활성도와 발

가락 굽힘 힘을 비교하고자 하였다. 본 연구의 결과를 활용하여 임상에서 효과적인 발 내재근 강화운동을 통해 객관적이고 선택적인 발 내재근의 근력을 평가함으로써 하지의 과사용증후군 환자들에게 도움이 되고자 한다.

주로 임상에서 발 손상을 치료하고 예방하기 위해 활 (arch) 기능의 회복, 평발의 예방, 발바닥과 하지에 대한 관절가동범위운동 그리고 종아리 근육들의 스트레칭과 근력강화운동에 초점을 두고 있다. 비록 발 내재근 약화는 발가락 기형, 노인의 낙상 위험, 그리고 운동수행능력 손상, 발바닥 근막염과 관련이 있지만, 발 내재근을 선택적으로 평가하기 어렵기 때문에 이러한 모든 치료와 예방법들은 발 외재근들에 초점을 두고 있다. 따라서 발 내재근의 선택적인 근력평가 방법을 알아볼 필요가 있다. 본 연구에서는 발목관절의 자세가 엄지발가락 굽힘 힘과 엄지발가락 굽힘과 벌림시키는 엄지벌림근의 근활성도를 비교함으로써 발 내재근의 선택적인 근력강화와 근력측정을 위한 효과적인 방법을 제시하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구는 정상 성인 17명(남: 7명 여: 10명)을 대상으로 하였으며 대상자의 선정조건은 다음과 같다. 첫째, 최근 6

개월 이내 하지에 영향을 줄 수 있는 외상이나 신경학적인 병력이 없는 자, 둘째, 보행장애가 없고 하지의 통증이 없는 자, 셋째, 엄지발가락뒤틀림과 같은 발가락 기형이 없는 자로 하였다. 연구의 목적과 방법에 대해 실험 전 본 연구에 대한 충분한 설명을 제공하고 연구 동의서에 서명을 한 사람들 중 연구에 참여할 대상자를 모집하였다. 대상자의 평균 키는 165.4 cm, 몸무게는 60.8 kg, 그리고 나이는 24.3세이다. 본 연구는 기관생명윤리위원회에 승인된 내용에 따라 연구를 진행하였다(JIRB-2016121901-02).

2. 실험방법

1) 측정도구

엄지발가락 굽힘 힘을 측정하기 위해 디지털 근력측정기(Isoforce GT-300, OG Wellness, Japan)를 사용하였다(그림 1A). 엄지벌림근의 근활성도를 측정하기 위해 무선 근전도 시스템(TeleMyo 2400T EMG, Noraxon, USA)를 이용하였다(그림 1B). 근전도 신호는 근전도 소프트웨어(Master edition 1.06, Noraxon, USA)를 이용하여 분석하였다. 근전도 자료 수집률(sampling rate)은 1024 Hz로 하였으며 잡음을 최소화하기 위해 원신호는 대역 여과 필터(notch filter) 60 Hz, 그리고 30~500 Hz의 대역통과 필터(bandpass filter)를 사용하여 여과하였다. 또한 근전도 신호를 RMS (root mean square)값으로 계산하여 분석하였다.



Figure 1. Instrumentations for measurement
(A: Digital dynamometer; B: wireless EMG system)

2) 실험절차

엄지발가락의 굽힘 힘과 엄지벌림근의 근활성도는 3가지 발목자세인 (1) 발목관절 20° 발등굽힘 자세, (2) 중립 자세, 그리고 (3) 발목관절 40° 발바닥굽힘 자세에서 무작위 순서로 측정하였다(그림 2). 실험자의 우세측 다리의 부착 지점을 알코올로 닦아낸 부위에 전극을 붙였다. 엄지벌림근에서는 발배뼈 거친면(navicular tuberosity)의 뒤쪽 1~2 cm에 근 섬유와 진행방향과 평행방향으로 근전도 전극 2개를 부착하였고(Lee 등, 2016), 앞정강근의 근전도 전극 부착부위는 내측복사뼈와 종아리뼈사이 선상의 1/3 지점이었고 안쪽 장딴지근의 근전도 전극 부착부위는 뒤꿈치와 종아리뼈 머리 사이 선상의 1/3 지점이었다. 근전도 부착 시에는 근전도 연구를 많이 수행했던 전문가가 직접 시행하였다. 발가락 악력계 센서의 위치를 몸쪽 발가락뼈에 위치하여 최대한 발가락사이 관절의 굽힘없이 발허리 발가락 관절을 굽힘하도록 하였다.

대상자는 등받이가 없는 의자에 몸을 바로 세워 앉고 가슴 위에 손을 가로질러 올려놓고 조건마다 몸을 앞뒤로 기울이지 않도록 하여 측정하였다. 또한 측정하는 동안 발이 옆침 혹은 뒤침되지 않도록 목말밑관절을 중립에 위치하도록 하였고 다리가 회전되지 않도록 하였다. 본 실험 전 준비운동을 위해 최대하 등척성 수축(submaximal isometric contraction)으로 3~5회 정도 실시하였다. 본 실험에서는 최대 자발적 등척성 수축을 하는 동안 뒤꿈치가 떨어지지 않도록 하면서 대상자는 2~3초 내에 최대 정점에 도달하도록 5초 동안 엄지발가락의 몸쪽 발가락뼈를

발가락 악력계 센서에 대해 아래방향으로 힘을 주어 측정하였다. 엄지발가락 굽힘근의 근력은 측정된 값의 최대값으로 하였다. 대상자가 최대의 힘을 발휘하지 않았거나 정해진 발목각도가 유지 되지 않았으면 다시 시도하였다. 발목관절의 각도에 따라 3회 반복 측정하였으며 각각의 측정 사이에 최소한 3분의 휴식시간을 주어지며 피로효과를 피하기 위해 발목관절의 각도 조건에 따른 순서를 무작위로 하였다. 조건에 따른 발목관절의 각도는 일반 각도계를 활용하여 조절하였다.

3) 자료 분석 및 통계

엄지발가락 굽힘 힘에 대한 측정자내 신뢰도(intra-rater reliability)를 알아보기 위해 급간내 상관계수(intraclass correlation coefficient, ICC_{3,1})을 사용하였다. 근활성도의 정규화(normalization)를 위해 각 근육의 최대 자발적 등척성 수축에 대해 5초간 저항을 주어 중간 3초 동안 측정된 값의 평균값을 최대 자발적 등척성 수축(maximal voluntary isometric contraction: MVIC)으로 하였다. 각각의 발목자세에 따른 평균 근활성도를 %MVIC로 표현하였다. 발목자세에 따른 엄지발가락 굽힘 힘과 근활성도는 평균±표준편차로 제시하였으며 발목관절 자세에 따른 엄지발가락 굽힘 힘과 엄지벌림근의 근활성도를 비교하기 위해 반복측정요인 분산분석(repeated measured ANOVA)을 이용하고 사후분석으로 본페로니 수정에 따른 짝비교 검정(paired t-test)을 실시하였다. 사후분석에 대한 유의수준은 α=.016 (.05/3)로 하였다.



Figure 2. Measurement of hallux flexor strength according to ankle position (A: Plantarflexion, B: Neutral, C: Dorsiflexion position)

III. 결 과

엄지발가락 굽힘 힘에 대한 검사-재검사 신뢰도는 매우 높았다($ICC_{3,1}[95\%CI]=.86 [.78-.91]$). 표 1에 발목자세에 따른 엄지발가락 굽힘 힘과 평균 근활성도를 제시하였다. 반복측정된 요인분산분석 결과, 발목자세에 따른 엄지발가락 굽힘 힘과 각 근육의 평균 근활성도는 유의한 차이를 보였다($p<.05$)(그림 3). 발목자세에 따른 사후분석 결과, 엄

지발가락 굽힘 힘은 모든 조건에서 유의한 차이를 보였다(그림 3A). 발목자세에 따른 평균 근활성도는 엄지벌림근에서는 발등굽힘 자세에서 가장 높았으나 유의한 차이가 없었으며($p>.01$)(그림 3B), 앞정강근에서는 발등굽힘 자세가 다른 자세보다 유의하게 높았으며($p<.01$)(그림 3C), 장딴지근에서는 발바닥굽힘 자세가 다른 자세보다 유의하게 높았다($p<.01$)(그림 3D).

Table 1. HFF (N) and muscle activity (%MVIC) according to ankle position (N=17)

Variables	Ankle position			p	
	PF	Neutral	DF		
HFF (N)	28.31±16.30 ^a	43.38±16.95	50.24±21.95	0.001	
Muscle activity (%MVIC)	AbdH	26.28±13.48	32.31±19.30	37.30±24.05	0.036
	TA	6.84±6.74	11.08±11.14	32.42±19.50	0.001
	GCM	30.84±18.76	19.01±20.92	15.77±17.30	0.001

aMean±standard deviation, HFF: hallux flexion force, PF: plantarflexion, DF: dorsiflexion, AbdH: abductor hallucis, GCM : gastrocnemius, TA: tibialis anterior MVIC: maximum voluntary isometric contraction

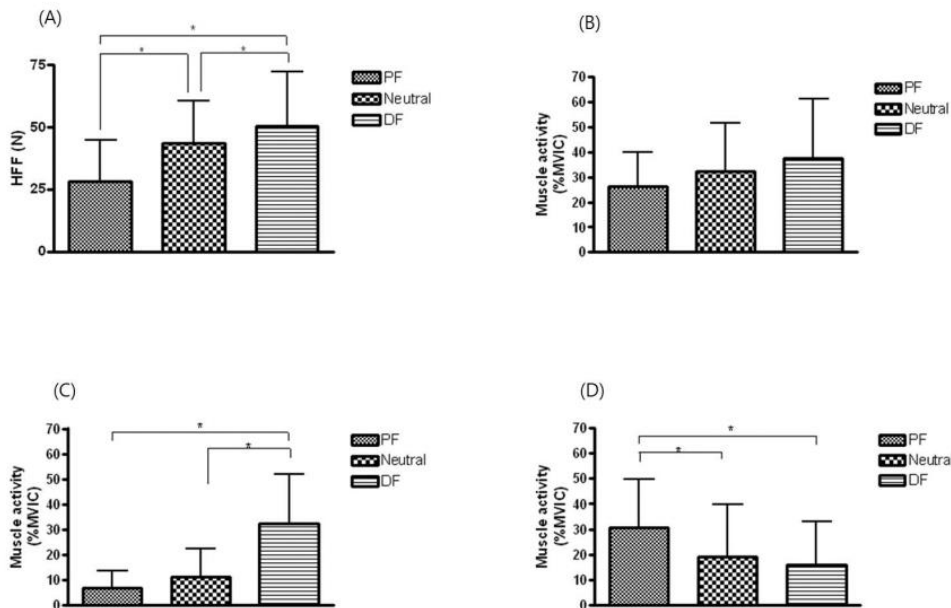


Figure 3. Result of post-hoc analysis in HFF (A) and muscle activity of AbdH (B), TA (C) and GCM (D)

*significant differences in hallux flexion force and muscle activity ($p<.016$)

HFF: hallux flexion force, PF: plantarflexion, DF: dorsiflexion, AbdH: abductor hallucis, GCM : gastrocnemius,

TA: tibialis anterior MVIC: maximum voluntary isometric contraction

IV. 고 찰

본 연구는 발목자세에 따른 선택적인 발 내재근의 근력을 평가할 수 있는 효과적인 방법을 제시하기 위해 설계되었다. 본 연구는 다양한 발가락 내재근 측정방법 중 발가락 압력계를 이용하였는데 측정자 내 신뢰도가 0.86로 이전 연구의 측정자 내 신뢰도 0.83과 유사한 결과를 보였다(Goldmann & Bruggemann, 2012; Spink 등, 2010). 이러한 신뢰성 있는 측정도구를 통한 발가락 굽힘 힘 측정 시 발목자세에 따른 발 주위 근육의 근활성도 측정 결과, 엄지 발가락 굽힘 힘 측정 시 발등굽힘 자세에서 앞정강근의 근활성도가 가장 높았으며 장딴지근은 발바닥굽힘 자세에서 유의하게 가장 높았다. 엄지발가락의 근활성도는 발목자세에 따른 유의한 차이는 없었지만 중립자세가 발바닥굽힘 자세보다 높았다. 이전 연구들에서 최대 발바닥굽힘 자세를 취하게 되면 발 외재근들이 최대로 단축된 길이로 놓여지기 때문에 발 외재근들이 힘을 발휘할 수 없게 되어 발허리발가락관절에서 가장 낮은 모멘트가 발생한다고 보고하였다(Goldmann & Bruggemann, 2012; Spink 등, 2010). 따라서 이들은 발바닥 굽힘 자세에서 발 외재근보다는 발 내재근에 의해 발허리발가락 관절에서 굽힘 모멘트를 발휘한다고 주장하였다. 그러나 본 연구에서는 이전 연구와 상반된 결과를 보였는데, 중립자세에서 발바닥 굽힘자세보다 엄지발가락 굽힘 힘과 엄지발가락의 근활성도가 높았다. 또한 엄지발가락 굽힘 힘 측정 시 발바닥 굽힘 자세에서는 장딴지근이 그리고 발등굽힘 자세에서는 앞정강근이 관여함으로써 선택적인 발 내재근의 활성화가 이루어지지 않았다고 판단된다. 따라서 엄지발가락 굽힘 힘 측정을 통한 발 내재근의 선택적인 근력 측정 자세로 발목관절의 중립자세를 추천한다. 또한 본 연구의 실험절차에서 언급했듯이 긴 엄지발가락 굽힘근인 발의 외재근의 참여를 최대한 배제하기 위해 엄지발가락 굽힘 힘 측정 시 발이 뒤침(supination)되지 않도록 목말뎠관절을 중립에 위치하도록 하였고 다리가 회전되지 않도록 하였다.

이전 연구들에서 발가락 굽힘근의 근력과 발 내·외재근

의 단면적과의 관계를 알아보았다(Mickle 등, 2016; Kurihara 등, 2014). Mickle 등(2016)은 발가락굽힘 힘이 젊은 사람에 비해 노인에게서 약 35 % 감소되고 특히 초음파 검사를 통한 발 내재근의 단면적과 발가락 굽힘 힘은 높은 상관관계를 보였다고 보고하였다. 따라서 발 내재근의 단면적 감소와 발가락 굽힘 힘의 감소는 노인들의 안전한 보행에 영향을 미칠 수 있다고 언급하였다. Kurihara 등(2014)은 MRI를 통한 발 내·외재근의 단면적은 최대 발가락 굽힘 힘을 결정하는데 중요한 요소라고 보고하였다. 이전 연구에서는 중립자세에서 발가락굽힘 힘이 147.8 N인 반면에 본 연구에서는 평균 43.4 N 이었다(Kurihara 등, 2014). 이전 연구에서는 발가락 쥐기 힘 즉, 발가락사이관절을 굽힘 하면서 엄지발가락뿐만 아니라 다른 발가락을 모두 사용하여 근력을 측정했기 때문에 본 연구보다 더 높은 힘이 제시되었다고 사료된다. 발 내재근을 강화시키기 위해 주로 발가락 수건 말기 운동(toe-curl exercise)과 발가락으로 물건 쥐기와 같은 발가락 굽힘 운동을 수행한다. 물론 이런 운동들은 발 내재근을 활성화시키지만 발 외재근인 긴엄지발가락굽힘근(flexor hallucis longus)과 긴 발가락굽힘근(flexor digitorum longus)을 현저하게 활성화시킨다(Jung 등, 2011). 대부분의 발 내재근은 해부학적으로 발가락사이관절을 지나지 않고 발허리발가락 관절을 지난다. 이러한 발 내재근의 기능해부학적 관점에서 볼 때 특별한 운동이 요구된다. 최근 들어 많은 연구들에서 선택적인 발 내재근의 수축을 위해 짧은-발 운동(short foot exercise)을 소개하였다(Lee 등, 2016; Jung 등, 2011).

이 운동은 첫번째 발허리발가락관절을 뒤꿈치뼈로 당겨 발의 아치를 올리게 하는 운동이다. 따라서 선택적인 발 내재근의 근력강화 훈련 또는 근력을 측정할 때에는 발가락사이관절을 과도하게 굽힘되지 않도록 하면서 발허리발가락 관절의 굽힘 힘을 측정해야 한다.

본 연구에서 발 내재근인 엄지발가락의 근활성도는 발바닥 굽힘자세, 중립자세 그리고 발등굽힘 자세에서 각각 26.3, 32.3, 37.3 %MVIC였다. 비록 분산분석 결과에서 유의한 차이를 보였지만, 사후분석 결과 각 조건 간 차이가

없는 것으로 나타났다. 이는 각각의 조건에서 전체적인 근활성도와는 차이가 있는 반면에 각 조건 간 근활성도는 유의한 차이가 없음을 보여준다. Jung 등(2011)은 짧은-발운동을 앉은 자세에서 시행했을 때 엄지벌림근의 근활성도가 평균 45.2 %MVIC이라고 제시하였다. 본 연구에서의 32.3 %MVIC보다 높았던 이유는 본 연구에서는 엄지발가락 굽힘 힘에 초점을 둔 반면에 이전 연구에서는 발허리뼈 머리를 뒤꿈치로 향하는 앞-뒤 방향의 힘에 초점을 두어 아치를 높여 유지된 상태에서 최대 엄지벌림근의 근활성도를 측정했기 때문이라 사료된다. 따라서 향후 연구에서는 발허리뼈 머리를 뒤꿈치로 향하는 힘을 측정하는 장치를 고안하여 측정했을 때와 발가락 굽힘 힘 측정 시 발내재근의 근활성도를 비교하여 선택적인 발내재근의 근력 측정 방법을 비교분석 해보아야 할 것이다.

본 연구의 제한점으로 연구설계 상 엄지발가락의 굽힘 힘과 발내재근의 근활성도에 대한 상관관계를 알아볼 수 없다는 것이다. 향후 연구에서는 발가락 굽힘 힘에 따른 발내재근의 근활성도를 알아봄으로써 발내재근의 근력 측정에 대한 타당성 검사를 할 필요가 있을 것이다. 또 다른 제한점으로 엄지발가락 굽힘근의 근력 측정 시 직접적으로 관련이 있는 짧은 혹은 긴 엄지발가락 굽힘근에 대한 근활성도를 측정할 수 없다는 것이다. 표면 근전도는 깊은 근육들은 측정할 수 없는 단점 때문에 본 연구에서는 표면 근전도로 측정할 수 있는 유일한 발내재근인 엄지벌림근의 근활성도를 측정하였다. Kim 등(2012)은 엄지벌림근의 전기자극 시 전두면에서의 엄지발가락의 몸쪽마디뼈 움직임 각이 53.4°로 벌림과 굽힘이 동시에 일어난다고 보고하였다. 이는 엄지발가락 굽힘 힘 유발 시 엄지벌림근이 관여함을 의미한다. 향후 연구에서는 다양한 발목 자세 및 발가락 자세에 따라 직접적인 발가락 굽힘에 관여하는 짧은 혹은 긴 엄지 발가락 굽힘근의 근육단면적 혹은 침 근전도를 통한 근활성도의 변화를 알아볼 필요가 있다.

V. 결 론

본 연구는 발목자세에 따른 선택적인 발내재근의 근력을 평가할 수 있는 효과적인 방법을 제시하기 위해 설계되었다. 연구결과, 엄지발가락 굽힘 힘 측정 시 발목자세에 따른 평균 근활성도는 발등굽힘 자세에서 앞정강근의 근활성도가 가장 높았으며 장딴지근은 발바닥굽힘 자세에서 유의하게 가장 높았다. 엄지벌림근의 근활성도는 발목자세에 따른 유의한 차이는 없었다. 따라서 엄지발가락 굽힘 힘 측정을 통해 발외재근의 근수축을 최소화시키면서 발내재근의 선택적인 근력 측정 자세로 발목관절의 중립자세를 추천한다.

참고문헌

- Allen RH, Gross MT(2003). Toe flexors strength and passive extension range of motion of the first metatarsophalangeal joint in individuals with plantar fasciitis. *J Orthop Sports Phys Ther*, 33(8), 468-478.
- Arinci Incel N, Genc H, Erdem HR, et al(2003). Muscle imbalance in hallux valgus: an electromyographic study. *Am J Phys Med Rehabil*, 82(5), 345-349.
- Basmajian JV, Stecko G(1963). The role of muscles in arch support of the foot. *J Bone Joint Surg Am*, 45, 1184-1190.
- Cameron AF, Rome K, Hing WA(2008). Ultrasound evaluation of the abductor hallucis muscle: reliability study. *J Foot Ankle Res*, 1(1), 12.
- Bus SA, Maas M, Lindeboom R(2006). Reproducibility of foot structure measurements in neuropathic diabetic patients using magnetic resonance imaging. *J Magn Reson Imaging*, 24(1), 25-32.
- de Win MM, Theuvenet WJ, Roche PW, et al(2002). The paper grip test for screening on intrinsic muscle paralysis in the foot of leprosy patients. *Int J Lepr Other Mycobact Dis*, 70(1), 16-24.

- Gallardo E, Garcia A, Combarros O, et al(2006). Charcot-marie-tooth disease type 1a duplication: spectrum of clinical and magnetic resonance imaging features in leg and foot muscles. *Brain*, 129(2), 426-437.
- Garth WP Jr, Miller ST(1989). Evaluation of claw toe deformity, weakness of the foot intrinsics, and posteromedial shin pain. *Am J Sports Med*, 17(6), 821-827.
- Goldmann JP, Bruggemann GP(2012). The potential of human toe flexor muscles to produce force. *J Anat*, 221(2), 187-194.
- Hing WA, Rome K, Cameron AF(2009). Reliability of measuring abductor hallucis muscle parameters using two different diagnostic ultrasound machines. *J Foot Ankle Res*, 16(2), 33.
- Jung DY, Kim MH, Koh EK, et al(2011). A comparison in the muscle activity of the abductor hallucis and the medial longitudinal arch angle during toe curl and short foot exercises. *Phys Ther Sport*, 12(1), 30-35.
- Jung DY, Koh EK, Kwon OY(2011). Effect of foot orthoses and short-foot exercise on the cross-sectional area of the abductor hallucis muscle in subjects with pes planus: a randomized controlled trial. *J Back Musculoskelet Rehabil*, 24(4), 225-231.
- Kura H, Luo ZP, Kitaoka HB, et al(1997). Quantitative analysis of the intrinsic muscles of the foot. *Anat Rec*, 249(1), 143-151.
- Kwon OY, Tuttle LJ, Johnson JE, et al(2009). Muscle imbalance and reduced ankle joint motion in people with hammer toe deformity. *Clin Biomech(Bristol, Avon)*, 24(8), 670-675.
- Kim MH, Koh EK, Jung DY(2012). Analysis of kinematic motions of first metatarsophalangeal joint during electrical stimulation of abductor hallucis muscle in subjects with hallux valgus. *J Kor Phys Ther*, 24(4), 276-281.
- Kurihara T, Yamauchi J, Otsuka M, et al(2014). Maximum toe flexor muscle strength and quantitative analysis of human plantar intrinsic and extrinsic muscles by a magnetic resonance imaging technique. *J Foot Ankle Res*, 7(1), 26.
- Lee JH, Cynn HS, Yoon TL, et al(2016). Differences in the angle of the medial longitudinal arch and muscle activity of the abductor hallucis and tibialis anterior during sitting short-foot exercises between subjects with pes planus and subjects with neutral foot. *J Back Musculoskelet Rehabil*, 29(4), 809-815.
- Mann R, Inman VT(1964). Phasic activity of intrinsic muscles of the foot. *J Bone Joint Surg Am*, 46(3), 469-481.
- Menz HB, Zammit GV, Munteanu SE, et al(2006). Plantarflexion strength of the toes: Age and gender differences and evaluation of a clinical screening test. *Foot Ankle Int*, 27(12), 1103-1108.
- Mickle KJ, Angin S, Crofts G, et al(2016). Effects of age on strength and morphology of toe flexor muscles. *J Orthop Sports Phys Ther*, 46(12), 1065-1070.
- Mickle KJ, Nester CJ, Crofts G, et al(2013). Reliability of ultrasound to measure morphology of the toe flexor muscles. *J Foot Ankle Res*, 6(1), 12.
- Mickle KJ, Munro BJ, Lord SR, et al(2009). ISB clinical biomechanics award 2009: toe weakness and deformity increase the risk of falls in older people. *Clin Biomech*, 24(10), 787-791.
- Myerson MS, Shereff MJ(1989). The pathological anatomy of claw and hammer toes. *J Bone Joint Surg Am*, 71(1), 45-49.
- Soyza A, Hiller C, Refshauge K, et al(2012). Importance and challenges of measuring intrinsic foot muscle strength. *J Foot Ankle Res*, 5(1), 29.
- Spink MJ, Fotoohabadi MR, Menz HB(2010). Foot and ankle strength assessment using hand-held dynamometry: reliability and age-related differences. *Gerontol*, 56(6), 525-532.
- Williams PL, Warwick R, Dyson M, et al(1989). *Gray's anatomy*, 37th ed. New York, Churchill Livingstone.