

회내족 대상자의 스쿼트 동안 능동적 족궁 지지가 하지근육의 근전도 활성도에 미치는 영향



The Journal Korean Society of Physical Therapy

- 남기석, 박지원¹
- 영남이공대학 물리치료과, ¹대구가톨릭대학교 의료과학대학 물리치료학과

Effect of Active Foot Arch Support on Lower Extremity Electromyographic Activity during Squat Exercise in Persons with Pronated Foot

Ki-seok Nam, PT, MS; Ji-Won Park, PT, PhD¹

Department of Physical Therapy, Yeungnam College of Science & Technology; ¹Department of Physical Therapy, College of Medical Science, Catholic University of Daegu

Purpose: The purpose of this study was to identify the effect of active foot arch support on the muscles of lower extremity electromyographic activity during squat exercise in persons with pronated foot.

Methods: The study subjects were 16 persons with pronated foot. They have no history of surgery in lower extremity and trunk and limitation of range of motion or pain when performing squat exercise. Each subject was measured the navicular drop (ND) to determine the pronated foot. And then the subjects were asked to perform three repetitions of a 90° knee flexion squat in both conditions which are 1) preferred squat and 2) squat with active foot arch support.

Results: Paired t-test revealed that squat with active foot arch support produced significantly greater EMG activities in abductor hallucis ($p=0.00$), proneus longus ($p=0.03$) and gluteus medius ($p=0.04$) than preferred squat. But the EMG activities of tibialis anterior, vastus medialis oblique and vastus lateralis were not showed significantly different between the both squat conditions.

Conclusion: The findings of this study suggest that active foot arch support during squat increase the activities of lower extremity muscles which are the abductor hallucis, proneus longus and gluteus medius. Also, the abductor hallucis which is one of the planter intrinsic muscle and peroneus longus play a role in support of the foot arch and active foot arch support induced the increase of the activity of gluteus medius. Therefore active foot arch support can change the lower extremity biomechanics as well as passive foot support such as foot orthotics and taping.

Keywords: Pronated foot, Foot arch, Squat

논문접수일: 2010년 5월 24일

수정접수일: 2010년 8월 25일

게재승인일: 2010년 9월 24일

교신저자: 박지원, mylovept@hanmail.net

1. 서론

발의 회내동작은 정상적으로 일어나는 움직임이지만 과도한 동작의 유발시 병적상황이 나타나게 된다. 일반적으로 보행의 발뒤꿈치 닿기시 약간의 내반(inversion)이 되면서 발뒤꿈치의 후외측부위에 부하가 가해진다. 하지만 회내족인 경우에는 과도한 회내 또는 외반으로 인해 과도한 내측족궁의 낮아짐이 발생하게 된다. 이

러한 이유로 인해 하퇴의 내회전, 고관절과 골반의 부적절한 회전이 발생하여 관련구조에 과도한 스트레스를 가하게 된다. 후족부의 과도한 회내로 인한 하지의 임상적 문제점으로는 족관 증후군(tarsal tunnel syndrome), 중족골통증(metatarsalgia), 족저근막염(plantar fasciitis), 후경골근 건염(tibialis posterior tendinitis), 아킬레스 점액낭염 또는 건염(Achilles bursitis or tendinitis), 장경인대 마찰증후군(iliotibial friction syndrome), 내측

□경골스트레스 증후군(medial tibial stress syndrome), 슬개대퇴 통증 증후군(patellofemoral pain syndrome) 등과 같이 다양하면서도 많은 증상을 나타낸다.¹

족부 보조기가 회내측에 미치는 영향에 관한 다양한 연구가 있다. 외발 스쿼트와 외측으로 계단내리기와 같은 동작시에 신발내부가 아닌 외부에서 적용된 보조기(off-the-shelf orthotics)의 적용이 사선내측광근과 중둔근의 활동성을 높이는 효과가 있었다.^{2,3} 반대로 패드를 이용한 족궁지지와 일반적 족부보조기 모두 보행시 최대 회내각, 종골 외반의 조절에 효과가 없었다.³ 족부보조기는 보행시 전경골근과 장비골근의 최대 근전도 진폭을 향상시키는 효과가 있었으며,⁴ 발보조기를 착용한 상태에서의 달리기시 입각기의 초기 50%에서 경골의 축회전을 최대로 조절하는 효과가 있었다.⁵ 또한 캐스트와 비캐스트 보조기 모두 달리기시 거골하관절의 과도한 회내를 조절하는 데 효과적이었다.⁶

보조기 처방이 외에 회내측에 주로 처방되는 기법으로 반회내 테이핑으로서 대표적인 두 형태로서 high-Dye와 low-Dye 테이핑이 있다. 두 가지 테이핑 방법 모두 보행시 최대 내반각의 증가의 효과가 있었으나, 후족부 최대외반각의 감소 효과는 high-Dye 테이핑에서만 나타났다.⁷ 또한 low-Dye 테이핑은 과도한 동적 회내 또는 장시간의 정적 회내의 조절에 효과가 없었다.⁸

회내측과 관련된 과거의 연구는 수동적 족궁의 형성을 위한 족부보조기, 테이핑 등의 효과를 검증한 것이 대부분이다. 하지만 회내측 대상자가 능동적으로 족궁을 유지한 상태에서 하지의 기능적 운동을 실시할 때 근육 활성도에 대한 연구는 미미하다. 또한 기존의 회내측에 대한 연구의 경향은 테이핑이나 족부보조기와 같은 수동적 구조물을 통한 족궁 지지의 효과를 연구한 결과만이 있으며, 자발적 근육수행을 통한 능동적 족궁형성과 이와 관련된 하지의 생체역학적 운동효과에 대한 연구는 미미하다. 따라서 본 연구의 목적은 회내측에 대한 기존의 수동적 구조물 위주의 처방이 아닌 능동적 족궁을 형성한 상태에서의 스쿼트 실시가 자유로운 스쿼트에 비해 하지 근활성도 변화에 미치는 영향을 알아보기 위함이다.

II. 연구방법

1. 연구대상

연구대상자는 과도한 후족부 외반을 가진 회내측 대상자로서 본 연구의 참가에 동의한 남녀 16명을 대상으로 하였다. 다음의 경우에 해당하는 자는 연구대상자에서 제외하였다. 첫째, 하지와 체간에 통증이 있는자, 둘째, 체간과 하지의 관절가동범위

가정상에서 현저하게 벗어난 자, 셋째, 슬관절의 질환이나 그로 인한 수술병력이 없는 자.

2. 실험방법

대상자들에게 본 실험의 절차에 대해 충분히 설명하였다. 대상자는 스쿼트 운동을 실시하는데 불편함이 없도록 타이트하면서 무릎이 덮이지 않는 길이의 반바지를 착용하였다. 근활성도 측정을 위해 부착하는 근전도 전극의 위치가 드러나도록 하기 위해 중둔근 부위의 반바지 부위를 등글게 잘라내어 위치를 확보하였다. 전극을 피부에 부착하기 전에 저항을 최소화하기 위하여 전극을 알코올로 닦았으며, 각 근육의 전극부착 위치의 털을 제거한 후 알코올로 닦았다. 근전도 전극은 무지외전근, 전경골근, 장비골근, 내측광근, 외측광근, 중둔근에 부착하였다.

스쿼트 동안 근전도 신호를 측정할 때 순서에 따른 피로효과 등을 배제하기 위하여 제비뽑기를 이용하여 스쿼트 순서를 결정하였다. 스쿼트 운동시 대상자의 자세는 어깨넓이의 120%로 양발을 벌리고 슬관절 굴곡시 고관절을 약간 내전하도록 지시하였다.⁹ 양팔은 가볍게 팔짱을 낀 자세에서 체간은 기립을 유지한 상태로 서도록 하였다.

측정된 근활성도의 정량화(normalization)를 위하여 개별근육의 최대수요적 등척성 수축력값(maximal voluntary isometric contraction, MVIC)을 이용하였다. 무지외전근의 MVIC의 측정에는 Headlee 등¹의 연구방법을 참조하였으며, 전경골근, 장비골근, 내측광근, 외측광근의 MVIC측정은 Hislop과 Montgomery¹⁰의 연구결과를 참고하였다. 개별 근육별로 MVIC를 3회 측정하였으며, 각 회간 약 1분간 휴식하여 근피로를 최소화하였다. 이렇게 얻어진 3회의 값에 대한 평균값을 자료값으로 활용하였다.

스쿼트는 등과 머리의 뒷부분을 벽에 기대고 뒤꿈치가 벽에서 20 cm 떨어진 위치에 선 자세에서 슬관절 굴곡각도가 60°가 될 때까지 앉았다가 시작자세로 기립하는 방법으로 실시하였다. 이때 체간과 머리의 뒷부분은 벽에 기대어 수직기립자세를 유지하게 하였다. 운동시간을 일정하게 하기 위해 박자기(metronome)를 이용하여 1회의 스쿼트가 6초에 마무리되도록 조절하였다. 이런 방식으로 1) 자유 스쿼트(preferred squat), 2) 능동적 족궁지지 상태에서의 스쿼트(squat with active foot arch support) 두 조건에서 3회씩 실시하였다. 운동 회간 휴식 시간은 2분간 제공하여 피로가 결과에 영향을 미치는 것을 최소화하였다.

능동적 족궁형성의 방법으로는 Figure 1과 같이 기립자세에서 같이 실험자가 수동적으로 족궁을 모델링한 후(A), 축진을 하여 엄지와 검지로서 동일한 압력이 느껴지는 자세(subtalar jt. neutral position)에서(B), 능동적으로 족궁을 지지한 상태를

유지하도록 하였다(C). 이때 첫 번째 중족골두가 지면에서 떨어지지 않게 하기 위해 첫 번째 중족지절관절과 지질간관절이 굴곡되지 않도록 교육하였다.

3. 실험도구 및 자료수집

근전도를 이용하여 선택된 근육의 활성도를 측정하기 위하여 MP100 system을 이용하였다. 전극은 bipolar silver/silver chloride EMG electrode를 사용하였다. 대상근육별 전극의 부착부위로서 무지외전근은 발의 내측면 부위, 전경골근은 경골조면에서 하부의 근육부위, 장비골근은 비골두와 외과의 연결선에서 약 17%지점, 내측광근은 슬개골 상내측부에서 내측으로 50도 방향으로 5 cm 부위, 외측광근은 슬개골의 상외측부에서 전상장골극의 방향으로 9 cm 부위 그리고 중둔근은 장골능과 대전자를 잇는 선에서 약 30% 부위에 각각의 전극을 부착하였다.¹¹

전극을 통해 수집된 신호는 MP100을 이용하여 아날로그 신호를 디지털 신호로 전환하였으며, sampling rate은 1,000 Hz로 하였다. 60 Hz notch filter로 걸러진 아날로그 신호는 완 파정류(full wave rectification)처리 단계를 거쳐 root mean square(RMS)를 통해 컴퓨터 파일로 저장하였다. 신호 저장과 처리를 위해 AcqKnowledge 3.8.1 프로그램을 사용하였다.

4. 분석방법

스쿼트 운동의 두 가지 조건 즉 1) 자유 스쿼트(preferred squat), 2) 능동적 족궁지지 상태에서의 스쿼트(semi-squat with active foot arch support)를 시행하는 동안 기록된 각 대상근육별 근활성도를 비교하기 위하여 paired t-test를 실시하였다. 통계적 유의수준 α 는 0.05로 하였고, SPSS 12.0을 이용하였다.

III. 결과

1. 연구대상자의 일반적 특성

연구대상자의 일반적인 특성은 Table 1과 같다. 평균나이는 22.08세, 평균신장은 166.32 cm, 평균체중은 59.24 kg이었다.

Table 1. General features of the studied subjects (N=16)

Character	Mean	±	SD	Range
Age (years)	22.08	±	1.83	20~28
Height (cm)	166.32	±	8.26	151~179
Weight (kg)	59.24	±	12.01	42~82
ND (mm)	15.15	±	2.16	11.03~18.13

회내족의 정도를 나타내는 주상골 낙하(navicular drop)의 평균 값은 15.15 mm이었다.

2. 스쿼트 조건에 따른 대상근육의 근활성도(%MVIC)

두 가지의 스쿼트 조건 즉 자유 스쿼트(preferred squat)와 능동적 족궁지지 상태에서의 스쿼트(semi-squat with active foot arch support)에 따른 무지외전근, 전경골근, 장비골근, 내측광근, 외측광근, 중둔근의 근활성도를 수의적최대 등척성 수축력에 대한 비율로 비교한 결과 무지외전근, 장비골근 그리고 중둔근이 자유 스쿼트에 비해 능동적 족궁지지 상태에서의 스쿼트에서 높은 근활성도를 보여 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($p<0.05$)(Table 2, Figure 2).

Table 2. Muscle activity by squat conditions (%MVIC) (N=16)

Muscle	Condition			p
	Prefer	Active Arch		
Abd. H	36.76 ± 21.64 ^a	68.92 ± 29.58	0.00	
TA	75.12 ± 12.81	79.61 ± 17.52	0.87	
PL	30.81 ± 22.24	38.07 ± 22.01	0.03	
VMO	48.86 ± 16.78	42.56 ± 14.21	0.17	
VL	73.89 ± 19.25	74.08 ± 18.52	0.91	
Gmed	69.49 ± 24.23	72.92 ± 21.83	0.04	

^a: mean±SD

Abd. H: abductor hallucis

TA: tibialis anterior

PL: peroneus longus

VMO: vastus medialis oblique

VL: vatus lateralis

Gmed: gluteus medius



Figure 1. The method of active foot arch support

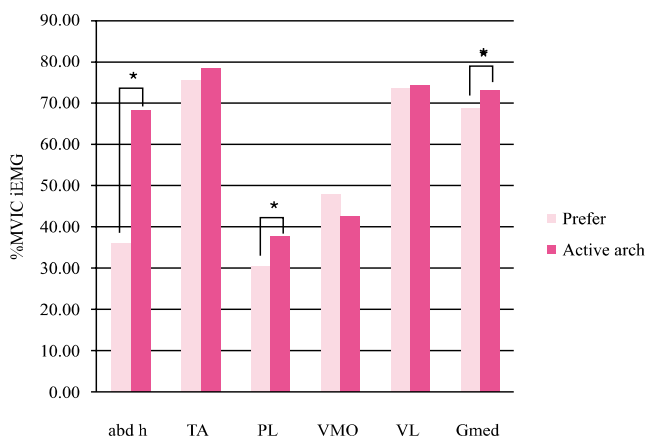


Figure 2. Muscle activity by squat conditions (%MVIC)

Abd. H: abductor hallucis
 TA: tibialis anterior
 PL: peroneus longus
 VMO: vastus medialis obliquus
 VL: vatus lateralis
 Gmed: gluteus medius

IV. 고찰

본 연구는 회내족을 대상으로 능동적 족궁형성을 통한 스쿼트가 자유 스쿼트에 비해 하지의 근전도 활성도에 어떤 영향을 미치는가를 알아보고자 실시되었다. 능동적 족궁의 형성에 관여하는 근육에 관해서 아직 완전히 이해되지는 않았다. 하지만 외재근으로서 후경골근, 전경골근, 장비골근 등이 내측족궁을 동적으로 지지한다고 알려져 있다.¹ 발의 내재근으로 무지외전근, 단무지굴곡근, 단지굴근, 소지외전근, 배측 골간근 등이 보행시 근전도 활성도를 보이는 것으로 알려져 있다.¹² 그래서 본 연구에서는 표재근이면서 발내재근을 대표하는 무지외전근을 실험대상으로 지정하였다. 또한 보행의 입각기동안 전경골근이 후족부의 동작에 영향을 미치는 것으로 알려졌으며,¹³ 회내족 대상자에게 후족부의 내반을 유도하는 족부보조기를 처방한 상태에서의 보행시 전경골근과 장비골근의 근전도 활성도가 증가한 것을 기초로 하여 본 연구에서는 회내족 대상자의 스쿼트 동안 전경골근과 장비골근을 실험대상으로 하였다. 그리고 회내족을 대상으로 족부외부보조기(off-the-shelf orthotics)를 처방하여 스쿼트를 실시하였을 때 내측광근과 중둔근의 활성도가 증가한다는 연구결과를 바탕으로 내측광근, 외측광근, 중둔근을 실험대상으로 하였다.^{2,14}

회내족의 보행시 15° 내반 족부보조기의 착용이 맨발 보행에 비해 장비골근의 최대근전도 진폭이 증가하였고,¹⁵ 회내족의 달리기 동안 장비골근이 후족부의 회내각을 조절하는데 중요한 작용을 한다고 하였다.¹⁶ 회내족을 대상으로 보행이나 달리기와

같은 역동적 동작과 관련된 연구는 있으나 본 연구와 같은 스쿼트같은 비교적 정적인 동작에서 장비골근의 활동성에 대한 연구는 없어서 직접적인 연구결과와의 비교는 어렵지만 회내각의 조절에 기여하는 결과로 볼 때 본 연구의 결과와 유사한 결과라고 사료된다.

족부외부보조기(off-the-shelf orthotics)가 스쿼트 운동시 중둔근과 내측광근의 활동성이 증가하였다고 한 결과와² 본 연구결과와 비교해 볼 때 중둔근의 활동성이 증가한 것은 동일한 결과를 보였으나, 본 연구에서는 내측광근의 활동성이 오히려 감소한 결과를 보였다. 그 이유를 추론해 볼 때 족부외부보조기라는 수동적 족궁지지물과 대상자 자신의 근육활동을 통한 능동적 족궁의 형성이라는 처치방법의 차이로 인한 것으로 사료된다.

무지외전근은 족저내재근의 하나로서 발의 내측 모서리부위의 표층에 위치하여 기립자세에서 표면근전도로서 기록할 수 있는 유일한 근육이다. 이 근육은 외전근(abductor)이라는 이름으로 명명되지만 실제 기능적으로는 굴곡근(flexor)으로서의 기능이 우세하다. 이 근육은 모든 족저내재근의 근전도 활성도를 대표한다고 할 수 있다.¹ 내과(medial malleolus)의 하후부 영역의 경골신경에 lidocaine을 주사 후 체중지지상태에서 족저내재근의 활동성과 족궁의 높이와의 연관성을 연구하기 위해 표면근전도로 무지외전근의 활동성을 측정하였다. 이 결과에서 무지외전근의 활동성이 감소됨으로 인해 족궁이 현저하게 낮아져서 족저내재근이 족궁의 지지에 상당한 영향이 있다는 것을 보고하였다. 이 결과로 볼 때 본 연구에서 능동적 족궁의 형성시 무지외전근의 활동성이 증가하였다는 결과와 일치됨을 보였다.¹⁷

전경골근이 보행시 후족부의 회내각을 조절한다는 연구가 있으나,¹³ 본 연구에서의 두 조건사이에 통계적 유의성이 없었다. 이는 보행이라는 형태의 매우 동적인 하지의 운동과 스쿼트라는 비교적 정적인 운동방식의 차이에서 기인된 결과로 생각된다.

위의 결과로 볼 때 능동적 족궁을 형성한 상태에서의 스쿼트 운동이 자유로운 스쿼트 운동에 비해 족저내재근인 무지외전근과 장비골근, 중둔근의 활동성을 증가시키는 효과가 있었다.

V. 결론

본 연구는 회내족을 대상으로 능동적 족궁지지 상태에서의 스쿼트가 자유 스쿼트에 비해 하지 근활성도(%MVIC)에 미치는 영향을 알아보고자 실시되었다. 자유스쿼트에 비해 능동적 족궁지지 상태에서의 스쿼트 동안에 무지외전근, 장비골근, 중둔

근의 근활성도가 증가되는 결과를 보였다. 이러한 결과를 볼 때 회내족 대상자가 능동적 족궁을 형성하고 유지하는데 족저내측 근의 하나인 무지외전근과 장비골근이 역할을 하는 것으로 밝혀졌다. 또한 능동적 족궁의 형성에 따른 하지 역학의 변화로 인해 자유스쿼트에 비해 능동적 족궁지지 상태에서의 스쿼트 동안 중둔근이 높은 근활성도를 나타내었다. 이 연구를 바탕으로 볼 때 회내족 대상자의 경우 발의 역학적 변화가 운동시 하지 근활성도의 변화를 일으키는 원인으로 볼 수 있다. 향후의 연구에서는 보다 다수의 회내족을 대상으로 능동적 족궁형성을 위한 훈련이 하지의 생체역학적 변화에 미치는 영향에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Author Contributions

Research design: Nam KS, Park JW

Acquisition of data: Nam KS

Analysis and interpretation of data: Nam KS, Park JW

Drafting of the manuscript: Nam KS

Research supervision: Park JW

Acknowledgements

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2009-0067516).

참고문헌

- Headlee D, Leonard J, Hart J, et al. Fatigue of the plantar intrinsic foot muscles increases navicular drop. *J Electromyogr Kinesiol.* 2008;18(3):420-5.
- Hertel J, Sloss BR, Earl JE. Effect of foot orthotics on quadriceps and gluteus medius electromyographic activity during selected exercises. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005; 86(1):26-30.
- Brown GP, Donatelli R, Catlin PA, et al. The effect of two types of foot orthoses on rearfoot mechanics. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1995;21(5):258-67.
- Murley GS, Bird AR. The effect of three levels of foot orthotic wedging on the surface electromyographic activity of selected lower limb muscles during gait. *Clin Biomech.* 2006;21(10): 1074-80.
- Nawoczenski DA, Cook TM, Saltzman CL. The effect of foot orthotics on three-dimensional kinematics of the leg and rearfoot during running. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1995;21(6):317-27.
- Stell JF, Buckley JG. Controlling excessive pronation: a comparison of casted and non-casted orthoses. *The Foot.* 1998;8:210-214.
- Keenan AM, Tanner CM. The effect of high-Dye and low-Dye taping on rearfoot motion. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2001;91(5):255-61.
- P. Harradine, L. Herrington, R. Wright. The effect of Low Dye taping upon rearfoot motion and position before and after exercise. *The Foot.* 2001;11:57-60
- Earl JE, Schmitz RJ, Arnold BL. Activation of the VMO and VL during dynamic mini-squat exercises with and without isometric hip adduction. *J Electromyogr Kinesiol.* 2001; 11(6):381-6.
- Hislop H, Montgomery J. Daniel's and Worthingham's Muscle Testing. 8th ed. Elsevier. New York, USA. 2007:199.
- Rainoldi A, Melchiorri G, Caruso I. A method for positioning electrodes during surface EMG recordings in lower limb muscles. *J Neurosci Methods.* 2004;134(1):37-43.
- Mann R, Inman V. Phasic activity of intrinsic muscles of the foot. *J Bone Joint Surg* 1964;46A:469-81.
- Cornwall MW, McPoil TG. The influence of tibialis anterior muscle activity on rearfoot motion during walking. *Foot Ankle Int.* 1994;15(2):75-9.
- Nam KS. Effect of the resistance direction by an elastic band on the VMO/VL electromyographic activity ratio during dynamic squat exercise. *J Kor Soc Phys Ther.* 2008; 20(3):29-34.
- Murley GS, Bird AR. The effect of three levels of foot orthotic wedging on the surface electromyographic activity of selected lower limb muscles during gait. *Clin Biomech.* 2006;21(10): 1074-80.
- O'Connor KM, Hamill J. The role of selected extrinsic foot muscles during running. *Clin Biomech.* 2004;19(1):71-7.
- Fiolkowski P, Brunt D, Bishop M, et al. Intrinsic pedal musculature support of the medial longitudinal arch: an electromyography study. *J Foot Ankle Surg.* 2003;42(6): 327-33.