

발목관절의 각도가 무릎관절 펴근의 근활성도에 미치는 영향

여상석 · 권중원 · 김중선¹

대구대학교 대학원 재활과학과 물리치료전공, ¹대구대학교 재활과학대학 물리치료학과

The Effects of Ankle Joint Angle on Knee Extensor Electromyographic Activity

Sang-seok Yeo, PT, Jung-won Kwon, PT, Chung-sun Kim, PT, PhD.¹

Department of Physical Therapy, Graduate School of Rehabilitation Science, Daegu University

¹*Department of Physical Therapy, Collage of Rehabilitation Science, Daegu University*

<Abstract>

Purpose : The purpose of this study was to find the effect of ankle joint angle on knee extensor electromyographic activity following knee extension exercise.

Methods : Ten male university students participated in the study. The subjects performed isometric maximal voluntary knee extensor contractions (MVC) and knee extensor EMG activity measured in with three different ankle joint angle. The EMG activity of rectus femoris(RF), vastus medialis(VM), vastus lateralis(VL) were measured using surface electromyography.

Results : EMG activity of vastus lateralis following the change of ankle joint angle was shown statistically significant difference.

Conclusion : Ankle plantar flexion position increase EMG activity of vastus lateralis during knee extension exercise.

Key Words : Ankle joint angle, Knee extensor, EMG

I. 서 론

발목관절은 거퇴관절(talocrural joint)을 뜻하며 목말뼈(talus)와 먼쪽 정강뼈(tibia), 목말뼈(talus)와 먼쪽 종아리뼈(fibula)사이의 관절을 말한다. 발목관절은 자유도가 1인 활막 경첩 관절(hinge joint)로서 중

립 위에서 20° 발등쪽굽힘(dorsiflexion), 30°~50° 발바닥쪽굽힘(plantar flexion)의 정상 운동범위를 가지는 운동이 일어난다(Milner, 1973).

이 운동은 순수한 시상면에서 일어나지 않고 약간의 벌림/모음(abduction/adduction), 안쪽번짐/가쪽번짐(inversion/eversion) 운동을 동반한다. 즉, 발등

쪽굽힘은 발을 위로 올릴 뿐 아니라 동시에 약간 외측으로도 움직이며, 중앙에서 세로로 떨어진 움직임이 나타나고 발바닥쪽굽힘은 발을 아래로 내리는 동시에 약간 안으로 모으며, 중앙에서 세로로 가까워지는 움직임이 일어난다(Stiehl, 1991).

발이 고정되는 경우, 똑같은 형태의 운동이 발과 다리 사이에서 일어난다. 발등쪽굽힘의 경우 발의 장축에서 볼 때 다리가 안쪽돌림(internal rotation)이 되며, 발바닥쪽굽힘의 경우는 다리가 가쪽돌림(external rotation)된다.

무릎관절은 굽힘(flexion)과 펴기(extension)가 관상축을 중심으로 시상면상에서 일어나고, 수동적 운동의 범위는 굽힘 130°~140°(Nokin, 1985), 펴기 5°~10°(Williams, 1995) 이다.

또한, 두 다리가 체중을 지지할 때 무릎관절은 단일 운동사슬을 이루며, 발목관절에서의 운동범위의 제한은 무릎관절의 굽힘과 펴기에 영향을 줄 것이다. 예를 들어 발목관절에서 발바닥쪽 굽힘의 제한은 무릎관절의 굽힘 제한을 동반할 것이고, 발등쪽 굽힘의 제한은 완전한 펴기를 어렵게 만들 것이다.

무릎관절을 펴도록 하는 넙다리네갈래근(quadriceps femoris)은 넙다리곧은근(rectus femoris), 안쪽넓은근(vastus medialis), 중간넓은근(vastus intermedius), 가쪽넓은근(vastus lateralis) 등 4개의 근육으로 이루어져 있으며, 넙다리네갈래근의 섬유가 당기는 방향은 넙다리뼈(femur)의 장축에 대해 안쪽으로 7°~10°, 앞으로 3°~5°당긴다(Lieb, 1968). 발목관절의 각도는 정강뼈의 회전과 관련되어져 있고 정강뼈가 가쪽돌림 상태에서 안쪽돌림 상태가 되면 넙다리네갈래근 각이 증가하는 기전이 발생된다(Olerud와 Berg, 1984).

이러한 정강뼈의 회전에 의한 넙다리네갈래근 각의 변화는 넙다리네갈래근의 근력 운동에 영향을 미칠 수 있다(Signorile 등, 1995). 넙다리네갈래근의 근 활동은 발의 위치에 따라 다르게 나타나며, 특히 안쪽넓은근과 가쪽넓은근은 발의 안쪽돌림 자세에서 많은 근 활동을 보였다(Joseph 등, 1995).

이는 발의 모음, 벌림이 정강뼈의 회전을 일으키고 이것이 넙다리네갈래근의 수축양상에 변화를 일으키는 것을 말한다(Blake 등, 1981; Greenfield, 1990).

또한, 기립자세에서 발의 위치가 넙다리네갈래근의 등척성 수축 근전도 활성화도에 미치는 영향에 관한 연구에서도 가쪽넓은근은 발의 중립과 벌림 상태에서, 안쪽넓은근은 발의 모음과 벌림 상태에서 유의한 차이를 보였다(김성중, 2001).

발목관절 복합체는 발의 위치와 더불어 엉치엉덩관절(Sacroiliac joint), 엉덩관절, 무릎관절 및 정강뼈-넙다리각과 관련하여 하지의 정렬, 체중지지, 보행에 있어 중요한 기능을 하고 있으며, 치료에 있어서 중요한 의의를 가지고 있다(Eng, 1993).

특히, 발목관절 복합체의 가장 주된 움직임인 발등쪽굽힘과 발바닥쪽굽힘은 단일적 움직임이 아니라 회전적 요소가 가미된 복합적 움직임을 나타내므로 무릎관절과 깊은 관련이 있다.

또한, 발목관절의 각도는 경사진 곳을 오르고 내릴 때나 구두의 뒷굽 높이에 따라 다양하게 변화하며 무릎관절 동작에 작용하는 근육의 힘과 보행에 영향을 미칠 것이다. 무릎관절 손상 환자에게 있어 관절의 굽힘/펴기 운동치료를 할 때 발목관절이나 발의 위치는 무릎관절의 운동과 작용하는 근육의 힘에 영향을 미칠 것이며 그에 대한 연구가 진행되어 오고 있다.

하지만 발의 위치와 관련된 넙다리네갈래근의 등척성 수축의 근 활성화도에 관한 연구는 많은 반면 발목관절의 발등쪽굽힘과 발바닥쪽굽힘에 따른 넙다리네갈래근의 등척성 수축의 근 활성화도에 관한 연구는 미미한 상태라고 하겠다.

따라서 본 연구는 발목관절의 복합적 움직임인 발등쪽굽힘과 발바닥쪽굽힘을 통해 무릎관절의 펴기근인 넙다리네갈래근의 근전도 양상을 비교함으로써 발목관절 발등쪽굽힘과 발바닥쪽굽힘에 따른 넙다리네갈래근의 활성을 규명하는데 있다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구의 참가자는 대구 소재 D 대학에 재학 중인 남학생을 대상으로 하였다. 그리고 선발 기준으로 하지의 근골격계 질환이 없으며, 특히 발목관

절의 정상적 운동범위를 가지고 넵다리네갈래근의 신경학적 손상이 없는 자로 하여 만 18세 이상 건강한 남성 10명을 무작위로 선발하였다. 또한, 참가자들에게 본 연구의 취지를 충분히 숙지시키고 실시하였으며, 적극적으로 참여하기로 동의한 참가자를 대상으로 실시하였다.

2. EMG 측정

본 연구에서는 발목관절의 각도, 종아리부와 발부가 이루는 각도가 90°인 상태를 기준점, 즉 0°로 하였으며, 이 기준점에서 발등쪽굽힘 20°, 발바닥쪽 굽힘 20°로 하여 세 가지 각도로 고정하여 측정하였다. 각도를 세 가지로 정한 이유는 일상 생활에서 가장 흔하게 사용되어지는 발목관절 각도이며, 실험 측정 중 발생할 수 있는 근 피로도를 최소화하기 위함이다(Mademli 등, 2004; Morse 등, 2005a,b).

근전도(Electromyography, EMG)는 보행 각각의 방법에 따른 보행 시, 다리와 허리의 근육 활성도를 보기위해 ProComp InfinitiTM(Thought Technology Ltd., Canada)를 이용하였으며, 전극은 3극(Positive-Ground-Negative)으로 이루어진 표면전극(Triode surface electrode, Thought Technology Ltd., Canada)을 사용하였다. 근전도 신호의 주파수 범위는 20~500Hz 사이로 설정하였으며, 이때 샘플링 주파수는 1024Hz로 설정하였다

근전도 측정을 위해 참가자에게 반바지를 착용하게 하였으며, 전극의 부착부위는 알코올로 깨끗이 닦고 털이 있는 경우 이를 제거하였다. 안쪽넓은근은 넵다리뼈 장축(long axis of the femur)의 50°, 무릎뼈의 상내측(Superior medial border of the patella)에서 5cm 위, 가쪽넓은근은 넵다리뼈 장축의 12~15°, 무릎뼈의 상외측(Superior lateral border of the patella)에서 15cm 위, 넵다리골은근은 무릎뼈의 상부극(Superior pole of the patella)과 전상장골극(Anterior superior iliac spine)사이의 중간부 위에 부착하였다.

수의적 최대 등척성 수축(Maximum Voluntary Isometric Contraction, MVC)의 근활성도를 측정하기 위해 의자 위에 참가자를 편안하게 앉힌 다음

오른 다리를 굽힌 상태에서 무릎관절 펌 운동을 하게 한 후 이 때 종아리 면쪽 부분의 전면에 무릎관절 굽힘 방향으로 최대 저항을 주어 운동하도록 하였다(Hazel, 2004). 이후에 각 발목관절의 각도 즉, 발등쪽굽힘 20°와 중립, 발바닥쪽굽힘 20°를 무작위로 선정하여 석고봉대로 고정을 시킨 다음 똑같이 최대 등척성 수축을 시켜 측정하였다. 측정된 근육의 근전도 신호량은 근전도 신호의 실질적인 출력값에 가까운 값을 제공하는 RMS(root mean square) 값을 취하여 수의적 최대 등척성근수축(MVC)값으로 나누어 백분율로 환산한 값인 %MVC 값을 사용하였다.

발목관절의 한 가지 각도에서 등척성 운동을 5초 시행 후 10초 간 휴식을 취하였으며, 이를 총 3회 반복 측정하였다. 발목관절의 각도에 따라 운동을 시행할 때 시행반복에 따른 근 피로도의 영향을 배제하기 위해 각 시행 후 10분의 휴식을 실시하였다.

3. 분석방법

SPSS 14.0을 이용하여 발목관절의 각도에 따른 근 활성도의 차이를 알아보기 위하여 일원분산분석(one-way ANOVA)를 사용하였다. 각 그룹 간의 차이를 알아보기 위해서 튜키 검정(Tukey's Honestly Significant Difference)을 이용하여 사후검정을 하였다.

III. 결 과

1. 연구대상자의 일반적인 특성

연구 대상자의 일반적인 특성은 전체 대상자 10명 모두 남성이었다. 평균 연령은 25.19±2.79, 평균 신장 175.8±5.26이었고, 평균 체중은 72.68±6.15이었다(Table 1).

Table 1. General characteristics of subjects

	Age(year)	Height(cm)	Weight(kg)
Subjects (n=10)	25.19±2.79	175.8±5.26	72.68±6.15

Table 2. Comparison of EMG activity of each muscle following ankle joint angle (%)

	SS	df	MS	F-value	P
RF	1176.573	2	588.287	2.713	0.84
VM	3.265	2	1.632	.007	.993
VL	3255.219	2	1627.610	4.183	.026*

*P<0.05

RF : Rectus Femoris

VM : Vastus Medialis

VL : Vastus Lateralis

2. 각 근육별 근활성도 비율 비교

발목관절의 각도를 20° 발등쪽굽힘, 20° 발바닥쪽굽힘, 90° 중립자세로 변화시키면서 무릎관절 펼 때 넙다리곧은근과 안쪽넓은근, 가쪽넓은근의 근활성도를 비교한 결과 넙다리곧은근과 안쪽넓은근에서는 발목관절의 각도 변화에 따른 근활성도의 차이에서 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 하지만 가쪽넓은근에서 각도의 변화에 따라 근활성도의 변화가 유의하게 차이가 있는 것으로 나타났다(p<.05)(Table 2).

3. 넙다리곧은근의 근활성도 다중 비교

발목관절 각도의 변화에 따른 무릎관절 펼 때 넙다리곧은근의 근활성도는 유의한 차이의 변화는 없는 것으로 나타났다.

하지만 통계적 유의수준에는 미치지 못하지만 발목관절 20° 발바닥쪽굽힘 시 다른 조건에서 보다 근활성도가 높은 것으로 나타났다(Table 3).

4. 안쪽넓은근의 근활성도 다중 비교

발목관절의 각도 변화에 따른 무릎관절 을 펼 때 안쪽넓은근의 근활성도는 유의한 차이의 변화가 없는 것으로 타나났다. 각 발목관절의 각도별 근활성도의 비율은 모든 각도에서 비슷한 양상을 보였다 (Table 4).

Table 3. Comparison of EMG activity on rectus femoris (%)

	ME	SE	P
20° DF ~ 90°	-4.235	6.585	.798
20° DF ~ 20° PF	-14.886	6.585	.079
90° ~ 20° PF	-10.651	6.585	.256

P<0.05

ME : Mean Difference

SE : Standard Error

Table 4. Comparison of EMG activity on vastus medialis. (%)

	ME	SE	P
20° DF ~ 90°	.211	6.924	.999
20° DF ~ 20° PF	-.570	6.924	.996
90° ~ 20° PF	-.781	6.924	.993

P<0.05

ME : Mean Difference

SE : Standard Error

Table 5. Comparison of EMG activity on vastus lateralis.

	ME	SE	P
20° DF ~ 90°	-21.711	8.822	.052
20° DF ~ 20° PF	.753	8.822	.996
90° ~ 20° PF	22.464	8.822	.043*

*P<0.05

ME : Mean Difference

SE : Standard Error

5. 가쪽넓은근의 근활성도 다중 비교

발목관절의 각도 변화에 따른 무릎관절을 펼 때 가쪽넓은근의 근활성도는 각 그룹 간 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 사후 검정을 통한 각 그룹간의 차이 비교를 통해 본 결과 발목관절 90° 중립 자세와 20° 발바닥쪽굽힘 자세 간의 근활성도에서 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 그리고 발목관절 90° 중립 자세와 20° 발등쪽굽힘 자세 간의 근활성도 차이에서도 통계학적으로 유의한 차이는 없었지만 90° 중립자세에서 평균 21.71% 정도 높은 것으로 나타났다. 발등쪽굽힘과 발바닥쪽굽힘 자세 간에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다(Table 5).

IV. 고 찰

발목관절의 운동은 대부분 거퇴관절에서 일어나는 발등쪽굽힘과 발바닥쪽굽힘을 중심으로 먼쪽 부분의 목말밑관절(subtalar joint)에서 일어나는 안쪽 번짐/가쪽번짐 운동의 복합적인 작용이다(David, 2003). 또한, 무릎관절의 운동은 주로 경첩관절의 운동으로 굽힘과 폼 만 일어나며, 약간의 회전운동을 일으킨다(David, 2003). 무릎관절의 운동에서 나타나는 약간의 회전운동은 발목관절의 운동에 영향을 미치며, Soderberg(1997)는 발목관절의 운동 중 발바닥쪽굽힘근의 하나인 장딴지근(gastrocnemius)은 해부학 상 그 이는 곳이 넓다리뼈이기 때문에 무릎관절을 굽힘 시키는 작용도 갖고 있다고 하였다. 따라서 무릎관절을 펼 때 발목관절의 발바닥쪽굽힘이 강해지게 된다(Hollinshead, 1969).

이와 같은 연구에 대한 자료를 기초로 할 때, 본 연구에서는 발목관절의 복합적 움직임인 발등쪽굽

힘과 발바닥쪽굽힘에 따른 넓다리네갈래근의 활성도를 규명하고자 하였다. 각 관절을 중심으로 이루어지는 운동은 근수축시 운동에 동원되는 골격근의 움직임에 의해 이루어지는 데 이때 발생하는 장력은 가속도를 발생시켜 속도증가를 일으키게 되고 결과적으로 장력은 운동 속도와 관절 운동 각도의 변화에 따라 달라진다(강세윤, 1986).

본 연구에서 발목관절의 각도에 따른 무릎관절 폼근인 넓다리곧은근, 안쪽넓은근, 가쪽넓은근의 근활성도를 비교해 보았을 때, 발목관절의 각도 0°에서 안쪽넓은근, 넓다리곧은근, 가쪽넓은근의 근활성도가 발목관절의 발등쪽굽힘과 발바닥쪽굽힘에서의 근활성도 보다 높으나 통계학적으로 유의한 차이가 없었다.

Arampatzis(2006)는 발목관절의 각도는 발등쪽굽힘근과 발바닥쪽굽힘근의 작용에 유의한 영향을 미치며 연령이 증가함에 따라 발등쪽굽힘근과 발바닥쪽굽힘근의 근활성도가 증가한다고 하였다. 이러한 근활성의 차이는 발목관절의 역학적 요소의 변화와 근육의 부피 변화, 그리고 각도에 따른 주동근과 길항근의 작용의 변화에 따른 것으로 설명하고 있다.

한상원(2004)은 단일관절운동(등척성 운동)에서 넓다리네갈래근의 근육이 무릎관절 굽힘각도가 증가할수록 근육의 활성도가 증가한다고 하였다. 또한 넓다리네갈래근의 근활성 순서를 보면 가쪽넓은근, 넓다리곧은근, 안쪽넓은근 순으로 나타났다. 이는, 본 연구에서 발목관절의 각도가 일정한 상태에서 넓다리네갈래근의 활성도와 일치한다.

Joseph 등(1997)의 연구에서는 발의 위치에 따라 넓다리네갈래근의 근활성이 다르게 나타난다고 보고하였으며, 무릎관절 폼 150°, 175°에서 안쪽넓은

근, 가쪽넓은근, 넓다리곧은근의 근 활성이 유의성이 없었다고 보고하였다. 이는 본 연구에서와 같이 가쪽넓은근에서 0°와 발바닥쪽굽힘 사이의 유의한 차이를 보이는 결과를 제외한 나머지 부분에서와 일치한다. 또한 Joseph 등(1997)은 무릎관절을 펼 때 근 활성이 비록 유의성이 없었으나 안쪽넓은근, 가쪽넓은근, 넓다리곧은근의 순으로 근육의 활성이 높았다고 한다. Ninons 등(1997)의 연구에 의하면 최대 수의적 등척성 운동을 시행하면서 안쪽넓은근과 가쪽넓은근의 근전도 활성을 분석하면 안쪽넓은근은 무릎관절 굽힘 30°에서 15%, 60°에서 25%정도 활성을 나타낸다고 보고하였다.

선행된 연구들의 결과들을 토대로 볼 때 무릎관절의 굽힘 상태에서의 등척성 수축으로 인한 가쪽넓은근의 활성이 낮으며 발목관절의 발바닥쪽굽힘 근인 장딴지근이 열린 운동사슬에서 발바닥쪽굽힘과 무릎관절 굽힘으로 인한 근육의 길이가 최대 장력을 생산하기 충분하지 못해 무릎관절의 피는 힘을 최대한 발휘 못하기 때문이라 사료된다. 유경석과 김태연(2006)은 무릎관절의 각도가 발목 근육의 근전도 활동에 미치는 영향에서 무릎관절의 각도가 증가함에 따라 발목관절 근육의 활성이 유의하게 증가한다고 하였다. 이는 발목관절 각도에 따른 무릎관절 주위 근육의 근전도 활동에 대한 연구의 필요성을 제시하며 등척성 운동뿐만 아니라 복합관절 운동에서의 발목관절 각도에 따른 무릎관절 주위 근육의 근전도 활동 연구도 요구된다.

V. 결 론

본 연구는 발목관절의 각도 변화가 무릎관절 폼근의 근활성도 변화에 미치는 영향을 알아보려고 하였다. 건강한 성인 남성 10명을 대상으로 하여 무릎관절 폼에 주요한 역할을 하는 넓다리곧은근과 안쪽넓은근, 가쪽넓은근의 근 활성도를 측정하였다. 그리고 근 활성도 측정 중 발목관절의 각도를 20° 발등쪽굽힘, 20° 발바닥쪽굽힘, 90° 중립 자세로 하여 각각 측정하였다. 실험 결과는 넓다리곧은근과 안쪽넓은근에서는 발목관절의 각도변화에 따른 근 활성도의 차이에서 통계학적 유의한 차이가 나타나

지 않았다. 가쪽넓은근의 경우에는 20° 발바닥쪽굽힘 자세에서 90° 중립 자세와 비교하여 통계학적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

이러한 연구 결과는 발목관절의 발바닥쪽굽힘 자세가 무릎관절을 펼 때 가쪽넓은근의 근 동원력을 증진시키는 것이라고 할 수 있다. 본 연구결과 토대로 하여 무릎관절 폼근에 대한 근력 강화나 근 재교육 훈련 시 발목관절의 위치에 대한 참고자료가 될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 강세운. 20대 건강한 청년의 슬관절 신전근 및 굴곡근에 대한 등속성 운동검사. 대한재활의학회지. 1986;10:116-23.
- 김성중. 기립자세에서 발위치가 무릎폼근의 등척성 수축 근전도 활성도에 미치는 영향. 한국전문물리치료학회지. 2001;8(2):1-16.
- 유경석, 김태연. 무릎관절 각도가 발목 근육의 근전도 활동에 미치는 영향. 대한정형도수치료학회지. 2006;12(1):16-26.
- 한상완. 단일관절운동과 복합관절운동시 슬관절 각도에 따른 대퇴사두근의 표면 근전도 비교 분석. 대한물리치료학회지. 2004;16(3):401-11.
- Arampatzis A, Karamanidis K, Stafilidis S et al. Effect of different ankle- and knee-joint positions on gastrocnemius medialis fascicle length and EMG activity during isometric plantar flexion. J Biomech. 2006;39(10):1891-902.
- Blake RL, Burns DP, Colson JP. Etiology of atraumatic medial knee pain. J Am Podiatry Assoc. 1971;71(10):580-3.
- David BJ. Hollinshead's functional anatomy of the limbs and back. 8th ed. Seoul. Hyun moon all rights reserved. 2003:441-2.
- Eng JJ, Pierrynowski MR. Evaluation of soft foot orthotics in the treatment of patellofemoral pain syndrome. Phys Ther. 1993;73(2):62-9.
- Greenfield B. Evaluation of overuse syndromes. In: Dnatelli, R. The Biomechanics of the foot and

- ankle. FA. Davis Co. 1990:162.
- Hazel MC. Musculoskeletal assesment. Joint range of motion and manual muscle strength. 2nd ed. Seoul. Korea. Yeong Mun Publishing Company. 2004:328-9
- Hollinshead WH. The back & Limbs. 2nd ed. New York. U.S.A. Hoeber Medical Division. Harper& Row. Publishers. 1969:787-803.
- Joseph FS, Denise K, Arlette P et al. The effect of knee and foot position on the electromyographical activity of the superficial quadriceps. J Orthop Sports Phys Ther. 1995;22(1):2-9.
- Joseph PM, Daniel S, Ronald VC. Leg rotation and vastus medialis oblique/vastus lateralis electromyogram activity ratio during closed chain kinetic exercise prescribed for patellofemoral pain. J Athl Train. 1997;32(3):216-20.
- Lieb FJ, Perry J. Quadriceps function: An anatomical and mechanical study using amputated limbs. J Bone Joint Surg Am. 1968;50(8):1535-48.
- Mademli L, Arampatzis A, Morey-Klapsing G et al. Effect of ankle joint position and electrode placement on the estimation of the antagonistic moment during maximal plantarflexion. J Electromyogr Kinesiol. 2004;14(5):591-7.
- Milner M, Dall D, McConnell VA et al. Angle diagrams in the assessment of locomotor function. Studies on normal subjects for various speeds and some preliminary work on patients requiring total hip reconstruction (Charnley low-friction arthroplasty). S Afr Med J. 1973;47(22):951-7.
- Morse CI, Thom JM, Mian OS et al. Muscle strength, volume and activation following 12-month resistance training in 70-year-old males. Eur J Appl Physiol. 2005;95(2-3):197-204.
- Morse CI, Thom JM, Reeves ND et al. In vivo physiological cross-sectional area and specific force are reduced in the gastrocnemius of elderly men. J Appl Physiol. 2005;99(3):1050-5.
- Nions JC, Irrgang JJ, Burdett R et al. Electromyographic analysis of the squat performed in self-selected lower extremity neutral rotation and 30 degrees of lower extremity turn-out from the self-selected neutral position. J Orthop Sports Phys Ther. 1997;25(5):307-15.
- Nokin CC, White DW. Measurement of Joint Motion: A Guide to Goniometry. Philadelphia, FA Davis. 1985:249-53.
- Olerud C, Berg P. The variation of the Q angle with different positions of the foot. Clin Orthop Relat Res. 1984;(191):162-5.
- Signorile JF, Kacsik D, Perry A et al. The effect of knee and foot position on the electromyographical activity of the superficial quadriceps. Phys Ther. 1995;22(1):2-9.
- Soderberg GL. Kinesiology. 1st ed. Baltimore. U.S.A. Williams & Wilkins. 1997:243-6.
- Stiehl J. Biomechanics of the ankle. In: Stiehl, J(ed): Inman's Joints of the Ankle. Williams & Wilkins, Baltimore. 1991:278-94.
- Williams PL, Warwick R. Gray's Anatomy. 38th ed. WB Saunders. Philadelphia. 1995:366-89.