PNF and Movement, 2018; 16(1): 125-132
https://doi.org/10.21598/JKPNFA.2018.16.1.125

Print ISSN: 2508-6227
Online ISSN: 2508-6472

Original Article

Open Access

스쿼트 운동 시 지지면 변화에 따른 넙다리네갈래근의 독립활성비율

김용훈 · 김병조[1] · 박두진[2†]
마산대학교 물리치료학과, [1]동의대학교 물리치료학과, [2]가야대학교 물리치료과

Isolated Activation Ratio of the Quadriceps Femoris Muscle on Different Support Surfaces During Squat Exercise

Yong-Hun Kim · Byeong-Jo Kim[1] · Du-Jin Park[2†]
Department of Physical Therapy, Masan University
[1]Department of Physical Therapy, Dongeui University
[2]Department of Physical Therapy, Kaya University

Received: January 29, 2018 / Revised: February 22, 2018 / Accepted: February 23, 2018
ⓒ 2018 Journal of Korea Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Association
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

| Abstract |

Purpose: The aim of this study was to investigate the isolated activation ratio of the quadriceps femoris muscle on different support surfaces during squat exercise.
Methods: Twenty participants (10 males and 10 females) voluntarily agreed to participate in the research after receiving an explanation about the purpose and process of the study. Each participant performed squat exercises on three different support surfaces (a flat surface, a form roller, and an unstable surface). Muscle activities of the rectus femoris (RF), vastus medialis (VM), and vastus lateralis (VL) were measured by electromyography. The isolated activation ratio of the quadriceps femoris muscle was calculated using the %isolation formula.
Results: For the squat exercise, the %isolation value of the VM was significantly higher on the unstable surface than on the flat surface and form roller. In contrast, the %isolation values for the RF for the squat exercise were significantly higher on the flat surface and form roller than on the unstable surface. There was no significant differences in the %isolation values of the VL on the three different surfaces.
Conclusion: The findings indicate that squat exercise on different surfaces results in differential activation of the quadriceps femoris muscle, which suggests that squat exercise on a multi-directional unstable surface could increase the isolated activation ratio of the VM.

Key Words: %isolation, Quadriceps femoris muscle, Unstable surfaces, Electromyography

†Corresponding Author : Du-Jin Park (djpark35@kaya.ac.kr)

Ⅰ. 서 론

넙다리네갈래근(quadriceps femoris muscle)의 근력 운동은 무릎관절 수술 후 재활뿐 만 아니라 건강한 사람과 노인의 운동 수행력 및 기능을 증가시키는데 있어서 매우 중요하다(Marcus et al., 2011; Park et al., 2012; Shelton & Thigpen, 1991). 넙다리네갈래근의 근력 운동은 다양한 방법으로 실시되고 있으며, 뻗은발올림운동(straight leg raise), 넙다리네갈래근고정운동(quadriceps setting exercise), 무릎 굽힘과 폄 같은 열린사슬운동(open kinematic chain exercise)으로 주로 적용되고 있다.

열린사슬운동은 넙다리네갈래근의 힘이 증가함에 따라 무릎과 넙다리뼈의 접촉면이 감소하기 때문에 전단력(anterior shear force)을 증가시키고, 앞십자인대(anterior cruciate ligament)의 과도한 긴장과 비정상적인 근동원 패턴을 유발시킨다(Lutz et al., 1993; Nakajima et al., 2003). 이에 비해 닫힌사슬운동(closed kinematic chain excercise)은 무릎관절에서의 압박력 증가와 넙다리네갈래근과 넙다리뒤근(hamstring)의 협력수축으로 인해 비교적 낮은 전단력을 발생하기 때문에, 다관절의 움직임에 의한 기능적인 근동원 패턴을 제공할 수 있다 (Begalle et al., 2012; Lutz et al., 1993; Nakajima et al., 2003; Park et al., 2012).

현재까지 선행 연구의 결과를 살펴보면, 앞십자인대 재건술 혹은 무릎관절 성형술 후 넙다리네갈래근의 근력 강화를 위한 초기 재활단계에서는 넙다리네갈래근고정운동을 닫힌사슬운동으로 변형하여 실시하는 것을 추천하였다(Nakajima et al., 2003; Park et al., 2012). 초기 이후의 재활단계에서는 스쿼트 운동(squat exercise) 같은 동적인 닫힌사슬운동이 선호되며, 내림 경사대를 이용한 스쿼트 운동이 효율적이라 하였다(Cook et al., 2000). 내림 경사대에서 실시하는 스쿼트 운동은 몸통이 앞으로 넘어지기 것을 방지하기 위해 몸통을 뒤로 이동시켜 발목, 무릎, 몸통, 머리가 모두 중력선의 후방으로 이동하게 되어 무릎관절을 펴게 하는 외부 모멘트를 증가시킨다(Yoo et al., 2004). 또한, 이런 상태에서의 스쿼트 운동은 장딴지근(gastrocnemius)과 큰볼기근(gluteus maximus)의 영향을 최소화하여 넙다리네갈래근에 많은 부하를 줄 수 있다(Cook et al., 2000). Cannell 등(2001)은 내림 경사대를 이용한 스쿼트 운동이 외부의 부하가 필요하지 않기 때문에 특별한 훈련 장비 없이도 가정에서 쉽게 적용할 수 있는 운동이라고 하였다. Yoo 등(2004)은 25°내림 경사대를 이용한 스쿼트 운동이 지면에서 실시한 다양한 양다리 스쿼트 운동에 비해 높은 안쪽넓은근/가쪽넓은근의 활성도 비율을 보였음을 보고하였다.

이외에도 불안정한 지지면에서 실시하는 스쿼트 운동은 중심을 유지하기 위해서 더 높은 넙다리네갈래근의 활동을 요구하여 큰 운동 효과를 얻을 수 있을 것이다. 최근 연구에서도 불안정한 지지면이 안쪽넓은근을 자극하기 위해 효과적이라고 보고하고 있지만, 불안정성에 변화를 준 상태에서 운동 효과를 규명하는 연구가 필요하다고 보고하였다(Hyong & Kang, 2013). 더욱이 불안정한 지지면을 이용하는 목적이 단순히 전반적인 근활성도를 높이는 것이 아닌 선택적 근육의 활성을 향상시키려는 목적을 두고 있는데 반해서, %최대근활성도 혹은 안쪽넓은근과 가쪽넓은근의 비율을 척도로 운동의 효과를 규명한 연구가 대부분이다(Hyong, 2015; Irish et al., 2010).

최근 연구에서는 독립활성비율을 이용하여 하나의 근육군 내에 각 근육의 상대적 활성도를 제시하고 있다(Arlotta et al., 2011; Park & Yoo, 2015). 넙다리네갈래근 중 표면 근전도로 측정할 수 있는 근육으로는 안쪽넓은근, 가쪽넓은근, 그리고 넙다리곧은근이 있다. 하지만 세 가지 근육의 활성도를 비율 척도로 제시된 연구는 없다. 따라서 본 연구에서는 다양한 지지면에 따른 스쿼트 운동 시 넙다리네갈래근의 독립활성비율을 규명하고자 한다.

Ⅱ. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 건강한 성인 남녀 20명을 대상으로 실시하였다. 연구 대상자는 연구의 과정과 목적에 대해 설명을 듣고, 자발적으로 동의하였다. 선천적 혹은 후천적인 근골격계의 질환이 있는 자, 스쿼트 운동 수행이 불가능한 자, 하지 및 발의 기능이상이 존재하는 자는 연구 대상자에서 제외하였다. 본 연구 대상자의 평균 연령, 신장, 체중, 그리고 체질량지수는 23.35±2.28세, 168.60±8.34cm, 61.40±9.43kg, 21.48±1.64kg/m^2이었다. 본 연구의 실험 과정은 가야대학교 기관생명윤리위원회의 승인을 받아 진행되었다(IRB No. 20170189).

2. 측정 방법 및 도구

1) 표면 근전도(surface electromyography)

본 연구에서는 다양한 지지면에 따른 넙다리네갈래근의 활성도를 측정하기 위한 도구로 표면 근전도(Biopac Systems, Santa Barbara, CA, USA)를 사용하였으며, 피부에서 발생하는 저항을 최소화시키기 위해 알코올 솜을 이용하여 이물질을 닦아낸 후 전극을 부착하였다. 표면 전극은 넓다리곧은근, 안쪽넓은근, 가쪽넓은근에 부착하였으며, 부착 부위는 다음과 같다. 넙다리곧은근은 무릎과 엉덩뼈가시(iliac spine) 사이의 중간 지점인 허벅지 앞쪽 중심에서 근섬유와 나란히 부착하였고, 안쪽넓은근은 무릎뼈(patella)의 위쪽 테(rim)에서부터 내측 2cm 지점에서 55°사선 방향으로 부착하였고, 가쪽넓은근은 무릎뼈로부터 약 3～5cm 위쪽 중간 지점에서 약간 가쪽 사선 방향으로 부착하였다(Cram et al., 1998). 근전도 신호의 표본 추출률은 1024Hz, 주파수 대역폭은 10～450Hz, 60Hz의 노치 필터(notch filter)를 사용하였다. 수집된 근활성도 신호는 Acqknowledge 3.9.1 소프트웨어로 분석하였다. 프로그램을 이용하여 완파 정류(full-wave rectification)한 후 실효치 진폭(root mean square, RMS)을 분석하였다.

2) 독립활성비율(%isolation)

넙다리네갈래근의 상대적인 활성도를 분석하기 위해 독립활성비율(%isolation)를 사용하였다. 독립활성비율은 선행 연구의 정량화 방식을 기준으로 계산하였다(Arlotta et al., 2011; Park & Yoo, 2015). 독립활성비율(%Isolation)의 계산식은 다음과 같다(Fig. 1). x는 조사하려는 해당 근육이며, y와 i는 각각의 운동조건과 해당 실시횟수를 나타낸다. 만약 넙다리곧은근과 가쪽넓은근이 전혀 활성화되지 않는다면, 해당 운동에서 안쪽넓은근의 독립근활성비율은 100%가 된다.

$$\%\text{Isolation} = \left|\frac{EMGxyi}{EMG_{RF}yi + EMG_{VM}yi + EMG_{VL}yi}\right| * 100$$

Fig. 1. The formula of %isolation. RF: rectus femoris, VM: vastus medialis, VL: vastus lateralis.

3. 연구 방법

본 연구는 세 가지 지지면에서 스쿼트 운동을 실시하였으며, 자료 수집은 등척성 수축 기간동안 조사되었다. 스쿼트 시 시선은 정면을 응시하게 하였고, 운동 중 반대편 골반이 떨어지지 않고 무릎의 굽힘 각도는 90°를 유지하도록 통제하였다. 양팔은 팔짱을 끼는 자세로 유지하도록 하였으며, 굽힘 시 무릎은 두 번째 발가락과 수직으로 위치하도록 하여 엉덩관절 모음이 일어나지 않도록 통제하였다(Chae et al., 2007). 이러한 자세로 평평한 지지면, 불안정한 지지면(Pro balance trainer, BOSU®, USA), 반원형 폼 롤러 지지면(foam roller semicircle, TRATAC, Taiwan)에서 스쿼트 운동을 무작위로 실시하였다(Fig. 2). 불안정한 지지면의 특징은 모두 방향에서의 균형 유지를 위한 노력이 필요하며, 폼 롤러 지지면은 반원형으로 앞뒤 방향에서의

균형 조절이 요구된다. 모든 대상자는 5초간 스쿼트 자세를 유지하도록 하였으며, 3회 실시하였다. 근육의 피로를 통제하기 위하여, 지지면에 따라 5분의 휴식시간과 동일 지지면에서의 운동 수행 시 1분의 휴식시간을 제공하였다. 자료 분석에는 5초간 근육활동 중 처음과 마지막 1초를 제외한 3초간의 활동을 사용하였으며, 3회 걸친 측정의 평균값을 사용하였다.

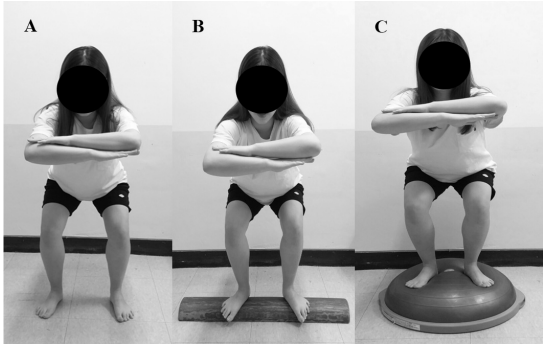

Fig. 2. Squat exercise on variations of support surface. A) flat surface, B) form roller, C) unstable surface.

4. 자료 처리

측정된 데이터는 SPSS Version 18.0(SPSS, Chicago, IL, USA) 프로그램을 사용하여 분석하였다. 스쿼트 운동의 지지면 변화에 따른 넙다리네갈래근의 독립활동비율을 비교하기 위해 반복측정 일요인 분산분석(repeated one way ANOVA)를 사용하였으며, 사후 분석으로는 본페로니 검증(Bonferroni correction)을 실시하였다. 유의수준 α=0.05로 설정하였다.

Ⅲ. 연구 결과

지지면 변화에 따른 스쿼드운동이 넙다리네갈래근의 독립활동비율은 다음과 같다(Table 1)(Fig. 3). 넙다리곧은근의 독립활동비율은 불안정한 지지면에서 실시한 스쿼트 운동보다 평평한 지지면에서 실시한 스쿼트 운동에서 유의하게 높았다($p<0.05$). 안쪽넓은근

Table 1. The isolated activation ratio of quadriceps femoris muscle on variations of support surface during the squat exercise (N=20)

	Squat on flat surface	Squat on foam roller	Squat on unstable surface	F	p
Rectus femoris*	55.46±16.81	54.25±22.9	44.92±16.79	6.42	0.01
Vastus medialis*	29.53±13.54	28.99±14.06	41.64±12.44	12.89	0.00
Vastus lateralis	15.01±13.47	16.76±17.74	13.44±11.80	1.63	0.22

Unit: %isolation, *significant difference between conditions

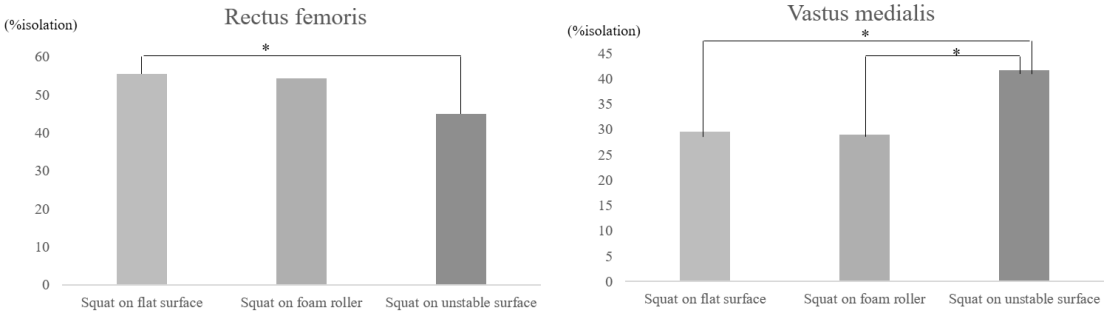

Fig. 3. The isolated activation ratio of quadriceps femoris muscle on variations of support surface during the squat exercise. *Significant difference between conditions.

의 독립활동비율은 불안정한 지지면에서 실시한 스쿼트 운동에서 다른 두 조건에 비해 유의하게 높았다($p<0.05$). 가쪽넓은근의 독립활동비율은 세 가지 조건에서 유의한 차이가 없었다($p>0.05$).

Ⅳ. 고 찰

스쿼트 운동은 넙다리네갈래근의 강화를 위해 자주 사용되는 운동 프로그램이며, 선행 연구에서는 다양한 형태의 스쿼트 운동이 넙다리네갈래근을 강화시키는데 효과적이라고 보고하였다. 하지만 대부분의 선행 연구에서는 스쿼트 운동 시 넙다리네갈래근의 선택적 활성화를 비교하기 위한 척도로 안쪽과 가쪽넓은근의 비율 또는 최대근활성도(%MVIC)로 제시하였다(Clark et al., 2012; Hyong & Kang, 2013; Koh et al., 2011). 넙다리네갈래근은 실질적으로 표면에 있는 세 개의 근육을 고려하여야 하며 이는 힘의 벡터 합성에 있어서 중요한 요소임에도 불구하고, 세 근육 모두의 상대적 근활성 비율을 조사한 연구는 부족한 실정이다. 본 연구에서는 넙다리네갈래근의 선택적 활성도를 비교하기 위하여 독립활성비율 척도를 사용하였다. 이는 기존 연구에서 하나의 근육군 내의 어떤 근육이 더욱 활성화되는지를 알아보기 위한 척도로 제시되어졌으며(Arlotta et al., 2011; Park & Yoo, 2015), 본 연구 역시 이 척도를 이용하여 근육의 상대적 활성도를 비교하고자 한다.

본 연구에서는 세 가지 지지면에서 넙다리곧은근의 독립활성비율이 안가쪽넓은근에 비해 높았다. 기존 연구는 근활성도 척도로 최대근활성도(%MVIC)를 사용하여 직접적인 비교는 어렵지만, 본 연구에서는 무릎을 90°굽힘하여 실시한 운동 시 안가쪽넓은근에 비해 높은 넙다리곧은근의 활성도를 보인 기존 연구의 결과와 유사하였다(Marchetti et al., 2016). 이는 넙다리곧은근이 안가쪽넓은근에 비해 중력선에 가까워 수직 방향으로 가해지는 중력에 대한 대항 작용을 수행하고 있기 때문으로 생각된다(Clark et al., 2012). 또한, 넙다리곧은근은 두 관절 근육으로서 한 관절에서는 작용근, 다른 관절에서는 대항근의 역할을 수행한다. 이러한 근육이 높은 활동을 보이는 경우는 두 관절에서 작용근으로서 역할을 수행하는 시기이다(Prilutsky, 2000). 본 연구와 같이 무릎을 90°굽힘하여 등척성 운동을 수행한다면, 무릎뼈에 의해 더 큰 모멘트팔(moment arm)을 만들고, 무릎관절이 90°이상 굽힘되지 않기 위해서 폄 모멘트를 생성하여 넙다리곧은근의 활동을 증가시킬 수 있을 것이다(Marchetti et al., 2016). 더하여 넙다리곧은근이 등척성 운동을 수행하는 동안 무릎관절의 폄뿐만 아니라 적절한 엉덩관절의 굽힘을 유지하는데도 기여한 결과라 여겨진다. 임상에서 넙다리곧은근의 독립활성비율을 증가시키기 위해서는 평평한 지지면에서 무릎관절을 90°굽힘하여 실시하는 등척성 운동을 적용할 수 있을 것이다.

넙다리네갈래근은 일반인 혹은 운동선수의 무릎통증 및 무릎 안정성에 중요한 역할을 수행한다. 안쪽넓은근과 가쪽넓은근은 무릎관절 폄을 하는 동안 무릎뼈를 안정화하는데 협력적인 역할을 수행하는 기본적인 근육이다(Jaberzadeh et al., 2016). 특히 안쪽넓은근의 위축은 상대적인 가쪽넓은근의 활동을 높이고, 무릎뼈를 가쪽으로 잡아당기는 힘을 증가시켜 무릎통증 혹은 넙다리무릎뼈 통증 증후군(patellofemoral pain syndrome)의 원인이 된다(Tang et al., 2001). 넙다리무릎뼈 통증 증후군을 가진 사람의 안쪽넓은근/가쪽넓은근 비율은 0.54:1 정도로 낮으며(Powers, 2000), 이론적으로 이상적인 안쪽넓은근/가쪽넓은근의 비율은 1:1 혹은 1에 가깝다고 보고하였다(Kushion et al., 2012; Souza & Gross, 1991).

대부분의 선행 연구에서는 넙다리네갈래근의 운동 시 엉덩관절, 무릎관절, 발목관절, 발의 위치 변화를 통해 선택적인 안쪽넓은근의 활동을 강화시키기 위해 노력하였다(Jaberzadeh et al., 2016; Koh et al., 2011; Marchetti et al., 2016). 하지만 이러한 변화는 넙다리신경의 지배를 받는 넙다리네갈래근의 해부학적인 특성에 기인한 것이며, 이는 안쪽넓은근의 선택적인 활동을 만드는데 매우 어렵다고 하였다(Hubbard et al.,

1997). 본 연구에서의 3가지 지지면 모두에서는 가쪽넓은근에 비해 안쪽넓은근의 독립활성비율이 높게 나타났다. 이는 무릎이 굽힘된 상태에서의 정적인 동작이 가쪽넓은근에 비해 안쪽넓은근을 활성화시킬 수 있다고 보고한 선행 연구의 결과를 뒷받침하는 것이다(Jaberzadeh et al., 2016). 그리고 안쪽넓은근의 독립활동비율은 평평한 지지면과 폼 롤러 위에서의 운동보다 불안정한 지지면에서 유의하게 높게 나타났다. 이는 불안정한 지지면에서의 운동이 관절수용기의 자극과 고유수용성감각에 대한 들신경(afferent) 정보 입력을 증가시켜 안쪽넓은근/가쪽넓은근의 비율을 증가시키는데 효과적이라고 보고한 선행 연구(Hyong & Kang, 2013)의 결과를 지지한다.

본 연구는 상대적인 근활성도를 독립활성비율로 제시하였기 때문에, 폼 롤러에서의 넙다리네갈래근의 독립활성비율이 평평한 지지면에서의 운동과 유사하였다. 안쪽과 가쪽넓은근의 섬유는 비스듬하게 주행하기 때문에(Cram et al., 1998), 가로로 배치된 폼 롤러가 이들 근육을 촉진시키는데 제한이 있음을 보여주는 것이다. 이러한 결과와 더불어 선행 연구의 결과(Hyong & Kang, 2013)를 고려한다면, 불안정한 지지면이 무조건적으로 안쪽넓은근 자극에 효과적이라는 결론보다는 앞뒤와 좌우 불안정성을 제공할 수 있는 지지면을 사용한 등척성 운동이 안쪽넓은근의 활동을 증가시키는데 효과적이라고 할 수 있다.

넙다리무릎뼈 통증 증후군을 가진 사람은 계단 오르내리기, 쪼그려 앉기, 장시간 앉기와 같은 기능적인 활동을 수행하는 동안 흔히 통증을 경험한다(Crossley et al., 2000). 무릎넙다리 통증 증후군을 가진 사람에게 초기 운동 시 무릎관절의 각도를 60°이상 증가시켰을 때 넙다리뼈에 대한 무릎뼈의 압박이 급격히 증가하여 통증이 증가할 수 있다(Kim & Song, 2010). Escamilla 등(2001)은 운동 시 무릎관절의 굽힘 각도가 증가할수록 무릎관절에 가해지는 하중이 증가한다고 보고하였으며, 무릎관절의 굽힘 각도를 0~50°사이에서 실시할 것을 권장하였다. 이외에도 불안정한 지지면에서의 운동은 노인에게 적용하는 것은 위험할 수 있음을 언급하였다(Hyong & Kang, 2013). 이러한 결과를 종합하여 볼 때, 불안정한 지지면에서 무릎관절을 90°굽힘한 등척성 운동은 무릎 통증 혹은 넙다리무릎뼈 통증 증후군을 가진 사람의 초기 재활 이후에 적용할 것을 추천한다. 그리하여 불안정한 지지면을 이용한 본 운동은 노인에게 보다는 무릎 통증 혹은 넙다리무릎뼈 통증 증후군을 가진 젊은 성인이나 운동선수의 초기 재활 이후에 적용할 수 있을 것이다.

Ⅴ. 결 론

불안정한 지지면에서의 운동은 평평한 지지면에서의 운동보다 안쪽넓은근을 자극하는데 효과적이다. 이러한 운동은 임상에서 안쪽넓은근의 약화로 발생할 수 있는 무릎 통증을 개선시키는데 적용할 수 있을 것이다.

CONFLICT OF INTEREST

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by Ministry of Science and ICT (No. 2017R1C1B5074795).

References

Arlotta M, Lovasco G, McLean L. Selective recruitment of the lower fibers of the trapezius muscle. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2011;21(3):

403-410.

Begalle RL, Distefano LJ, Blackburn T, et al. Quadriceps and hamstrings coactivation during common therapeutic exercises. *Journal of Athletic Training.* 2012;47(4): 396-405.

Cannell LJ, Taunton JE, Clement DB, et al. A randomised clinical trial of the efficacy of drop squats or leg extension/leg curl exercises to treat clinically diagnosed jumper's knee in athletes: pilot study. *British Journal of Sports Medicine.* 2001;35(1):60-64.

Chae WS, Jeong HK, Jang JI. Effect of different heel plates on muscle activities during the squat. *Korean Society of Sport Biomechanics.* 2007;17(2):113-121.

Clark DR, Lambert MI, Hunter AM. Muscle activation in the loaded free barbell squat: a brief review. *Journal of Strength and Conditioning Research.* 2012;26(4): 1169-1178.

Cook JL, Khan K, Maffuli N, et al. Overuse tendinosis, not tendinitis part 2: applying the new approach to patellar tendinopathy. *The Physician and Sportsmedicine.* 2000;28(6):31-46.

Cram JR, Kasman GS, Holtz J. Introduction to surface electromyography, Gaithersburg. Aspen. 1998.

Crossley K, Cowan SM, Bennell KL, et al. Patellar taping: is clinical success supported by scientific evidence? *Manual Therapy.* 2000;5(3):142-150.

Escamilla RF, Fleisig GS, Zheng N, et al. Effects of technique variations on knee biomechanics during the squat and leg press. *Medicine and Science in Sports and Exercise.* 2001;33(9):1552-1566.

Hubbard JK, Sampson HW, Elledge JR. Prevalence and morphology of the vastus medialis oblique muscle in human cadavers. *The Anatomical Record.* 1997;249(1):135-142.

Hyong IH. Effects of squats accompanied by hip joint adduction on the selective activity of the vastus medialis oblique. *Journal of Physical Therapy Science.* 2015;27(6): 1979-1981.

Hyong IH, Kang JH. Activities of the vastus lateralis and vastus medialis oblique muscles during squats on different surfaces. *Journal of Physical Therapy Science.* 2013;25(8):915-917.

Irish SE, Millward AJ, Wride J, et al. The effect of closed-kinetic chain exercises and open-kinetic chain exercise on the muscle activity of vastus medialis oblique and vastus lateralis. *Journal of Strength and Conditioning Research.* 2010;24(5):1256-1262.

Jaberzadeh S, Yeo D, Zoghi M. The effect of altering knee position and squat depth on VMO : VL EMG ratio during squat exercises. *Physiotherapy Research International.* 2016;21(3):164-173.

Kim HH, Song CH. Effects of knee and foot position on EMG activity and ratio of the vastus medialis oblique and vastus lateralis during squat exercise. *Journal of Muscle and Joint Health.* 2010;17(2):140-150.

Koh EK, Lee KH, Jung DY. The effect of isometric hip adduction and abduction on the muscles activities of the vastus medialis oblique and vastus lateralis during leg squat exercise. *Korean Journal of Sport Biomechanies.* 2011;21(3):361–368.

Kushion D, Rheaume J, Kopchitz K, et al. EMG activation of the vastus oblique and vastus lateralis during four rehabilitative exercise. *The Open Rehabilitation Journal.* 2012;5:1–7.

Lutz GE, Palmitier RA, An KN, et al. Comparison of tibiofemoral joint forces during open-kinetic-chain and closed-kinetic-chain exercises. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume.* 1993;75(5): 732-739.

Marchetti PH, Jarbas da Silva J, Jon Schoenfeld B, et al. Muscle activation differs between three different knee joint-angle positions during a maximal isometric back squat exercise. *Joural of Sports Medicine.* 2016. Epub.

Marcus RL, Yoshida Y, Meier W, et al. An eccentrically biased

rehabilitation program early after TKA surgery. *Arthritis.* 2011. Epub.

Nakajima M, Kawamura K, Takeda I. Electromyographic analysis of a modified maneuver for quadriceps femoris muscle setting with co-contraction of the hamstrings. *Journal of Orthopaedic Research.* 2003;21(3):559-564.

Park DJ, Kim JH, Lee HO. Effectiveness of modified quadriceps femoris muscle setting exercise for the elderly in early rehabilitation after total knee arthroplasty. *Journal of Physcial Therapy Science.* 2012;24(1):27-30.

Park SY, Yoo WG. Activation of the serratus anterior and upper trapezius in a population with winged and tipped scapulae during push-up-plus and diagonal shoulder-elevation. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation.* 2015;28(1):7-12.

Powers CM. Patellar kinematics, part I: the influence of vastus muscle activity in subjects with and without patellofemoral pain. *Physical Therapy.* 2000;80(10): 956-964.

Prilutsky BI. Coordination of two- and one-joint muscles: functional consequences and implications for motor control. *Motor Control.* 2000;4(1):1-44.

Shelton GL, Thigpen LK. Rehabilitation of patellofemoral dysfunction: a review of literature. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy.* 1991;14(6): 243-249.

Souza DR, Gross MT. Comparison of vastus medialis obliquus: vastus lateralis muscle integrated electromyographic ratios between healthy subjects and patients with patellofemoral pain. *Physical Therapy.* 1991;71(4): 310-320.

Tang SF, Chen CK, Hsu R, et al. Vastus medialis obliquus and vastus lateralis activity in open and closed kinetic chain exercises in patients with patellofemoral pain syndrome: an electromyographic study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation.* 2001;82(10): 1441-1445.

Yoo WG, Yi CH, Lee HJ. Effects of a combined posture of the lower extremity on activity of the vastus medialis oblique muscle and vastus lateralis muscle during static squat exercise. *Korean Research Society of Physical Therapy.* 2004;11(3):1-9.