

동적 스쿼트 운동시 탄력밴드를 이용한 저항방향이 내측광근/외측광근 근전도 활성비에 미치는 영향

The Journal Korean Society of Physical Therapy



- 남기석
- 강릉영동대학 물리치료과

Effect of the Resistance Direction by an Elastic Band on the VMO/VL Electromyographic Activity Ratio during Dynamic Squat Exercise

Ki-Seok Nam, PT, MS

Department of Physical Therapy, Gangneung Yeongdong College

Purpose: The purpose of this study was to identify the effect of anterolateral (45°) and lateral (90°) direction resistance, with using an elastic band, on the electromyographic(EMG) activity ratio of the vastus medialis oblique (VMO) and the vastus lateralis (VL) during squat exercise.

Methods: The study subjects were 19 active people with no history of patellofemoral pain, limitation of range of motion or pain when performing squat exercise. A 'repeated measures within subjects' design was used. The subjects were asked to perform three repetitions of a 90° knee flexion squat exercise with anterolateral (45°) and lateral (90°) resistance and without resistance, respectively. The EMG activity of the VMO and VL were recorded by surface EMG electrodes and the results were normalized by the % MVIC value.

Results: Repeated measures ANOVA's revealed that squat exercise with anterolateral (45°) resistance produced significantly greater VMO/VL EMG activity ratio than that with lateral (90°) resistance and without resistance ($p=.013$). Yet the result of contrast testing revealed that squat exercise with lateral (90°) resistance showed no significant difference of the VMO/VL EMG activity ratio, as compared with squat exercise without resistance ($p>0.05$).

Conclusion: The findings of this study suggest that squat exercise combining anterolateral (45°) resistance can contribute positively to the patients with patellofemoral pain as they increase the VMO/VL EMG activity ratio.

Key Words: Patellofemoral pain, Squat exercise, Surface electromyography, VMO/VL ratio

논문접수일: 2008년 7월 25일

수정접수일: 2008년 8월 19일

게재승인일: 2008년 9월 27일

교신저자: 남기석, seokah@hanmail.net

1. 서론

슬개대퇴 동통증후군(patellofemoral pain syndrome, PFPS)은 일반인을 포함하여 신체활동이 많은 사람들에게서 10~28% 가량 발생한다(Almeida 등, 1999; Witvrouw 등, 2000). 이 증후군은 슬개대퇴관절의 생체역학적 변화로 인해 슬개골의 비

정상적인 위치와 움직임이 슬관절 전방 통증을 유발하는 것으로 알려져 있다(Press와 Young, 1998). 슬개대퇴 증후군을 가진 젊은 여성의 경우 건강한 사람에 비해 고관절 외전근과 외회전근의 근력이 약한 경향이 있으며(Ireland 등, 2003), 이와 관련하여 과도한 회내족 또한 슬개골의 외측 당김 현상을 강화하여 슬관절 전방 통증을 일으킨다(Host 등, 1995).

슬개대퇴 관절의 안정성이나 슬개골의 위치는 대부분 대퇴 사두근의 내측광근과 외측광근의 동적 균형에 의해 유지된다 (Huberti와 Hayes, 1984; Sheehy 등, 1998). 하지만 슬개대퇴 관절의 압력을 조절하는 것은 내측광근이 중요한 역할을 하며 (Goh 등, 1995), 특히 슬개골의 위치는 슬관절 신전의 마지막 30° 범위에서 내측광근의 동적인 힘에 의해 주로 조절된다 (Doucette와 Goble, 1992; Ciccotti 등, 1994). 대퇴사두근의 구심성 수축시에 네 갈래 모두 슬개골을 상방으로 당기는 작용을 하지만, 외측광근에 비해 내측광근이 상대적으로 적게 작용할 때에는 슬개골의 외측 당김 때문에 슬개대퇴 통증증후군의 원인이 된다(Cowan 등, 2001; Cerny, 1995).

슬개대퇴 동통증후군의 치료에 대한 다양한 선행연구가 있다. 급성기 슬개대퇴 동통증후군 환자를 대상으로 한 연구에서 기립자세에서 환측 다리로 체중을 지지한 상태에서 건측 다리로 고정형 자전거의 페달을 돌리는 운동이 적절하다고 하였다 (Zappala 등, 1992). 깔창이나 wedge 등의 보조기가 슬개대퇴 동통증후군의 통증 감소나 근활성도의 변화에 미치는 영향에 관한 여러 연구에서, 반유연성 신발 깔창의 처방이 통증감소에 효과적이었고(Saxena와 Haddad, 2003), Q-각이 18° 이하의 대상자에게 내측 wedge를 적용하여 슬관절 마지막 신전범위에서 내측광근/외측광근 근활성비가 증가되었다는 보고가 있다(유원규 등, 2005). 또한 McConnell(1996)은 슬개골을 내측으로 당기는 테이핑의 시행만으로 즉각적인 통증의 감소 효과를 나타낸다고 하였다. 근전도 생체피드백을 이용한 운동 프로그램이 일반 운동 프로그램보다 내측광근/외측광근 활성비의 증가에 효과적이었다는 연구가 있다(Ng 등, 2008). Coqueiro 등 (2005)과 Earl 등(2001)은 스쿼트 운동시 고관절의 등척성 수축을 동반하면 대퇴사두근의 전체 활성도가 증가하지만, 선택적인 내측광근의 활성도 증가는 없었다고 하였다. 전방으로 기울어진 지면에서의 스쿼트 운동이나 고관절 내전과 족각의 증가가 동반된 스쿼트 운동 시 내측광근/외측광근 활성비를 증가시킨다는 연구결과가 있다(유원규 등, 2004).

탄력밴드를 이용하여 저항을 제공한 상태에서 스쿼트 운동의 효과에 대한 몇몇 연구가 있다. 탄력밴드의 한쪽 끝은 고정하고, 다른 한쪽은 대상자의 슬관절 바로 위에 감아서 저항이 뒤로 가해지도록 설정한 뒤 운동을 하는 다리의 고관절은 외회전하면서 스쿼트하여 내측광근을 선택적으로 강화할 수 있다 (Hammer, 1999). 전십자인대 재건술 이후 슬관절 재활을 위한 운동법으로 환측 다리는 지면에 고정하여 닫힌운동사슬을 형성한 상태에서 탄력밴드를 통한 저항을 건측 다리에 적용하여 운동을 적용하여 환측 슬관절 근육의 활성도가 높아지는 결과가 있었다(Schulthies 등, 1998).

선행연구에서는 슬관절 전체 근육의 활성도를 높이는 운동

법에 대한 연구는 다소 있었으나, 스쿼트 운동시 저항 방향의 차이에 따른 내측광근/외측광근 활성비에 대한 연구는 전무하다. 따라서 본 연구는 스쿼트 운동시 대상자의 전외측 45°에서의 적용과 외측 90°에서의 적용이 저항 없이 스쿼트 할 때와 비교하여 내측광근/외측광근 활성비에 어떤 영향을 미치는지를 알아보기 위하여 실시하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상

연구대상자는 강릉영동대학 재학 중인 건강한 성인으로 참가에 동의한 남녀 19명으로 하였다. 다음의 경우에 해당하는 자는 연구대상자에서 제외하였다. 첫째, 하지와 체간에 통증이 있는 자, 둘째, 체간과 하지의 관절가동범위가 정상에서 현저하게 벗어난 자, 셋째, 슬관절의 질환이나 그로 인한 수술병력이 없는 자.

2. 실험방법

실험을 시작하기 전에 본 실험절차에 대해 충분히 설명하였다. 대상자는 근활성도 측정을 위해 부착하는 전극의 위치가 드러나면서 스쿼트 운동을 실시하는데 지장이 없는 반바지를 착용하였다. 전극을 피부에 부착하기 전에 저항을 최소화하기 위하여 전극을 알코올로 닦았으며, 각 근육의 전극부착 위치의 털을 제거한 후 알코올로 닦았다. 전극은 슬관절 신전을 통해 대퇴사두근의 수축을 유도하여 축진을 통해 내측광근과 외측광근의 위치를 결정하여 부착하였다.

스쿼트를 통해 근전도 신호를 측정할 때 순서에 따른 효과를 배제하기 위하여 무작위로 제비뽑기를 이용하여 결정하였다. 스쿼트 운동시 대상자의 자세는 어깨넓이의 120%로 양발을 벌리고 슬관절 굴곡시 고관절을 약간 내전하도록 지시하였다(Earl 등, 2001). 양팔은 가볍게 팔짱을 낀 자세에서 체간은 기립을 유지한 상태로 서도록 하였다.

개인별 근력의 차이로 인한 자료분석의 오류를 방지하기 위해 최대수의적 등척성 수축력 값(maximal voluntary isometric contraction, MVIC)을 이용하여 정량화(normalization)하였다(Newman 등, 2003). 최대수의적 등척성 수축력의 측정을 위해 대상자가 지면에 발이 닿지 않는 테이블에 앉은 상태에서 슬관절 신전을 유지하도록 지시하면서 실험자는 최대의 힘으로 슬관절 굴곡을 실시하였다. 이러한 과정은 각 대상자별로 3회를 측정하였으며, 각 회간 약 1분간 휴식하여 근피로 최소화하였다. 이렇게 얻어진 3회의 값에 대한 평균값을 자료값으로 활용하였다.

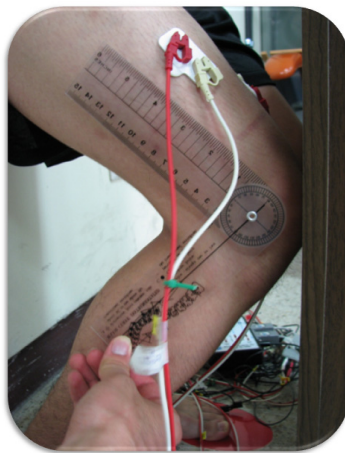


Figure 1. Squat method

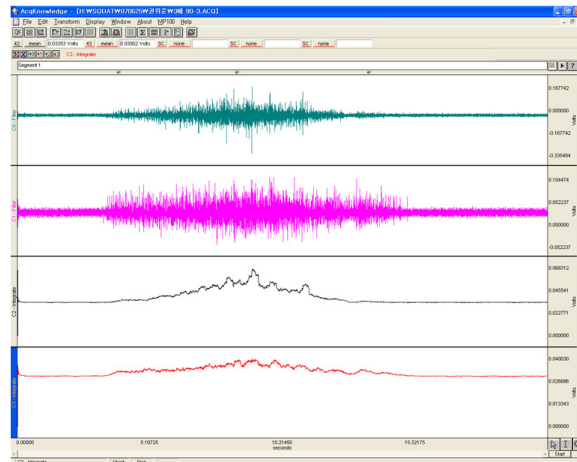


Figure 2. Collected EMG signal during squat

본 연구에서 설정한 스쿼트 조건은 3가지로서 무저항, 전외측 45° 저항, 외측 90° 저항의 상태에서 스쿼트를 실시하는 것이다. 3가지 조건 모두에서 체간을 똑바로 세우고 양발은 어깨 너비 만큼 벌린 자세에서 슬관절이 90° 굴곡했다가 다시 기립 자세로 슬관절을 신전하였다(Figure 1). 무저항은 외부적인 저항없이 자신의 체중만을 이용하였으며, 전외측 45° 저항은 탄력밴드를 이용하여 대상자의 실험대상 슬관절의 전외측 45° 방향의 슬관절 높이에서 적용하였고, 외측 90° 저항은 실험대상 슬관절의 외측 90° 방향의 슬관절 높이에서 적용한 상태로 스쿼트하도록 하였다. 대상자 모두에게 저항의 양을 동일하게 적용하기 위해 탄력밴드를 원형으로 만든 다음 그 길이가 2 m가 되도록 한 상태로 저항을 적용하였다. 또한 스쿼트의 속도를 일정하게 하기 위해 박자기를 이용하여 1회의 스쿼트의 시간이 6 초에 마무리되도록 하였다.

3가지 스쿼트 조건별로 각각 3회를 실시하였으며, 각 회간 1분간의 휴식을 취하도록 하여 근피로를 최소화하였다. 각 조건별 3개의 자료는 그 평균값을 자료값으로 이용하였다.

3. 실험도구 및 자료수집

근전도를 이용하여 선택된 근육의 활성도를 측정하기 위하여 MP100 system¹⁾을 이용하였다. 전극은 bipolar silver/silver chloride EMG electrode 2개를 사용하였다. 전극의 부착부위는 무릎 3~5 cm 위의 중앙선을 기준으로 외측을 외측광근의 부위로 하고, 무릎의 내측으로 55° 방향으로 2 cm부위를 내측광근으로 하였다(Cram 등, 1998).

전극을 통해 수집된 신호는 MP100을 이용하여 아날로그 신호를 디지털 신호로 전환하였으며, sampling rate은 1000

Hz로 하였다. 60 Hz notch filter로 걸러진 아날로그 신호는 완파정류(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(Figure 2).

4. 분석방법

스쿼트 운동시 다음의 세 가지 조건 즉 1) 무저항, 2) 전외측 45°저항 3) 외측 90°저항에 따른 내측광근 활성도, 외측광근 활성도 그리고 내측광근/외측광근 활성도 비를 비교하기 위하여 반복측정에 의한 분산분석(repeated measured ANOVA)을 실시하였다. 또한 무저항 스쿼트에 대하여 대비(contrast) 검정을 하였다. 통계적 유의수준 α 는 0.05로 하였고, SPSS 12.0을 이용하였다.

III. 결과

1. 연구대상자의 일반적 특성

연구대상자는 20대의 건강한 성인 남녀 19명을 대상으로 하였으며, 일반적인 특성은 Table 1과 같다. 평균나이는 21.74세, 평균신장은 164.16 cm, 평균체중은 56.89 kg이었다.

Table 1. General features of the studied subjects(N=19)

Character	Mean	±	SD	Range
Age(years)	21.74	±	1.522	20~26
Height(cm)	164.16	±	7.01	153~176
Weight(kg)	56.89	±	10.96	43~78

1) MP100 System, Biopack system Inc. Santa Barbara, CA. U.S.A.

2. 스쿼트 조건에 따른 내측광근, 외측광근, 내측광근/외측광근 비의 근활성도(%MVIC)

3가지 스쿼트 조건 즉 무저항, 전외측 45° 저항, 외측 90° 저항을 적용한 스쿼트에 따른 내측광근, 외측광근, 내측광근/외측광근 비의 근활성도를 수의적 최대 등척성 수축력에 대한 비율로 비교한 결과는 다음과 같다(Table 2). 내측광근은 전외측 45° 저항 스쿼트의 경우에 52.78로서 무저항과 외측 90° 저항의 경우에 비해 높은 활성도를 보였다. 외측광근은 무저항 스쿼트의 경우에 59.61로서 전외측 45° 저항과 외측 90° 저항의 경우에 비해 높은 활성도를 보였다. 내측광근/외측광근 비는 전외측 45° 저항 스쿼트의 경우 92.17로서 무저항과 외측 90° 저항의 경우에 비해 높은 활성도를 보였다.

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

Muscle	Condition		
	No resistance	45°resistance	90°resistance
VMO	49.96 ± 19.14a	52.78 ± 16.62	48.51 ± 16.42
VL	59.61 ± 20.53	48.51 ± 16.42	58.55 ± 20.70
VMO/VL	86.60 ± 24.17	92.17 ± 26.62*	86.60 ± 24.64

amean±SD, *p<0.05

3. 스쿼트 조건에 따른 내측광근, 외측광근, 내측광근/외측광근 비의 차이

3가지 스쿼트 조건 즉 무저항, 전외측 45° 저항, 외측 90° 저항을 적용한 스쿼트에 따른 내측광근, 외측광근, 내측광근/외측광근 비의 차이를 알아보기 위하여 일요인 분산분석을 실시한 결과 내측광근/외측광근 비에서 유의한 차이가 있었다(p<0.05)(Table 3). 이 결과를 바탕으로 저항 요인에 대한 대비검정을 실시한 결과, 무저항 스쿼트와 비교하였을 때 전외측 45° 저항 스쿼트의 경우에 내측광근/외측광근 비가 통계학적으로 유의하게 증가하였다(p<0.05)(Table 4)(Figure 3).

Table 3. One-way repeated ANOVA for muscle activity in squat conditions

Muscle	df	Type III SS	MS	F	p
VMO	2	178.794	89.397	2.546	.092
VL	2	12.738	6.369	0.200	.820
VMO/VL	2	393.438	196.714	4.887	.013

Table 4. Contrast test of VMO/VL ratio about resistance factor

Source	Factor (resistance)	df	Type III SS	MS	F	p
Factor (resistance)	45° vs No	1	590.657	590.657	4.879	.04
	90° vs No	1	.000	.000	.000	.997

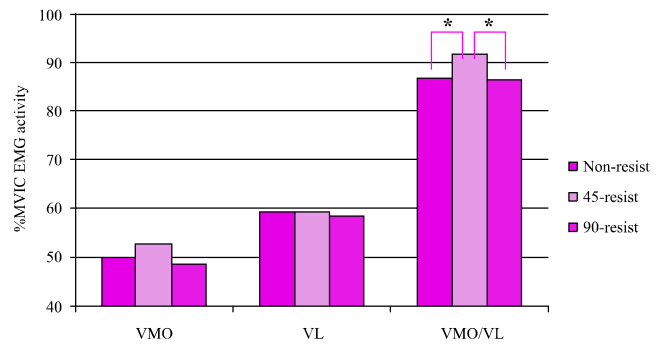


Figure 3. Muscle activity by squat conditions (%MVIC)

IV. 고찰

본 연구는 스쿼트 운동시 탄력밴드를 이용한 저항방향이 내측광근/외측광근 활성비에 미치는 영향을 알아보기 위해 근전도를 이용하여 실시하였다. 저항을 적용한 스쿼트 운동과의 비교를 위해 무저항 스쿼트도 함께 실시하였다. 무저항, 전외측 45° 저항 그리고 외측 90° 저항의 세 가지 스쿼트 방법 모두 발은 어깨너비의 120%만큼 벌리고, 슬관절 굴곡시 고관절은 약간 내전하도록 유지한 채로 시행하도록 하였다. 어깨너비의 120%만큼 발을 벌린 것은 Earl 등(2001)의 연구 결과를 참고하였으며, 슬관절 굴곡시 고관절의 내전은 Coqueiro 등(2005)의 연구에서 고관절 내전을 동반한 스쿼트가 대퇴사두근의 전체 활성도를 높인다는 결과를 바탕으로 한 것이다.

내측광근의 약화가 슬개대퇴 동통증후군의 주된 원인이라한 것은 많은 연구를 통해 밝혀졌다(Earl 등, 2001; Ng 등, 2008; Miller 등, 1997). 또한 정상인의 경우 내측광근은 외측광근에 비해 먼저 활성화되는 반면 슬개대퇴동통증후군 환자는 내측광근의 활성 시점이 외측광근보다 늦는 경향이 있다(Voight와 Weider, 1991).

내측광근을 강화하는 방법에 대한 여러 연구에서 생체되먹임을 이용한 슬관절 운동이 내측광근의 활성도를 높인다고 하였으며(Ng 등, 2008), 신발 깔창 보조기가 처방된 상태에서 외발 스쿼트 운동이 내측광근의 활성도를 높인다고 하였다(Hertel 등, 2005). Hodges와 Richardson(1993)은 슬관절 신전시 내측광근을 조기에 활성화시키기 어려운 환자의 경우에 대내전근

을 동반 수축시키면 가능하다고 하면서 단힌운동사슬에서는 대내전근 최대수축력의 약 20%, 열린운동사슬에서는 최대수축력을 통해 가능하다고 하였다. 고관절 외전근중에서 중둔근의 근력을 증가시키고, 대퇴근막장근의 활성도를 감소시키면 이와 연결된 구조물인 장경인대가 슬개골을 외측으로 당기는 힘을 감소시켜 내측광근의 활성도를 향상시킬 수도 있다 (McConnell, 1996). 하지만 내측광근의 선택적인 강화가 가능한가는 아직 논쟁의 여지가 많다(Fredericson과 Powers, 2002; Ng 등, 2008).

스쿼트 운동시 저항방향이 내측광근/외측광근 활성비에 미치는 영향을 알아보기 위해 무저항, 전외측 45° 저항 그리고 외측 90° 저항을 적용한 상태에서 스쿼트 운동을 실시한 결과 전외측 45° 저항의 경우 무저항과 외측 90° 저항에 비해 유의하게 높은 내측광근/외측광근 활성비를 보였다. 또한 무저항과 전외측 45° 저항, 무저항과 외측 90° 저항에 대한 대비검정을 실시한 결과 무저항 스쿼트에 비해 전외측 45° 저항에서 유의하게 높은 내측광근/외측광근 활성비를 보였으나, 외측 90° 저항 스쿼트에서는 차이가 없었다. 외측 90° 저항 스쿼트를 시행하면서 고관절을 조금 내전하는 것을 유지하기 위해서는 고관절 내전근의 수축을 동반한 스쿼트라고 볼 수 있다. 본 연구의 결과 외측 90° 저항 스쿼트의 경우 무저항과의 비교에서 내측광근/외측광근 활성비가 증가하지 못한 것은 고관절 내전을 동반한 스쿼트 운동이 선택적인 내측광근의 활성도를 증가시키지 못했다는 Earl 등 (2001)의 연구결과와 일치하였다. 전외측 45° 저항 스쿼트는 무저항에 비해 내측광근/외측광근 활성비를 증가시킨 결과를 보였다. 이러한 결과는 Hammer(1999)의 연구와 유사한 결과를 보였다. 전외측 45° 저항 스쿼트는 고관절 내전근과 슬관절 신전근 모두에게 저항을 적용하는 효과로 인해 내측광근/외측광근 활성비를 증가시킨 것으로 사료된다.

본 연구는 물리치료 임상현장에서 많이 사용되는 탄력밴드를 이용하여 슬개대퇴 통증증후군 환자의 내측광근의 활성화시키는 방법을 실험한 결과 전외측 45° 저항이 동반된 스쿼트 운동이 효과적인 것으로 나타났다. 이 결과는 간단한 방법으로 내측광근/외측광근 활성비를 증가시킬 수 있는 효과적인 운동법으로서 급성기에서 만성기 환자에 이르기까지 다양하게 적용이 가능하다는 점에서 임상적 활용성이 많다고 생각된다. 다만 급성기에는 스쿼트의 범위를 30° 를 넘지 않도록 하는 것이 권장되며(McConnell, 1996), 만성기의 경우에는 통증과 근피로가 생기지 않는 범위에서 적용가능하다고 사료된다.

V. 결론

본 연구는 정상성인을 대상으로 스쿼트 운동시 무저항, 탄력밴드를 이용한 저항을 대상자의 전외측 45° 저항, 외측 90° 저항이 내측광근, 외측광근 그리고 내측광근/외측광근 비의 근활성도(%MVIC)에 미치는 영향을 알아보고자 실시되었다. 무저항과 외측 90° 저항에 비해 전외측 45° 저항을 동반한 스쿼트 운동이 내측광근/외측광근 비의 근활성도(%MVIC)를 증가시키는 것으로 나타나 슬개대퇴 동통증후군 환자에게 탄력밴드라는 간단한 도구를 이용하여 효과적인 스쿼트 운동에 대한 기초자료를 제시하였다. 이 연구를 바탕으로 다양한 환자를 대상으로 한 임상연구가 지속되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 유원규, 이현주, 이충휘. 내외측 Wedge와 넓다리내갈래근 각의 차이가 안쪽넓은근/가쪽넓은근 비에 미치는 영향. 한국전문물리치료학회지. 2005;12(2):1-9.
- 유원규, 이충휘, 이현주. 정적인 스쿼트 운동시 복합적인 하지의 자세가 가쪽넓은근과 안쪽넓은근의 근활성도에 미치는 영향. 한국전문물리치료학회지. 2004;11(3):11-9.
- Almeida SA, Williams KM, Shaffer RA et al. Epidemiological patterns of musculoskeletal injuries and physical training. *Med Sci Sports Exerc.* 1999;31(8):1176-82.
- Cerny K. Vastus medialis oblique/vastus lateralis muscle activity ratios for selected exercises in persons with and without patellofemoral pain syndrome. *Phys Ther.* 1995; 75(8):672-83.
- Ciccotti MG, Kerlan RK, Perry J et al. An electromyographic analysis of the knee during functional activities. I. The normal profile. *Am J Sports Med.* 1994;22(5): 645-50.
- Coqueiro KR, Bevilacqua-Grossi D, Bérzin F et al. Analysis on the activation of the VMO and VLL muscles during semisquat exercises with and without hip adduction in individuals with patellofemoral pain syndrome. *J Electromyogr Kinesiol.* 2005;15(6):596-603.
- Cowan SM, Bennell KL, Hodges PW et al. Delayed onset of electromyographic activity of vastus medialis obliquus relative to vastus lateralis in subjects with patellofemoral pain syndrome. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001;82(2): 183-9.
- Cram JR, Kasman GS, Holtz J. *Introduction to Surface*

- Electromyography. Maryland, Aspen, 1998:360-74.
- Doucette SA, Goble EM. The effect of exercise on patellar tracking in lateral patellar compression syndrome. *Am J Sports Med.* 1992;20(4):434-40.
- 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.
- Fredericson M, Powers CM. Practical management of patellofemoral pain. *Clin J Sport Med.* 2002;12(1):36-8.
- Goh JC, Lee PY, Bose K. A cadaver study of the function of the oblique part of vastus medialis. *J Bone Joint Surg Br.* 1995;77(2):225-31.
- Hammer. *Functional Soft Tissue Examination and Treatment by Manual Methods.* Gaithersburg, Aspen Publications, 1999.
- 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.
- Hodges PW, Richardson CA. The influence of isometric hip adduction on quadriceps femoris activity. *Scand J Rehabil Med.* 1993;25(2):57-62.
- Host JV, Craig R, Lehman RC. Patellofemoral dysfunction in tennis players. A dynamic problem. *Clin Sports Med.* 1995;14(1):177-203.
- Huberti HH, Hayes WC. Patellofemoral contact pressures. The influence of Q-angle and tendofemoral contact. *J Bone Joint Surg Am.* 1984;66(5):715-24.
- Ireland ML, Willson JD, Ballantyne BT et al. Hip strength in females with and without patellofemoral pain. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2003;33(11):671-6.
- McConnell J. Management of patellofemoral problems. *Man Ther.* 1996;1(2):60-6.
- Miller JP, Sedory D, Croce RV. Leg Rotation and Vastus Medialis Oblique/Vastus Lateralis Electromyogram Activity Ratio During Closed Chain Kinetic Exercises Prescribed for Patellofemoral Pain. *J Athl Train.* 1997;32(3):216-20.
- Newman SA, Jones G, Newham DJ. Quadriceps voluntary activation at different joint angles measured by two stimulation techniques. *Eur J Appl Physiol.* 2003;89(5):496-9.
- Ng GY, Zhang AQ, Li CK. Biofeedback exercise improved the EMG activity ratio of the medial and lateral vasti muscles in subjects with patellofemoral pain syndrome. *J Electromyogr Kinesiol.* 2008;18(1):128-33.
- Press J, Young J. Rehabilitation of Patellofemoral Pain Syndrome. In: Kibler, B.(Ed.), *Functional Rehabilitation of Sports and Musculoskeletal Injuries.* Gaithersburg, Aspen Publication, 1998, 254-64.
- Saxena A, Haddad J. The effect of foot orthoses on patellofemoral pain syndrome. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2003;93(4):264-71.
- Schulthies SS, Ricard MD, Alexander KJ et al. An Electromyographic Investigation of 4 Elastic-Tubing Closed Kinetic Chain Exercises After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Athl Train.* 1998;33(4):328-35.
- Sheehy P, Burdett RG, Irrgang JJ et al. An electromyographic study of vastus medialis oblique and vastus lateralis activity while ascending and descending steps. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1998;27(6):423-9.
- Voight ML, Wieder DL. Comparative reflex response times of vastus medialis obliquus and vastus lateralis in normal subjects and subjects with extensor mechanism dysfunction. An electromyographic study. *Am J Sports Med.* 1991;19(2):131-7.
- Witvrouw E, Lysens R, Bellemans J et al. Intrinsic risk factors for the development of anterior knee pain in an athletic population. A two-year prospective study. *Am J Sports Med.* 2000;28(4):480-9.
- Zappala FG, Taffel CB, Scuderi GR. Rehabilitation of patellofemoral joint disorders. *Orthop Clin North Am.* 1992;23(4):555-66.