

대한고유수용성신경근촉진법학회 : 제10권 제3호, 2012년 9월
J. of the Korean Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Association
Vol. 10 No. 3, september 2012, pp.25~31

닫힌 역학적 사슬운동에서 무릎관절 각도에 따른 넙다리네갈래근의 근활성도 변화 비교

안 성 자

마산대학교 물리치료과

Comparison of Changes in the Muscle Activity of the Quadriceps Femoris Muscle in Relation to the Angles of the Knee Joint on Closed Kinetic Chain

Seong-Ja An

Department of Physical Therapy, Masan University

ABSTRACT

Purpose : This study was intended to compare muscle activity in relation to knee joint angles on closed kinetic chain.

Methods : A total of 13 subjects consisting of 5 adult males and 8 adult females were made to make movements maintaining knee joint angles at 30°, 45° and 90° on closed kinetic chain and the muscle activity occurring in their vastus medialis, rectus femoris and vastus lateralis was measured. Statistical data were analyzed using oneway ANOVA.

Results : On closed kinetic chain, the muscle activity of the vastus medialis, rectus femoris and vastus lateralis increased the most at 90° among the knee joint angles with statistically significant differences($p < 0.05$).

Conclusion : On closed kinetic chain, it could be seen that as the angle of the knee joint increased, the muscle activity increased.

Key Words : Closed kinetic chain, Knee joint angle, Quadriceps muscle

I. 서론

무릎관절은 해부학적으로 불안정한 골격구조를 가지고 있으나 많은 운동범위를 요하는 관절이기 때문에 여러 인대와 강한 근육 등에 의해 지지를 받으며 기능적으로 체중부하를 담당하고, 역학적으로 많은 운동범위를 요구하는 관절로 인대와 근육으로 둘러싸여져 있으나, 외부의 힘에 의해 손상 받는 빈도가 매우 높은 관절이다.

넙다리네갈래근(Quadricepsmuscle) 중에서 가쪽 넓은근(Vastus lateralis; VL)과 안쪽 넓은근(Vastus medialis; VM)은 무릎관절에서의 전체 토크 중 약 80%를 생산하고 넙다리곧은근(Rectus femoris; RF)은 약 20%를 생산하며, 등척 활동을 통해 무릎관절을 보호하는데 도움을 준다. 안쪽 넓은근은 두 점유의 방향이 다른 두 개의 점유로 구성되는데 원위점유는 넙다리 종축에 대해 50-57도 각을 이루고 있으며, 근위점유는 약 15도 각을 이루고 있어 무릎뼈(patella)를 비스듬한 선방향으로 당겨 무릎뼈가 넙다리뼈(femur)의 관절염기사이고랑을 통과해 지나가거나 미끄러질 때 무릎뼈를 안정화시킨다(Neumann, 2010). 또한 넙다리네갈래 근중 안쪽 넓은근은 생리학적으로 가장 약하고 근육 약화도 가장 먼저 나타난다(Francis와 Scott, 1974). 특히 무릎관절에서 안쪽 넓은근과 가쪽 넓은근 사이의 근력 균형은 매우 중요한데 만약 근력의 불균형 상태가 발생하면 무릎관절 주변의 역학적인 변화를 일으켜 무릎뼈 외측 아탈구의 원인이 되기도 하고(Insall, 1982), 특히 안쪽 넓은근이 외측 방향의 힘에 대응하여 아탈구를 방지하는데 중요한 역할을 하기 때문이다(Francis와 Scott, 1974; Speakman과 Weisburg, 1977). 그리고 비정상적인 생체역학의 원인으로 인해 무릎뼈넙다리 통증 증후군(Patellofemoral pain syndrome; PFPS)이 오고, 무릎관절의 고유수용성감각(Proprioception)이 떨어져 기능을 감소시킬 수 있으며(Cowan 등, 2002), 이러한 결과로 인해 쭈그리기와 계단 오르기, 앉기와 같은 활동들을 감소시킨다.

넙다리네 갈래 근을 강화시키는 방법은 하지거상운동(Straightlegraising), 넙다리네 갈래 근등척성 운동(Quadricepssetting exercise), 닫힌 역학적 사슬운동과 열린 역학적 사슬운동에서 등장성운동(Isotonic exercise; eccentric, concentric)과 등속성 운동(Isokenetic exercise) 등 다양한 운동 방법들을 제시하였다.

선행연구에서 무릎관절의 각도에 따라 넙다리네갈래근의 근전도 활동이 다양하게 나타난다고 하였다(Pocock, 1963; Haffajee 등, 1972). Cook 등(2000)은 무릎관절의 모든 운동범위에서 안쪽 넓은근이 활동적이라고 하였으며, Boling 등(2006)도 안쪽 넓은근을 선택적으로 강화하기 위해 일반적으로 양하지 반 쪼그려 앉기를 사용하였고, 박승규(2011)는 반쪼그려 앉기 운동 시 무릎뼈 주행과 Q-각도 분석에서 벽 미끄러짐 반쪼그려 앉기 45도가 안쪽 넓은근의 큰 활동을 통해 무릎뼈 불안정성에 대한 초기 재활에 효과적인 안정성을 제공할 것이라고 보고하였다. 그리고 Hodges & Richardson(1993)은 안쪽 넓은근과 가쪽 넓은근 활동이 개방 연쇄 무릎 신전보다 폐쇄 연쇄 벽 미끄러짐 반 쪼그려 앉기 시 근육의 활성도가 더 커졌다고 보고하였다. 그리고 무릎넙다리통증 증후군 환자에게 지속적으로 45도 이상의 굽힘 스쿼트 운동은 기능적인 안정성을 증가시키고(Grelsamer와 Klein, 1998), 45도 이상의 굽힘상태에서의 스쿼트 운동과 같은 닫힌 사슬운동(Closed kinetic chain)이 안쪽 넓은근의 선택적인 강화에 좋은 운동이라고 하였다(Earl 등, 2001; Tang 등, 2001).

많은 연구에도 불구하고 닫힌 역학적 사슬운동(closed kinetic chain exercise)에서 무릎관절의 각도에 따른 등척성 운동 시 대퇴사두근의 근활성도 변화가 다양한 무릎관절의 각도에서 나타났으므로 본 연구의 목적은 닫힌 역학적 사슬운동(CKC)에서 무릎관절의 각도를 30°, 45°, 90°로 굽힘하였을 때 넙다리네갈래근에서 발생하는 근육의 근활성도 변화를 비교하여 기초에 근거한 이론을 바탕으로 과학적 근거를 제공하고 이 연구를 실시하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상자

실험에 참여한 대상자는 M대학교에 재학 중인 총 13명의 연구대상자로 남자 5명 여자 8명으로 구성되었다. 대상자는 무릎관절에 통증이 없고, 1년 이내에 무릎 수술 경험이 없으며, 무릎관절 운동범위가 정상 범위에 속하며, 자발적으로 참여한 대상자에게 실험 전에 진행 과정을 충분히 설명한 후 대상자들에게 동의서를 받고 실시하였다.

2. 연구방법

1) 측정도구와 절차

본 실험에 사용된 기구는 표면근전도 장비 MP150 WSW(BIOPACSystem Inc. CA, USA)를 사용하였다. 표면근전도 신호는 개인용 노트북에 Acqknowledge 3.73(BIOPACSystem Inc. Santa Barbara, USA) 소프트웨어를 이용하여 필터링과 신호처리를 하였다. 전극을 부착하기 전에 피부를 알코올 솜으로 닦고, 면도하여 피부 저항을 낮추었다. 신호의 표본 추출률(Sampling rate) 1,000Hz로 설정하였고 60Hz 노치 필터(notch filter)를 이용하여 필터링하였다. 각 근육에 대한 근 활성도의 표준화를 위해 최대수의적 등척성수축시 근 활성도를 도수근력검사 자세에서 세 번 반복측정하여 평균을 낸 뒤 최대등 척수축(Maximal voluntary isometric contraction; MVIC%)을 통하여 정량화(Normalization)하였다.

2) 측정방법

닫힌 역학적 사슬운동(CKC)은 선 자세에서 양쪽 발을 중립상태로 하고, 어깨넓이 폭으로 떨어진 상태이며 등을 벽에 기대어 선다(Keaysa 등, 2012). 무릎관절을 최대 신전시킨 자세를 0도로 설정하여 각도기를 사용

하여 무릎관절을 세 개의 각도(30°, 45°, 90°)로 굽힘시켜 5초 유지한 후 무릎을 펼 때까지 근 활성도를 3회 반복 측정하여 평균값을 사용하였다. 각 운동 중 휴식시간은 60초를 주었다(karst & Jewett, 1993; Laprade 등, 1998). 관절측정은 각도기를 이용하여 각도계의 축은 가쪽관절용기위선을 기준으로 고정팔은 넙다리 중양선, 운동팔은 정강뼈의 가쪽관절용기를 향한 선을 따라 배치하여 측정하였다. 측정한 다리는 공을 찾을 때 우세한 다리로 결정을 하였으며 근육은 안쪽 넓은근(VM), 넙다리곧은근(RF), 가쪽 넓은근(VL)을 근전도로 근활성도를 측정하였는데 전극 부착부위는 다음과 같다. 넙다리곧은근의 활동전극(active electrodes)은 무릎과 엉덩가시 사이 1/2의 앞쪽면 중앙에 근섬유방향과 평행하게 2cm 간격으로 떨어져 2개의 도자를 부착한다. 가쪽넓은근은 무릎뼈의 정중선에서 가쪽 사선방향 위 3~5cm, 안쪽넓은근은 무릎뼈의 위 가장자리에서 내측 2cm되는 지점에 부착하였다(Jeffrey, 1998) (Fig. 1).



Fig. 1. 30°, 45°, 90° on closed kinetic chain

3. 자료분석

수집한 자료는 SPSS/PC win 18.0version을 사용하여 평균과 표준편차를 구하였다. 닫힌 사슬운동인 안정한 지지면에서 각도에 따른 근 활성도의 차이를 보기 위하여 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였고, 통계적 유의수준 α 는 0.05로 설정하였다.

Ⅲ. 연구결과

1. 연구대상자의 신체적 특성

본 연구는 M대학교에 재학 중인 학생 13명(남자 5명, 여자 8명)을 대상으로 실시하였다. 남자 평균 나이는 24.00 ± 1.58 세, 키는 69.60 ± 4.10 cm, 몸무게는 174.40 ± 1.38 kg이었고, 여자 평균 나이는 21.38 ± 0.49 세, 키는 160.63 ± 3.91 cm, 몸무게는 51.13 ± 2.39 kg이었다(table 1).

2. 닫힌 역학적 사슬운동(CKC)에서 각도에 따른 근 활성화도(EMG activity) 변화

닫힌 역학적 사슬운동 30도에서 Vastus medialis는 25.76 ± 13.13 , 45도에서 32.03 ± 15.59 , 90도에서 50.08 ± 26.06 으로 근 활성화도가 나타나 통계학적으로 유의한 차이가 있었고, 사후 검정에서 30도와 90도간에 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). Rectus femoris는 30도에서 12.67 ± 5.25 , 45도에서 15.62 ± 7.42 , 90도에서 29.56 ± 17.72 로 근 활성화도가 나타나 통계학적으로 유의한 차이가 있었고, 사후검정에서 30도와 45도는 90

도와 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). Vastuslateralis는 30도에서 22.92 ± 10.32 이었고, 45도에서 31.91 ± 15.81 , 90도에서 51.32 ± 27.30 으로 근 활성화도가 나타나 통계적으로 유의한 차이가 있었고, 사후 검정에서도 30도와 45도는 90도와 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$)(table 2).

Ⅳ. 고찰 및 결론

본 연구는 닫힌 역학적 사슬운동(CKC)에서 무릎관절 각도에 따라 30도, 45도, 90도 굽힘 운동을 실시하였을 때 안쪽 넓은근(VM)과 넓다리곧은근(RF)과 가쪽 넓은근(VL)에서 발생하는 근 활성화도를 비교할 목적으로 실시되었다.

닫힌 사슬운동(CKC)은 열린 사슬운동(OKC)보다 넓다리네갈래근(Quadriceps)과 넓다리두갈래근(Hamstring)을 동시에 수축시키고, 낮은 전방전단력과 낮은 경골의 전위를 발생시킴으로 재활 동안 안전하게 시행할 수 있으며, 근육의 피로시 무릎에 안정성을 제공하는 닫힌 사슬운동을 권장하였고 (Brotzman 등, 2012), 많은 재활의 운동에서 닫힌 사슬운동인 쭈그리기, 다양한 걷기에서 관절의 고유수용성 반응과 더 기능적으로 되기 위해 넓다리네갈래근중 특히 안쪽 넓은

Table 1. Physical characteristics of subjects (n=13)

Sex	Age(year)	Height(cm)	Weight(kg)
Man(n=5, 38.5%), Femal(n=8, 61.5%)	22.38 ± 1.65	165.92 ± 7.45	8.23 ± 9.57

Value : mean \pm standard deviation

Table 2. Result of electromyographical activity among knee joint angle on closed kinetic chain unit(MVIC%)

variable	30° a	45° b	90° c	F	p	Bonferroni
VM	25.76 ± 13.13	32.03 ± 15.59	50.08 ± 26.06	5.676	0.007*	c>a
RF	12.67 ± 5.25	15.62 ± 7.42	29.56 ± 17.72	8.009	0.001*	c>a,b
VL	22.92 ± 10.32	31.91 ± 15.81	51.32 ± 27.30	7.458	0.002*	c>a,b

* $p < 0.05$, VM: vastus medialis, RF: rectus femoris, VL: vastus lateralis

근을 훈련을 강화시켜야 한다고 주장하였다(Neumann, 2002; Tang 등, 2001; Woodall 등, 1990). Andersson 등(2009)은 ACL 재건술 후 CKC 운동은 통증과 이완(laxity)이 적고 OKC운동보다 결과가 더 좋고, Bynum 등(1995)은 CKC운동은 안전하고 효과적이며 그리고 이식된 구조물 치유에 스트레스를 적게 주고, 무릎뼈 넙다리 통증을 감소시켜주었다는 이점을 제공해 주었다. 그리고 Joseph 등(1995)의 연구에 의하면 발이 중립상태로 하여 무릎을 90도에서 굽혔을 때 근전도상 근육이 더 크게 활성화한 것을 볼 수 있었고, 최은영(2009)과 장재원(2003)의 연구에서는 무릎을 45도 굽히는 자세가 가쪽 넓은근이나 안쪽 넓은근이 근전도상에서 가장 활동성이 높은 것으로 나타났으며, 한상완(2004)의 연구에 의하면 30도에서 굽힘하였을 때 넙다리네갈래근의 강화를 권장하여 본 연구는 선행연구를 바탕으로 하여 발은 중립자세로 하여 단한 사슬운동에서 30도와 45도, 90도로 정하여 실험한 결과 본 연구에서 안쪽 넓은근은 30도와 90도간의 근활성도가 유의한 증가를 볼 수 있었고, 가쪽 넓은근, 넙다리곧은근은 30도와 90도, 45도와 90도간의 유의한 증가가 나타났으며, 넙다리네갈래근의 세 개 근육 모두가 90도에서 근활성도 가장 높은 것으로 나타났다.

김정원 등(2005)의 연구에 의하면 무릎관절 등척성 운동 시 0도, 30도, 45도, 60도, 90도 간의 각도에 따른 근활성도 및 근력 양상에서 10초간 굽힘한 결과 안쪽 넓은근에서 0도와 90도 간에서는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 본 연구 선행연구와는 달리 안쪽넓은근에서 30도와 90도간에 유의한 차이가 나타났으며 본 연구에서는 0도를 측정하지 않았기 때문에 유의한 차이를 볼 수 없었던 것으로 사료된다. 하지만 선행연구와 본 연구 90도에서 근활성도가 높은 것은 연구결과가 일치하였다. 한상완(2004)의 연구에 의하면 대학생과 성인 10명을 대상으로 실험한 결과 단일관절운동(Cybox를 이용한 등척성 운동)과 복합관절운동(선자세에서 무릎을 굽힘)을 무릎관절을 10도, 20도, 30도에서 10초 동안 유지한 다음 넙다리네갈래근의 세 개 근육의 근활성도를 본 결과 단일관절운동과 복합관절

운동방법에서 무릎관절이 굽힘할수록 근전도의 활동이 증가는 하였지만 유의한 차이는 나타나지 않았다. 그리고 선행연구에서는 30도에서 넙다리네갈래근의 강화를 권장하고 있으나 본연구와는 달리 선행연구에서는 무릎 굽힘 각도를 좁은 범위 내에서 실험을 시행하여 각도 차이에 유의한 차이를 볼 수 없는 것으로 생각된다. 장재원(2003)의 연구에 의하면 개방역학운동과 폐쇄역학운동 시 넙다리네갈래근의 근활성도 변화는 폐쇄역학운동에서 무릎관절 30도, 45도, 60도, 75도 중 45도 굽힘시킨 상태가 안쪽넓은근이 가장 높은 근활성도 값이 나타나서 선택적으로 강화시키는 방법으로 추천하였다. 하지만 본 연구에서는 각도 90도 굽힘에 따라 안쪽넓은근 근활성도 값이 증가하여 선행연구와는 일치하지 않은 것은 중력중심선이(center of gravity) 무릎관절 뒤에 위치하여 모멘트가 증가와 넙다리네갈래근이 활성화된 것으로 여겨진다.

Simon 등(2001)의 연구에 의하면 일반인 대상자 10명(평균 25.7세)과 무릎대퇴통증 증후군을 가진 대상자 10명(평균 28.2세)으로 15, 30, 45, 60, 75, 90도 단한 역학적 사슬운동 서기에서 쭈그리기, 쭈그리기에서 서기 시(motion analysis system)와 열린 역학적 사슬운동(isokinetic dynamometer)을 측정된 결과 단한 사슬운동 60도에서 일반대상자와 무릎넙다리통증 증후군을 가진 대상자에서 가장 활성도가 높은 것으로 나타났고, Tang 등(2001)은 무릎뼈넙다리통증 증후군(PFPS) 대상자 10명과 건강인 10명을 대상으로 OKC와 CKC 운동인 쭈그리기 운동을 실시한 결과 CKC에서 무릎을 60도 굽힘하였을 때 VMO가 더 선택적으로 활성화되었지만 PFPS그룹 대상자는 무릎을 굽힘함에 따라 무릎 통증을 호소하였다. 본 연구와 선행연구에서 다른 결과가 나타난 것은 일반인을 대상으로 하였기 때문이며, 본 연구에서 넙다리네갈래근이 모두 90도에서 근활성도가 높은 것으로 나타났으므로 무릎넙다리통증 증후군 질환을 가진 환자에게 적용 시 무릎의 굽힘 증가함에 따라 넙다리네갈래근의 장력에 의해 무릎대퇴관절에 관절반응력(joint reaction force)이 증가함으로써 관절에 높은 스트레스를 주어서 무릎

뼈와 넓다리에서 발생하는 압박력이 발생함으로 주의가 필요하다고 하겠다.

Joseph 등(1995)의 연구에 의하면 발의 위치에 따라 무릎관절의 굽힘(90도, 150도, 175도)을 하였을 때 근활성도를 보았는데 150도와 175도를 90도와 비교하였을 때 발이 중립상태로 하여 무릎을 굽힘하였을 때 근전도상 근육이 더 크게 활성화한 것을 볼 수 있었고, 90도는 재활을 하는 근육 테스트시 가장 효과적인 상태를 제공한다고 하여 본 연구결과와 일치하였다. 본 연구 결과에서 무릎을 90도 굽힘할수록 넓다리 네갈래근의 근 활성화 증가는 근육 동원이 많이 되었다는 것을 알 수 있었고, 굽힘할수록 토크값이 증가했다는 것을 알 수 있었고(Nordander 등, 2000), 가쪽 넓은근에 비해 안쪽 넓은근은 작은 횡단면을 가지고 있지만, 안쪽 넓은근 수축 시 단독으로 수축하는 것 보다 고관절 내전근이 함께 작용하여 상승효과가 있어 안쪽 넓은근의 근 활성화도가 높은 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점은 무릎관절과 관련된 질환을 가진 대상자가 아닌 일반인을 대상으로 하였고 인원이 적은 관계로 일반화하기는 어려우며, 근골격계 질환에 CKC-운동을 적용할 때는 주의를 기울여야 할 것이다. 이러한 지식을 바탕으로 CKC-운동을 안정된 면이 아닌 불안정한 면에서 하는 운동을 위한 연구를 제안한다.

참고 문헌

김정원, 유승희, 장완성 등. 슬관절 등척성 운동시 각도에 따른 근 활성화도 및 근력 양상. 한국건기과학회지. 4;99-112, 2005.

박승규, 양대중, 박재만 등. 반쪼그려 앉기 운동시 무릎뼈 주행과 Q-각도 분석. 한국운동역학회지. 21(1);107-114, 2011.

장재원. 개방역학운동과 폐쇄역학운동 시 대퇴사두근의 근 활성화도 변화. 고려대학교 의용과학대학원 석사학위논문. 2003.

최은영. 정적 부분 쪼그리기 시 무릎 자세에 따른 하지

근육의 근 활성화도 비교. 연세대학교. 보건환경대학원. 2009.

한상완. 단일관절운동과 복합관절운동시 슬관절 각도에 따른 대퇴사두근의 표면 근전도 비교분석. 대한물리치료학회지. 16(3);192-204, 2004.

Andersson D, Samuelsson K, Karlsson J. Treatment of anterior cruciate ligament injuries with special reference to surgical technique and rehabilitation; An assessment of randomized controlled trials. *Arthroscopy*, 25;653-685, 2009.

Beynon BD, Johnson RJ, Fleming BC, et al. The strain behavior of the anterior cruciate ligament during squatting and active flexion-extension; a comparison of an open and a closed kinetic chain exercise. *The American Journal of Sports Medicine*. 25;823-829, 1997.

Boling MC, Bolgla LA, Mattacola CG, et al. Outcomes of a weight-bearing rehabilitation program for patients diagnosed with patellofemoral pain syndrome. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 87;1428-1435, 2006.

Brotzman SB, Roert C. Manske. Clinical orthopaedic rehabilitation and evidence-based approach. 3rd ed. mosby Pub. 2012.

Bynum EB, Barrack RL, Alexander AH. Open versus closed chain kinetic exercises after anterior cruciate ligament reconstruction; A prospective randomized study. *The American Journal of Sports Medicine*. 23;401-406, 1995.

Cook JL, Khan K, Maffuli N, et al. Overuse tendinosis, not tendinitis; Applying the new approach to patellar tendinopathy. *Journal of Physical Sports Medicine*. 28(6);341-46, 2000.

Cowan SM, Hodges PW, Bennell KL. Altered vasti recruitment when people with patello-

- femoral pain syndrome complete a postural task. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 83;989-995, 2002.
- Earl JE, Schmitz RJ, Arnold BL. Activation of the VMO and VL during dynamic mini-squat exercises with and without isometric hip adduction. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 11;381-386, 2001.
- Francis RS, Scott DE. Hypertrophy of the vastus medialis in knee extension. *Physical Therapy*. 54;1066-1070, 1974.
- Haffajee D, Moritz U, Svantesson, G. Isometric knee extension strenght as a function of joint angle, muscle lengh and motor unit activity. *Acta Orthopaedica Scandinavica*. 43;138-147, 1972.
- Hodges P, Richardson C. The influence of isometric hip adduction on quadriceps femoris activity. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*. 25;57-62, 1993.
- Insall J. Current concept review; Patella pain. *Journal of Bone and Joint Surgery American*. 66;715-714, 1982.
- Joseph FS, Denise K, Arlette P, et al. The effect of knee and foot position on the electromyographical activity of superficial quadriceps. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 22(1);2-9, 1995.
- Neumann DA. *Kinesiology of the Musculoskeletal System; Foundation for Physical Rehabilitation*. 1st ed. Philadelphia. PA; Mosby Pub. 2010.
- Nordander C, Hansson GA, Rylander L, et al. Muscular rest and gap frequency as EMG measures of physical exposure; the impact of work tasks and individual related factors. *Ergonomics*. 43(11);1904-1919, 2000.
- Pocock G. Electromyographic study of the quadriceps during resistance exercise. *Journal of the American Medical Association*. 43;427-434, 1963.
- Simon FT, Tang, Chih-Kuang C, 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*. 82(10), 2001.
- Speakman HGB, Weisburg J. The vastus medialis controversy. *Physical Therapy*. 62(8), 1977.
- Tang SFT, Chen CK, Hsu R, et al. Vastus medialis obliques and vastus lateralis activity in open and closed kinetic chain exercise in patients with patellofemoral pain syndrome; an electromyographic study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 82(10);1441-1445, 2001.
- Woodall W, Welsh J. A biomechanical basis for rehabilitation program involving the patellofemoral joint. *Journal of Orthopaedic Sports Physical Therapy*. 11;535-42, 1990.