

# 엉덩관절 굽힘 각도에 따른 쪼그려 앉기 운동 시 하지의 근활성도 비교

민동기

계명대학교 대학원 의학과 재활의학교실

## Comparison of Low Limb Muscle Activity during Squat Exercise according to Hip Joint Flexion Angle

Dong-ki Min

Dept. of rehabilitation medicine, Graduate School, Keimyung University

### Key Words:

Electromyography, Hamstring, Quadriceps, Squat exercise

### ABSTRACT

**Background:** The purpose of this study was to determine if there is a difference in activation of the rectus femoris, vastus medialis oblique, vastus lateralis, semitendinosus, and biceps femoris when performing normal free squat with standing position and free squat with 30° flexed hip joint. **Methods:** Electromyograph surface electrodes were placed on the rectus femoris, vastus medialis oblique, vastus lateralis, semitendinosus, and biceps femoris of 19 healthy college students. The participants performed standing bilateral squats and standing bilateral squats with 30° flexed hip joint with EMG measures taken upon initiation of muscle activity as confirmed by an electronic goniometer. Participants completed one trial with the EMG time measurements on each type. **Results:** There was a significant difference between normal squats(standing squats) and normal squats with 30° flexed hip joint. The normal squat exercise was statistically higher than normal squat exercise with 30° flexed trunk except for semitendinosus and biceps femoris that shown slightly high. **Conclusions:** As a result of this study, there were increases of muscle activity in both ways. In particular, it may be more beneficial for knee joint stabilization to perform normal squat exercise with standing position relatively.

## I. 서론

최근 여가 문화의 확산과 스포츠 참여의 증가로 인한 물리적 충격에 따른 손상이 증가하는 추세이며 그 중에서도 가장 관여도가 높은 것은 무릎관절 손상이다(Hyun, 2000). 무릎관절은 인간이 두 다리로 활동하는데 매우 기능적으로 작용하며 구조적 안정성을 구성하는 요소 중 약간의 손상만으로도 무릎의 비정상적인 움직임이 일어나게 된다(Yuan 등, 2012). 이러한 무릎의 손상은 대부분 비정상적인 주행으로 가쪽 무릎뼈 부분 어긋남(Souza과 Gross, 1991)과 Q-각도 최대값이 증가

된다(Livingston과 Mandigo, 1999). 즉 넓다리네갈래근의 근활성의 불균형으로 통증이 많이 발생한다고 볼 수 있다(Fulkerson, 2004) 또한 앞십자인대와 뒤십자인대 등의 이차적인 손상을 유발하게 되는데 무릎관절의 앞뒤 십자인대는 조밀한 섬유성 결합조직으로 구성된 띠 모양을 하며 넓적다리뼈와 정강뼈를 서로 교차하여 연결함으로써, 무릎관절의 안정성 유지 및 관절운동에 필요한 특수한 역할을 제공한다(Neumann, 2009). 이들 십자인대는 다른 생체조직과는 달리 한번 끊어지게 되면 자연치유가 일어나지 않아 관절의 불안정성 및 비정상적인 관절운동으로 인해 반월상 연골의 파열이 초래되고 결국에는 관절연골의 퇴행성변화를 가져오게 된다. 이러한 무릎관절 손상 시 무릎관절에 안정을 주기 위해 무릎관절 주위 근육과 인대 강화운동이 강조되고 있다. 최근에는 기능적인 수행을 위한 과제가 닫힌 사

교신저자: 민동기(계명대학교, limp0206@hanmail.net)  
논문접수일: 2013.12.12, 논문수정일: 2013.12.23,  
개재확정일: 2013.12.23

슬 운동에 포함되기가 쉽고(Palmitier 등, 1991), 무릎뼈 다리관절에 적은 손상을 가하며(Steinkamp 등, 1993) 앞십자인대에 대한 좌상을 줄일 수 있으므로(Arms 등, 1984; Beynnon과 Fleming, 1998), 열린 사슬보다 닫힌 사슬 운동이 권장되고 있다. 이런 닫힌 사슬 운동은 팔 다리의 먼 쪽이 고정되어 있는 상태에서 몸 쪽과 먼 쪽에 동시에 저항을 적용할 때 일어나는 운동이다(Prince, 2003). 체중을 부하한 상태에서 쪼그려 앉기 운동은 한 동작에 다양한 관절과 근육이 포함되어 다리의 기능을 증가시키는 닫힌 사슬 운동으로 무릎 주위 근육들의 동시수축을 증가시키고, 정강 뼈다리 관절의 압력을 증가시키는 앞십자인대의 긴장을 최소화하는 매우 안전하고 효과적인 중재법이다(Beynnon 등, 2005; Bynum 등, 1995; Mikkelsen 등, 2000). 닫힌 사슬운동인 쪼그려 앉기 운동 즉, 스쿼트에서 가장 많이 쓰이는 대표적인 근육은 넙다리네갈래근과 넙다리두갈래근, 반힘줄근으로 넙다리네갈래근에서 가쪽넓은근과 안쪽넓은근은 무릎관절에서의 전체 펌 토크 중 약 80%를 생산하고 넙다리곧은근은 약 20% 생산하며 등척활동을 통해 무릎관절을 보호하는데 도움을 준다. 안쪽넓은근은 두 섬유 방향이 다른 두 개의 섬유로 구성되는데 원위섬유는 넙다리 종축에 대해 50~57도 각을 이루고 있으며, 근위섬유는 약 15도 각을 이루고 있어 무릎뼈를 비스듬한 선방향으로 당겨 무릎뼈가 넙다리뼈의 관절용기사이고 랑을 통과해 지나가거나 미끄러질 때 무릎뼈를 안정화시킨다(Neumann, 2009). 또한 넙다리네갈래근과 뒤넙다리근을 작용근과 대항근의 동시수축(co-contraction)으로 작용근을 안정화시켜(Earl 등, 2001) 관절의 안정성을 높이고, 관절을 압박할 수 있는 전단력을 감소시킬 뿐만 아니라 기계적 수용기가 관절주머니의 압력 변화에 민감하게 반응하므로 스쿼트와 같은 닫힌 사슬 운동의 전 범위에서 근육 발화율을 증가시켜 고유수용성 감각을 촉진한다(Gomez 등, 1996; Iwasaki 등, 2006). 지근의 활동 정도와 순서는 인체 분절의 복합적인 통합 방법에 의해 이루어져 쉽게 육안으로 확인할 수가 없다. 최근 하지근육의 활동 정보에 대한 정량적인 분석을 도출하기 위해 삼차원 운동 분석 시스템을 이용한 운동학적, 힘 측정 센서를 활용한 운동 역학적 분석, 전극을 부착하여 근육의 활동을 측정하는 동적 근전도 검사 분석방법의 활용 정도가 점차 증가되고 있는 추세이다. 근전도 검사는 운동단위 활동의 기록을 나타내는 것이기 때문에 근전도 신호에 관한 연구는 근육질환의 병변을 발견하여 임상적인 증상의 분류에 이용할 뿐만 아니라 공학적인 면에 있어서 근전도 신호를 해석하며 보철제어(prosthetic control)에 응용하기 위하여 연구가

계속 이루어지고 있다. 따라서 본 연구의 목적은 근전도 검사를 이용하여 바로 선 자세와 엉덩관절 30도 굽힌 자세에서의 스쿼트 수행 시 하지의 근 활성화도의 차이를 비교하여 향후 무릎 손상 재활에 있어서 임상적 적용의 근거자료를 제공하기 위해 실시하였다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상

실험에 참여한 대상자는 D 대학에 재학 중인 총 20명의 연구 대상으로 남자 7명, 여자 12명으로 구성되었다. 대상자는 무릎관절과 엉덩관절에 통증이 없고 6개월 이내에 무릎수술 경험이 없으며 무릎관절과 엉덩관절 운동 범위가 정상범위에 속하며 자발적으로 참여한 대상자들에게 실험 전에 진행과정을 충분히 설명한 후 대상자들에게 동의서를 받고 실시하였다.

### 2. 측정도구

#### 1) 근전도 검사 장비

본 연구에서는 피실험자들의 하지근육의 활성화도 비교를 정확히 측정하기 위해 Noraxon Myosystem DTS(Noraxon, USA)를 사용하였다.

#### 2) 상체 움직임 제한 도구

본 연구에서는 피실험자들의 엉덩관절을 굽힘하는 동안 상체의 움직임을 제한하기 위해서 끈을 사용하였다.

#### 3) 각도기(goniometer)

본 연구에서 피실험자들의 동일하고 정확한 가동범위의 측정을 위해 각도기(ezcardline, USA)를 사용하였다.

#### 4) 발판

본 연구에서 피실험자들의 쪼그려 앉기 자세를 실시 할 때 정확한 발의 위치를 잡아주기 위해서 발판 사용하였다.

### 3. 측정방법

#### 1) 바로 선 자세 쪼그려 앉기

바로 선 자세에서 쪼그려 앉기는 양쪽 팔과 발을 중립상태로 하고, 피실험자들의 일관된 자세를 유지하기 위해 고안된 발판 위에 발은 어깨너비만큼 벌린 상태에서 무릎과 두 번째 발가락을 일직선으로 유지하였다. 무릎을 굽힐 때는 무릎이 발끝을 넘지 않도록 설정하였다. 대상자들은 턱을 당기고 시선을 정면으로 두었다. 무릎관절의 굽힘각도는 각도기(goniometer)를 이용하여

측정하였는데 축은 넓다리뼈의 가쪽 관절 용기에 두고 고정팔은 넓다리뼈 중앙선, 운동팔은 정강뼈의 관절 용기를 향한 선을 따라 두었다.



Fig 1. Squat sitting position

**2) 엉덩관절 30도 굽힘**

엉덩관절을 30도 굽힌 상태에서 쪼그려 앉기는 엉덩관절을 각도기를 사용하여 30도로 굽힌 다음 나머지는 바로 선 자세에서 쪼그려 앉기와 동일한 조건으로 수행하였다.

각도기(Goniometer)를 이용하여 엉덩관절의 굽힘 각도를 측정하였는데, 축은 넓다리뼈 큰 돌기에 두고 고정팔은 넓다리뼈의 중앙선에 두었다. 운동팔은 몸통을 따라 두었다. 그리고 무릎 관절 굽힘은 위의 바로 선 자세와 동일하게 측정하였다.



Fig 2. Hip joint 30° flexion

**3) 전극부착부위**

전극 부착 부위는 안쪽 넓은근은 무릎의 중앙선 위쪽 가장자리로부터 안쪽 2cm와 그 부위로부터 내측 상방 55도 각도 넓다리골은근은 위앞엉덩뼈가시와 무릎 관절의 오금부위 사이 중간부분, 가쪽넓은근은 무릎뼈 3~5cm 위 가쪽 상방 45도 각도로 중앙선 외측 부위에, 반힘줄근은 엉덩주름에서 무릎 뒤쪽거리의 대략 반쯤

정도쯤에서, 허벅지 외측경계선으로부터 약 3~4cm 떨어진 지점에 부착한다. 넓다리두갈래근은 허벅지 외측에서 근섬유와 평행하게 큰결절부위와 무릎사이 2/3, 전극은 2cm 떨어져서 부착하였다.

**4. 자료 분석**

실험 대상자의 일반적 특징 및 각 변인의 평균 및 표준편차를 알아보기 위해 수집된 자료는 상용 통계 프로그램인 윈도우용 SPSS ver. 12.0을 사용하였다. 본 연구는 수집된 자료가 정규분포를 하는지의 여부를 Shapiro-Wilk test를 사용하여 분석하였다. 각 그룹의 하지 근 활성도를 비교하기 위해 대응비교 t-검정을 사용하였다. 통계학적 유의 수준  $\alpha$ 는 .05로 설정하였다.

**III. 결과**

**1. 연구 대상자의 일반적 특성**

본 연구는 D 대학교에 재학 중인 학생 20명(남자 7명 여자 12명)을 대상으로 실시하였다. 남자 평균나이 23.14±2.19세, 여자 평균나이 21.25±1.10세, 남자 키는 175.57±4.6cm, 여자 키는 161.58±5.93cm, 남자 몸무게는 74.71±15.39kg이었고, 여자 몸무게는 52.25±5.87kg이었다(Table 1).

Table 1. General Characteristics of Subjects

	male (n=7)	female(n=12)
Age(yrs)	23.14±2.19	21.25±1.10
Height(cm)	175.57±4.6	161.58±5.93
Weight(kg)	74.71±15.39	52.25±5.87

**2. 정상 쪼그려 앉기와 30도 엉덩관절굽힘 쪼그려 앉기 사이의 근활성도 비교**

**1) 안쪽넓은근의 근활성도 비교**

정상 쪼그려 앉기 시 근 활성도는 79.65±49.11이고, 30도 엉덩관절 굽힘 쪼그려 앉기 시 66.23±35.31로 유의한 차이가 있었다(Table 2)(p<.05).

**2) 넓다리골은근의 근활성도 비교**

정상 쪼그려 앉기 시 근 활성도는 38.11±26.01이고, 30도 엉덩관절 굽힘 쪼그려 앉기 시 22.86±10.83로 유의한 차이가 있었다(Table 2)(p<.05).

**3) 가쪽넓은근의 근활성 비교**

정상 쪼그려 앉기 시 근 활성도는 94.70±61.22이고, 30도 엉덩관절 굽힘 쪼그려 앉기 시 74.15±37.94로 유의한 차이가 있었다(Table 2)(p<.05).

**4) 반힘줄근의 근활성 비교**

정상 쪼그려 앉기 시 근 활성도는 6.92±4.286이고, 30도 엉덩관절 굽힘 쪼그려 앉기 시 7.01±2.97로 유의한 차이가 없었다(Table 2)(p<.05).

**5) 넓다리두갈래근의 근활성 비교**

정상 쪼그려 앉기 시 근 활성도는 11.06±6.81이고, 30도 엉덩관절 굽힘 쪼그려 앉기 시 9.85±5.25로 유의한 차이가 없었다(Table 2)(p<.05).

**Table 2.** Comparison of muscle activity during normal and 30° flexed hip joint squatting

Muscle	Normal Squat (NS)	30° hip joint Flexion Squat (HJFS)	p
a	79.65±49.11	66.23±35.31	.024 <sup>*</sup>
b	38.12±26.01	22.86±10.83	.001 <sup>*</sup>
c	94.70±61.22	74.14±37.94	.013 <sup>*</sup>
d	6.92±4.29	7.01±2.97	.876
e	11.06±6.81	9.85±5.25	.078

mean(mm)±SD, \*p<.05, VM: Vastus medialis, RF: Rectus femoris, VL: Vastus lateralis, ST: Semitendinosus, BF: Biceps femoris

**IV. 고 찰**

본 연구는 정상 쪼그려 앉기와 엉덩관절 굽힘 각도에 따른 쪼그려 앉기 운동 시 하지의 근 활성도를 비교하였다.

쪼그려 앉기 운동처럼 닫힌 사슬 운동은 넓다리네갈래근과 뒤넓다리근과의 동시 수축, 전-후방향의정강-넓다리뼈전위(antero-Posterior tibiofemoral translation)의 감소, 그리고 정강 넓다리뼈 관절에서의 압박힘의 감소, 또한 열린 사슬 운동과 비교하여 안쪽넓은근의 선택적 수축을 포함한 기능적 특성 때문에 무릎관절 재활을 위해 널리 수행된다고 했고(Neumann, 2009; Tang 등, 2001), 또한 무릎뼈 불안정성을 해결하기 위해서는 넓다리네갈래근의 근력강화가 필수적이므로 체중이나 무

게를 이동한 다양한 형태의 저항 운동을 통해서 약화된 근력을 증가시켜야 한다고 한다(Peterson 등, 2010). 저항운동도 신체 정렬에 따라 열린 사슬이나 닫힌 사슬 운동으로 구분되는데, 최근 들어 체중 부하 상태의 닫힌 사슬 운동이 통증감소와 다리의 기능적 움직임을 향상 시키는데 더욱 효과적이라고 강조하고 있다(Boling 등 2006; Heintjes 등, 2003). 쪼그려 앉기 운동에서 무릎 관절의 굽힘 각도는 Earl 등의 연구의 경우, 30도, 45도, 60도, 70도 중 45도 굽힘 시 무릎 주위 근육의 근 활성도 값이 가장 높게 나왔다고 보고되었으나, Cowan 등의 연구에 의하면 15도, 30도, 45도, 60도, 75도, 90도 닫힌 사슬에서 쪼그려 앉기 운동 시 근 활성도 측정 결과 60도에서 일반인과 슬개대퇴통증증후군 환자들에게서 근 활성도가 높다고 보고 하였으며, Tang 등(2001) 역시 60도 굽힘 시 안쪽넓은근의 근 활성도가 가장 활성화 되었다고 보고 하였으나, 본 연구에서는 정상 쪼그려 앉기와 엉덩관절 30도 굽힘 각도에 따른 쪼그려 앉기를 비교한 결과 안쪽넓은근, 넓다리곧은근, 가쪽넓은근에서 유의한 차이를 보였고, 반힘줄근과 넓다리두갈래근에서는 유의한 차이를 보이지 않았다. 일반적으로 임상에서는 무릎 손상으로 인한 통증의 원인인 넓다리네갈래근의 근력강화를 위해 환자들에게 쪼그려 앉기 운동 동안에 공을 짊 잡기 위한 운동을 실시한다. 이는 엉덩관절 모음근의 등척성 수축을 통한 긴 모음근과 큰 힘줄의 영향으로 안쪽 넓은근 활동을 촉진함으로써 안쪽넓은근의 더욱 안전한 기원을 제공할 수 있다(Hanten와 Schulthies, 1990)고 한다. 본 연구와 비교해서는 엉덩관절 모음근인 안쪽넓은근의 활성화가 유의하므로 공을 이용한 운동이 아니더라도 엉덩관절의 각도에 따라서 충분히 엉덩관절의 모음근을 활성화할 수 있다는 것을 보여준다. 또한 이러한 엉덩관절 모음근의 등척성 수축을 수행할 때 안쪽넓은근 활성도도 다른 연구에서도 유의하게 증가하는 것으로 보아 본 연구의 결과를 고려하여 충분히 엉덩관절의 각도에 따라 안쪽넓은근 또한 활성화될 수 있다는 것을 유추할 수 있다. 하지만 본 연구에서는 반힘줄근과 넓다리두갈래근에서는 유의한 차이가 없는 것으로 보아 두 근육의 엉덩관절 각도에 따른 차이가 크지 않다는 것을 확인하였다. 이것은 Neumann(2009)에 의하면 체간을 약간 앞으로 기울이는 동안 체중의 힘은 엉덩관절 돌림의 안가쪽측 약간 앞쪽으로 지나가게 되는데, 이렇게 엉덩관절이 약간 굽힘된 자세는 넓다리뒤근육으로 부터의 최소 활성화에 의해 유지된다는 것과 같은 결과로 보여진다. 몇몇 연구들에서는 덧대기(pad), 받침대(bolster), 역량계(dynamometer) 등의 다양한 장치를 광범위하게 사

용하여 엽다리네갈래근 등 넓다리앞근육 운동 동안에 등척성 엉덩관절 모음을 수행하도록 배치할 수 있다고 하였는데, 본 연구에서는 이러한 다양한 장치 없이 엉덩관절 각도만으로 비슷한 넓다리앞근육의 활성화를 보게 되어 열악한 치료적 환경에서도 치료사의 충분한 운동 설명만으로도 적절한 운동의 효과를 거둘 수 있을 거라 사료된다. 하지만 이러한 다양한 환경의 차이로 인한 각 근육 간의 선택적인 동원은 차이가 발생하기 때문에 개별적인 엉덩관절 각도 및 환경에 따른 힘의 정량화가 필요할 것으로 생각한다. 그러므로 운동 전문가들은 무릎 관절 주위 근육의 강화를 위해 다양한 과제 변수를 변경시켜 쪼그려 앉기 운동을 수행할 것을 제안한다. 이번 연구에서, 다양한 연령 및 직업군을 가진 피실험자들이 아닌 20대 초반의 건강한 피실험자들로 구성하였기 때문에 이 연구 결과를 전체적으로 일반화 하기 어려우며, 따라서 실제 환자들을 대상으로 했을 때와 다른 결과를 초래할 수도 있다. 또한 엉덩관절 굽힘 각도는 0도 및 30도로 특정 각도로만 수행 하여 이 각도로 수행하기 힘든 대상자들에게 이 연구 결과를 토대로 일반화하기 어렵고, 넓다리두갈래근의 근 활성화에서 피실험자들마다 약간의 차이를 보이는데, 이러한 결과에 영향을 주는 요인으로 넓다리근막장근의 긴장도가 영향을 줄 수 있을 것으로 생각되므로 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## V. 결 론

이번 연구는 20대 건강한 성인남녀 19명을 대상으로 엉덩관절을 바로 편 상태와 30도 굴곡 시킨 상태에서 쪼그려 앉기 운동 시 양 쪽 넓다리네갈래근, 넓다리두갈래근, 반힘줄근, 가쪽넓은근, 안쪽넓은근의 근활성도를 비교하기 위해 실시되었다. 본 연구 결과, 엉덩관절을 바로 편 상태에서와 30도 굽힌 상태에서 쪼그려 앉기 때 모두 근활성도의 증가가 있었지만 특히 엉덩관절을 30도 굽힌 상태에서 넓다리곧은근, 가쪽넓은근, 안쪽넓은근의 근 활성화가 증가하였고, 반힘줄근과 넓다리두갈래근에서는 큰 차이가 없었다. 이 연구를 통해 쪼그려 앉기 운동 시 엉덩관절의 굽힘 각도에 따라 하지의 근 활성화 차이를 확인할 수 있었으며, 따라서 임상 전문가들은 치료의 목적에 따라 근 활성화의 증진을 위해 엉덩관절 굽힘 각도를 적절히 조절할 필요가 있다고 사료된다.

## 참고문헌

- Arms SW, Pope MH, Johnson RJ. The biomechanics of anterior cruciate ligament rehabilitation and reconstruction. *Am J Sports Med.* 1984;12(1):8-18.
- Beynon BD, Fleming BC. Anterior cruciate ligament strain in-vivo : a review of previous work. *J Biomech.* 1998;31(6):519-525.
- Beynon BD, Uh BS, Johnson RJ, et al. Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized, double-blind comparison of programs administered over 2 different time intervals. *Am J Sports Med.* 2005;33(3):347-359.
- Boling MC, Bolgla LA, Mattacola CG, et al. Outcomes of a weight-bearing rehabilitation program for patients diagnosed with patellofemoral pain syndrome. *Arch Phys Med Rehabil.* 2006;87(11):1428-1435.
- Bynum EB, Barrack RL, Alexander AH. Open versus closed chain kinetic exercises after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 1995;23(4):401-406.
- Cowan SM, Bennell KL, Hodges PW, et al. Delayed onset of electromyographic activity of the vastus medialis obliquus relative to vastus lateralis in subjects with patellofemoral pain syndrome. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001;82(2):183-189.
- 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):38:1-6.
- Fulkerson JP. Disorders of the Patellofemoral Joint. 4th ed. Baltimore. Lippincott William & Wilkins. 2004.
- Gómez-Barrena E, Martínez-Moreno E, Munuera L. Segmental sensory innervation of the anterior cruciate ligament and the patellar tendon of the cat's knee. *Acta orthop Scand.* 1996;67(6):545-552.

- Hanten WP, Schulthies SS. Exercise effect on electromyographic activity of the vastus medialis oblique and vastus lateralis muscle. *Phys Ther.* 1990;70(9):561-565.
- Heintjes E, Berger MY, Bierma-Zeinstra SM, et al. Exercise therapy for patellofemoral pain syndrome. *Cochrane Database Syst Rev.* 2003; (4):CD003472.
- Hyun KS. Effect of rehabilitation exercise program on muscle function and body composition. Korea University Graduate School. Doctor's thesis. 2000.
- Iwasaki T, Shiba N, Matsuse H, et al. Improvement in knee extension strength through training by means of combined electrical stimulation and voluntary muscle contraction. *Tohoku J Exp Med.* 2006;209(1):33-40.
- Livingston LA, Mandigo JL. Bilateral Q angle asymmetry and anterior knee pain syndrome. *Clin Biomech.* 1999;14(1):7-13.
- Mikkelsen C, Werner S, Eriksson E. Closed kinetic chain alone compared to open and closed kinetic chain exercises for quadriceps strengthening after anterior cruciate ligament reconstruction with respect to return to sports: a prospective matched follow-up study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2000;8 (6) :337-342.
- Neumann DA. *Kinesiology of the Musculoskeletal System.* 2nd ed. New York. Mosby. 2009.
- Palmitier RA, An KN, Scott SG, et al. Kinetic chain exercise in knee rehabilitation. *Sports Med.* 1991;11(6):402-413.
- Peterson MD, Rhea MR, Sen A, et al. Resistance exercise for muscular strength in older adults: a meta-analysis. *Ageing Res Rev.* 2010;9(3):226-37.
- Prince WE. *Rehabilitation technique in sports medicine.* 4rd ed. USA. McGraw-Hill Humanities. 2003.
- Souza DR, Gross MT. Comparison of vastus medialis obliquus: vastus lateralis muscle integrated electromyographic ratios between healthy subjects and patients with patellofemoral pain. *Phys Ther.* 1991;71(4):310-320.
- Steinkamp LA, Dillingham MF, Markel MD, et al. Biomechanical considerations in patellofemoral joint rehabilitation. *Am J Sports Med.* 1993;21 (3):438-444.
- Tang SF, Chenm 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. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001;82(10):1441-1445.
- Yuan G, Xushu Z, Meiwen A, et al. Determination of quadriceps forces in squat and its application incontact pressure analysis of knee joint. *Acta mechanica Solida Sinica.* 2012;25(1):53-60.