

주소: 서울특별시 동대문구 답십리5동 495-1 하늘스포츠의학클리닉
016-654-2611

단일관절운동과 복합관절운동 시 슬관절 각도에 따른 대퇴사두근의 표면 근전도 비교
분석

하늘스포츠의학 클리닉
한 상 완

A SEMG analysis of knee joint angle during close kinetic chain exercise and
open kinetic chain exercises in quadriceps muscle

Han, Sang-Wan, P.T., Ph.D.
SKY Sports medicine clinic

ABSTRACT

The surface electromyographic(sEMG) analyses were knee joint angle during open kinetic chain exercise (OKC) and close kinetic chain exercise (CKC) in vastus medialis (VM), vastus lateralis (VL), and rectus femoralis (RF). Ten subjects with normal, aged 20 to 30 ($X=27.4$, $SD=3.23$), were randomized. Statistical techniques for data analysis were applied paired t-test. The 0.05 level of significance was used as the critical level for rejection of the null hypotheses for the study.

And the results were:

- 1) Both OKC and CKC improved the strength of quadriceps muscle as the knee joint flexion was increased.
- 2) In OKC, the strength of VM was improved the most at the 30 degree angle.
- 3) In CKC, the strength of VM was improved the most at the 30 degree angle.
- 4) The VM/VL ratio was the largest at the 10 and 20 degree angles in OKC and CKC.
- 5) The VM/VL ratio at 10, 20, and 30 degree angles was significantly different between OKC and CKC ($P < 0.05$).

Base on the results, the OKCE is recommended for the knee joint patients, especially for the patellofemoral pain syndrome patients, during the early phase of rehabilitation. In order to improve strength of the quadriceps, muscle strength training at 30 degree angle is recommended. In order to improve VM/VL ratio, 10 and 20 degree angles are recommended during OKCE and CKCE, respectively. Future researches are warranted comparing electromyographic analysis between OKCE and CKCE in the quadriceps at a certain work load, and muscle strength performance in the quadriceps at different

positions of foot.

Key Word : Surface EMG, OKC, CKC, VM/VL ratio.

I. 서 론

슬관절이 약해지면, 주변의 근육과 인대가 함께 약해져 이차적인 손상이 발생할 수 있다. 최근에는 슬관절 손상 후 재활의 강도가 중요시되고 있다. 특히 슬관절 기능의 회복과 슬관절의 안정성 및 슬관절 주변의 근육과 인대의 강화운동이 중요시되고 있다. 슬관절 주위의 근육 중에서 가장 중요시되는 근육은 대퇴사두근(Quadriceps Muscle)으로 이 근육은 슬관절 신전 작용의 주동근이며, 기립 자세에서나 보행 시 하지의 안정성 제공하는 매우 중요한 근육이다.

슬관절 주변 근육 중에 내측광근과 외측광근 사이의 근력 균형이 매우 중요하다(Rasch 와 Burke, 1978). 만약 근력의 불균형상태가 발생하면 슬관절 주변의 역학적인 변화를 일으켜 슬개골의 외측 아탈구의 원인이 된다(Insall, 1982). Mariani 과 Caruso(1979)은 슬개골 아탈구가 있는 환자들의 내측광근과 외측광근의 활동전위의 크기를 비교하였는데 슬관절 신전 시 관절가동범위(ROM)의 마지막 부분에서 내측광근의 활동전위의 크기가 외측광근에 비해 약하게 나타났으나 정상인에서는 비슷한 활동전위 크기를 보였으며, Wild 등(1982)과 Moller 등(1986)의 연구에서도 슬개대퇴 동통증후군(patellofemoral pain syndrome)이 있는 환자들의 대퇴사두근의 활동전위 크기를 연구하였는데 같은 결과를 보였다. Souza와 Gross(1991)는 정상 성인과 슬개대퇴 동통증후군이 있는 환자를 대상으로 외측광근에 대한 내측광근 경사갈래(Vastus medialis oblique portion)의 활동전위의 비(ratio)를 조사한 결과 슬개대퇴 동통이 있는 환자에서 정상성인보다 낮게 나타났다. 이러한 결과는 슬관절 이상 시 내측광근의 활동전위가 정상에 비해 낮아짐을 보여주었다.

따라서 대퇴사두근의 근력 불균형은 슬관절의 기능을 더욱 악화시키는 악순환을 계속하게 된다. 그러므로 내측광근의 약화로 인한 대퇴사두근의 근력 불균형 시 내측광근을 선택적으로 강화할 필요가 있다. 슬관절 재활훈련 프로그램 초기에는 관절의 가동범위가 제한되므로 부분적인 근력 강화운동을 시행하고 있다. 물리치료실 또는 재활센터에서 재활훈련 프로그램으로 대퇴사두근의 약화를 방지하고 이미 약화된 대퇴사두근의 근력을 증강시키기 위해 대퇴사두근의 근력강화운동을 실시한다. 그 중에서 많이 이용되는 운동은 대퇴사두근의 등척성 운동, 하지거상운동(Soderberg 와 Cook, 1983)과 슬관절 신전 마지막에서의 운동(Short-arc terminal knee extension)등이 있다(John, 등 1997). 사전 많은 연구자들은 등척성 운동과 하지거상운동을 시행하는 동안 대퇴사두근의 활동전위를 비교하는 연구를 해 왔다. Gough와 Ladley(1971)은 하지거상운동(SLR)과 등척성 운동(Isometric exercise)시의 대퇴직근, 내측광근, 외측광근의 활동전위를 비교하였다. 31명의 대상자 중 25명이 등척성 운동 시 근육들의 활동전위가 더 높음을 보였는데 각 근육에 대한 자세한 언급은 없었다. Skurja 등(1980)은 20명의 정상 성인을 대상으로 하지거상운동과 등척성 운동시의 대퇴사두근의 활동전위를 비교하였는데 대퇴직근을 제외한 모든 근육의 활동전위가 등척성 운동에서 높았으며, 대퇴직근의 활동전위는 대퇴사두근 등척성 운동 보다 하지거상운동이 더 높았다고 보고하였다. Soderberg와 Cook(1983)는 Skurja 등(1980)의 연구를 더욱 발전시켜 40명의 정상 성인을 대상으로 하지거상운동과 등척성 운동을 시행할 때 대퇴직근, 내측광근, 대퇴이두근, 중둔근의 활동전위를 비교하였다. 그 결과 대퇴직근만이 하지거상운동 시 더 높은 활동전위를 보이고 다른 근육들은 대퇴사두근 등척성 운동 시 높은 활동전위를 보였다. 많은 연구에서 슬관절의 각도에 의하여 대퇴사두근의 근전도 활동이 다르게 나타난다고 보고되었다. 예를 들면 Pocock(1963)와 Haffajee 등(1972)은 슬관절의 다양한 각도에서 등척성 수축을 시행한

다음 근전도의 활동전위의 크기를 측정된 결과 90°일 때 가장 높았다고 보고하였다. 반대로 Skurja 등(1980)과 Krebs 등(1983)은 근전도의 활동전위 수준이 높을 때는 대퇴사두근의 길이가 짧아질 때라고 보고하였다. 그러나 Leib과 Perry(1968), Joseph 등(1995)의 연구에서는 내측광근과 외측광근의 활동전위의 증가는 슬관절 신전의 전 범위에서 나타난다고 보고되었다. 임상적으로 슬관절 손상 후 무릎 주변의 근육과 인대를 강화시켜주는 방법으로 등장성운동과 등척성 운동, 등속성 운동기구를 이용한 강화방법이 연구되고 있으나 단일관절운동과 복합관절운동방법의 일반적인 효과와 근육의 활동에 관한 연구는 아직까지 부족하다. 그러므로 단일관절운동과 복합관절운동을 이용하여 초기 재활 프로그램을 적용할 때 슬관절 굴곡 각도에 따른 내측광근, 외측광근, 대퇴직근의 변화를 알 수 없어 특정 근육을 강화시키기 위한 방법이 다양하지 못하다.

본 연구의 목적은 제한된 관절가동범위를 가진 슬관절 질환자들이 초기에 재활훈련 프로그램 운동을 시행할 때 복합관절운동(비부하 스쿼트 자세)과 단일관절운동(기구를 이용한 등척성 운동)을 시행할 때 대퇴사두근중 대퇴직근, 내측광근, 외측광근의 근전도를 분석하여 각도에 따른 대퇴사두근의 효율적인 초기 재활훈련 프로그램을 제시하며, 슬관절의 불안정성을 가지고 있는 사람, 또는 슬개대퇴 동통증후군을 가진 사람을 대상으로 슬관절 주위의 근육들(대퇴직근, 내측광근, 외측광근)을 슬관절 굴곡 각도에 따른 특정근육을 효과적으로 근력을 강화시키는 운동을 제시하며, 내측광근과 외측광근의 비율을 측정 비교하여 내측광근을 선택적으로 강화시키는 방법과 효율적인 각도를 제시하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구의 대상은 K대학교 대학생 및 성인 10명을 대상으로 연구의 목적과 연구의 의의를 설명하고 실험에 동의한 일반 학생을 대상으로 사전 조사를 실시하여 슬관절에 질환을 가진 사람은 제외시켰다. 실험 순서는 무작위로 측정하였으며, 이들의 신체적 특징은 <Table 1> 과 같다.

Table 1. Physical characteristics of subjects

Subjects	Age(yrs)	Height(cm)	Weight(kg)
Male(n=10)	27.4±3.23	169.55±3.33	68.83±7.69

2. 실험방법

1) 근전도 측정 방법

실험대상자에게 실험 목적과 과정에 대한 설명을 하였으며 실험에 대한 동의를 얻었다. 실험대상자는 반바지를 착용하였으며, 피검자에게 먼저 사전 설문조사를 실시한 후 양쪽 다리중 지배다리(dominant leg)를 조사하여 전극을 부착할 부위는 대퇴직근의 내측부는 전상장골극(ASIS)에서 종자골(Patella)의 상극점(superior pole)까지 거리의 1/2인 점에서 2.5cm내측인 지점에, 외측광근은 전자간선(intertrochanteric line)의 아래 부분에서 종자골(Patella)의 상극점 까지 거리의 2/3인 지점에, 내측광근은 강한 등척성 수축 시 보이는 근뿔대부(muscle belly)위에 부착하였다. Reference전극은 근위 경골의 앞부분에 부착하였다. 전극부착부위는 알코올로 깨끗이 닦고 털을 제거하였다. 전극은 Solderberg와 Cook(1994)가 권장한 silver-silver chloride을 이용하였다. 근전도의 측정단위는 mV로 기록되었다. 전극과 근전도계를 연결하는 전선을 잘 정리하여 움직임 잡음(motion artifact)이 생기지 않도록 한다. 근전도계와 연결된 컴퓨터 상에서 각각의 전선과 연결된 근육에 해당하는 채널을 지정하여 근전도 신호를 관찰하였고 근전도 잡음(noise)이 발생되고 있는지의 여부를 조

사하고 근전도 잡음이 발생하는 경우 원인을 제거하였다. 이러한 준비작업이 끝나면 본 실험에 들어가 근전도를 측정하였으며, 측정시 실내온도는 동일하지 않아 피험자들의 피부온도를 고려하지 않았다. 근전도 신호처리는 근전도(MP100WSW)와 컴퓨터를 연결시키고, 근전도계 에서 이득값(gain)을 × 1,000으로 설정한 후 초당 2000샘플을 수집하도록 설정했다(2000 samples/second). 측정된 값은 아날로그. 디지털 변환기(Analogue to Digital convertor)로 샘플링 한 후 증폭된 파형을 대역필터(bandpass filter)를 20 — 1000Hz로 하여 필터링 한다. 이 신호를 전파정류(full wave rectification)를 실시한 다음 FFT(fast fourier transform)을 이용하여 선형 포락선(liner envelope)를 얻은 다음 각 근육이 각 각도에서 근수축한 시간 동안 적분 근전도(integrated EMG; IEMG) 선택한 다음 적분 값을 구했다.

2) 복합관절운동 측정방법

복합관절운동을 측정하는 방법은 피검자가 기립한 자세에서 양쪽 발은 중위 상태, 어깨넓이 폭만큼 떨어진 상태로 놓는다. 기립한 자세에서 슬관절을 최대 신전 시킨 자세를 0°로 설정한 다음 슬관절을 10°굴곡, 20°굴곡, 30°굴곡 시킨 자세를 각각 10초 동안 유지하면서 근전도의 활동전위를 출력한다. 측정 시 피검자가 최대 의지력으로 근력을 발휘할 수 있도록 실험자가 옆에서 독려하여 최대운동을 유도하였다. 각 운동 중 휴식시간은 60초를 주었다. 관절각도는 피검자가 기립한 자세에서 전자 반원형 각도기(half circle goniometer)를 이용하여 각도계의 축은 외측 경골과(lateral tibial condyle)를 기준으로 고정팔(stationary arm)은 대퇴의 중앙선, 운동팔(moving arm)은 외과(lateral malleolus)를 향한 선을 따라 배치 측정하였다.

3) 단일관절운동 측정방법

단일관절운동을 측정하는 방법은 등속성 운동기구인 Cybex 6000을 이용해 내장된 등척성 운동 프로그램을 이용하여 대퇴부위의 근력을 측정하였다. 피검자들에게 기기에 대한 생소함으로 인해 각근력 측정시 근력 발휘가 과소평가되지 않도록 각 각도에서 등척성 운동을 실시한 후 10분간의 휴식을 가진 다음 측정하였다. 이때 다이나모미터 회전축은 피검자의 슬관절 축과 일치시켜 운동범위 및 동원 근육군이 운동에 원활하게 참여할 수 있도록 조정하였다. 또한 운동 시 하지 외에 다른 신체부위의 힘이 작용하지 않도록 조정띠를 이용하여 가슴, 복부 및 대퇴부위를 고정시켰다. 신전 및 굴곡운동 시 힘점인 발목관절 바깥쪽의 외과(lateral malleolus) 위 1cm부근에는 레버 암(lever arm)을 묶어 슬관절을 최대 신전 시켜 최대신전 각도를 0°로 설정 한 다음 10°굴곡, 20°굴곡, 30°시킨 다음 각각 10초 동안 유지하면서 근전도의 활동전위를 출력한다. 각 운동 시 휴식시간은 60초를 주었다. 측정 시 피검자가 최대 의지력으로 근력을 발휘 할 수 있도록 컴퓨터 모니터상에 나타나는 그래프를 보면서 시각적 피드백(feedback)을 주면서 실험자가 옆에서 청각적으로 독려하여 최대운동을 유도하였다.

5. 자료분석 및 통계처리

본 연구의 자료는 SPSS/PC WIN10.0 통계 Package를 이용하여 처리하였으며 그 내용은 다음과 같다.

- 1) 측정항목별로 측정값의 평균과 표준편차를 구하였다.
- 2) 단일관절운동과 복합관절운동 방법으로 측정된 3개 근육(내측광근, 외측광근, 대퇴직근)에서 각도(10°, 20°, 30°)에 따른 적분 근전도 측정값이 차이가 있는지를 알아보기 위해 반복 측정된 자료에 일

원변량분석검사(one-way repeated ANOVA)를 실시하였으며, 각도간의 차이를 보기위한 사후검증(Post-hoc test)은 Duncan검증을 실시하였다.

3) 운동방법에 따른 슬관절 굴곡 각도에서 내측광근/외측광근 활동비 차이에 대한 유의성 검증은 Paired sample *t-test*를 사용하였다. 모든 변인에 대한 통계적 유의수준은 $P < 0.05$ 로 설정하였다.

III. 연구결과

1. 단일관절 운동과 복합관절 운동 시 내측광근, 외측광근, 대퇴직근의 적분근전도

단일관절 운동(최대 등척성 운동)과 복합관절 운동을 시행할 때 슬관절 굴곡각도에 따른 내측광근, 외측광근, 대퇴직근의 근전도는 <Table 2> 와 <Fig. 1> 에 제시한 바와 같이 나타났다.

Table 2. Mean and standard deviation(SD) of Intergrated Electromyographical activity of the VM, VL, RF at 10°, 20°, 30° during Open kinetic chain exercise. (Unit : mV)

muscles angles	VM		VL		RF	
	OKC	CKC	OKC	CKC	OKC	CKC
10°	67.56 ± 24.8	30.53 ± 18.7	98.10 ± 51.8	64.81 ± 42.3	88.28 ± 25.4	63.57 ± 49.8
20°	75.25 ± 32.3	33.72 ± 15.4	110.75 ± 57.7	69.34 ± 39.0	99.69 ± 29.3	68.68 ± 45.0
30°	76.12 ± 29.4	37.25 ± 17.8	115.09 ± 57.0	88.00 ± 48.3	101.56 ± 32.8	78.60 ± 44.0

OKC : Open kinetic chain exercise. CKC : Closed kinetic chain exercise

VM ; Vastus Medialis VL; Vastus Laterails RF; Rectus Femoris

2. 단일관절운동에서 내측광근, 외측광근, 대퇴직근의 적분근전도

내측광근은 <Table 2> 에서 제시한 바와 같이 슬관절 굴곡 10°에서 67.56 ± 24.86mV으로 나타났으며, 20°에서 75.25 ± 32.36mV이고, 30°에서 76.12 ± 29.48mV로 나타나 슬관절이 굴곡 할수록 근전도의 활동전위가 증가하나 <Table 3> 에 제시한 바와 같이 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다.

외측광근은 <Table 2> 에서 제시한 바와 같이 슬관절 굴곡 10°에서 98.10 ± 51.80mV으로 나타났으며, 20°에서 110.75 ± 57.74mV이고, 30°에서 115.09 ± 57.03mV로 나타나 슬관절이 굴곡 할수록 근전도의 활동전위가 증가하나 <Table 4> 에 제시한 바와 같이 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다.

대퇴직근은 <Table 2> 에서 제시한 바와 같이 슬관절 굴곡 10°에서 88.28 ± 25.41mV으로 나타났으며, 20°에서 99.69 ± 29.34mV이고, 30°에서 101.56 ± 32.86mV로 나타나 슬관절이 굴곡 할수록 근전도의 활동전위가 증가하나 <Table 5> 에 제시한 바와 같이 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다.

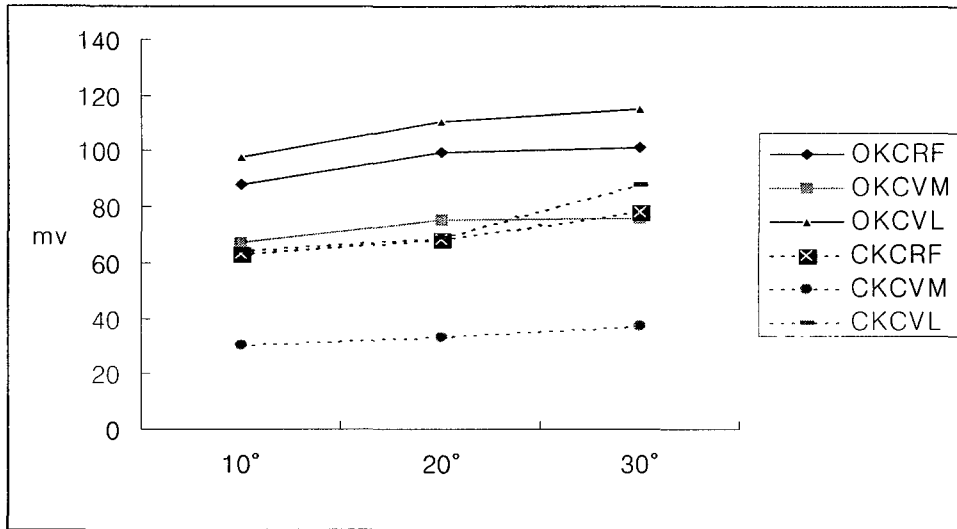


Fig. 1. Electromyographical activity of the VM, VL, RF at 10°, 20°, 30° during Open kinetic chain exercise and Closed kinetic chain exercise

Table 3. The results of one-way repeated ANOVA for VM during Open kinetic chain exercise

Source	DF	SS	MS	F	Sig
Between Angle	2	441.067	220.533	.261	.772
Within muscle	27	22817.312	27		

Table 4. The results of one-way repeated ANOVA for VL during Open kinetic chain exercise.

Source	DF	SS	MS	F	Sig
Between Angle	2	1603.103	801.552	.088	.916
Within muscle	27	244721.745	9063.768		

Table 5. The results of one-way repeated ANOVA for RF during Open kinetic chain exercise.

Source	DF	SS	MS	F	Sig
Between Angle	2	1032.823	516.411	.599	.557
Within muscle	27	23285.735	862.435		

2. 복합관절운동 시 내측광근, 외측광근, 대퇴직근의 적분근전도

복합관절 시 내측광근은 <Table 2> 에서 제시한 바와 같이 슬관절 굴곡 10°에서는 $30.53 \pm 18.78\text{mV}$, 20°에서는 $33.72 \pm 15.42\text{mV}$, 30°에서는 $37.25 \pm 17.81\text{mV}$ 로 나타내 슬관절이 굴곡 할수록 근전도의 활동전위가 증가하였으나, <Table 6> 에 제시한 바와 같이 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다.

외측광근은 <Table 2> 에서 제시한 바와 같이 슬관절 굴곡 10°에서는 $64.81 \pm 42.37\text{mV}$ 으로 나타났으며, 20°에서는 $69.34 \pm 39.08\text{mV}$ 이고, 30.°에서는 $88.00 \pm 48.36\text{mV}$ 로 나타나 슬관절이 굴곡 할수록

근전도의 활동전위가 증가하였으나 <Table 7> 에 제시한 바와 같이 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다.

대퇴직근은 <Table 2> 에서 제시한 바와 같이 슬관절 굴곡 10°에서 $63.57 \pm 49.85\text{mV}$ 으로 나타났으며, 20°에서는 $68.68 \pm 45.05\text{mV}$ 이고, 30°에서 $78.60 \pm 44.07\text{mV}$ 로 나타내 슬관절이 굴곡 할수록 근전도의 활동전위가 증가하였으나 <Table 8> 에 제시한 바와 같이 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다.

Table 6. The results of one-way repeated ANOVA for VM during Close kinetic chain exercise.

Source	DF	SS	MS	F	Sig
Between Angle	2	151.421	75.711	.246	.784
Within muscle	27	8323.175	308.266		

Table 7. The results of one-way repeated ANOVA for VL during Closed kinetic chain exercise.

Source	DF	SS	MS	F	Sig
Between Angle	2	3022.931	1511.466	.206	.815
Within muscle	27	197803.963	7326.073		

Table 8. The results of one-way repeated ANOVA for RF during Closed kinetic chain exercise.

Source	DF	SS	MS	F	Sig
Between Angle	2	59.252	29.626	.003	.997
Within muscle	27	296372.901	10976.774		

3. 단일관절운동과 복합관절운동 시에 내측광근/외측광근의 비율

단일관절운동과 복합관절운동에서 슬관절 굴곡에 따른 내측광근/외측광근의 비율은 <Table 9> 에 제시한 바와 같으며, 단일관절운동에서 슬관절 굴곡 10°에서 0.85 ± 0.41 , 20°에서 0.79 ± 0.32 , 30°에서 0.75 ± 0.28 으로 나타나 단일관절운동에서는 슬관절 굴곡이 낮을수록 내측광근/외측광근 비율이 증가하는 경향으로 나타났다. 복합관절운동에서는 슬관절 굴곡 10°에서 0.48 ± 0.32 , 20°에서 0.51 ± 0.33 , 30°에서 0.47 ± 0.19 으로 나타나 20°에서 제일 높으며 10°, 30°순으로 나타났다. 두 가지 운동형태를 같은 각도에서 비교하였을 때 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($P < 0.05$).

Table 9. Mean and standard deviation(SD) of Intergrated Electromyographical activity of the VM/VL ratio at 10°, 20°, 30° during Open kinetic chain exercise, Closed kinetic chain exercise.

Angle Type		10°	20°	30°
OKCE	M	0.85	0.79	0.75
	SD	0.41	0.32	0.28
CKCE	M	0.48	0.51	0.47
	SD	0.32	0.33	0.19
<i>t-value</i>		-2.724*	-2.879*	-3.314*

*P < 0.05

VM/VL ratio : Vastus Medialis/Vastus Laterails ratio.

OKC : Open kinetic chain

CKC : Closed kinetic chain

IV. 고 찰

1955년 Steindler(1955)에 의하여 단일관절운동과 복합관절운동으로 처음 분류되었으며, 단일관절운동은 다른 관절의 운동 없이 단일 관절에서만 운동이 가능 할 때며, 원위부는 자유롭게 움직이며 근위부에서는 고정된 상태에서 운동을 시행하는 방법을 말하며, 복합관절운동이란 한 관절에서의 운동이 다른 관절에서의 운동과 동반되어야 가능할 때를 말하며, 이 운동은 원위부는 고정된 상태에서 근위부(proximal segment)와 원위부(distal segment)에 저항을 동시에 적용할 때 발생하는 운동을 말한다(Fitzgerald, 1997). 기존에는 단일관절운동과 복합관절운동을 개방사슬운동과 복합관절운동으로 이용하였으며, 이것은 영문을 한글로 직역하면서 용어를 선택한 결과이다. 그러나 본 저자는 개방사슬운동은 하나의 단일관절을 사용하는 단일관절 운동이며, 폐쇄사슬운동은 두 개 이상의 관절을 사용하는 운동으로 복합관절운동이라 말할 수 있어 단일관절운동과 복합관절운동 이라는 용어를 사용하였다.

단일관절운동은 컨디션 조절이나 근력을 증강시키기 위해 보조적으로 이용되며, 운동 동작에서는 기능적으로 미미한 역할을 한다(Rafael, 등 1998). 그리고 단일관절운동은 임상적인 사용이 줄어들고 있다는 보고가 있으나(Palmitier, 등 1991), 관절가동범위(ROM)의 제한을 가지고 있는 재활 환자들의 근력 강화 프로그램에서는 매우 중요한 역할을 하고 있다. 복합관절 운동은 달리기(running)와 점프(jumping)와 같은 많은 운동 동작 또는 기능적인 면에서 근신경학적, 인체 역학적으로 대부분의 인체의 대근육과 스피드 증진을 위한 핵심적인 운동이다(Rafael et al. 1998). 최근에는 복합관절운동은 전방십자인대(anterior cruciate ligament: ACL)의 재건수술 후에 슬관절의 재활운동 초기에 이용하고 있으며 임상적으로 권장하고 있는 운동으로써(Lutz, 등 1993; More, 등 1993; Yack, 등 1994) 예를 들면, 경사진 트레드밀에서 후방보행을 실시하는 것이다.

본 실험 결과 단일관절운동(등척성 운동)에서 대퇴사두근의 근육은 슬관절 굴곡각도가 증가할수록 근육의 활동이 증가하는 것으로 나타났다. 이 결과는 Joseph 등(1995)의 연구에서 슬관절의 굴곡각도가 커질수록 대퇴사두근의 활동은 증가한다고 보고하였으며, 각도사이에는 유의한 차이가 없다는 보고와 일치하였다. 그리고 각도사이에 유의한 차이가 없는 것은 측정된 각도의 범위가 일정범위였기 때문이며, 추후 좀더 다양한 각도에서 실험을 시행해야 될 것이다.

Rafael 등(1998)의 연구에서는 단일관절운동에서 대퇴직근의 근전도 활동은 65°이하인 각도

에서 65°이상의 각도 보다 유의성 있게 활동한다고 하였으나 이는 등장성 운동을 시행하면서 측정된 것으로 본 연구에서는 슬관절 굴곡 초기 각도에서 측정을 하여 더 큰 각도에서 유의한 차이가 있는지는 알 수 없었다.

본 연구에서 대퇴사두근의 근활동 순서를 보면 10°에서 외측광근, 대퇴직근, 내측광근 순으로 나타났으며, 20°와 30°에서도 10°의 결과와 같게 나타났다. 그러나 Joseph 등(1995)의 연구에서는 Biodex를 이용한 등척성 운동에서 슬관절 신전 150°, 175°에서 실험한 결과 150°에서 내측광근, 외측광근, 대퇴직근 순으로 높았으며, 175°에서도 같은 근육의 활동이 나타났다고 보고하였으며, 반대로 Rafael 등(1998)은 단일관절운동에서 대퇴직근의 활동이 제일 높다고 보고하였다. 이러한 결과는 실험방법의 차이와, 근전도 분석에서 이들은 RMS(Root Mean Square)를 이용하여 분석하였으나 본 연구에서는 적분 근전도 분석을 사용함으로써 결과의 차이가 나타난 것으로 사료된다.

Rafael 등(1998)은 단일관절운동과 복합관절운동에서 대퇴직근의 근전도 활동을 비교하면 복합관절운동보다 단일관절운동에서 약 45% 정도 활동이 증가하는 것으로 나타났다. Ninos 등(1984)의 연구에 의하면 최대 수의적 등척성 운동(Maximum Voluntary Isometric Contraction; MVIC)을 시행하면서 내측광근과 외측광근의 근전도 활동을 분석하면 내측광근은 슬관절 굴곡 30°에서 15%, 60°에서 25%정도 활동을 한다고 보고하였다. 그러므로 이와 같은 결과는 슬관절이 굴곡 할수록 내측광근의 활동이 증가한다는 것을 나타내고 있다. 본 연구에서는 슬딕근(Hamstring muscles)을 측정하지 않았지만 Baratta 등(1988)의 연구에서 단일관절운동을 하는 동안 슬딕근과 대퇴사두근 사이에 협응 수축을 하며, 이 연구의 가설에서 슬딕근과 대퇴사두근 사이에 협응 수축을 하는 것은 전방십자인대에 최소한의 부하를 주면서 슬관절의 안정성을 제공한다고 하였다. Lutz 등(1993)의 연구에서도 유사한 결론이 있었으며, 이 연구에서 슬딕근과 대퇴사두근 사이의 협응수축은 단일관절운동과 복합관절운동을 비교했을 때 복합관절운동에서 높게 나타났다. 또한 슬관절이 신전 하는 동안 단일관절운동과 복합관절운동사이의 슬딕근 활동은 다르게 나타난다고 보고하였다.

Wheatley와 Jahnke(1951)의 선행연구에서는 내측광근이 마지막 각도에서 다른 근육과 유이하게 활동을 한다고 하였으나, Joseph 등(1995)의 연구에서는 발의 위치에 따라 대퇴사두근의 근활동이 다르게 나타난다고 보고하였으며, 슬관절 신전 150°, 175°에서 내측광근, 외측광근, 대퇴직근의 근활동이 유의성이 없었다고 보고하였다. 이때 발의 위치 특히 내측광근과 외측광근은 발의 내측회전 자세에서 많은 근육 활동을 보였으며, 재활초기에 발을 내측회전시킨 상태에서 운동을 시행하는 것을 권장하고 있다. 김성중 등(2001)은 무릎손상 환자 중 대퇴사두근 근력운동을 기립상태에서 시행하는 것이 더욱 바람직하다고 발표하였다. 그러나 본 연구에서는 본 연구에서는 10°~30°사이에서 단일관절운동(등척성 운동)이 복합관절운동보다 활동전위의 크기가 더 높게 나타났는데 이는 Skurja 등(1980)의 연구에서도 같은 결과가 나타났다. 이들은 하지거상운동과 대퇴사두근 등척성 운동을 서로 비교한 결과 대퇴사두근 등척성 운동 활동이 더 높게 나타나 본 연구결과와 유사하게 나타났다. 구애련 등(1997)의 연구에서는 하지거상운동과 대퇴사두근의 등척성 운동 시 활동전위를 비교해 보았는데 이들의 연구에서 대퇴직근을 제외한 다른 근육에서 등척성 운동이 높게 나타났다고 보고하였다. 본 연구에서도 등척성 운동(단일관절운동)이 비부하 스쿼트(복합관절운동)운동 보다 초기 재활 과정에서는 더 효율적이라고 할 수 있는데 이것은 전체 하지 근육에서 협응수축 피드백이 잘 이루어지지 않기 때문에 장비를 이용한 등척성 운동이 더욱 높게 나타난 것으로 생각된다.

본 실험에서 복합관절운동(비부하 스쿼트 자세)에서 내측광근, 외측광근, 대퇴직근 모두 슬관절 굴곡이 증가할수록 근전도 활동이 증가하는 것으로 나타났으며 각도 사이에는 유의한 차이가 없었다. 이는 단일관절운동의 결과와 유사하게 나타나, 슬관절이 굴곡 할수록 대퇴사두근의 근육 활동이 증가한다고 할 수 있다. 스쿼트를 하는 동안 슬관절이 굴곡 할수록 슬괁근(Hamstringmuscles)과 대퇴직근의 활동과 관련이 있으며, 생역학적으로 대퇴직근은 슬개골을 외측 상방으로 끌어당기는 역할을 하며 스쿼트의 자세에서 슬관절이 굴곡 할수록 내측광근과 더불어 더 많은 활동을 하며 슬괁근(Hamstring muscles)의 활동도 증가한다고 하였다(Ricky, 등 1998). Rafael 등(1998)의 연구에서는 복합관절운동에서 대퇴직근의 근전도 활동은 83° ~ 95° 사이에서 유의성 있게 활동한다고 하였다.

본 실험 결과 슬관절 굴곡 10°에서 외측광근, 대퇴직근, 내측광근 순으로 근력이 발휘되었으며, 20°와 30°에서도 동일한 결과가 나타났다. 이는 단일관절운동과 동일한 양상으로 나타났으며, Ricky 등(1998)의 연구에서는 비부하 스쿼트 자세에서 넓은 보폭과 좁은 보폭 사이에 내측광근과 외측광근의 근력발휘를 근전도로 분석하였는데, 슬관절 굴곡 30°, 60°, 90°에서 실험한 결과 스쿼트 자세에서도 슬관절이 굴곡 할수록 내측광근의 활동은 증가하는 것으로 나타났으며, 내측광근과 외측광근 사이에 유의한 차이가 있다고 보고하였다. 이러한 결과는 슬관절 각도를 크게 분류하여 시행하여 나타난 것으로서 본 연구에서는 슬관절 굴곡 각도를 좁은 범위 내에서 실험을 시행하여 각도사이에 유의한 차이가 없게 나타난 것으로 사료된다.

한편, Rafael 등(1998)의 연구에서는 복합관절운동에서 내측광근의 활동이 20%, 외측광근의 활동이 5%정도가 개방사슬운동을 시행할 때 보다 높게 나타났다 하였으며, 복합관절운동에서 내. 외측광근의 활동을 단일관절운동과 비교하면 50% 정도 활동이 증가하여 통계적으로 유의한 차이가 있었다고 보고하였다. 따라서 이들은 내. 외측광근을 강화시키는 방법으로 복합관절운동이 보다 효과적이라고 제안하고 있다.

그러나 본 연구에서는 외측광근의 활동이 제일 높았으며, 대퇴직근, 내측광근 순으로 나타났다는데, 본 연구에서는 비부하 상태에서 정적 스쿼트 운동을 시행한 것으로 부하상태에서 동적 스쿼트 운동을 측정된 방법과는 연구결과의 차이가 있을 것으로 생각된다.

내측광근/외측광근 비율은 임상적으로 물리치료사와 트레이너사이에 내측광근의 근력을 증강시키기 위해 슬관절 신전 운동에 중점을 두고 운동을 시행한다. 그리고 내측광근은 슬관절 굴곡이 증가할수록 활동이 증가하며, 슬관절 굴곡을 증가시키면서 운동을 시행하면 내측광근의 근력을 증가시킬 수 있다.

Rafael 등(1998)의 연구에서 내측광근/외측광근 비율을 볼 때 그들은 단일관절운동보다 복합관절운동이 보다 효과적이며, 중량 스쿼트 운동과 leg press 운동을 비교한 결과 중량 스쿼트 운동에서 내. 외측광근, 대퇴직근의 활동이 약간 높게 나타나 내측광근과 외측광근 사이의 균형을 강화시키기 위해서는 중량 스쿼트 운동이 더 바람직하다고 제안하였다. John 등(1997)의 연구에서 슬개대퇴동통증후군 환자와 정상인을 대상으로 내측광근/외측광근 비율을 연구한 결과 정상인 그룹에서 높게 나타났으며, Boucher(1992)의 연구에서도 같은 결과가 나타났다. John 등(1997)은 젊은 운동선수들을 대상으로 내측광근을 효과적으로 강화시키기 위해서는 복합관절운동을 시행하는 것을 권장하고 있는데 이들은 정상인 여성 운동선수와 슬개대퇴동통증후군 여성 운동선수를 대상으로 시행하여 서로 비교했으며, 본 연구에서는 일반인을 대상으로 측정된 결과로써 실험 방법상의 차이가 있어 이와 같은 결과가 나타난 것으로 생각된다.

단일관절운동과 복합관절운동을 동일한 각도에서 운동 간의 내측광근/외측광근 비율을 비교하면 통계적으로 유의한 차이가 있다. 이 결과를 보면 단일관절운동 10°, 20°, 30°에서 높게 나타나 재활 초

기에는 내측광근/외측광근의 비율을 증가시키기 위해서는 단일관절운동을 시행하는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 이 결과가 선행연구와 다르게 나타난 이유는 단일관절운동에서 Cybex를 이용해 피검자에게 시각적 피드백(feedback)을 주면서 최대의 힘을 발휘하도록 했으며, 복합관절운동에서는 피검자들이 단지 정적인 기립자세에서 대퇴직근에 최대 힘을 발휘하도록 하고 외적인 자극을 주지 않아 이와 같은 결과가 나타난 것으로 생각된다. Witvrouw 등(2000)이 제시하듯 단일관절운동과 복합관절 운동을 결합한 운동이 필요하다고 생각된다. 단일관절운동에서는 10°에서 가장 높은 값을 나타내 내측광근/외측광근을 선택적으로 강화시키는 방법으로 등척성 운동시 슬관절을 10°굴곡 시킨 상태에서 실시하는 것이 바람직하며, 복합관절운동에서는 20°에서 가장 높은 값을 나타내 내측광근/외측광근을 선택적으로 강화시키는 방법으로 비부하 스쿼트에서 슬관절을 20° 굴곡 시킨 상태에서 실시하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

VI. 결 론

본 연구의 대상은 K대학교 대학생 및 성인 10명을 대상으로 복합관절운동과 단일관절운동의 운동형태에 따른 내측광근, 외측광근, 대퇴직근의 근전도 분석을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1, 단일관절운동과 복합관절운동 모두 슬관절 굴곡이 증가할수록 대퇴사두근 근력 발휘가 증가한다.
- 2, 단일관절운동에서 내측광근이 최고로 근력을 발휘하는 각도는 30°로 나타났다.
- 3, 복합관절운동에서 내측광근이 최고로 근력을 발휘하는 각도는 30°로 나타났다.
- 4, 단일관절운동에서 내측광근/외측광근 비율은 10°에서 가장 크며, 복합관절운동에서는 20°에서 가장 크게 나타났다.
- 5, 단일관절운동과 복합관절운동사이에 내측광근/외측광근 비율은 10°, 20°, 30°각도에서 유의한 차이가 나타났다($P < 0.05$).

이와 같은 결과로 대퇴사두근을 강화시키는 목적으로는 실시할 때 각도는 30°에서 실시하는 것이 바람직하며, 내측광근/외측광근 비율을 증가시키기 위해서는 단일관절운동에서는 10°, 복합관절운동에서는 20°에서 실시하는 것이 바람직하다 할 수 있다. 추후 연구에서는 동일한 부하상태에서 단일관절운동과 복합관절운동사이에 대퇴사두근의 근전도 분석이 요구되며, 발의 위치에 따른 대퇴사두근의 근력발휘 분석이 요구된다.

참 고 문 헌

- 구애련, 이충휘, 노정석: 하지거상운동과 대퇴사두근 등척성운동시 대퇴사두근의 활동전위. 한국전문물리치료학회지, 4(1), 1-10, 1997.
- 김성중, 권오윤, 조상현 등: 기립자세에서 발위치가 무릎 펴근의 등척성수축 근전도 활성화도에 미치는 영향, 한국전문물리치료학회지, 8(2), 1-16, 2001.
- Baratta R.O, M Solomonow, BH Zhou, D Letson, R Chuinard and R D'ambrosia: Muscular coactivation. The role of the antagonist musculature in maintaining knee stability. Am. J. Sports Med, 16:113-122, 1988.
- Boucher JP, King MA, Lefebvre R, Pepin A: Quadriceps femoris muscle activity in patellofemoral pain syndrome. Am J Sports Med, 20:527-532, 1992.
- Cahill, B.R., E.H. Griffith: Effect of preseason conditioning on the incidence and

- severity of high school football knee injuries. *Am. J. Sports Med*, 6:180-184, 1978.
- Fitzgerald, G.K.: Open Versus Closed Kinetic Chain Exercise: Issues in Rehabilitation After Anterior Cruciate Ligament Reconstructive Surgery. *Phys Ther*, 77:1747-1754, 1997.
- Gough, J.V., Ladley, G.: An investigation into the effectiveness of various forms of quadriceps exercise. *Physiother*, 57:356-361, 1971.
- Haffajee, D., Moritz, U., Svantesson, G.: Isometric knee extension strength as a function of joint angle, muscle length and motor unit activity. *Acta Orthop Scand*, 43:138-147, 1972.
- Insall, J.: Current concepts review: Patellar pain. *J Bone Joint Surg[AM]*, 66:715-724, 1982.
- John, P.M., Daniel Sedory, Ronald, V.C.: Leg Rotation and Vastus Medialis Oblique/Vastus Lateralis Electromyogram Activity Ratio During Closed Chain Kinetic Exercise Prescribed for Patellofemoral Pain. *J Athl Train*, 32(3); 216-220, 1997.
- Joseph, F.S., Denise, K., Arlette, P., et al: The Effect of Knee and Foot Position on the Electromyographical Activity of the Superficial Quadriceps. *JOSPT*, 22(1); 2-9, 1995.
- Krebs, D.E., Staples, W.H., Cuttica, D., et al: Knee joint angles: Its relationship to quadriceps femoris activity in normal and postarthrotomy limbs. *Arch Phys Med Rehabil*, 64:441-447, 1983.
- Leib, F.J., Perry, J: Quadriceps function: An anatomical and mechanical study using amputations. *J Bone Joint Surg*, 50: 1535, 1968.
- Lutz, G.E., Palmitier, R.A., An, K.N., et al: Closed Kinetic chain exercise for athletes after reconstruction of the anterior cruciate ligament. *Med Sci Sports Exerc*, 24(4):S69,(abstract), 1991.
- Lutz, G.E., Palmitier, R.A., An, K.N., et al: Comparison of tibiofemoral joint forces during open-kinetic-chain and closed-kinetic-chain exercise. *J. Bone joint surg. Am.* 75:732-739, 1993.
- Mariani, P., Caruso, I: An electromyographic investigation of subluxation of the patella. *J Bone Joint Surg[Br]*, 61:169-171, 1979.
- Moller, B.N., Jurik, A.G., Tidemand-Dal, C., et al: The quadriceps function in patellofemoral disorders: a radiographic and electromyographic study. *Arch Orthop Trauma Surg*, 106:195-198, 1986.
- More, R.C., B. T. Karras., R. Neiman., et al: Hamstrings—an anterior cruciate ligament protagonist: an in vitro study. *Am. J. sports Med*, 21:231-237, 1993.
- Ninos, J.C., J.J. Irrgang., R. Burdett., et al: Electromyographic analysis of the squat performed in self-selected lower extremity neutral rotation and 30° of lower extremity. *Phys Ther*, 64:1813-1819, 1984.
- Palmitier, R.A., Kainan, A., Scott, S.G.: Kinetic chain exercise in knee rehabilitation.

- Sports Med, 11(6):402-413, 1991.
- Pocock, G: Electromyographic study of the quadriceps during resistance exercise. *Am Phys Ther Assoc J*, 43:427-434, 1963.
- Rafael, F.E., Glenn, S.F., Nigel, Z., et al: Biomechanics of the knee during closed kinetic chain and open kinetic chain exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 30(4):556-569, 1998.
- Rasch, P.J., Burke, R.K: *Kinesiology and Applied Anatomy*. Philadelphia, PA:LEA & Febiger, 1978.
- Ricky, Anderson., Carol, Courtney., Eli, Carmeil: EMG Analysis of the Vastus Medialis/Vastus Lateralis Muscles Utilizing the Unloaded Narrow-and Wide-Stance Squats. *J of Sport Rehab*, 7:236-247, 1998.
- Soderberg, G. L., Cook, T. M.: An Electromyographic Analysis of Quadricep Femoris muscle setting and straight Leg Raising. *Phys Ther*, 63:1434-1438, 1983.
- Soderberg, G. L., Cook, T. M.: Electromyography in biomechanics. *Spine*, 19:687-695, 1994.
- Souza, D.R., Gross, M.T: Comparison of vastus medialis oblique/vastus lateralis muscle integrated electromyographic ratios between healthy subjects and patients with patellofemoral pain. *Phys Ther*, 71:310-320, 1991.
- Skurja, M. Jr., Perry, J., Gornley, J.: Quadriceps action in straight leg raise versus isolated knee extension(EMG and tension study). *Abstract Phys Ther*, 60:582, 1980.
- Steindler, A: *Kinesiology of the Human Body Under Normal and Pathological Conditions*, Springfield, IL: Charles C. Thomas, 1955.
- Wheatley, M., Jahnke, W: Electromyographical study of the superficial thigh and hip muscles in normal individuals. *Arch Phys Med Rehabil*, 32:508-515, 1951.
- Wild, J.J., Franklin, T.D., Woods, G.W: Patellar pain and quadriceps rehabilitation: an EMG study. *Am J Sports Med*, 10:12-15, 1982.
- Yack, H.J., L.A. Washco., T, Whieldon.: Compressive forces as a limiting factor of anterior tibial translation in the ACL deficient knee. *Clin. J. Sports Med*, 4:233-239. 1994.