건강한 20대 성인 남·녀의 슬관절 신전근에 등척성운동후 등속성 운동의 평가

정진보* · 김광수* · 박민숙 · 임지영 · 황병용
삼성의료원 재활의학과* · 용인대학교 자연과학대학 물리치료학과

Abstract

Isokinetic Evaluation of the Knee Extensor after Isometric Exercise in the Healthy Twenties

Jin-Bo Jung*, Kwang Soo Kim*, Min-Sook Park, Ji-Young Lim, Byong-Yong Hwang

*Department of Physical Medicine & Rehabilitation, Samsung Medical Center**
Department of Physical Therapy, College of Natural Science Yongin University.

The purpose of this study were to measure the peak torque, total work, average work of knee extensors by using the Cybex 6000 Testing & Rehabilitation system in the healthy twenties, and to compare control groups with experimental groups in order to investigate effects of facilitation in isometric exercise of knee extensor. Twelve subjects were tested, 6 men and 6 women, between the aged of 20 and 25, mean values of the height of 166.7cm and of the body weight of 63.4kg. The results were as follows; 1) The mean peak torques of quadriceps at speed of 60° /sec were 128.84±52.44 ft-lbs of pre-test and 129.50±51.36 ft-lbs of post-test in control groups. The experimental groups were 110.84±35.22 ft-lbs of pre-test and 109.00±34.53 ft-lbs of post-test. The mean peak torque of quadriceps at speed of 180° /sec were 74.84±39.49 ft-lbs of pre-test and 78.34±33.01 ft-lbs of post-test in control groups. The experimental groups were 64.00±24.06 ft-lbs of pre-test and 151.50±192.26 ft-lbs of post-test. 2) The mean values of total work at speed of 60° /sec were 114.67±43.19 ft-lbs of pre-test and 113.50±47.56 ft-lbs of post-test in control groups. The experimental groups were 97.84±34.59 ft-lbs of pre-test and 97.34±33.68 ft-lbs of post-test. The mean values of total work at speed of 180° /sec were 59.67±37.09 ft-lbs of pre-test and 72.00±31.75 ft-lbs of post-test in control groups. The experimental groups were 56.61±22.11 ft-lbs of pre-test and 61.17±22.64 ft-lbs of post-test. 3) The average power at speed of 60° /sec were 109.17±43.72 watts of pre-test and 108.50±46.86 watts in control groups. The experimental groups were 90.84±29.85 watts of pre-test and 95.34±28.53 watts of post-test. The average power at speed of 180° /sec were 186.84±106.35 watts of pre-test and 186.17±86.01 watts of post-test in control groups. The experimental groups were 150.67±60.34 watts of pre-test and 161.17±59.71 watts of post-test. 4) The average ROM were 0.89±0.01° of pre-test and 0.90±0.01° of post-test in control group. The experimental groups were 0.89±0.01° of pre-test and 0.89±0.01° of post-test.

Key words: Facilitation, Isometric exercise, Muscle strength, Peak torque

I. 머리말

임상에서 슬관절 신전근(knee extensor)의 재활은 무릎의 외과적인 수술이나 부동화(immobilization), 골절(fracture), 비활동성(inactivity)후에 완전한 회복을 위한 기본적인 운동중의 하나이다.

근력 강화 운동프로그램(muscle strengthening program) 중에서 회복기가 길어진 환자의 경우 등장성(isotonic)운동을 하는 동안에 환자가 통증(pain)을 호소하여 운동을 중단하는 경우가 흔히 생긴다. 일반적인 슬관절 신전근 운동중 특별히 고안(specific modification)된 운동은 통증 경험없이 운동을 수행할 수 있어서, 치료의 빠른 진전과 재활치료기간의 단축을 가져올 수 있다. 이러한 경우에 등척성 근력강화운동(isometric strengthening exercise)이 많이 사용되는데, Marks(1994)는 무릎에 통증이나 부종(swelling), 슬관절 신전근의 약화로 인해 관절운동이 어려운 환자에게 최대 등척성운동(maximal isometric contraction)이 유용하다고 하였다. 따라서, 이 연구에서는 20대 건강한 성인 남녀의 슬관절 신전근에 등척성운동을 실시한 그룹과 등척성운동을 실시하지 않은 그룹간의 비교를 통해 등척성운동이 얼마나 효과적으로 근력강화를 촉진(facilitation) 하는지를 알아보았다.

이 연구에서는 슬관절 신전근의 등척성운동을 환자를 대상으로 한 기존의 연구(De Lateur 등, 1972; Lephart 등, 1993; Lieber 등, 1996; Natri 등, 1996; Raymond 등, 1996)와는 달리 건강한 성인을 대상으로 실시하여 알아보고자 한다. 건강한 성인에게 촉진의 한 방법으로 택한 슬관절 신전근의 등척성운동 실시 여부에 따라 실험전·후에 차이가 있다면 환자에게 슬관절 신전근의 등척성운동을 적용시 매우 효과적일 것이다.

II. 실험 대상 및 방법

1. 실험대상

일상생활을 하고 있으며 과거에 슬관절 병력이 없는 건강한 대학생 12명(남자 6명, 여자 6명)을 대상으로 하였다. 이들의 평균연령은 21.3세(만 20세~25세)이고, 신장의 평균은 166.7cm(남자:165~180cm, 여자:155~170cm)이며 평균체중은 63.4kg(남자:60~80kg, 여자:45~60kg)이었다. 또한 대조군(남자3명, 여자3명)의 평균 연령은 22.0세였고, 평균 신장은 169.5cm, 평균 체중은 65.0kg이었다. 실험군(남자3명, 여자3명)의 평균 연령은 20.49세였고, 신장의 평균은 164.3cm, 평균 체중은 61.8kg이었다.

2. 실험방법

대상 12명을 실험군과 대조군으로 나누어 슬관절 등척성운동(quadriceps setting exercise)의 사용유무에 따른 결과를 비교분석하였으며 변수에 의한 측정결과의 오차를 최소화하기 위해 실험전에 실험군과 대조군 모두에서 warm-up period를 실시한 후 3분간

휴식시간을 주었다. Warm-up period에 쓰인 고정 자전거는 Fitron® metabolic system (Cybex Inc.)였고 pedal speed는 150 (revolution/mimute)였다. 결과 수치의 객관적인 정량화를 위해 등속성 운동기구 (isokinetic exercise equipment)인 Cybex 6000 testing & Rehabilitation system (Lumax, Inc. New York, USA)을 이용하여 측정하였다(그림 1).

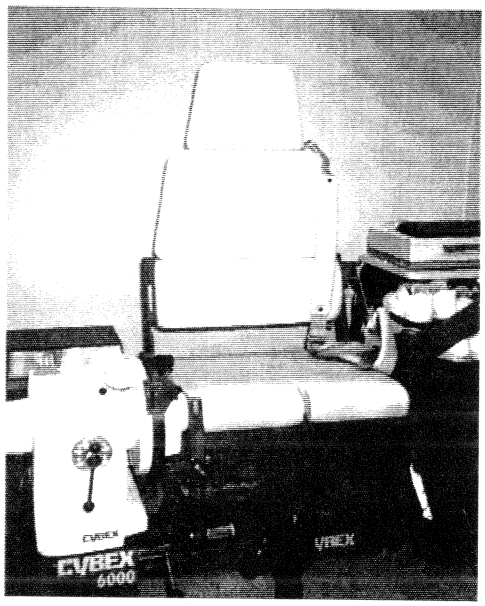

그림 1. Cybex 6000 testing & Rehabilitation system.

Warm-up period가 끝난 대조군은 Cybex chair로 가는데 30초를 초과하지 않도록 하였으며 피검사자를 검사대 위에 앉혀 기계의 운동축과 슬관절의 운동축이 일치되도록 하고 dynamometer의 input arm과 하퇴부가 평행되도록 하였다. 검사중 축이 이동하지 않도록 상체와 대퇴부를 velcro로 고정시켰으며, pad를 양측과골 상부에 대주었다.

실험군은 warm-up period후 30초를 초과하지 않는 범위내에 침상에 도착하여 긴다리 자세로 앉는다(long sitting position). 그리고 슬관절 신전근에 슬관절 등척성 운동을 실시하는데 방법은 다음과 같다(Antich와 Brewster, 1986; Wolf, 1978).

① 슬관절 신전근에 8초간 등척성운동을 실시한후 8초간 쉰다.

등척성 수축은 저항에 대해서 적어도 6초 동안 수축을 해야한다. 이것은 최대장력 (peak tension)에 도달할 수 있는 시간이고, 근육에서 발생하는 대사 변화가 시작되기 위해서 필요한 시간이다(Wolf, 1976).

② 이러한 방법으로 5회 반복후 10초간 휴식후 나머지 5회를 반복한다.

③ 10번을 모두 실시한 후 침상에서 Cybex chair까지의 이동시간은 30초를 초과하지 않는다.

슬관절 등척성 운동을 끝낸후 3분간 휴식을 취하고 Cybex로 30초 내에 이동한다. Cybex chair로 도착한후 방법은 대조군에서와 동일하다(James 등, 1995).

근 강도(muscle strength)측정을 위해 60 °/sec의 운동속도에서 실시하였고, 근 지구력(muscle endurance)측정을 위해 180 °/sec의 운동속도에서 측정을 실시하였다. 60° /sec의 운동속도에서는 최대 슬관절 굴곡신전 운동을 4번 왕복으로 실시하였고 180° /sec에서는 최대 슬관절 굴곡신전 운동을 20회 왕복 실시하였다.

Cybex를 통해 얻은 각각의 결과들은

KWIKSTAT 4.0을 사용하여 수치를 분석하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 최대 우력(peak torque)

60° /sec의 운동속도에서의 실험전·후의 대조군과 실험군의 최대우력치는 대조군에서는 각각 128.84±52.44 ft-lbs(실험전)과 129.50±51.36 ft-lbs(실험후)이며 실험군에서는 각각 110.84±35.21 ft-lbs(실험전)과 109.00±34.53 ft-lbs(실험후)이었다. 60° /sec의 운동속도에서 대조군과 실험군의 경우, 실험전·후의 대조군에서 실험전이 실험후보다 높았으나 유의한 차이는 없었으며, 실험군에서도 실험전이 실험후보다 높았으나 통계학적으로 유의한 차이는 없었다(p=0.239, p=0.120).

180° /sec의 운동속도에서의 실험전·후의 대조군과 실험군의 최대우력치는 대조군에서는 각각 74.84±39.49 ft-lbs와 78.34±33.01 ft-lbs이며, 실험군에서는 각각 64.00±24.06 ft-lbs와 151.50±192.26 ft-lbs이었다. 180° /sec의 운동속도에서 대조군과 실험군의 경우, 실험전·후의 대조군에서 실험전보다 실험후의 최대우력치가 높았으나 유의한 차이가 없었으며 실험군에서는 실험전보다 실험후의 최대우력치가 월등히 높았으나 통계학적으로 유의한 차이가 없었다(p=0.464, p=0.401).

표 1. 최대 우력

단위: ft-lbs

	대 조 군		실 험 군	
	실험전	실험후	실험전	실험후
60 °/sec	128.84±52.44*	129.50±51.36**	110.84±35.22	109.00±34.53
180 °/sec	74.84±39.49***	78.34±33.01****	64.00±24.06	151.50±192.26

*p=0.239, **p=0.120, ***p=0.464, ****p=0.401

2. 일의 총량(total work)

일의 총량은 180° /sec의 고속도에서 구하는데, 여기서는 60° /sec의 저속도에서의 수치도 제시하였다.

60° /sec의 운동속도에서의 실험전·후의 대조군과 실험군의 일의 총량은 대조군에서는 각각 114.67±43.19 ft-lbs와 113.50±47.56 ft-lbs이며, 실험군에서는 각각 97.84±34.59 ft-lbs와 97.34±33.68 ft-lbs이었다. 60° /sec의 운동속도에서 대조군과 실험군의 경우, 실험전·후의 대조군과 실험군에서 모두 실험전보다 실험후가 낮았으나 통계학적으로 유의한 차이는 없었다(p=0.223, p=0.235). 180° /sec의 운동속도에서의 실험전·후의 대조군과 실험군의 일의 총량은 대조군에서는 각각 59.67±37.09 ft-lbs와 72.00±31.75 ft-lbs이며, 실험군에서는 56.68±22.11 ft-lbs와 61.17±22.64 ft-lbs이었다. 180° /sec의 운동속도에서 대조군과 실험군의 경우, 실험전·후의 대조군과 실험군에서 모두 실험전보다 실험후가 높았으나 통계학적으로 유의한 차이는 없었다(p=0.293, p=0.192).

표 2. 일의 총량

단위: ft-lbs

	대 조 군		실 험 군	
	실험전	실험후	실험전	실험후
60 °/sec	114.67±43.19*	113.50±47.56**	97.84±34.59	97.34±33.68
180 °/sec	59.67±37.09***	72.00±31.75****	56.68±22.11	61.17±22.64

*p=0.223, **p=0.235, ***p=0.293, ****p=0.192

3. 평균 힘(average power)

평균 힘은 단위시간에 근육이 할 수 있는 능력으로 최대우력속도(peak torque velocity)라고도 한다.

60° /sec의 운동속도에서의 실험전·후의 대조군과 실험군의 평균 힘은 대조군에서는 각각 109.17±43.72 watts와 108.50±46.86

watts이며, 실험군에서는 각각 90.84±29.85 watts와 95.34±28.53 watts 이었다. 60°/sec의 운동속도에서 대조군과 실험군의 경우, 대조군에서는 실험전이 실험후보다 높았으며, 실험군에서는 실험전이 실험후보다 낮았으나 통계학적으로 유의한 차이는 없었다(p=0.147, p=0.324).

180°/sec의 운동속도에서의 실험전·후 대조군과 실험군의 평균 힘은 대조군에서 각각 186.84±106.35 watts와 186.17±86.01 watts이며, 실험군에서는 각각 150.67±60.34watts와 161.17±59.71 watts 이었다. 180°/sec의 운동속도에서 대조군과 실험군의 경우, 대조군에서는 실험전·후의 차이가 거의 없었으며, 실험군에서는 실험후가 실험전보다 훨씬 높다는 결과가 나왔지만 통계학적으로 유의한 차이는 없었다(p=0.352, p=0.304).

표 3. 평균 힘

단위: watts

	대 조 군		실 험 군	
	실험전	실험후	실험전	실험후
60 °/sec	109.17±43.72*	108.50±46.86**	90.84±29.85	95.34±28.53
180 °/sec	186.84±106.35***	186.17±86.01****	150.67±60.34	161.17±59.71

*p=0.147, **p=0.324, ***p=0.352, ****p=0.304

4. 평균 가동범위(average range of motion)

대조군에서의 실험전·후의 평균 가동범위는 각각 0.89±0.01° 와 0.90±0.01° 이며, 실험군에서는 실험전·후의 평균 가동범위는 각각 0.89±0.01° 와 0.89±0.01° 이다.

IV. 고찰

1960년대 Perrine과 Hislop에 의해 등속성운동의 개념이 도입된 이후 스포츠의학과 재활의학, 물리치료분야에서는 이에 대하여 많은 연구가 이루어졌다.

Morffroid 등(1969)은 등속성운동을 "동적이며 반복적인 저항성 운동으로 일정한 속도를 제공할 수 있는 속도조절 기구에 의해 할 수 있는 운동"이라 정의하였다(Moffroid 등, 1969). Thistle 등(1967)은 등속성, 등장성, 등척성운동의 세 군을 8주간 운동시켜 얻은 결과에서 등속성 운동은 47.2%, 등장성 운동은 28.6%, 등척성운동은 13.1%의 peak force ability의 증가를 보였다.

우력은 운동속도에 따라 달라지므로 우력을 측정하고 비교함에 있어서는 우선 검사시 관절의 축과 Cybex의 축이 일정히 유지되어야 하며 운동속도를 일정히 하고 실시하여야 한다. 또한 우력은 정상에 있어서 연령에 따라 차이가 생긴다. Murray 등(1980)은 20~35세에서 가장 힘이 강하였다고 보고했으며, Ha 등(1984)이 성인에 있어서 30대에 비하여 40대에서 근력의 현저한 감소를 보였다고 보고하여 이를 뒷받침하고 있다.

Hellebrandt(1958)는 근력강화는 운동량보다 운동속도가 더 큰 영향을 준다고 하였으며, Morffroid 등(1969)은 가벼운 부하로 고속으로 운동하는 것이 저속으로 운동하는 것보다 근력 및 지구력 강화에 더 좋은 효과를 나타낸다고 보고하였다.

슬관절 신전근에서 최대 등장성 수축의 우력치는 일반적으로 60° 나 30° 슬관절 굴곡각도에서 얻을 수 있다. 등속성 운동에서의 최대 우력 자세는 운동의 각속도에 영향을 미친다.

Thorstensson 등(1976)은 25명의 건강한 남자를 대상으로 최대우력치를 측정하였으며, 66° 에서 15° /sec, 61° 에서 60° /sec 그리고 55° 에서 180° /sec를 얻었다. 이 결과는 Morffroid등도 동의 하였는데 이들은 신전근 최대우력을 22.5° /sec에서 등속성 수축동안 63° 를 얻었다.

Lieber 등(1996)은 신경근의 전기적 자극과 수의적 등척성운동을 전십자인대 복원수술환자에게 적용시 같은 강도로 신경근의 전기적 자극과 수의적 등척성운동이 실시되었을 때는 전십자인대의 수술후에 약해진 골격근이 강화되는데 똑같은 효과가 있다고 하였다. Tan 등(1995)은 무릎에 골관절염을 가진 환자를 대상으로 등속성과 등척성 운동에 대해 정상인 여자와 비교하였다. 결과는 골관절염을 가진 환자에서 있어서 굴곡근과 신전근에서 동등한 근 강도 소실이 있었고, 무릎의 재활에서 굴곡근의 강화운동 프로그램은 신전근의 강화 못지 않게 중요하다고 하였다.

Marks(1994)는 무릎에 골관절염을 가진 환자의 신전근 근육에 16개월 동안 1주일에 3번씩 무릎각도 60° 에서 최대 등척성 수축을 훈련시킨 결과에서 중간범위(mid-range, 60°) 등척성 강화운동은 통증이나 부종, 신전근의 약화 때문에 어떤 다른 각도에서 운동하기가 불가능한 무릎의 골관절염을 가진 환자들의 재활에서 유용한 효과가 있음을 증명하였다.

Hicks 등(1993)은 활동성 특발성 다발성 근염(acitve idiopathic polymyositis)의 환자에게 4주동안 신전근에 등척성 근력강화 프

로그램을 실시하였다. 그 결과 4주후에는 등척성 최대 우력치는 증가하였는데, 크레아틴 포스포키나제(creatine phosphokinase)의 증가는 없었다는 결과를 얻었다.

Giannini 등 (1993)은 아동성 류마티스 관절염(juvenile rheumatoid arthritis)를 가진 환자를 대상으로 등척성 운동을 실시하여 정상 최대우력치를 비교하고 다음으로 관절 질환의 정도와 등척성 슬관절 신전근의 우력치의 상관관계를 알아보았다. 그 결과 슬관절 등척성 신전근의 우력은 아동성 류마티스 관절염을 가진 아동에서 근 기능 저하시 유용한 운동임이 나타났고, 등척성 근 운동과 관절 질환의 정도에서는 아무런 관계가 없었다. 따라서 등척성 근강화 프로그램은 이런 환자들에게 아주 좋은 효과를 얻을 수 있다고 하였다.

Lucca 등(1983)은 등척성 강화운동 프로그램에서 근전도 바이오 피드백(EMG biofeedback)의 효과에 대하여 기술하였는데 biofeedback과 등척성 운동을 조합한 그룹에서 등척성 운동 하나만 실시한 것 보다 최대 우력치를 얻는 수치가 훨씬 컸다고 기술했다. 이 연구에서는 60 °/sec(근강도 측정)운동속도에서는 대조군과 실험군의 실험전·후에서 각각 수치상의 차이가 없었다. 그러나, 180 °/sec(근지구력 측정)운동속도에서는 실험군에서 실험전보다 실험후의 수치가 높게 나타났다.

이 연구는 실험대상자가 적었다는 점과 등척성 운동 훈련의 기간이 짧아 실험전·후의 수치가 크지 않았다는 제한점이 있다. 앞으로 실험대상자와 등척성 운동 훈련의 기간에 현저한 차이를 두고 수치적으로 증명하는 것이 필요하다고 사료된다.

V. 맺음말

이 실험에서는 남녀 성인(20~25세) 12명을 대상으로 하였고 슬관절 신전근에 등척성 운동을 실시하여, 등척성 운동을 실시하지 않은 그룹과 실시한 그룹의 실험 전·후를 비교하였다. 결과의 객관성을 위해서 Cybex를 이용하였고 60° /sec와 180° /sec에서 슬관절 신전근의 근력을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 최대 우력은 60° /sec의 운동속도에서 우선 대조군은 실험전에 128.84±52.4 ft-lbs이며, 실험후에 129.50±51.36 ft-lbs이었고, 실험군에서는 실험전이 110.84±35.21 ft-lbs와 실험후에서 109.00±34.53 ft-lbs였다.
180° /sec의 운동속도에서는 대조군은 실험전에 74.84±39.49 ft-lbs와 실험후에 78.84±33.01 ft-lbs이었고, 실험군에서는 실험전 64.00±24.06 ft-lbs와 실험후 151.50±192.26 ft-lbs이었다.

2) 일의 총량은 60° /sec의 운동속도에서 대조군은 실험전에 114.67±43.19 ft-lbs이었고 실험후에 113.50±47.56 ft-lbs이었으며, 실험군에서는 실험전에 97.84±34.99 ft-lbs와 실험후에 97.34±33.68 ft-lbs이었다.
180° /sec의 운동속도에서 대조군은 실험전

에 59.67±37.09 ft-lbs이고 실험후에는 72.00±31.75 ft-lbs이며, 실험군에서는 실험전에 56.68±22.11 ft-lbs이고 실험후가 61.67±22.64 ft-lbs이었다.

3) 평균 힘은 60° /sec의 운동속도에서 대조군은 실험전에 109.17±43.72 watts이고 실험후에서 108.50±48.87 watts이었으며, 실험군은 실험전에 90.84±29.85 watts이고 실험후에 95.84±28.53 watts이었다.

180° /sec의 운동속도에서 대조군은 실험전에 186.84±106.35 watts이고 실험후에 186.17±86.01 watts이었으며, 실험군은 실험전에 150.67±60.34 watts이고 실험후에는 161.17±59.71 watts이었다.

4) 평균 가동범위는 대조군에서 실험전이 0.89±0.01이고 실험후가 0.90±0.01이었으며, 실험군에서는 실험전이 0.89±0.01이고 실험후가 0.89±0.01이었다.

참고문헌

강세윤, 정양기, 안용팔. 20대 건강한 청년의 슬관절 신전근 및 굴곡근에 대한 등속성운동검사. 대한재활의학회지. 1996;10(2):116-123.

김재욱, 이경무. 등척성 근력 측정에 있어서 측정위치와 힘과의 관계. 대한재활의학회지. 1996;20(1):133-139.

김진호, 김상범. 한국 정상 성인의 슬관절 신근 및 굴근에 대한 등속운동평가. 대한재활의학회지. 1987;11(2):173-183.

하권익, 한성호, 정민영 등. 등속성운동기구를 이용한 슬관절 굴곡 및 신전근의 근력 평가에 관한 연구. 대한정형외과학회지. 1984;19(6):1043-1050.

한태륜, 방문석. 슬관절 퇴행성 관절염 환자의 등속성 근력 평가. 대한재활의학학지. 1994;18(2):328-397.

Antich TJ, Brewster CE. Modification of quadriceps femoris muscle exercises during knee rehabilitation. Phys Ther. 1986;66(8):1246-125.

Caggiano E, Emrey T, Shirley S et al. Effects of electrical stimulation or voluntary contraction for strengthening the quadriceps femoris muscles in an aged male population. J Orthop Sports Phys Ther. 1994;20(1): 22-28.

De Lateur B, Lehmann JF, Warren CG et al. Comparison of effectiveness of isokinetic and isotonic exercise in quadriceps strengthening. Arch Phys Med Rehabil. 1972;60-64.

Giannini MJ, Protas EJ. Comparison of peak isometric knee extensor torque in children with and without juvenile rheumatoid arthritis. Arthritis Care Res. 1993;6(2):82-88.

Ha KL, Hhn SH, Chung MY, Yu SC. Analysis of the flexor-extensor muscle force of the knee with cybexII. J Korea Orthop Assoc. 1984;19:1043-1049.

Hellebrandt FA. Method of muscle training

influence of pacing. Phys Ther. 1958; 2:319.

Hicks JE, Miller F, Plotz P et al. Isometric exercise increases strength and does not produce sustained creatinine phopho-kinase increases in a patient with polymyositis. J Rheumatol. 1993;20(8): 1399-1401.

Hislop HJ, Perrine J. The isokinetic concept of exercise. Phys Ther. 1967;47: 114.

James C, Sacco P, Hurley MV et al. An evaluation of different protocols for measuring the force-velocity relation-ship of the human quadriceps muscles. Eur J Appl Physiol. 1994;68:41-47.

James C, Sacco P, Jones DA. Loss of power during fatigue of human. J Physiol. 1995;484(1):237-246.

Kannus P, Beynnon B. Peak torque occurrence in the range of motion during isokinetic extension and flexion of the knee. Int J Sports Med. 1993; 14(8):422-426.

Lephart SM, Kocher MS, Harner CD et al. Quadriceps strength and functional capacity after anterior cruciate ligament reconstruction. Am J Sports Med. 1993;21(5):738-743.

Lieber RL, Silva PD, Daniel DM. Equal effectiveness of electrical and volitional strength training for quadriceps femoris muscles after anterior cruciate ligament surgery. J Orthop Res. 1996;14(1): 131-138.

Lucca JA. Recchiuti ST. Effect of electromyographic biofeedback on an isometric strengthening program. Phys Ther. 1983;63(2):200-203.

Marks R. The effects of 16 months of angle-specific isometric strengthening exercises in mid-range on torque of the knee extensor muscles in osteo-arthritis of the knee. J Orthop Sports Phys Ther. 1994;20(2):103-109.

Moffroid M, Whipple R, Hofkosh J et al. A study of isokinetic exercise. Phys Ther. 1969;49:735-746.

Murray MP, Gardner GM, Mollinger LA et al. Strength of isometric & isokinetic contractions knee muscle of mean ages 20~86. Phys Ther. 1980;60:412-419.

Natri A, Jarvinen M, Latvala K et al. Isokinetic muscle performance after anterior cruciate ligaments surgery. Int J Sports Med. 1996;17(3):223-228.

Raymond Che Tin Li, Maffulli N, Yuen Cheung Hsu et al. Isokinetic strength of the quadriceps and hamstrings functional ability of anterior cruciate deficient knees in recreational athletes. Br J Sports Med. 1996;30:161-164.

Schilke JM, Johnson GO, Housh TJ et al. Effects of muscle strength training on

the functional status of patients with osteoarthritis of the knee joint. Nurs Res. 1996;45(2):68-72.

Tan J, Balci N, Sepici V et al. Isokinetic and isometric strength in osteoarthritis of the knee. A com- parative study with healthy women. Am J Phys Med Rehabil. 1995;74(5):364-369.

Thistle HG. Isometric contraction new concept of resistive exercise. Arch Phys Med Rehabil. 1967;48:279-282, .

Thorstensson A, Grinby G, Karlson J. Force-velocity relations and fiber composition in human knee extensor muscles. J Appl Physiol. 1976;40:12-16.

Williamson SC, Hartigan C, Morgen RF et al. Computerized analysis of isokinetic torque curves for muscle strengthening. J Burn Care Rehabil. 1989;10(2):160-166.

Wolf SL. The morphological and functional basis of therapeutic exercise. In Basmajian, JV(ed); Therapeutic exercise, Williams & Wilkins, Baltimore, 3rd ed, 1978.