

족근중족관절이 탈구된 환자에서 원심성 등속성운동의 효과: 사례연구

원중임
대원과학대학 물리치료과

Abstract

The Effect of Eccentric Isokinetic Exercise in Dislocation of the Tarsometatarsal (Lisfranc's) Joint: A Case Study

Jong-im Won, Ph.D., P.T.
Dept. of Physical Therapy, Daewon Science College

Eccentric muscle contraction is more effective than concentric and isometric muscle contraction in increasing muscle strength. Also, eccentric or concentric-eccentric training has greater effective in neural activation and muscle hypertrophy than concentric training. In some study, eccentric exercises have been shown to reduce pain and improve function on Achilles tendinopathy. The purpose of this study was to evaluate the effect of eccentric isokinetic exercise in a patient with dislocation of the tarsometatarsal joint by traffic accident. After eccentric isokinetic training, peak torque, average work, and average power were increased. Also, the patient was fully weightbearing with a pain free normal gait thus making good recovery.

Key Words: Eccentric contraction; Isokinetic exercise; Tarsometatarsal joint.

I. 서론

족근중족관절에 대한 외상은 흔치 않으며, 고도의 에너지 외상에 의해 발생된다. 이는 부적절한 치료로 인해 장기간의 불구를 가져오는 외상이므로 조기에 진단하는 것이 매우 중요하다. 그러나 초기 방사선관독에서 판별하지 못하는 경우가 족근중족관절 외상의 20%에 달해 조기진단이 더욱 어려운 실정이다. 족근중족관절 손상의 기전은 자동차 사고와 같은 직접적 외상, 저속 굴곡에서 고정된 발에 대한 종축 부하의 작용, 또는 앞발의 외전 비틀림과 같은 간접적 외상으로 인해 발생한다(Callaghan과 Jane, 2000). 발과 발목의 동적 운동 중 구심성 수축은 걷기, 달리기, 점핑, 던지기, 들어올리기 등과 같은 동작에 필요한 추진력을 제공하지만 일반적으로 인간은 신장-수축 연속(stretch-shorten cycle)으

로 알려진 원심성 수축과 구심성 수축이 결합된 움직임 전략을 가지고 있다(Porter 등, 2002). 원심성 수축은 매일 일상적인 활동에서 그리고 운동 경기에서 자주 발생되며, 높은 근력을 성취하는 능력과 근 통증과 결합된 조직 손상을 촉발시키며, 중추신경계에 의한 유일한 조절 전략을 요구하는 것으로 추측되는 특징을 가지고 있다(Enoka, 1996). 일반적으로 같은 속도의 등속성 운동을 할 때 원심성운동이 구심성 운동 보다 더 큰 장력을 나타내며, 근장력은 원심성운동이 가장 크고 그 다음 등척성 운동 그리고 구심성 운동이 가장 작은 것으로 알려져 있다(Kellis와 Baltzopoulos, 1995; Kisner와 Colby, 2002). 따라서 고도의 저항훈련시 등척성 수축이나 구심성 수축을 사용하는 훈련 보다 원심성 수축을 이용한 훈련이 제안되어지고 있다(Colliander와 Tesch, 1990). 구심성 수축은 움직이는 속도가 빠를수록 근력

은 감소하나 원심성 수축은 속도에 의해 크게 영향을 받지 않는다(Enoka, 1996; Kisner와 Colby, 2002). 더군다나 원심성수축은 주어진 근력을 성취하기 위해 신경계에 의한 수의적 활성화에서 낮은 수준을 요구한다(Aagaard 등, 2000; Enoka, 1996).

한편, 등속성 운동은 근수행의 속도를 조절하는 운동으로, 참여하는 근육에 의해 발생하는 힘의 크기에 상관없이 일정하게 신체 운동의 속도를 유지하는 방법을 필요로 한다. 동시에 등속성 운동 기구는 가속을 허락하지 않고 관절가동 범위를 통해 신체 부분의 최대 가능한 근력을 발휘하도록 고안된 역학적 방법을 제공한다(Hislop과 Perrine, 1967). 등속성 저항운동은 통증과 피로를 조절하며, 등장성 운동에 비해 상대적으로 안정성이 있다(Davies, 1987; Kisner와 Colby, 2002). 또한 객관성이 높고 정확도가 크며, 각 각도에 따른 토크 값을 알 수 있으며 시간과 관련된 변수들을 알 수 있다는 장점을 가지고 있다. 등속성운동의 또 다른 장점으로 근육의 기능적 수축 속도인 빠른 속도에서도 훈련이 가능하다. 따라서 기능적 속도와 움직임에 위해 신경생리학적 모방(patterning)이 가능하다(Davies, 1987). 재활의 말기에 일상생활 시 어느 정도 기능은 가능하나 근력과 지구력 감소로 환자가 불편을 호소할 때 등속성운동이 필요하다.

위의 원심성 운동의 특성과 등속성 운동의 특성을 가진 원심성 등속운동은 말기 재활에 맞는 저항과 속도를 임의적으로 시행할 수 있는 운동으로 병원에서 퇴원 후 환자의 기능적 동작에 도움을 줄 수 있는 운동이다. 최근 원심성등속 운동에 대한 연구가 많이 보고되고 있으나, 슬관절에 대한 연구가 대부분이다. 발과 발목관절은 슬관절과 함께 체중지지 관절이나 재활후기에 기능을 향상시킬 수 있는 운동에 대한 연구가 필요하며 특히, 족근중족관절 탈구 환자에 대한 연구가 많지 않으므로 사례연구가 필요하다.

이 연구의 목적은 족근중족관절이 탈구된 중년의 여자 환자에게 원심성 등속운동을 시행한 후 최대 우력, 평균 일, 평균 일률을 분석하고, 발목의 배측굴곡, 저측굴곡, 내반, 외반에 있어 원심성 우력의 변화 정도를 비교하는 것이다.

II. 연구방법

1. 연구대상

환자는 43세의 여자로서 신장은 158 cm이며, 체중은 57 kg이었다. 2002년 2월 4일 교통사고로 우측 족근중족관절 탈구와 우측 제 4 중족골의 골절, 좌측 슬관절과 고관절 염좌로 약물치료와 물리치료를 받다가 2004년 4월부터 오른쪽 발목관절에 주 2회에 걸쳐 등속성 운동을 받았다. 2004년 4월 19일 등속성 운동 전 환자는 좌측 슬관절과 고관절 그리고 우측 발목관절에 통증을 호소하고 있었으며 하지에서 도수근력검사 시 고관절과 슬관절에서 G^- , 발목관절에서 $G^- \sim G^0$ 로 근력이 약간 감소된 양상을 보였다. 관절가동범위는 발목관절의 배측굴곡이 15° 였고 나머지 관절은 정상적인 관절가동범위를 보였다. 기능적으로 보조도구 없이 독립적인 보행을 하였으나 동통으로 인한 병적 보행을 하였다.

2. 검사 및 훈련방법

등속성 운동을 위해 Cybex NormTM system¹⁾을 이용하였다. 환자는 검사대 위에 똑바로 누워 발을 발판에 두고, 골반 주위를 벨트로 묶어 상체를 고정하고 슬관절을 70° 로 굴곡시킨 상태에서 슬관절 바로 위의 대퇴를 벨크로로 고정시켰다. 발은 발판에 벨크로로 고정시켜 기계의 운동축과 발목관절의 운동축이 일치하도록 하고 발목관절을 70° 내반에서 50° 외반 하도록 하였다. 운동강도는 $30^\circ/\text{sec}$ 로 3회, $120^\circ/\text{sec}$ 로 3회 반복하여 시행하였다. 발목관절의 배측굴곡과 저측굴곡을 위해 환자를 검사대 위에 똑바로 눕게 하여 골반 주위를 벨트로 묶어 상체를 고정하고 슬관절을 90° 로 굴곡하여 슬관절 바로 위의 대퇴를 벨크로로 고정시킨다. 발은 발판에 벨크로로 고정시켜 발목관절을 척측굴곡 50° 와 배측굴곡 20° 로 시행하도록 하였다. 운동강도는 $30^\circ/\text{sec}$ 와 $120^\circ/\text{sec}$ 로 각각 3회 반복하였다. 환자에게 등속성 훈련의 목적을 설명하고 본격적인 훈련에 들어가기 전 약 4~5회 연습시켜 익숙해지도록 하였다. 또한 등속성 훈련 경험이 많은 치료사에 의해 가능한 최대로 빨리 그리고 최대의 힘을 주도록 청각피드백을 받았다. 내반근과 외반근에 대한 원심성수축 훈련은 2004년 4월 1일 시작하여 동년 10월 11일 종료하였고, 이 때 배측굴곡과 저측굴곡은 운동 시 통증이 심하여 실시하지 못하다가 2004년 10월 11일부터 2005년 1월 6일까지 실시하였다.

1) Cybex Inc., U.S.A.

III. 결과

환자의 최대 우력, 평균 일, 평균 일률은 표 1과 같으며, 훈련 후 손상측은 훈련 전 비손상측 수준으로 회복되었음을 보여준다(표 1). 환자의 훈련 전 손상측과 비손상측의 30°/sec에서 배측굴곡근 우력 그래프와 훈련 후 손상측의 우력 그래프는 다음과 같다(그림 1)(그림 2).

훈련 전 손상측과 비손상측의 30°/sec에서 저측굴곡근의 우력 그래프와 훈련 후 손상측의 저측굴곡근 우력 그래프는 다음과 같다(그림 3)(그림 4). 훈련 전 손상측과 비손상측의 내반근의 30°/sec에서 우력 그래프와 훈련 후 손상측 내반근의 우력 그래프는 다음과 같다(그림 5)(그림 6). 훈련 후 손상측과 비손상측의 30°/sec에서 외반근의 역치 그래프와 훈련 후 손상측의 역치 그래프는 다음과 같다(그림 7)(그림 8).

표 1. 원심성 등속성운동 후 최대 역치, 평균 일, 평균 일률

속도	변수	근육	훈련 전		훈련 후
			비손상측 평균값(%BW)	손상측 평균값(%BW)	손상측 평균값(%BW)
30°/sec	최대 우력 (ft-lb)	배측굴곡근	8(6)	8(6)	9(7)
		저측굴곡근	43(33)	22(17)	28(22)
		내반근	13(10)	3(2)	19(15)
		외반근	17(14)	5(4)	12(10)
	평균 일 (ft-lb)	배측굴곡근	-	-	-
		저측굴곡근	-	-	-
		내반근	14(11)	1(1)	15(12)
		외반근	15(12)	2(2)	13(10)
	평균 일률 (w)	배측굴곡근	-	-	-
		저측굴곡근	-	-	-
		내반근	6(5)	1(1)	6(5)
		외반근	6(5)	1(1)	5(4)

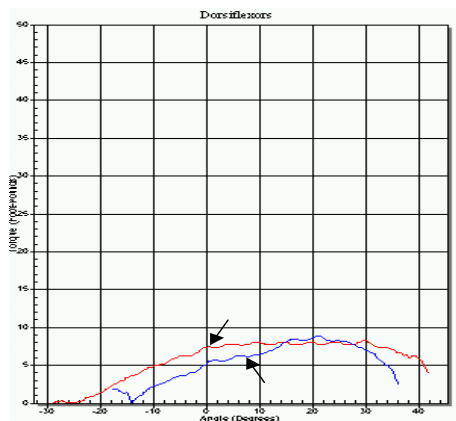


그림 1. 훈련 전 30°/sec에서 배측굴곡근의 최대 우력(위-비손상측, 아래-손상측)

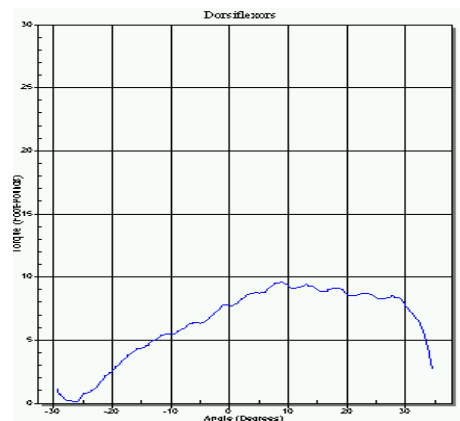


그림 2. 훈련 후 30°/sec에서 배측굴곡근의 최대 우력(손상측)

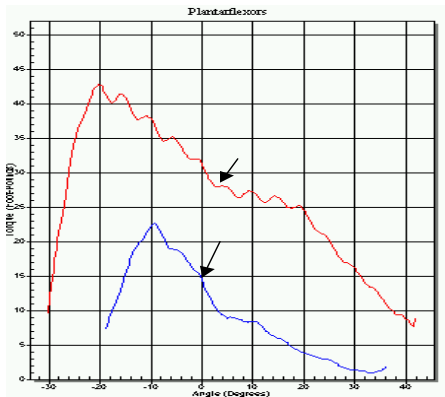


그림 3. 훈련 전 30°/sec에서
 저측굴곡근의 최대 우력
 위-비손상측, 아래-손상측



그림 6. 훈련 후 30°/sec에서 내반근의
 최대 우력 손상측

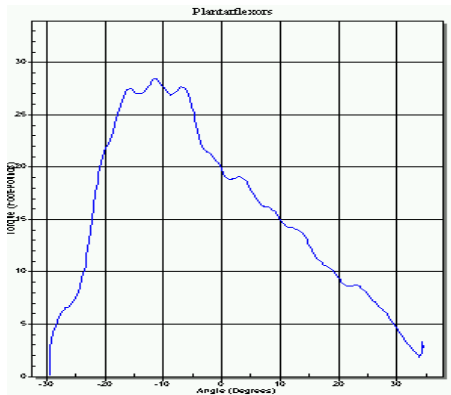


그림 4. 훈련 후 30°/sec에서
 저측굴곡근의 최대우력 손상측

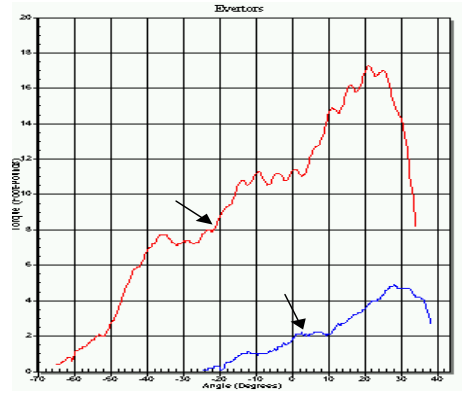


그림 7. 훈련 전 30°/sec에서 외반근의
 최대 우력 위-비손상측,
 아래-손상측

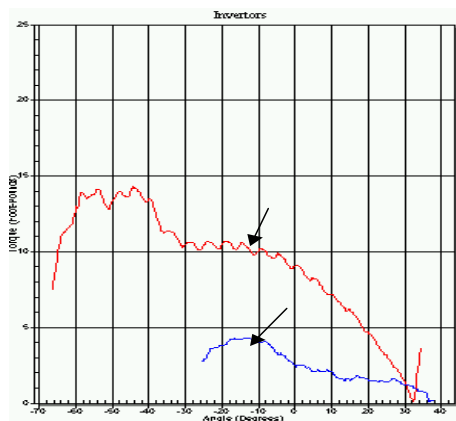


그림 5. 훈련 전 30°/sec에서 내반근의
 최대 우력 위-비손상측, 아래-손상측

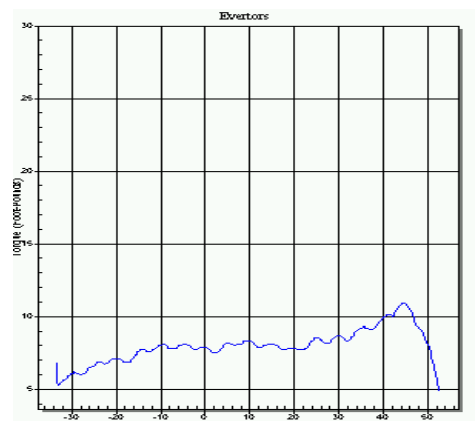


그림 8. 훈련 후 30°/sec에서 외반근의
 최대 우력 손상측

IV. 고찰

건강한 사람들의 경우 저항운동을 통해 근력을 향상시키는데 있어 구심성 저항운동과 등척성 운동 보다 원심성 저항운동이 더 효과적이다(Colliander와 Tesch, 1990). 즉 원심성 운동은 구심성 운동에 비해 근육에 강한 장력을 유발하여 근력강화와 근비대에 있어 효과가 크고(Hather 등, 1991; Higbie 등, 1996), 산소소모량이 적어 환자의 재활치료에 적절하며, 또한 대부분 재활의 후반기에 적용하는 운동이다(Davies, 1987). 원심성 수축은 구심성 수축에 비해 근수축에 소모되는 ATP가 1/13정도로 소모되는 반면, 수축으로 인해 발생하는 장력은 구심성 수축에 비해 70%나 강한 장력을 유발시키는 것으로 알려져 있다(Aratow 등, 1993). 원심성 운동이 구심성 운동 보다 더 높은 우력을 발생시키는 기전은 원심성 운동에서 결합팔의 분리(crossbridge detachment)를 위한 에너지가 필요하지 않아 근 수축시 결합팔이 더 큰 힘을 발휘하기 때문이며, 또한 건과 같은 결합조직의 탄성섬유들의 작용이 부가적으로 근력에 추가되기 때문이다(Higbie 등, 1996; Kellis와 Baltzopoulos, 1995).

Roos 등(2004)의 연구에서 아킬레스 건 병변이 있는 환자의 저축굴곡근에 원심성 운동을 시행한 결과 통증이 감소하고 발목기능의 호전을 보였다. 한동수(2003)는 12명의 발목관절의 만성 염좌인 운동선수들을 대상으로 6명은 구심성 훈련을 6명은 원심성 훈련을 시행한 결과 배측굴곡근의 경우 구심성 훈련에서 최대 우력의 증가를 그리고 원심성 훈련에서 현저한 증가를 보인 반면 저축굴곡근의 경우 구심성훈련에서 변화가 없었고 원심성 훈련에서 최대 우력이 현저하게 증가했음을 보고하였다. 본 연구에서 원심성 등속성 훈련 후 족근중축관절이 탈구된측의 내반근이 19 ft-lb, 외반근이 12 ft-lb로 훈련전 보다 많은 향상을 보였으며, 환자가 계단 오르내리기, 오래 걷기 등 기능적 동작 시 많이 호전되었음을 보고하였다.

구심성 등속운동에서 각속도의 증가에 따라 최대 우력이 현저하게 감소하는 것으로 보이니(김상범과 김진호, 1997) 원심성 운동의 경우 중등도의 각속도에서는 각속도가 증가함에 따라 최대 우력이 증가하다가 고속도에서는 다시 감소하거나(Kellis와 Baltzopoulos, 1995) 또는 차이를 보이지 않는다(김성규 등, 1997). Amaral De Noronha와 Borges(2004)는 원심성 운동 시 30°/sec

에 비해 120°/sec에서 최대 우력이 감소하였다고 보고하였다.

원심성 수축은 등척성 수축과 구심성 수축과 비교해 신경계에 의한 독특한 활성화 전략을 가지고 있다고 볼 수 있는데 이런 가설을 뒷받침하는 증거는 최대로 원심성수축시 근활성도의 감소, 최대하로 원심성 수축을 하는 동안 운동단위들의 흥분 순서의 변화, 원심성수축 동안 경피적 그리고 말초신경 자극에 의해 발생하는 활성화도 크기의 감소, 반복된 수축 동안 피로에 대한 저항이 더 크다는 점이다(Enoka, 1996). 원심성 수축과 관련된 신경 명령은 흥분 순서(recruitment order), 흥분율(discharge rate)을 변화시키며, 근육내의 운동단위의 역치와 협력근에 있는 운동단위의 활동에도 영향을 미친다(Schieppati 등, 1991). 내뇌 피질의 흥분성에 있어 미묘한 변화가 시냅스 입력(synaptic input)에 대한 운동신경의 반응을 변화시킬 수 있고, 따라서 운동단위 작용에 변화를 줄 수 있다. 예를 들어 원심성 수축에 대한 내림신경 신호는 운동신경의 흥분성을 변화시킬 수 있는 요소를 포함하고 있어 입력 신호는 운동신경 집단으로 가서 구심성 수축 때와는 다른 운동 단위들이 활성화되도록 한다. 아마도 원심성 수축시 작은 운동단위들의 흥분성이 감소되는 것 같다(Abbruzzese 등, 1994).

여러 연구에서 보고된 바에 의하면 피로할 때까지 원심성 수축을 했을 때 구심성 수축에 비해 근력이 덜 감소된다(Binder-Macleod와 Lee, 1996; Tesch 등, 1990). 예를 들어 Binder-Macleod와 Lee(1996)는 등속성 운동을 하는 동안 대퇴사두근의 피로도를 검사하였는데, 구심성 수축에서 처음 40회 수축하는 동안 처음에 비해 40% 감소된 힘을 보인 반면 원심성 수축 동안 힘이 직선적으로 감소하는 현상을 보였다. 따라서 최대의 원심성 수축을 하는 동안 근육은 지속적인 피로를 경험할 수 있다.

한편 원심성 수축은 구심적 수축에 비해 근육의 미세 손상을 일으키기 쉬운데(Newham 등, 1983), 원심성 수축으로 인해 발생하는 증상들은 지연된 근육통, 근력의 감소, 근건 부위의 경직, 그리고 근육의 부종이다(Newham 등, 1983). 원심성 수축으로 인한 미세 손상을 일으키는 원인으로서는 대사 또는 역학적 과로로 보고 있다. 근미세 손상의 대사적 원인으로서는 요구되는 ATP에 비해 불충분한 ATP가 생산되거나 젖산과 같은 유해물질의 형성 등을 들 수 있다. 후자의 역학적 과로

가설에 의하면 수축하는 동안 역학적 힘이 결합조직과 함께 근섬유를 초기에 파열시키고, 그 다음 근섬유의 부분적 변성으로 이어진다는 것이다(Armstrong, 1990). 이러한 원심성수축의 근 미세 손상을 예방하기 위해 미리 점차적인 원심성수축을 적용하여 적응시키는 방법이 요구된다(Ebbeling과 Clarkson, 1990). 그 외 원심성 수축을 포함하는 운동 후 나타나는 많은 구조적 이상들은 근초의 파열(sarcolemmal disruption), 운반 세관 체계(transverse tubule system)의 확장, 근원섬유 구성요소(myofibrillar components)의 비틀림, 근장내 그물(sarcoplasmic reticulum)의 분열, 세포질 막(plasma membrane)의 손상, 근섬유의 세포외 간질(extracellular myofiber matrix)의 변화, 미토콘드리아의 부족 등이다(Friden과 Lieber, 1992). 이들 변화들과 동반해서 근육통은 점차 증가해서 운동 후 24~48시간에 최고에 달하는데 이는 지연성 근육통으로 알려져 있다. 따라서 원심성 수축을 이용한 운동 프로그램은 근육의 구조적 적응과 움직임을 조절하기 위해 이용되는 신경 명령을 변화시키며, 염증 반응의 활성화를 가져올 수 있다(Enoka, 1996).

최대 원심성 부하가 포함된 훈련은 오직 구심성 훈련만 하는 것보다 구심성과 원심성 수축을 포함한 운동 프로그램에서 더 유익한 운동신경 활성 패턴을 만들고, 신경근 활동의 감소를 제어할 수 있다(Hortobagyi 등, 1996). 따라서 추후 연구에서 원심성 운동 효과를 증명하기 위해 다른 대상자 집단을 대상으로 하는 실험연구가 필요하며, 또한 원심성 수축과 구심성 수축이 포함된 발과 발목 재활프로그램에 대한 연구도 필요하다.

인용문헌

김성규, 이성재, 정성근. 편심성 등속운동과 동심성 등속운동의 특성에 관한 비교연구. 대한재활의학회지. 1997;21(3):579-588.
김상범, 김진호. 한국 정상 성인의 슬관절 신근 및 굴근에 대한 등속성 운동 평가. 대한재활의학회지. 1997;11(2):173-181.
한동수. 등속성 운동프로그램이 만성발목관절 염좌 상해를 입은 운동선수의 근기능 회복에 미치는 영향. 충남대학교, 석사학위논문, 2003.
Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, et al. Neural

inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: Effects of resistance training. *J Appl Physiol.* 2000;89(6):2249-2257.
Abbruzzese G, Morena M, Spadavecchia L, et al. Response of arm flexor muscles to magnetic and electrical brain stimulation during shortening and lengthening tasks in man. *J Physiol.* 1994;481(2):499-507.
Amaral De Noronha M, Borges NG Jr. Lateral ankle sprain: Isokinetic test reliability and comparison between invertors and evertors. *Clin. Biomech.* 2004;19(8):868-871.
Aratow M, Ballard RE, Crenshaw AG, et al. Intramuscular pressure and electromyography as indexes of force during isokinetic exercise. *J Appl Physiol.* 1993;74(6):2634-2640.
Armstrong RB. Initial events in exercise-induced muscular injury. *Med Sci Sports Exerc.* 1990;22:429-435.
Binder-Macleod SA, Lee SC. Catchlike property of human muscle during isovelocity movements. *J Appl Physiol.* 1996;80(6):2051-2059.
Calliaghan MJ, Jane MJ. Fracture dislocation of the tarsometatarsal (Lisfranc's) joint by a mountain biker. A case report. *Phys Ther Sports.* 2000;1:15-18.
Colliander EB, Tesch PA. Effects of eccentric and concentric muscle actions in resistance training. *Acta Physiol Scand.* 1990;140(1):31-39.
Davies GJ. A Compendium of Isokinetics in Clinical Usage and Rehabilitation Techniques. 3rd ed. Onalaska, Wisconsin, S & S Publishers, 1987:2-16.
Ebbeling CB, Clarkson PM. Muscle adaptation prior to recovery following eccentric exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1990;60(1):26-31.
Enoka RM. Eccentric contractions require unique activation strategies by the nervous system. *J Appl Physiol.* 1996;81(6):2339-2346.
Friden J, Lieber RL. Structural and mechanical basis of exercise-induced muscle injury. *Med Sci Sports Exerc.* 1992;24(5):521-530.
Hather BM, Tesch PA, Buchanan P, et al. Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance training. *Acta Physiol Scand.*

1991;143(2):177-185.

- Higbie EJ, Cureton KJ, Warren GL 3rd, et al. Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *J Appl Physiol.* 1996;81(5):2173-2181.
- Hislop HJ, Perrine JJ. The isokinetic concept of exercise. *Phys Ther.* 1967;47(2):114-117.
- Hortobagyi T, Hill JP, Houmard JA, et al. Adaptive responses to muscle lengthening and shortening in humans. *J Appl Physiol.* 1996;80(3):765-772.
- Kellis E, Baltzopoulos V. Isokinetic eccentric exercise. *Sports Med.* 1995;19(3):202-222.
- Kisner C, Colby LA. *Therapeutic Exercise: Foundations and Techniques*, 4th ed. Philadelphia, F. A. Davis Co., 2002:104-563.
- Newham DJ, Jones DA, Edwards RH. Large delayed plasma creatine kinase changes after stepping exercise. *Muscle Nerve.* 1983;6(5):380-385.
- Porter GK Jr, Kaminski TW, Hatzel B, et al. An examination of the stretch-shortening cycle of the dorsiflexors and evertors in uninjured and functionally unstable ankles. *J Athl Train.* 2002;37(4):494-500.
- Roos EM, Engstrom M, Lagerquist A, et al. Clinical improvement after 6 weeks of eccentric exercise in patients with mid-portion Achilles tendinopathy—a randomized trial with 1-year follow-up. *Scand J Med Sci Sports.* 2004;14(5):286-295.
- Schippati M, Valenza F, Rezzonico M. Motor unit recruitment in human biceps and brachioradialis muscles during lengthening contractions. *Suppl Eur J Neurosci.* 1991;4:303.
- Tesch PA, Dudley GA, Duvoisin MR, et al. Force and EMG signal patterns during repeated bouts of concentric or eccentric muscle actions. *Acta Physiol Scand.* 1990;138(3):263-271.

논문접수일 2005년 8월 16일

논문게재승인일 2005년 8월 18일