

원심성 저항운동으로 유발한 지연성근육통이 고유수용성감각, 근력 및 근피로도에 미치는 영향

안산1대학 물리치료과

최 규 환

한양대학교 생활스포츠학과

남 상 남

Effects of the Eccentric Exercise Inuced Delayed Muscle Soreness on Proprioception, Muscle Strength and Muscle Fatigue

Choi, Kyu-Hwan, P.T., Ph.D.

Dept. of Physical Therapy, Ansan 1 College.

Nam, Sang-Nam, Ph.D.

Dept. of Livelihood Sports, Hanyang University

<Abstract>

The purpose of this study was to find the effects of the eccentric exercise induced delayed muscle soreness on proprioception, muscle strength, muscle fatigue, and muscle pain of the elbow flexor muscles. Thirty one healthy male subjects were participated in this study. Before resisted eccentric exercise of the elbow flexors and immediately and at 1, 3, 5, and 7 days post-exercise, pain threshold, proprioception, tension tracking, initial median frequency, and fatigue index were measured. Pain pressure threshold and visual analog scale (VAS) was used to measure muscle pain. Proprioception of the elbow joint was measured by using 3 dimension motion analysis system. Maximum isometric contraction was measured by using digital tensiometer. Electromyography and power spectrum analysis was used to measure initial median frequency (IMF) and fatigue index (FI). Immediately post-exercise, a significant decrease pain threshold was observed that continued to 5 days post-exercise. VAS score was significantly increased at 1 and 3 days post-exercise compared to that of immediately post-exercise. Maximum isometric contraction, IMF, tension tracking ability of the exercised elbow joint were significantly decreased at 1, 3, and 5 days post-exercise compared to that of pre-exercise. FI was significantly increased at 1 and 3 days post-exercise compared that of pre-exercise. Proprioception sense of exercised elbow joint was significantly decreased immediately and at 1, 3, and 5 days post-exercise compared to that of pre-exercise. Proprioception sense of the contralateral elbow joint was significantly decreased immediately post-exercise compared to that of pre-exercise. However, proprioception sense that was measured in close chain kinematic position was not significantly difference between pre-exercise and post-exercise. These results could be useful to

determine the resume time for exercising and participating sports activities.

I. 서론

운동선수나 일반인들이 근력을 증진시키기 위하여 가장 많이 사용하는 운동이 저항 운동이며 운동선수들 가운데 근력증진 훈련은 부상을 감소시키기 위해 사용하고 있다(성재기, 1991). 그러나 갑작스런 운동, 숙달되지 않은 저항운동 또는 고강도 근력운동 후에 자주 발생하는 문제가 지연성근육통(delayed onset muscle soreness)이다(Kauranen 등, 2001). 특히 지연성 근육통은 구심성, 등척성 운동 보다는 원심성 저항 후에 자주 발생한다(Nosaka 와 Clarkson, 1996; Hyatt 와 Clarkson, 1998; Clarkson 와 Tremblay, 1988; Newham 등, 1987). 지연성 근육통은 운동을 종료한 후 12-24시간에 발생하기 시작하여 24-48시간에 최고의 통증이 있고, 10-14일간 지속되다가 서서히 회복된다(Gleeson 등, 1998; Drury, 2000; Francis, 1983; Vincent 와 Vincent, 1997). 지연성근육통은 운동을 하거나 또는 근육을 촉진할 때 압통(tenderness)과 경직(stiffness)을 동반한 통증이 발생하게 된다(Nosaka 등, 2002). 지연성 근육통은 근육과 결합조직(connective tissue)의 손상(damage)으로 염증반응이 발생하는 것과 관련이 있다(Armstrong, 1984; Smith, 1991, Howell, 1993; Pyne, 1994; Lieber 와 Friden, 2002). 근육이 손상을 받아 관절가동범위, 근전도 활성화도(electromyographic activity), 혈청 크레아틴 키나제(serum creatine kinase)에 변화뿐만 아니라 근육의 둘레도 변하여 근 수행(muscle performance) 능력이 감소된다(Vincent 와 Vincent, 1997; Hortobagyi 등, 1998; Ebbeling 과 Clarkson, 1989; Davies 와 White, 1981).

지연성근육통에 대한 발생기전에 대해서는 정확히 밝혀지지는 않았지만 관련된 이론으로는 대사 노폐물 축적이론(metabolic waste accumulation theory), 근경련이론(muscle spasm theory), 미세외상 이론(microtrauma theory)이 있다(Waltrous 등, 1981; DeVries, 1961; Friden 등, 1983; Abraham, 1977). 대사 노폐물 축적이론은 운동 후 젖산(lactic acid)이 축적되어 통증이 발생한다는 이론이며, 근경련이론은 운동 중에 허혈(ischemia) 또는 대사 노폐물에 의해서 근육에 통증이 발생하면 이로 인하여 근 경련이 발생하고, 근경련은 다시 근육의 혈액순환을 저하시켜 회귀 주기(feedback cycle)를 만들기 때문에 통증이 지속된다는 이론이다. 미세외상이론은 운동으로 인해 근섬유나 결합조직이 미세손상을 받은 후 염증이 발생하고 이러한 조직이 퇴화(degeneration)되면서 지연성근육통이 발생한다는 이론이다.

지연성 근육통에 대한 예방이나 치료방법으로는 운동전, 후 가벼운 준비운동(warm-up), 정리운동(cool down), 부드러운 신장운동(gentle stretching exercise), 냉치료(cryotherapy), 전기치료, 비타민 C, E 복용, 수지요법(송영래와 정한영, 2001)등이 보고되었지만 그 효과에 대해서는 아직도 의문시되고 있다(Sayers 등, 2000; Smith, 1994; DeVries, 1961; McArdle 등, 2000; Eston 과 Peters, 1999; Tiidus, 1997; Weber 등, 1994). 또한 심한 운동 후 근육이 손상을 받고 통증이 있는 상태에서 신체적인 활동이나 운동 훈련을 실시해야 하는지 근육이 치유될 때까지 고정이나 필요하지에 대해서는 논란이 되고 있다.

지연성근육통 발생에 대한 명확한 기전이 아직 밝혀지지 않았고, 지연성 근육통이 발생한 후 통증이 없어질 때까지 쉬어야 하는지, 운동을 실시하여야 하는지, 또한 운동이 근육에 손상을 더 초래하는지에 대한 의문은 지속되고 있다(Sayers 등, 2000). 지연성 근육통 발생후 나타나는 현상으로는 통증, 근력 저하, 근피로, 감각저하 등이 발생한다. 이러한 증상을 객관

적으로 측정하기 위한 노력이 지속되어 왔고 특히 근육의 통증을 평가하기 위해서는 시각상사척도(visual analogue scale: VAS) (Scott 와 Huskinsson, 1976)나 압통역치(Newham 등, 1983)를 측정하는 방법을 사용하였다. 또한 지연성근육통은 근육의 손상과 관련이 있기 때문에 혈청내의 크레아틴 키나제의 양을 측정하는 연구도 진행되고 있다(Nosaka 와 Clarkson, 1996; Lund 등, 1998). 지연성근육통 발생 후 근력의 변화나 회복에 대한 연구를 위해서 근력을 측정하거나 근전도 파라미터들을 활용하고 있다(Nosaka 와 Clarkson, 1996; Hortobagyi 등, 1998).

최근에는 원심성 수축 운동으로 지연성근육통을 유발한 후 고유수용성 감각의 변화나 운동 수행능력에 변화가 있는지 알아보기 위하여 반응시간(reaction time), 운동속도(speed of movement), 협응운동(coordination) 능력을 측정하거나 장력 추적(tension tracking) 방법들이 사용되고 있다(Kauranen 등, 2001; Weerakkody 등, 2003).

운동선수들에서 과도한 훈련으로 인해 발생하는 지연성 근육통은 경기력 향상에 영향을 미치게 된다. 지연성 근육통이 운동수행능력에 영향을 주는 근육, 고유수용성감각(proprioception), 근피로에 어떤 영향을 미치는지 알아보는 것은 운동선수나 지도자들에게도 매우 중요한 요소이다.

II. 연구방법

1. 연구 대상

물리치료과에 재학하고 있는 남자 31명을 대상으로 하였고, 선정기준은 과거에 신경계, 심혈관계, 근골격계 손상 및 질환이 없었고, 정기적으로 근육운동을 실시하지 않는 사람 중 자발적으로 연구에 참여하겠다고 동의한 사람을 대상으로 하였다. 연구 대상자의 평균 연령은 22.5세이었고, 평균 신장은 173.2 cm, 평균 몸무게는 69.4 kg이었다.

<표-1> 대상자의 일반적 특성

특성	평균	표준편차	범위
연령(세)	22.5	2.4	20-26
신장(cm)	173.2	6.4	168-186
몸무게(kg)	69.4	5.6	61-80

2. 실험 방법

1) 실험절차

지연성 근육통을 유발하기 3일전에 상완이두근(biceps brachii)의 최대 등척성 근력, 근피로, 고유수용성감각, 압통역치를 측정하였다. 3일 후 원심성 저항운동을 이용하여 지연성 근육통을 유발하였고, 지연성근육통을 유발한 다음 1일, 3일, 5일, 7일 연속으로 측정하였다.

2) 운동 방법

지연성근육통은 일상생활에 지장이 없도록 비우세손에 유발 하였다. 대상자 모두 오른쪽이 우세손이었기 때문에 왼쪽에 유발 시켰다. 최대 등척성 근력을 측정한 후 최대등척성근력의 70% 무게의 덤벨을 이용하여 실시하였다. 대상자는 치료대 앞에 견관절을 45도 굴곡하고 팔꿈치를 치료대 위 패드에 대고 70%의 덤벨을 잡고 90도에서 1초간 유지한 다음 3초간 서서히 내리게 한다. 팔꿈치가 완전히 퍼진 후 실험자는 대상자의 팔을 다시 수동적으로 90도 굴곡자세로 위치시킨다. 이와 같은 방법으로 10회 씩 7회 실시하였다. 각 회마다 1분씩 휴식을 실시하였다(Behm 등, 2001).

3) 압통역치 측정과 VAS(visual analog scale)

지연성 근육통 전 후에 압통역치를 비교하기 위하여 디지털 압통역치측정기(Digital Pain Evaluating System, ZEVEX Co, U.S.A)를 사용하였다. 측정 위치는 상완이두근의 근육(belly) 중간에 표시를 한 후 동일한 지점에서 측정하였다. 압통역치 측정계를 측정 지점에 수직으로 대고, 일정한 속도로 압력을 가하였다. 대상자는 통증이 느껴질 때 “아”라는 소리를 하게하여 그 순간의 압력을 압통역치로 측정하였다. 측정 단위는 lb 이다. 또한 지연성 통증을 유발한 후 주관적으로 느끼는 통증의 정도를 알아 보기 위하여 1mm 간격인 10cm 척도를 이용한 시각상사척도(visual analog scale: VAS)를 사용하였다.

4) 등척성 최대근력 측정

상완이두근의 등척성 최대 근력을 측정하기 위해서 디지털 장력계(digital tensiometer)인 TSD121C(BIOPAC System Inc, CA, USA)를 이용하여 kg 단위로 측정하였다. TSD121C를 통하여 측정된 아날로그 신호는 MP100 시스템(BIOPAC System Inc, CA, USA)으로 보내져 디지털 신호로 변환한 후 Acqknowledge 소프트웨어(BIOPAC System Inc, CA, USA)로 보내져 신호처리 후에 자료를 저장하게 된다. 측정 하기 전에 보정(calibration)을 실시하였다. 등척성 최대근력은 앉은 자세에서 손목에 장력 측정 커프를 묶고, 주관절을 90도 굴곡한 자세에서 최대로 힘을 주어 장력계를 당기게 하여 측정하였다.

5) 표면 근전도 신호 수집 및 주파수 분석

표면 근전도 신호는 최대 등척성 근력 측정할 때와 최대근력의 80% 정도로 등척성 운동을 실시하는 동안에 수집하였다. 피부저항을 최소화하기 위하여 가는 사포로 피부의 각질을 제거한 후 알콜로 청결하게 하였다. 전극에 전해질 젤(electrolyte gel)을 바른 후 상완이두근 근육에 근육 주행방향으로 부착하였다. 근전도 전극은 Bagnoli DE3-1 EMG (DelSys Inc, Boston, MA, USA)을 사용하였다. 접지전극(ground electrode)은 반대쪽 손목에 부착하였다.

피검사자는 컴퓨터 스크린에 나오는 장력의 정도를 최대 장력에 80%로 최대한 유지하게 하며, 장력이 떨어지거나 통증이 발생할 때까지 지속적으로 수축하게 하였다. 수집된 근전도 신호는 MP100 시스템으로 전송되어 디지털 신호로 전환된 후, 개인용 PC에서 Acqknowledge 소프트웨어를 이용하여 잡음을 제거하기 위해 필터링과 신호처리를 하였다. 근전도 신호의 표본추출율(sampling rate)은 1024Hz이었고, 20-500Hz의 대역통과 필터(band pass filter)와 60 Hz notch 필터를 사용하였다. 수집된 근전도 신호는 Labview 프로그램에

서 FFT(fast Fourier transformation)를 이용하여 주파수 분석을 실시한 후 시간에 대한 중앙주파수(median frequency)를 얻어 중앙 주파수에 대한 회귀직선 기울기를 이용하여 피로 지수를 구하였다.

6) 삼차원 동작 분석기를 이용한 고유수용성 감각 측정

지연성근육통 유발 전과 후에 고유수용성감각에 어떤 변화가 있는지 알아보기 위하여 관절각도 오차(angle error)를 삼차원동작분석기 CMS70P (Zebris Medizintechnik, GmbH, Isny, Germany)를 이용하여 측정하였다. 이 장비는 개인용 컴퓨터, 초음파 신호를 보내는 직경 1 cm의 능동표식자(active marker), 3중 능동 표식자(triple marker), BASIC Unit CMS70P, cable adaptor, 초음파 신호를 인식하는 측정감지기(measuring sensor MA70P)로 구성되어 있다. 각 표식자에서 나오는 초음파 신호는 30 Hz의 표본수집율로 수집되어, 윈도우 WinData 2.19 프로그램(Zebris Medizintechnik, GmbH, Isny Germany)을 이용하여 각 표식자의 삼차원상의 좌표를 각도로 전환 측정하였다. 팔굽관절 고유수용성감각의 측정자세는 열린고리 자세와 닫힌고리 자세를 구분하여 열린고리 자세 2가지 방법과 닫힌고리 자세 1가지 방법으로 위치감각을 측정하였다. 고유수용성감각 측정 시 피부를 통한 표재입력(cutaneous input)을 최소화하기 위하여 팔굽관절 위까지 오는 짧은 티셔츠를 입게 한 후 측정하였다. 관절위치감각 검사는 오차 각도로 측정하였다.

7) 장력 추적(tension tracking) 검사

지연성근육통 유발 후 장력 추적능력에 변화가 있는지 알아보기 위하여 디지털 장력계(digital tensiometer)인 TSD121C(BIOPAC System Inc, CA, USA)를 이용하였다. 앉은 자세에서 주관절을 90도로 유지한 상태에서 손목에 커프를 걸고 주관절 굴곡근을 수축하게 하였다. 대상자에게 컴퓨터 모니터를 주시하면서 최대 근수축의 10, 20, 30%, 40%의 힘으로 주관절 굴곡근을 수축하여 장력을 인지하게 하였다. 대상자가 장력을 인지한 후에 완전히 근육을 이완시키고 5초간 휴식 후에 다시 주관절 굴곡근을 수축을 하여 인지하고 있던 장력만큼 재현하게 하였다. 이 때 컴퓨터 모니터를 보지 않고 실시하도록 시각을 차단하였다. 대상자가 장력을 재현하였다고 보고할 때 장력을 기록하고, 처음 인지했던 장력과의 오차 정도를 측정하였다. 3회 서로 다른 장력으로 실시하여 반복에 따른 학습 효과를 최소화 하였다.

3. 분석방법

지연성근육통 발생 전과 1, 3, 5, 7일간에 압통역치, 고유수용성감각, 등척성 최대 근력, 근피로에 차이가 있는지 알아보기 위하여 반복측정된 일요인분산분석(one-way repeated ANOVA)을 실시하였다. 자료의 통계를 위하여 윈도우용 SPSS 10.0(Statistical Package for the Social Science) 프로그램을 사용하였다.

III. 연구 결과

1. 압통 역치

지연성 근육통 유발 전 과 유발 후 시간 경과에 따른 압통역치를 측정한 결과 지연성 근

육통 유발 전 상완이두근에서 측정된 압통역치는 26.67 lb 이었으며, 유발 직후는 19.10 lb, 1일 후 14.05 lb로 감소하였고, 3일 후에는 20.08lb, 5일 후 23.08 lb, 7일 후 24.88 lb이었다. 측정 시점간에 압통역치에 차이가 있는지 알아 본 결과 통계학적으로 유의한 차이가 있었고 ($p<.01$), 지연성 근육통 유발 전과 각각의 측정 시점간에 압통역치에 차이가 있는지 알아보기 위하여 대비 검정을 실시한 결과 모든 측정 시점간에서 압통역치는 유의한 차이가 있었다.

<표-2> 압통역치 비교

단위: lb

측정시기	평균	표준편차	F 값	p-값
유발전	26.67	5.55	71.91	0.000
유발직후	19.10	5.93		
1일	14.05	4.10		
3일	20.08	5.32		
5일	23.08	3.97		
7일	24.88	5.24		

2. 시각상사척도(visual analog scale)에 의한 주관적 통증 평가

1mm 간격의 10cm 줄자에 주관적으로 느끼는 통증의 정도를 표시하게 하였다. 0점은 통증이 없는 것을 의미하며 10점은 참을 수 없을 정도의 매우심한 통증을 의미하는 점수이다. VAS 측정은 지연성 근육통 유발 운동 직후와 유발 후 1, 3, 5, 7일에 측정하였다. 측정결과 유발운동 직후에는 2.41점, 1일 후에는 4.20점, 3일 후에는 2.86점, 5일 후에는 0.55점, 7일째에는 0점이었다. 시간 경과에 따른 주관적 통증 정도에 차이가 있는지 알아본 결과 통계학적으로 유의한 차이가 있었고($p<.01$), 지연성 근육통 유발 직후와 각각의 측정 시점간에 VAS 값에 차이가 있는지 알아보기 위하여 대비 검정을 실시한 결과 유발직후와 1일, 5일, 7일 후에는 VAS값에 유의한 차이가 있었지만, 3일 후와는 유의한 차이가 없었다.

<표-3> 주관적 통증 비교

단위: 점

측정시기	평균	표준편차	F-값	p-값
유발직후	2.41	1.07	79.00	0.000
1일	4.20	1.64		
3일	2.86	1.64		
5일	0.55	0.81		
7일	0.00	0.00		

3. 동측(ipsilateral)에서 열린운동고리(open kinematic chain) 자세에서 측정된 고유수용성감각

3차원 동작 분석기를 이용하여 지연성근육통을 유발한 주관절에서 열린운동고리(open kinematic chain) 자세로 고유수용성 감각 능력을 측정하였다. 고유수용성 감각은 자세 재현 오차각도(error angle)로 측정하였다. 지연성 근육통 유발전의 자세 재현 오차각도는 1.62도 이었고, 유발직후 2.73도, 1일 후 3.63도, 3일 후 2.86도, 5일 후 2.35도, 7일 후 1.58도 이었다. 지연성 근육통 유발 전과 각각의 측정 시점간에 주관절 고유수용성감각에 차이가 있는지 알아보기 위하여 대비 검정을 실시한 결과 유발전과 지연성 근육통 유발 7일 후를 제외한 모든 시점에서 유의한 차이가 있었다.

<표-4> 열린운동고리(open kinematic chain) 자세에서 측정한 동측의 고유수용성 감각 비교

단위: 도

측정시기	평균	표준편차	F 값	p-값
유발전	1.62	0.54	20.30	0.000
유발직후	2.73	0.93		
1일	3.63	1.24		
3일	2.86	1.45		
5일	2.35	0.77		
7일	1.58	0.57		

4. 반대측(contralateral)에서 열린운동고리(open kinematic chain) 자세에서 측정한 고유수용성 감각

3차원 동작 분석기를 이용하여 지연성근육통을 유발한 주관절의 반대쪽 주관절에서 열린운동고리(open kinematic chain) 자세로 고유수용성 감각 능력을 측정하였다. 고유수용성 감각은 지연성 통증 유발 주관절의 자세를 일정한 각도에 유지한 후 눈을 감은 상태에서 반대쪽 주관절로 그 자세를 재현했을 때 발생하는 오차각도(error angle)로 측정하였다. 지연성 근육통 유발전의 자세 재현 오차각도는 2.81도 이었고, 유발직후 4.80도, 1일 후 3.43도, 3일 후 2.56도, 5일 후 2.89도, 7일 후 2.80도 이었다. 지연성 근육통 유발 전과 각각의 측정 시점간에 주관절 고유수용성감각에 차이가 있는지 알아보기 위하여 대비 검정을 실시한 결과 유발전과 지연성 근육통 유발직후 간에는 유의한 차이가 있었으나 다른 시점간에는 유의한 차이가 없었다.

<표-5> 열린운동고리(open kinematic chain) 자세에서 측정한 반대측 고유수용성 감각 비교

단위: 도

측정시기	평균	표준편차	F 값	p-값
유발전	2.81	1.26	20.30	0.000
유발직후	4.80	1.79		
1일	3.43	1.21		
3일	2.56	0.96		

5일	2.89	0.59
7일	2.80	0.76

5. 동측(ipsilateral)에서 단힌운동고리(open kinematic chain) 자세에서 측정된 고유수용성감각

3차원 동작 분석기를 이용하여 지연성통증을 유발한 주관절에서 단힌운동고리(open kinematic chain) 자세로 고유수용성 감각 능력을 측정하였다. 고유수용성 감각은 주관절에 체중을 지지한 상태에서 자세 재현 오차각도(error angle)로 측정하였다. 지연성 근육통 유발전의 자세 재현 오차각도는 2.00도 이었고, 유발직후 2.11도, 1일 후 2.11도, 3일 후 2.02도, 5일 후 2.10도, 7일 후 1.99도 이었다. 지연성 근육통 유발 전과 각각의 측정 시점간에 주관절 고유수용성감각에 차이가 있는지 알아보기 위하여 대비 검정을 실시한 결과 유발전과 모든 시점에서 오차 각도는 유의한 차이가 없었다.

<표-6> 단힌운동고리(open kinematic chain) 자세에서 측정된 고유수용성 감각비교

단위: 도

측정시기	평균	표준편차	F 값	p-값
유발전	2.00	0.67	0.115	0.938
유발직후	2.11	1.05		
1일	2.11	0.70		
3일	2.02	0.86		
5일	2.10	0.84		
7일	1.99	0.58		

6. 장력 추정(tension tracking) 능력 비교

디지털 장력계를 이용하여 주관절 굴곡근의 장력 추정능력을 측정 하였다. 장력 추정은 처음 최대 장력의 50% 정도로 근 수축을 하면서 근 수축의 정도를 기억하게 하고 5초 간 휴식 후 다시 기억했던 장력을 발생하게 하였을 때 발생하는 장력 오차로 측정하였다. 지연성 근육통 유발전의 장력 오차는 0.63 kg 이었고, 유발직후 1.10 kg, 1일 후 1.23 kg, 3일 후 0.99 kg, 5일 후 0.92 kg, 7일 후 0.64kg 이었다. 지연성 근육통 유발 전과 각각의 측정 시점간에 주관절 고유수용성감각에 차이가 있는지 알아보기 위하여 대비 검정을 실시한 결과 유발전과 유발 7일 후를 제외한 모든 시점에서 장력 오차는 유의한 차이가 있었다.

<표-7> 장력 추정(tension tracking) 능력 비교

단위: kg

측정시기	평균	표준편차	F 값	p-값
유발전	0.63	0.21	11.51	0.000
유발직후	1.10	0.59		
1일	1.23	0.59		
3일	0.99	0.37		

5일	0.92	0.26
7일	0.64	0.34

7. 최대 등척성 수축(maximum isometric contraction) 능력

최대 등척성 수축 능력을 디지털 장력계를 이용하여 측정하였다. 지연성 근육통 유발 전에 측정한 최대 장력은 33.11 kg, 지연성 근육통 유발 1일 후에는 21.50 kg, 3일후 25.33 kg, 5일 후 29.44 kg, 7일 후 33.29 kg이었다. 지연성 근육통 유발 전과 각각의 측정 시점간에 최대 장력에 차이가 있는지 알아보기 위하여 대비 검정을 실시한 결과 유발전과 유발 7일 후를 제외한 모든 시점에서 최대 장력은 유의한 차이가 있었다.

<표-8> 최대 등척성 수축(maximum isometric contraction) 능력 비교

단위: kg

측정시기	평균	표준편차	F 값	p-값
유발전	33.11	3.97	115.09	0.000
1일	21.50	0.70		
3일	25.33	0.86		
5일	29.44	4.73		
7일	33.29	3.84		

8. 초기중앙 주파수(intial median frequency) 비교

최대 등척성 근 수축 시 수집한 근전도 신호를 FFT를 통하여 주파수 분석을 실시하여 초기중앙주파수 값을 얻었다. 지연성 근육통 유발전 초기중앙 주파수 값은 128.39 Hz이었고, 1일 후에는 115.87 Hz, 3일후 121.15 Hz, 5일후 119.43 Hz, 7일 후 121.85 Hz 이었다. 지연성 근육통 유발 전과 각각의 측정 시점간에 초기중앙 주파수에 차이가 있는지 알아보기 위하여 대비 검정을 실시한 결과 유발전과 유발 7일 후를 제외한 모든 시점에서 초기중앙주파수에는 유의한 차이가 있었다.

<표-9> 초기중앙 주파수(intial median frequency) 비교

단위: Hz

측정시기	평균	표준편차	F 값	p-값
유발전	128.39	18.09	5.34	0.001
1일	115.87	16.53		
3일	121.15	13.57		
5일	119.43	14.18		
7일	121.85	14.41		

9. 피로지수(fatigue index) 비교

수집된 근전도 신호를 FFT 처리하여 산출한 초기중앙주파수와 마지막 중앙주파수를 이용하여 피로지수를 구하였다. 지연성 근육통 유발전 상완이두근의 피로지수는 12.70% 이었고, 1일 후에는 23.51%, 3일후 17.87%, 5일후 12.88%, 7일 후 11.37% 이었다. 지연성 근육

통 유발 전과 각각의 측정 시점간에 피로지수에 차이가 있는지 알아보기 위하여 대비 검정을 실시한 결과 유발전과 유발 1일 3일 후 피로지수에는 유의한 차이가 있었으나 5일, 7일에는 유의한 차이가 없었다.

<표-10> 피로지수(fatigue index) 비교

단위: %

측정시기	평균	표준편차	F 값	p-값
유발전	12.70	5.26	36.91	0.000
1일	23.51	10.38		
3일	17.87	7.23		
5일	12.88	4.54		
7일	11.37	3.81		

IV. 고 찰

본 연구는 원심성 운동을 통해 지연성근육통을 유발한 후, 근력, 고유수용성감각, 근피로, 초기중앙주파수, 장력추적, 통증의 변화를 알아보았다. 운동으로 유발된 지연성근육통에 대한 연구에서 Sayers 등(2000)은 50회 최대 원심성운동으로 주관절 굴곡근에 지연성근육통을 유발한 후 근육통은 3일후에 최대가 된다고 보고하였다. Nosaka 등(2002)은 주관절 굴곡근에 12회, 24회 최대 원심성수축을 시킨 1일 후에 근육통이 발생하였고, 2-3일 후에 최고로 통증이 발생하였다고 보고하였다. 12회 군보다 24회 실시한 군에서 운동 후 3, 4일에 더 심한 통증을 호소하였다고 보고하였다. Kauranen 등(2001)은 상지에 1시간동안 일반적인 근력 강화 운동으로 지연성근육통을 유발하고 48시간 후에 편안한 상태에서 측정된 시각상사척도는 100 mm 중 13mm(범위 1-40mm)이었고, 등척성으로 수축할 때는 32mm이었다고 보고하였다. Sayers 등(2000)은 주관절 굴곡근으로 50회 최대 원심성수축을 실시하여 지연성근육통을 유발한 다음 측정된 근육통의 정도는 8일 후에 최초의 수준으로 회복되었다고 보고하였다. Behm 등(2001)은 10회 반복 7셀의 운동을 실시한 후 통증의 정도를 0-7점 척도로 조사한 결과 운동 후 1일은 2.6점, 3일은 2.4점으로 유의하게 증가하였으나, 운동 후 5, 7일에는 운동전의 통증 수준과 차이가 없었다고 보고하였다.

본 연구에서는 두가지 방법으로 통증을 측정하였다. 디지털 압통 역치 측정기를 이용하여 역치를 측정된 결과 지연성근육통 유발 전의 압통 역치는 26.67 lb이었으나 유발 직후에는 19.10 lb (24.8%), 1일 후에는 14.05 lb(47.3%) 까지 낮아 졌다가 3일에는 20.08 lb(24.7%), 5일에는 23.08 lb(13.5%), 7일에는 24.88 lb(6.7%)로 서서히 회복되었으나 7일까지 압통점은 지연성근육통 유발 전으로 완전히 회복되지 않았다. 10cm 시각상사척도를 이용하여 측정된 결과 운동 직후에는 24.1cm, 1일 후에는 4.20 cm, 3일에는 2.86 cm, 5일에는 0.55 cm, 7일에는 통증을 전혀 느끼지 않았다. 이러한 결과로 볼 때 본 연구에서도 선행 연구에서와 유사한 결과를 얻었으나 주관적인 통증은 5일후부터는 없어지지만 압통 역치는 7일 안에 완전히 회복되지 않았다.

Sayers 등(1995)은 50회 최대 원심성운동으로 주관절 굴곡근에 지연성근육통을 유발한 후 관절각도 재현 검사를 실시한 결과 관절 각도 오차가 2.09 rad로 유의하게 증가하고 장력추적능력도 손상을 받는다고 보고하였다. Barrack 등(1984)은 발레선수와 일반학생의 고관절 고유수용성 감각을 비교하기 위하여 오차각도를 측정된 결과, 발레선수군의 오차각도는 4.8도이었고, 일반 대학생에서는 2.6도이었다고 보고하였다. 권오윤과 박동식(1998)은 대학생을 대상으로 슬관절을 등속성 운동으로 근피로를 유발한 후 슬관절 오차 각도를 비교한 결과 피로 전에는 2.75도, 피로 직후에는 5.94도로 유의하게 증가한다고 보고하였다.

지연성근육통이 고유수용성 감각에 영향을 미치는지 알아보기 위하여 본 실험에서는 세 가지 방법으로 실시하였다. 지연성근육통이 있는 왼쪽 주관절에서 오차각도를 측정된 결과 지연성 근육통 유발전의 자세 재현 오차각도는 1.62도 이었고, 유발직후 2.73도, 1일 후 3.63도, 3일 후 2.86도, 5일 후 2.35도, 7일 후 1.58도 이었다. 지연성 근육통 유발 7일 후에 정상으로 되었다. 또 다른 방법은 반대쪽 주관절로 지연성 근육통이 있는 왼쪽 주관절의 자세를 재현했을 때 발생하는 오차각도를 측정하였다. 지연성 근육통 유발전의 자세 재현 오차각도는 2.81도 이었고, 유발직후 4.80도, 1일 후 3.43도, 3일 후 2.56도, 5일 후 2.89도, 7일 후 2.80도 이었다. 지연성근육통 유발전과 지연성 근육통 유발 직후간에는 유의한 차이가 있었으나 다른 시점간에는 유의한 차이가 없었다. 체중을 지지하고 측정된 경우에는 유의한 차이가 없었다. 이와 같이 측정 방법에 따라 차이가 있었던 것은 측정 방법에 따라 작용하는 감각입력이 다르기 때문으로 생각된다. 체중지지 상태에서 측정했을 때 오차각도가 적고 차이가 없는 것은 손바닥을 통하여 입력되는 압박감각(pressure sense)과 관절이 압박을 받으면 관절수용기(joint receptor)가 부가적으로 작용하여 근육에 있는 근방추의 기능을 대신하여 차이가 없었던 것으로 사료된다.

Weerakkody 등(2003)은 주관절 굴곡근에 원심성 운동을 실시하고 등척성 장력 복재검사를 실시한 결과 장력의 오차수준은 96시간 후에 회복된다고 보고하였다. Carson 등(2002)은 50회 반복 원심성 근수축 운동 후 등척성 근력 재현 검사를 실시한 결과 장력 추적 능력이 2일 후까지 손상을 받는다고 보고하였다. 본 연구의 결과에서는 지연성 근육통 유발전의 장력 오차는 0.63 kg 이었고, 유발직후 1.10 kg, 1일 후 1.23 kg, 3일 후 0.99 kg, 5일 후 0.92 kg, 7일 후 0.64kg 이었다. 유발 7일 후를 제외한 모든 시점에서 장력 오차는 유의한 차이가 있어 Weerakkody 등(2003)의 연구와 같은 결과를 얻었다.

Behm 등(2001)은 1회 반복최대무게(1 repetition maximum)의 70%로 10회 반복 7 셀의 운동을 실시하고 1일 후에 측정된 근력은 운동 전에 비해 원심성 근력은 9.3%, 등척성 근력은 19.2% 감소하였다고 보고하였다. Linnamo 등(2000)은 100회 최대 원심성 근수축 운동을 실시한 후 원심성근수축력을 측정된 결과 운동전보다 운동 직후 53.3%, 2일 후, 33.7%, 7일 후 23.8% 근력이 감소하였다고 보고하였다. Carson 등(2002)은 50회 반복 원심성 근수축 운동 후 직후 31%의 최대등척성 근수축력이 감소하였고, 24시간 후에는 25%, 28시간 후에는 13%가 감소한다고 보고하였다. Nosaka와 Clarkson(1996)은 16명의 남자를 대상으로 강한 원심성수축 운동을 실시한 다음 10일 후에 측정된 최대등척성 근력은 유발전의 근력에 76%까지 회복되었다고 보고하였다. Sayers 등(2000)은 주관절 굴곡근으로 50회 최대 원심성수축을 실시하여 지연성근육통을 유발한 다음 5일 후에 측정된 최대등척성 수축력은 지연성근육통 유발 후 움직이지 않은 군에서는 68%, 가벼운 운동을 실시한 군에서는 76%의 근력을 회복했다고 보고하였다. 그러나 12일 후에도 원래의 근력을 회복하지 못했다고 보고하였다. Kauranen 등(2001)은 일반적인 근력강화 운동으로 지연성근육통을 유발한 후 48시간

후에 근력을 측정된 결과 주관절 굴곡근의 근력이 6%감소하였다고 보고하였다. Nosaka 등(2002)은 주관절 굴곡근에 12회, 24회 최대 원심성수축을 시킨 직후 최대등척성수축력(maximal isometric force)이 운동전보다 12회 실시한 군에서는 58.1%, 24회 실시한 군에서는 47.1%로 감소하였다고 보고하였다. 또한 운동 후 4일에서는 12회 실시한 군에서는 73.1%, 24회 실시한 군에서는 52.5%로 회복이 되었다고 보고하였다. Balnave와 Thompson(1993)은 아래로 경사진 트레이드밀에서 보행 후 대퇴사두근의 근력이 운동 전에 측정된 최대근수축의 83%로 감소하였다고 보고하였다. Davies와 White(1981)는 원심성 일(eccentric work)을 실시한 후 연축반응(twitch response)과 강축력(tetanic force)이 유의하게 감소하였다고 보고하였다. Byrne와 Eston(2002)은 등속성운동 기구인 Kin-Com을 이용하여 대퇴사두근에 원심성 저항운동으로 지연성근육통을 유발한 후 1시간 후에 근력이 35%, 1일 후에 28%, 2일 후 20%, 3일 후 15%, 7일 후 5%로 감소하였다고 보고하였다. 본 연구에서 원심성운동으로 지연성근육통이 발생한 경우 근력 회복을 알아보기 위하여 최대등척성 근력을 측정된 결과 지연성 근육통 유발 전에 측정된 최대 장력은 33.11 kg, 지연성 근육통 유발 1일 후에는 21.50 kg(35.1%), 3일 후 25.33 kg(23.5%), 5일 후 29.44 kg(11.9%), 7일 후 33.29 kg(0.5%)로 감소하였다. 운동의 방법 및 강도에 따라 근력 약화는 차이가 있기 때문에 연구 결과를 서로 직접적으로 비교할 수는 없지만 본 연구 결과에서는 근력 7일이 되어야 회복이 가능한 것으로 판단된다.

원심성 운동은 근섬유에 손상을 초래하고, 특히 속근인 tpe II 섬유가 더 많은 손상을 받는다. 또한 손상받은 근육에서 올라가는 감각입력의 변화로 신경회로에 영향을 미친다. 그로 인하여 고 대역 중앙주파수가 감소될 수 있다(Byrne 등, 2002). Linnamo 등(2000)은 상완이두근에 최대 원심성 근수축을 실시한 후 1주일기간 동안 회복과정을 연구하였다. 그들은 근전도 신호를 주파수 분석하여 중앙주파수(median frequency)를 비교한 결과 중앙주파수가 2일 내로 회복되지만, 원심성 근수축 운동 7일 후에 다시 감소한다고 보고하였다.

Komi와 Viitasalo(1977) 정상 성인 남자를 대상으로 대퇴사두근에 40회 최대 원심성수축(maximal eccentric contraction)과 구심성 근수축 운동을 실시하고 2일 후 근전도를 이용한 피로를 측정된 결과 구심성 운동을 실시한 군에서는 2일안에 정상적인 상태로 회복되었지만, 원심성 운동을 한 군에서는 회복이 지연되었다고 보고하였다. 본연구의 결과 지연성 근육통 유발전 초기중앙 주파수 값은 128.39 Hz이었고, 1일 후에는 115.87 Hz, 3일 후 121.15 Hz, 5일 후 119.43 Hz, 7일 후 121.85 Hz 이었다. 유발 7일 후를 제외한 모든 시점에서 초기 중앙주파수에는 유의한 차이가 있었다.

Byrne와 Eston(2002)은 등속성운동 기구인 Kin-Com을 이용하여 대퇴사두근에 원심성 저항운동으로 지연성근육통을 유발한 후 피로율(rate of fatigue)은 감소하였지만 중추성 피로(central fatigue)가 발생한다고 하였다. Behm 등(2001)은 운동으로 근손상을 유발하고 1일 후에 최대등척성 근수축의 50%를 유지하는 시간이 23% 감소하였다고 보고하였다. 본 연구에서는 지연성 근육통 유발전 상완이두근의 피로지수는 12.70% 이었고, 1일 후에는 23.51%, 3일 후 17.87%, 5일 후 12.88%, 7일 후 11.37% 이었다. 지연성 근육통 유발 전 유발 1일 3일 후 피로지수에는 유의한 차이가 있었으나 5일, 7일에는 유의한 차이가 없었다.

V. 결 론

본 연구는 원심성 저항운동으로 상완이두근에 지연성근육통을 유발한 후 유발직후, 1일,

3일, 5일, 7일 후에 통증, 고유수용감각, 근력, 장력추적능력, 초기중앙주파수, 근 피로도의 시간경과에 따른 변화를 알아보기 위하여 31명의 건강한 남자 대학생을 대상으로 압통역치와 시각상사척도, 디지털 장력계, 근전도, 삼차원동작 분석기를 이용하여 측정된 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 압통역치는 지연성근육통 유발전과 각각의 측정시점 간에 유의한 차이가 있었다.
2. 시각상사척도에 의한 주관적 통증평가에서 지연성근육통 유발직후와 1일, 5일, 7일 후에 시각상사척도 값에 유의한 차이가 있었지만, 3일 후와는 유의한 차이가 없었다.
3. 동측 열린운동고리 자세에서 측정된 고유수용성 감각은 지연성근육통 유발전과 유발 7일후를 제외한 모든 시점에서 유의한 차이가 있었으나, 반대측 열린운동고리 자세에서 측정된 고유수용성 감각은 운동 직후에만 유의하게 감소하였다. 동측 닫힌운동고리 자세에서 측정된 고유수용성 감각에는 유발전과 유발후 각각의 측정시점 간에 유의한 차이가 없었다.
4. 장력추정능력에서 지연성근육통 유발전과 유발 7일후를 제외한 각각의 모든 시점에서 유의한 차이가 있었다.
5. 최대등척성 수축 능력은 지연성근육통 유발전과 유발후 7일을 제외한 각각의 측정시점 간에 유의한 차이가 있었다.
6. 초기중앙주파수비교에서 지연성근육통 유발전과 유발 7일후를 제외한 각각의 모든 시점에서 유의한 차이가 있었다.
7. 피로지수는 지연성근육통 유발전과 유발 1일, 3일후 피로지수와는 유의한 차이가 있었으나, 5일 7일후에는 유의한 차이가 없었다.

따라서 압통역치는 지연성근육통 발생 7일후에 정상으로 회복되었고 주관적평가인 시각상사척도는 3일후면 회복되었고, 지연성근육통이 발생한 관절의 고유수용성 감각, 최대등척성 근력, 장력추정능력, 초기중앙주파수는 7일후에 정상으로 회복되었으며 근피로는 5일후부터 지연성근육통 유발전 수준으로 회복되었다.

이러한 연구결과는 지연성근육통이 발생한 경우 운동을 다시 시작하거나 경기에 참여하는 시기를 결정할 때 자료로 활용될 수 있고, 균형의 회복이 필요한 종목인지, 근력의 회복 또는 장력추정능력의 회복이 필요한 종목인지 등 경기종목별로 시간경과에 따른 회복정도를 파악하여 경기력을 향상시키고, 무리한 훈련이나 부상으로부터 선수를 예방하고 보호하며, 스포츠현장에서 선수선발의 기준이 되는 자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다. 차후로 훈련장도나 기간에 따라 지연성근육통 발생 양상은 어떠하고 그 회복정도를 더 구체적으로 파악할 수 있는 방안을 모색하여 트레이닝 효과를 높이고 성별, 개인별 혹은 나이에 따른 시간경과별 회복정도를 파악 할 수 있는 연구가 필요할 것이라 사료된다.

<참 고 문 헌>

- 권오윤, 박동식: 근피로가 슬관절 고유수용성 감각에 미치는 영향. 대한재활의학회지, 22, 960-965,1998.
- 송영래, 정한영: 지연성근육통에 대한 수지요법의 효과. 한국학교체육학회지, 11(2), 9-16,2001
- 성재기: 육상선수들의 상해에 대한 조사연구. 단국대학교대학원 석사학위논문, 1991.

- Abraham W. M.: Factors in delayed muscle soreness. *Med Sci Sports Exerc* 9,11-20, 1977
- Armstrong R. B.: Mechanisms of Exercise-induced Delayed Onset Muscular Soreness: A brief review. *Med Sci Sports Exerc.* 16, 529-538, 1984.
- Balnave C. D., Thompson M. W.: Effect of training on eccentric exercise-induced muscle damage. *J Appl Physiol.* 75, 1545-1551,1993.
- Barrack R. L., Skinner H. B., Cook S. D.: proprioception of the knee joint: paradoxical effect of training. *Am J Phys Med.* 63, 175-181, 1984.
- Behm D. G., Baker K. M., Kelland R., Lomond J.: The effect of muscle damage on strength and fatigue. *J Strength Cond Res.* 15, 255-263, 2001.
- Byrne C., Eston R.: Maximal-intensity isometric and dynamic exercise performance after eccentric muscle actions. *J Sports Sci.* 20, 951-959, 2002.
- Carson R. G., Riek S., Shahbazzpour N.: Central and peripheral mediation of human force sensation following eccentric or concentric contraction. *J Physiol.* 539, 913-925,2002.
- Clarkson P, M., and Tremblay I.: Exercise-induced muscle damage, repair, and adaptation in humans. *J Appl Physiol.* 65, 1-6, 1988.
- Davies C. T. M., White M. J.: Muscle weakness following eccentric work in man. *Pflugers Arch.* 392, 168-171, 1981.
- DeVries H. A.: Electromyographic observations on the effects static stretching has on muscle distress. *Res Quarterly.* 32, 468-475, 1961.
- Drury D. G.: The role of eccentric exercise in strengthening muscle. *Orthop Phys Ther Clin North Am.* 9, 515-521, 2000.
- Ebbeling C. B., Clarkson P. M.: Exercise-induced muscle damage and adaptation. *Sports Med.* 7, 207-234, 1989.
- Eston R., Peters D.: Effects of cold water immersion symptoms of exercise-induced muscle damage. *J Sports Sci.* 17, 231-238, 1999.
- Francis K. T.: Delayed muscle soreness: A review. *J Orthop Sports Phys Ther.* 5, 10-15, 1983.
- Friden J., Sjostrom M., Ekblom B.: Myofibrillar damage following intense eccentric exercise in man. *Int J Sports Med* 4, 170-176, 1983.
- Gleeson M., Walsh N. P., Blannin A. K., Robson P. J., Cook L., Donnelly A. E.: The effect of severe eccentric exercise-induced muscle damage on plasma elastase, glutamine and zinc concentrations. *Eur J Appl Physiol.* 77, 543-546, 1998.
- Hortobagyi T., Houmard J., Fraser D., Dudek R., Lambert J., Tracy J.: Normal forces and myofibrillar disruption after repeated eccentric exercise. *J Appl Physiol.* 84, 492-498, 1998.
- Howell J. H., Chleboun G., Conatser R.: Muscle stiffness following exercise-induced injury in humans. *J Physiol.* 464, 183-196, 1993.
- Hyatt J-P. K., Clarkson P. M. : Creatin kinase release and clearance using MM variants following repeated bouts of eccentric exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 30, 1058-1065. 1998.

- Kauranen K., Siira P., Vanharanta H.: Delayed-onset soreness and motor performance of the upper extremity. *Eur J Appl Physiol.* 84, 302-309, 2001.
- Komi P. V., Viitasalo J. T.: Changes in motor unit activity and metabolism in human skeletal muscle during and after repeated eccentric and concentric contraction. *Acta Physiol Scand* 100, 246-54, 1977.
- Lieber R. L., Friden J.: Morphologic and mechanical basis of delayed-onset muscle soreness. *J Am Acad Orthop Surg.* 10, 67-73, 2002.
- Linnamo V., Bottas R., Komi P. V.: Force and EMG power spectrum during and after eccentric and concentric fatigue. *J Electromyogr Kinesiol.* 10(5), 293-300, 2000.
- Lund H., Vestergaard-Poulsen P., Kanstrup IL.: Isokinetic eccentric exercise as a model to induce and reproduce pathophysiological alterations related to delayed onset muscle soreness. *Scand J Med Sci Sports.* 8(4), 208-15, 1998.
- McArdle W. D., Katch F. I., Katch V. L.: *Essentials of Exercise Physiology*, ed 2. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia. 2000.
- Newham D. J., Jones D. A., Clarkson P., M.: Repeated high-force eccentric exercise: effects on muscle pain and damage. *J Appl Physiol.* 63, 1381-1386, 1987.
- Newham D. J., Mill K. R., Quigley B. M.(1983). Pain and fatigue after concentric and eccentric muscle contraction. *Clin Sci.* 64: 55-62.
- Newham D. J, McPhail G, Mills K. R.: Ultrastructural changes after concentric and eccentric contractions of human muscle. *J Neurol Sci.* 61(1), 109-22, 1983.
- Nosaka K., Clarkson P. M.: Variability in serum creatine kinase response after eccentric exercise of the elbow flexors. *Int J Sports Med* 17, 120-127, 1996.
- Nosaka K., Newton M., Sacco P.: Delayed-onset muscle soreness does not reflect the magnitude of eccentric exercise-induced muscle damage. *Scand J Med Sci Sports.* 12, 337-346, 2002.
- Pyne D. B.: Exercise-induced muscle damage and inflammation: A review. *Aus J Sci Med Sport.* 26, 49-58, 1994.
- Sayers S. P., Clarkson P. M., Lee J.: Activity and immobilization after eccentric exercise: I. Recovery of muscle function. *Med Sci Sports Exerc.* 32: 1587-1592, 2000.
- Scott J., Huskinsson E.: Graphic representation of pain. *Pain.* 2: 75-184, 1976.
- Smith C. A.: The warm up procedure: To stretch or not to stretch. A brief review. *J Orthop Sports Phys Ther* 19, 12-17, 1994.
- Tiidus P. M.: Manual massage and recovery of muscle function following exercise: A literature review. *J Orthop Sports Phys Ther.* 25, 107-112, 1997.
- Vincent H, K., Vincent K. R.: The effect of training status on the serum creatine kinase response, soreness and muscle function following resistance exercise. *Int J Sports Med.* 18, 431-7, 1981.
- Waltrous B., Armstrong R., Schwane J.: The role of lactic acid in delayed onset muscular soreness. *Med Sci Sports Exerc* 1, 380-387, 1981.
- Weber M. D., Servedio F., Woodall W. R.: The effect of three modalities on delayed

onset muscle soreness. *J Orthop Sports Phys Ther.* 20, 236-242, 1994.

Weerakkody N., Percival P., Morgan D. L., Gregory J. E., Proske U.: Matching different levels of isometric torque in elbow flexor muscles after eccentric exercise. *Exp Brain Res.* 149, 141-150, 2003.