

## 유지-이완기법과 냉치료가 지연성 근육통에 미치는 효과

김종만, 박장성, 김원호  
서남대학교 물리치료학과  
신헌석  
서울보건대학 물리치료과  
김연중  
연세의원 물리치료실

### Abstract

### The Effect of Hold-Relax Technique and Cryotherapy on Delayed Onset Muscle Soreness

**Kim Jong-man, M.P.H., P.T., O.T.**

**Park Jang-sung, M.P.H., P.T.**

**Kim Won-ho, M.P.H., P.T.**

Dept. of Physical Therapy, Seonam University

**Cynn Heon-seock, M.A., P.T.**

Dept. of Physical Therapy, Seoul Health College

**Kim Yeon-jung, M.S., P.T.**

Dept. of Physical Therapy, Yonsei Clinic

Despite research to treat delayed onset muscle soreness (DOMS), no effective treatment has been reported. The purpose of this study is to investigate the effect of a hold-relax technique and cryotherapy on DOMS. Thirty-three subjects were randomly assigned to one of three treatment groups: control, hold-relax technique, or hold-relax technique and cryotherapy. DOMS was induced in the non-dominant biceps muscle through repeated eccentric contractions. Resting elbow joint position, flexion and extension (universal goniometer), pain (Visual Analogue Scale; VAS), and WBC count (blood analysis) were measured one hour before DOMS was induced and 24, 48, and 72 hours after DOMS was induced. The data were analyzed by repeated measure of two-way ANOVA. The results of this study were summarized as follows: 1) While analysis showed no significant differences between groups in relation to a resting elbow joint position, there were significant differences over time, especially at 24, 48 hours after DOMS was induced compared with resting elbow joint position before DOMS was induced. 2) While analysis showed no significant differences between groups in relation to range of flexion, there were significant differences between range of flexion before

DOMS was induced and range of flexion 72 hours after DOMS was induced. 3) There were no significant differences between groups or over time in relation to range of extension. 4) While analysis showed no significant differences between groups in relation to VAS, there were significant differences over time in different hours. 5) There were no significant differences between groups or over time in relation to WBC count. 6) There were no interactions between groups or over time in all variables. This results suggested that hold-relax technique and cryotherapy were not effective to reduce DOMS.

**Key Words:** DOMS. Hold-relax technique. Cryotherapy.

## I. 서론

자신에게 익숙하지 않은 운동은 근육통을 유발한다(Kuipers, 1994). 특히 원심성 최대 수축을 요하는 활동을 한 후 흔히 발생한다(Clarkson 등, 1986). 이런 근육통은 운동 후 24시간 내에 발생하고, 2~3일(Kisner와 Colby, 1996) 또는 1~2일(Ebbling과 Clarkson, 1989) 지나면 최고조에 이르기 때문에 지연성 근육통(delayed onset muscle soreness; DOMS)이라 한다. 특징적인 증상은 근육통, 근육의 뻣뻣한 느낌, 그리고 부종이며 5~7일 이상 동안 지속된다. 지연성 근육통은 근력과 관절 가동범위의 감소를 유발하여 운동수행능력을 떨어뜨리거나, 일상생활에 불편을 초래한다(Ebbling과 Clarkson, 1989).

지연성 근육통이 발생하는 기전에 대한 연구가 지속되고 있고, 여러 가지 가설로 설명이 되어지나, 아직도 명확하게 밝혀지지 않고 있다(Newham, 1993). 하지만 일반적으로 근섬유와 결합조직의 파열을 지연성 근육통의 원인으로 간주하고 있다. Hough(1904)는 지연성 근육통의 원인으로 근섬유의 손상을 지적하였다. 이후 이 가설을 지지하는 형태학적, 생화학적인 증거들이 관찰되었다(Abraham, 1977; Armstrong 등, 1983; Friden 등, 1986; Vihko 등, 1978). 지연성 근육통을 유발하는 운동 후, Z-선의 파괴, 혈중 creatine kinase

(CK)와 myoglobin 농도 증가 등의 변화들이 발생하였다. 근세포 또는 결합조직의 미세 손상은 염증반응을 유발할 것이다. 실제로 지연성 근육통은 급성 염증반응과 비슷한 증상을 보인다. Smith(1991)는 운동 후 72시간 이내에 관절가동범위의 감소, 통증, 부종, 대식세포의 증식, lysosomal 활동성 증가 같은 증상이 급성 염증반응과 비슷하다고 하였다. MacIntyre 등(1996)은 지연성 근육통 유발 후 24시간 이내에 <sup>99m</sup>Tc-WBC가 존재함을 보고하였다.

지연성 근육통의 예방과 치료방법에 대한 연구는 아직 미약한 상태이다. 운동프로그램의 강도와 시간을 점차 증가시키거나 저강도의 준비운동(warm-up exercise)과 정리운동(cool-down exercise)을 수행하는 방법이 지연성 근육통을 예방하기 위해 임상적으로 사용되고 있으나, 실제적인 효과에 대한 연구는 미약한 상태이다(Albert, 1991). 또한 Johansson 등(1999)에 의하면 운동전 신장운동은 지연성 근육통을 예방하지 못한다고 하였고, 운동전에 항염증 약물 flurbiprofen을 미리 투약하여도 지연성 근육통을 예방하지 못하였다(Semark 등, 1999). 지연성 근육통을 치료하기 위해 많은 연구들이 선행되어져 왔다. 하지만 뚜렷한 효과를 보이는 치료는 보고되고 있지 않은 실정이다. 저강도 레이저와 광선치료(Craig 등, 1999), 초음파치료(Craig 등, 1999), 경피

신경자극치료(Craig 등, 1996), 그리고 수동적 신장운동(Lund 등, 1998) 등의 치료는 지연성 근육통을 감소시키지 못하였다.

지연성 근육통은 세포내액의 부종으로 인한 근육내 압력 증가와 연관이 있다(Crenshaw 등, 1994). 지연성 근육통을 유발하는 운동을 수행하면, 히스타민 같은 화학물질이 분비되어 일정량 이상 쌓이게 되며 통증 수용기를 자극하고 부종을 유발할 것이다. 항염증 작용을 하는 salicylate를 phonophoresis로 적용 후 지연성 근육통이 감소하였다(Ciccone 등, 1991). 또한 지연성 근육통 유발 후 스포츠 마사지와 냉치료는 효과적으로 지연성 근육통과 염증반응을 감소시켰다(Smith 등, 1994). 이런 치료는 세포내액의 부종을 억제함으로써 지연성 근육통을 조절할 수 있을 것이다. 따라서 지연성 근육통의 주요 원인이 부종과 염증반응이라 할 때 냉치료(cryotherapy)는 효과적인 일 것이다. 이전의 연구들은 정적 신장운동을 이용하여 지연성 근육통에 효과적인 치료가 되지 않았다. 본 연구에서는 전통적인 강한 강도의 단기간 수동신장보다 근육의 신장이 보다 편안하게 이루어지는 고유 수용성촉진법 중 유지-이완 기법(hold-relax technique)을 사용하였다(Kisner와 Colby, 1996).

본 연구는 팔굽관절 굽힘근에 지연성 근육통을 유발하는 운동 후, 냉치료와 고유수용성촉진법 중에서 유지-이완 기법이 지연성 근육통, 관절가동범위, 그리고 백혈구 수치에 미치는 효과를 알아보기 위해서 시행되었다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상

본 연구는 전라북도 남원시 소재의 서남대학교에 재학중인 건강한 성인 33명을 대상으로 실시하였다(표 1). 자발적으로 본 실험에 참여하기를 원하는 자를 선정하였으며, 이 중 아래 사항에 속하는 자는 제외하였다.

가. 당뇨병이 있거나 상지 운동을 제한하는 질환이 있는 자

나. 현재 상지에 통증이 있거나 이로 인해 약물을 복용하는 자

다. 규칙적인 신체 운동 프로그램에 참여하는 자

실험에 참여한 모두 대상자에게는 실험기간 중에 아스피린이나 항염증 약물을 복용하지 않도록 교육을 하였고, 또한 근력강화운동이나 신장운동을 임의로 수행하지 않도록 교육하였다.

### 2. 실험도구

지연성 근육통을 유발하기 위한 운동은 N-K table에서 시행하였고, 지연성 근육통을 치료하기 하기 위하여 PNF 신장운동과 냉치료(cryotherapy)를 사용하였다. 치료 결과를 알아보기 위해 시각통증척도(Visual Analogue Scale; VAS)를 이용하여 통증 정도를 측정하였고, 기능적 평가는 universal 측각계를 이용하여 팔굽관절의 가동범위를 측정하였다. 그리고 백혈구 수치를 알아보기 위하여 혈액을 채취하였으며, 최대등척성근력을 평가하기 위하여 Nicolas Manual Muscle Tester를 사용하였다.

표 1. 연구대상자의 일반적인 특성

집단	대상자수(명)	나이(세)	신장(cm)	몸무게(kg)
실험군 1	8	21.5±1.31	171.25±7.09	62.63±11.33
실험군 2	11	23.4±3.14	169.55±9.43	63.00±12.41
대조군	10	22.7±2.50	164.30±5.79	58.40±8.59

### 3. 실험과정

#### 가. 운동 자세

실험자는 N-K table 앞에 앉고, 상완은 어깨관절 수준까지 올리며, 팔굽관절은 120° 굴곡된 자세에서 시작하여 완전히 팔굽관절을 신전하게 하였다. 이때 전완은 회외된 상태를 유지하였다.

#### 나. 실험군과 대조군

33명의 대상자를 실험군 1(신장운동군), 실험군 2(신장운동과 냉치료), 그리고 대조군으로 무작위로 11명씩 배치하였다. 대조군은 지연성 근육통 유발 후 치료를 받지 않았고 종속변수 측정에만 참여하였다. 실험군 1은 지연성 근육통을 유발하고 즉시 신장운동을 처음으로 적용하였다. 이후 24시간, 48시간과 72시간 후 신장운동을 실시하였다. 신장운동은 PNF 기술중 유지-이완 기법을 10회 실시하였다. 실험군 2는 실험군과 1과 같은 시간 간격으로 신장운동과 냉치료를 실시하였다. 냉치료는 상완에 수건을 밑에 놓고 냉팩(cold pack)을 20분간 적용하였다.

#### 다. 지연성 근육통 유발 방법

지연성 근육통은 비 우세손의 상완두갈래근에서 원심성 수축으로 유발되었다. 우세손과 비 우세손의 결정은 우세 손 판별 항목에 따라(Brigg와 Nebes, 1975; Gabbard, 1992) 분류하였다. 원심성 근수축을 위해 사용되는 저항 무게는 상완두갈래근의 최대 등척성수축력의 40%를 적용하였다. 상완두갈래근의 최대등척성수축력은 Nicolas Manual Muscle Tester를 이용하여 아래의 측정방법과 동일하게 측정하였다. 모든 대상자는 팔굽관절이 120° 굴곡된 상태에서 시작하여 완전히 신전 될 때까지 원심성 수축을 시행하였다. 팔굽관절 굴곡근의 원심성 수축을 위하여 측정자는 120° 굴곡된 상태까지 무게를 올려주어 실험자의 구심성 수축을 방지하였다. 팔굽관절의 원심

성 수축은 1회에 5초가 소요되도록 지시하고, 이때 팔굽 관절 굴곡근의 선택적인 원심성 운동을 위하여 체간의 정렬선을 유지하도록 개개의 운동마다 교육하였다. 이러한 운동은 5회를 1단위로 하여 6단위(총 30회)가 실시되었으며, 각 단위간에는 30초 동안의 휴식 시간을 주었다.

#### 라. 측정방법

모든 대상자는 지연성 근육통을 유발하는 운동을 시행하기 1시간 전, 지연성 근육통 유발 후 24시간, 48시간, 그리고 72시간 후에 각각 팔굽관절의 가동범위(안정시, 굴곡, 신전), 백혈구수치, 그리고 시각통증척도를 측정하였다. 관절가동범위는 팔굽관절의 안정시, 능동적 굴곡 및 능동적 신전을 3회 측정하여 평균값을 채택하였다. 안정시 관절가동범위는 편안하게 서있는 자세에서 측정하였다. Universal 측각계를 이용하여 연구 대상자가 서있는 상태에서 측정하였다. 측은 비우세 상완골의 외측상과(lateral epicondyle)이고, 고정자는 외측상과와 견봉(acromion)을 연결하는 선상에 배치하였으며, 움직이는 자는 외측상과와 요골의 경상돌기를 연결하는 선상에 배치하였다(Palmer와 Epler, 1990). 혈중 백혈구 수치를 알아보기 위해서 전완피정맥들(antecubital veins)에서 혈액 표본을 3 ml 추출하였다. 추출된 혈액은 즉시 연세병원 임상병리과에서 분석되었다. 상완두갈래근의 최대등척성수축력을 평가하기 위해 Nicolas Manual Muscle Tester를 이용하였다. 이 도구는 최소 .1 kg 간격으로 0~199.9 kg까지 측정 가능하였다. 대상자는 팔굽관절을 90° 굴곡한 상태에서 상완두갈래근의 최대 등척성운동을 3초간 시행하였고, 두 번 반복 측정하여 최고 높은 수치를 채택하였다. 통증의 정도는 시각통증척도를 사용하여 3회 반복 측정하여 평균값을 채택하였다.

### 4. 분석방법

수집된 자료가 정규분포하는지를 알아보기

위하여 단일 표본 콜모고로프-스미르노프(one-sample Kolmogorov-Smirnov)를 실시하였다. 시간경과에 따른 지연성 근육통, 관절가동범위, 그리고 백혈구 수치의 변화를 알아보기 위하여 반복된 이요인 분산분석(repeated two-way ANOVA)을 실시하였다.

### Ⅲ. 연구결과

본 연구에서 참여하였던 33명 중 대조군에서 1명, 실험군에서 3명이 실험중 호흡기계질

환으로 인한 약물복용으로 실험에서 제외되었다. 수집된 근육통증, 관절가동범위, 백혈구 수치의 자료가 정규분포하는지를 알아보기 위하여 각 집단간의 단일 표본 콜모고로프-스미르노프를 실시한 결과 정규분포함을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 모수검정을 이용하여 냉치료를 받은 군, 냉치료와 신장운동을 받은 군 및 대조군에서의 시간에 따른 근육통증, 관절가동범위 및 백혈구 수치를 비교하였다. 시간경과에 따른 세 집단의 관절각도, 통증 및 백혈구 수치의 평균값과 표준편차는 표 2, 표 3과 같다.

표 2. 집단간 관절각도의 평균값

단위(°)

		집단별		
		실험군 1	실험군 2	대조군
안정시	유발전	4.63±3.37*	5.00±3.61	4.50± 3.14
	24시간후	6.13±4.48	6.18±2.92	12.00±12.87
	48시간후	6.37±4.30	4.91±2.47	10.50±10.22
	72시간후	5.25±3.24	3.27±1.79	6.10±4.65
굴곡각도	유발전	141.50±7.05	135.81±5.76	142.70±5.46
	24시간후	140.00±3.42	137.55±5.22	137.80±3.58
	48시간후	142.63±3.93	137.91±4.40	140.60±7.73
	72시간후	143.38±2.72	143.82±6.41	142.80±5.92
신전각도	유발전	4.63±4.03	6.09±3.24	6.30±4.69
	24시간후	5.38±3.37	6.73±4.56	6.75±4.66
	48시간후	4.13±2.10	4.45±3.72	6.30±6.61
	72시간후	9.00±3.59	4.18±3.28	6.20±2.82

\* 평균±표준편차

표 3. 집단별 통증(cm)과 백혈구 수치의 평균값

		집단별		
		실험군 1	실험군 2	대조군
통증	유발전	.00±.00*	.00±.00	.00±.00
	24시간후	3.58±2.60	4.23±1.97	4.39±2.55
	48시간후	2.83±1.50	3.49±1.63	3.48±2.86
	72시간후	1.73±2.44	1.24±1.54	1.36±1.30
백혈구수치	유발전	6375.00±1622.17	6077.27±904.26	5785.00±1700.50
	24시간후	6018.75±1673.09	5990.91±1322.27	6095.00±1602.16
	48시간후	5325.00±1258.97	5740.91±1529.51	6000.00±1089.34
	72시간후	5281.25±1345.35	5413.64±1356.48	6050.00±1602.16

\* 평균±표준편차

시간경과에 따른 지연성 근육통, 관절가동 범위, 그리고 백혈구 수치의 변화를 알아보기 위하여 반복된 이요인 분산분석을 실시한 결과 표 4와 같다. 시간에 따른 안정시 관절각도는 집단간 차이가 없었으나, 유발 전과 비교하여 24시간, 48시간 간에는 유의하게 증가하였다. 굴곡각도는 집단간 유의한 차이가 없었으나, 유발 전과 비교하여 72시간 간에는 유

의하게 증가하였다. 신전각도는 집단간과 시간에 따른 차이는 없었다. 시각통증척도는 집단간에는 차이가 없었으나 유발 전과 비교하여 모든 시간에서 유의하게 증가하였다. 백혈구 수치는 집단간과 시간에 따른 차이는 없었다. 비교한 모든 변수에서 시간과의 상호작용이 없었다.

표 4. 집단과 치료 시간 경과에 따른 안정시 관절각도, 굴곡, 신전, 통증 그리고 백혈구에 대한 반복 측정된 이요인 분산분석표

	변인	자유도	평방합	평방평균	F	p
안정시 관절각도	집단	2	265.14	132.57	1.86	.17
	시간	3	264.72	88.24	4.32	.007
	상호작용	6	176.11	29.35	1.44	.21
굴곡각도	집단	2	199.34	99.67	1.77	.19
	시간	3	392.03	130.68	6.49	.0006
	상호작용	6	25.82	37.64	1.87	.097
신전각도	집단	2	22.08	11.03	.50	.61
	시간	3	32.45	10.82	.73	.54
	상호작용	6	136.94	22.82	1.53	.179
통증	집단	2	1.40	.70	.11	.899
	시간	3	298.88	99.63	45.74	.0001
	상호작용	6	5.41	.90	.41	.868
백혈구 수치	집단	2	1108476.50	554238.20	.09	.9179
	시간	3	4636271.55	1545423.85	2.66	.054
	상호작용	6	5760228.45	960038.07	1.65	.144

#### IV. 고찰

본 연구는 익숙지 않은 운동을 한 후 발생하는 지연성 근육통에 대한 냉치료와 신장운동의 효과를 알아보기 위하여 시행되었다. 지연성 근육통을 유발하기 위해서 본 연구에서는 최대하 운동(submaxial exercise)을 실시하였다. Evans 등(1998)에 의하면 최대동척성운동보다는 최대하 운동이 지연성 근육통을 더욱 잘 유발할 수 있다고 하였다. 지연성 근육통을 유발하는 원심성 운동을 시행한 후, 시간이 흐름에 따라 모든 집단의 대상자들이 통증을 호소하였다(그림 1). 따라서 본 연구에서는 지연성 근육통이 확실히 유발되었다. 그러나, 시간의 경과에 따른 집단간의 통증 정도의 차이는 없었다. 따라서 냉치료와 신장운동은 지연성 근육통을 억제하는데 효과적이지 못하였다. 이 결과는 비록 실험 설계는 다르지만 이전의 연구와 비슷한 결과를 보였다(Yackzan 등, 1984).

이전의 연구들은 지연성 근육통의 원인을 근육손상으로 보았기 때문에 creatine kinase (CK)를 연관시켜 연구를 하였으나(Byrnes 등, 1985; Clarkson과 Tremblat, 1988; Triffletti 등, 1988), 최근에는 CK와의 연관성을 찾지 못하는 연구가 보고되고 있다(Margaritis 등, 1999). 지연성 근육통이 유발된 사람들에서 종종 운동한 근육의 붓는 느낌을 많이 호소하였으나 부종에 대한 실험적인 증거는 논란이 많다. 지연성 근육통의 원인으로 부종과 염증반응이라는 가정하에 항염증성 약물을 사용하였으나 효과를 입증하지는 못하였다(Ebbeling과 Clarkson, 1989). 그러나 일부 연구에서 항염증성 약물이 실험동물의 손상 정도를 감소하는데 효과적이었으며(Newham, 1993), 지연성 근육통이 유발된 후 백혈구 수치가 증가되었다는 연구가 있었다(MacIntyre 등, 1996). 그러므로 본 연구에서는 혈중 백혈구 수치를 측정하였는데 백혈구 수치는 시간과 집단에 따른 차이가 없었다. 이런 결과

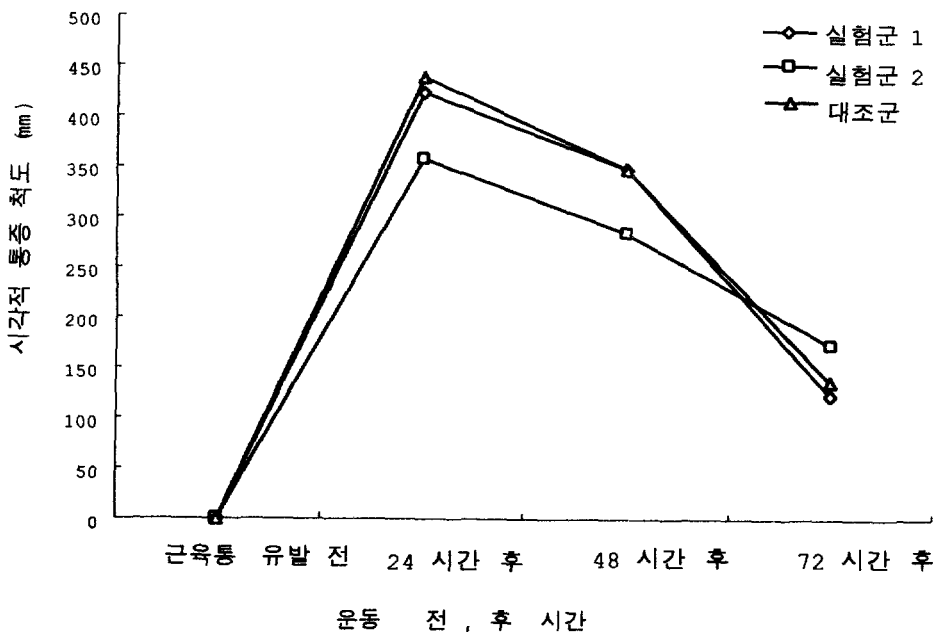


그림 1. 시간에 따른 시각적 통증척도의 변화

는 원심성 운동 후 발생하는 지연성 근육통이 염증반응에 의한 것이라는 것을 지지하지 못하였다. 하지만 백혈구 수치의 변화 추세는 실험군은 점차 감소하였고, 대조군은 점차 증가하였다(그림 2). 이런 경향에도 불구하고 통계적인 차이가 없는 이유는 대상자 수가 적어 변화량이 컸기 때문인 것 같다.

지연성 근육통을 경험하면, 이후에는 같은 자극에 근육이 적응하는 반응을 보인다 (Clarkson과 Tremblay, 1988). 또한 훈련된 사람보다는 비훈련자에게서 흔히 발생한다. 따라서 지연성 근육통은 개별 근육섬유의 미세 손상과 염증반응으로 발생하기보다는, 자극에 비하여 근육섬유 동원력(recruitment)이 낮기 때문에 개별 근육섬유들이 일정한 형태를 이탈하여 벌어지는 구조적 변화로 인하여 발생하는 것으로 생각된다.

지연성 근육통이 관절가동범위에 미치는 영향을 알아보기 위하여 안정시 팔굽관절의 위치, 최대 팔굽관절 굴곡각도, 최대 팔굽관

절 신전각도를 측정하였다. 그 결과 안정시 팔굽관절 위치는 치료법에 관계없이 지연성 근육통 유발 후 24시간과 48시간 후에 증가하였다. 즉 지연성 근육통은 안정시 팔굽관절의 위치를 제한하였다. 지연성 근육통이 신전각도에는 아무런 영향을 주지 못하였고, 굴곡각도는 72시간 후에 증가하였다. 이는 실험군이 유지-이완 기법을 이용한 신장운동을 실시하였기 때문에 증가한 것으로 보인다.

이상의 결과로 볼 때 팔굽관절 굽힘근에 적용한 원심성 운동은 운동 후 24시간, 48시간에 지연성 근육통을 유발하며 이로 인해 팔굽관절의 움직임을 제한하는 것으로 나타났다. 또한 냉치료와 신장운동은 지연성 근육통을 억제하는데 효과적이지 못하였다. 따라서 지연성 근육통은 운동 후 발생하는 근육 세포나 결합조직의 손상으로 인한 염증반응 이외에 다른 요인이 영향을 받아 발생하는 것으로 생각된다.

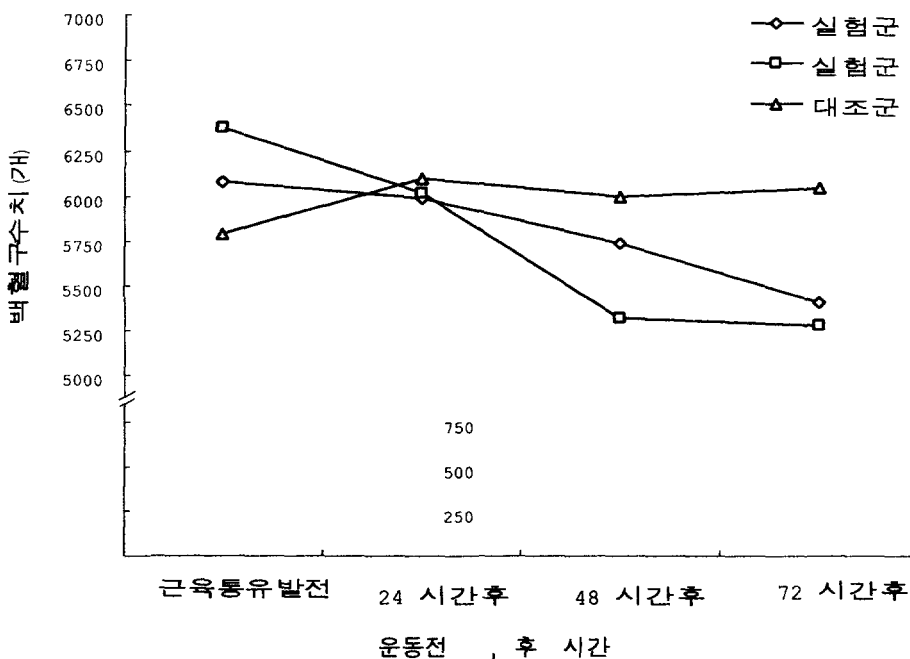


그림 2. 시간에 따른 백혈구 수치의 변화



## V. 결론

이 연구는 건강한 성인 33명을 대상으로 팔굽관절 굽힘근에 지연성 근육통을 유발시킨 후, 냉치료와 신장운동 중에서 유지-이완 기술이 지연성 근육통, 관절가동범위, 그리고 백혈구 수치에 미치는 효과를 알아보는 것이었다. 원심성운동으로 모든 집단에서 지연성 근육통이 확실히 유발되었다. 그러나 시간의 경과에 따른 집단간의 통증 정도와 백혈구 수치에는 차이가 없었다. 따라서 냉치료와 신장기법은 지연성 근육통을 억제하는데 효과적이지 못하였다. 지연성 근육통은 운동후 발생하는 근섬유나 결합조직의 손상으로 인한 염증반응 이외에 다른 요인의 영향을 받아 발생하는 것으로 생각된다.

## 인용문헌

- Abraham WM. Factors in delayed muscle soreness. *Med Sci Sports*. 1977;7:11-20.
- Albert M. Eccentric muscle training. In: *Sports and Orthopaedics*. New York, Churchill Livingstone Inc., 1991:37-41.
- Armstrong RB, Ogilvie RW, Schwane JA. Eccentric exercise-induced injury to rat skeletal muscle. *J Appl Physiol*. 1983; 54:80-93.
- Briggs GG, Nebes RD. Patterns of hand preference in a student population. *Cortex* II. 1975;230-238.
- Byrnes WC, Clarkson JS, White SS, et al. Delayed onset muscle soreness following repeated bouts of downhill running. *J Appl Physiol*. 1985;59:710-715.
- Ciccione CD, Leggin BG, Callamaro JJ. Effects of ultrasound and trolamine salicylate phonophoresis on delayed-onset muscle soreness. *Phy Ther*. 1991;71:666-675.
- Clarkson PM, Bymes WC, McComic KM, et al. Muscle soreness and serum creatine kinase activity following isometric, eccentric, and concentric exercise. *Int J Sports Med*. 1986;7:152-156.
- Clarkson PM, Litchfield J, Graves J, et al. Serum creatine kinase activity following forearm flexion isometric exercise. *Eur J Appl Physiol*. 1985;53:368-371.
- Craig JA, Barron J, Walsh DM, et al. Lack of effect combined low intensity laser therapy/phototherapy (CLILT) on delayed onset muscle soreness in humans. *Lasers Surg Med*. 1999;24:223-230.
- Craig JA, Bradley J, Walsh DM, et al. Delayed onset muscle soreness: Lack of therapeutic ultrasound in humans. *Arch Phy Med Rehabil*. 1999;80:318-323.
- Craig JA, Cunningham MB, Walsh DM, et al. Lack of effect of transcutaneous electrical nerve stimulation upon experimentally induced delayed onset muscle soreness in humans. *Pain*. 1996;67:285-289.
- Crenshaw AG, Thornell LE, Friden J. Intramuscular pressure, torque and swelling for the exercise-induced sore vastus lateralis muscles. *Acta Physiol Scand*. 1994;152:265-277.
- Ebbeling CB, Clarkson PM. Exercise-induced muscle damage and adaptation. *Sports Medicine*. 1989;7:207-234.
- Evans GF, Haller RG, Wyrick PS, et al. Submaximal delayed onset muscle soreness: Correlations between MR imaging findings and clinical measures. *Radiology*. 1988;208(3):815-820.
- Friden J, Sfakianos P, Hargens AR. Muscle soreness and intramuscular fluid pressure: Comparison between eccentric and con-

- centric load. *J Appl Physiol.* 1986;61:2157-2179.
- Gabbar C. Association between hand and foot preference in 3 to 5 years old. *Cortex.* 1992;28:492-502.
- Hough T. Ergographic studies in muscular soreness. *Am J Physiol.* 1904;7:76-92.
- Johansson PH, Lindstrom L, Sundelin G, et al. The effect of preexercise stretching on muscular soreness, tenderness and force loss following heavy eccentric exercise. *Scand J Med Sci Sports.* 1999; 9:219-225.
- Kisner C, Colby LA. *Therapeutic Exercise.* 3rd ed. Philadelphia, FA Davis Co., 1996:63-65.
- Kuipers H. Exercise-induced muscle damage. *Int J Sports Med.* 1994;15:132-135.
- Lund H, Vestergaard-Poulsen P, Kanstrup IL, et al. The effect of passive stretching on delayed onset muscle soreness, and other detrimental effects following eccentric exercise. *Scand J Med Sci Sports.* 1998;8:216-221.
- MacIntyre DL, Reid WD, Lyster DM, et al. Presence of WBC, decreased strength, and delayed soreness in muscle after eccentric exercise. *J Appl Physiol.* 1996; 80:1006-1013.
- Margaritis I, Tessier F, Berman S, et al. Muscle enzyme release does not predict muscle function impairment after triathlon. *J Sports Med Phys Fitness.* 1999; 39(2):133-139.
- Newham DT. Eccentric muscle activity in theory and practice. In: Harms-Ringdahl K, ed. *Muscle Strength.* Edinburgh, Churchill Livingstone, 1993.
- Palmer ML, Epler M. *Clinical Assessment Procedures in Physical Therapy.* J.B. Lippincott Co., 1990:106-107.
- Semark A, Noakes TD, St. Clair Gibson A, et al. The effect of a prophylactic dose of flurbiprofen on muscle soreness and sprinting performance in trained subjects. *J Sports Sci.* 1999;17(3):197-203.
- Smith LL. Acute inflammation: The underlying mechanism in delayed onset muscle soreness? *Med Sci Sports Exerc.* 1991; 23:542-551.
- Smith LL, Keating MN, Holbert D, et al. The effects of athletic massage on delayed onset muscle soreness, creatine kinase, and neutrophil count: A preliminary report. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1994;19:93-99.
- Triffletti P, Litchfield PE, Clarkson PM, et al. Creatine kinase and muscle soreness after repeated isometric exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 1988;20:242-248.
- Vihko V, Rantamarki R, Salminen A. Exhaustive physical exercise and acid hydrolase activity in mouse skeletal muscle. *Histochemistry.* 1978;57:237-249.
- Yackzan L, Adams C, Francis KT. The effects of ice massage on delayed muscle soreness. *Am J Sports Med.* 1984;12:159-165.