

등척성수축으로 근피로 유발 후 스트레칭과 마사지가 근수축력 회복에 미치는 영향

이종대, 배준호, 배성수¹

대구대학교 대학원 재활과학과 물리치료전공, ¹대구대학교 재활과학대학 물리치료학과

The Effects of Massage and Stretching on Muscle Contraction Force for Muscle Fatigue Caused by Isometric Contraction

Jong-Dae Lee, PT, MS, Jun-Ho Bae, PT, MS, Sung-Soo Bae, PT, PhD¹

Major in Physical Therapy, Department of Rehabilitation Science, Graduate school, Daegu University, ¹Department of Physical Therapy, College of Rehabilitation Science, Daegu University

Purpose: The present study purposed to examine the effects of massage and stretching on the recovery of muscle contraction force for muscle fatigue caused by sustained isometric contraction. **Methods:** The subjects of this study were 64 healthy men and women (women: 30, men: 34). They were divided into massage group (23), stretching group (21) and rest group (20), and using Biodex System we observed the pattern of changes in maximal voluntary contraction force (MVC) after causing muscle fatigue in quadriceps femoris muscle through sustained isometric contraction. **Results:** We measured the point of fatigue occurrence by sustained isometric contraction with 50% MVC and changes in isometric contraction force at 0, 10, 20 and 30 minutes after fatigue and compared them according to gender and treatment group. **Conclusion:** 1. According to the result of measuring the point of time when fatigue occurred, a difference was observed in time to task failure between men and women. It was significantly longer in women. 2. By gender, MVC changed significantly in all time frames in women, but it showed significant increases only at 10 minutes after fatigue in men. 3. In the comparison of MVC among the treatment groups, it showed significant differences among the groups at 10 minutes after fatigue. 4. In the comparison of changes in MVC among the time frames for each group, the rest group showed significant differences in MVC between 0 and 10 minutes after fatigue and between 20 and 30 minutes after fatigue. The massage group showed significant differences in MVC between 0 and 10 minutes after fatigue and between 10 and 20 minutes after fatigue. The stretching group showed a significant difference in MVC between 10 and 20 minutes after fatigue and between 20 and 30 minutes after fatigue. (*J Kor Soc Phys Ther 2006;18(1);53-64*)

Key Words: Muscle fatigue, MVC(Maximal Voluntary Contraction), Massage, Stretching

I. 서론

공구를 사용할 때, 물건을 질 때와 운반할 때 등과 같

은 작업 상황에서는 끊임없이 일어나는 등척성 수축(isometric contraction)에 의해 주동근의 국소 근피로(localized muscle fatigue)가 발생한다(Chaffin, 1973; 정소과와 정민근, 1993; 박태현과 김정룡, 2000). 이와 같은 근피로는 작업환경 뿐 아니라 스포츠나 일상생활 환경에서도 빈번히 일어날 수 있다. 이러한 피로의 정의

논문접수일: 2005년 11월 19일
수정접수일: 2006년 12월 1일
게재승인일: 2006년 1월 11일
교신저자: e-mail: jdpunk@hanmail.net

를 Edwards(1983)는 주어진 운동 강도나 요구된 힘을 유지하지 못하는 것이라 하였고, Binder-Macleod와 Snyder-Mackler(1993)는 최근의 활동으로 인하여 근육의 힘 발생능력이 감소된 상태라고 정의하고 있는데, 이것은 근육이 독립된 성분으로서 평가될 수 있다는 것이다.

근피로의 원인들로는 근육활동을 위한 화학적 연료의 고갈과 근육대사의 부산물을 신속하게 제거하기 위한 순환계의 능력부족을 들 수 있다(Latash, 1998). Bigland-Ritchie와 Woods(1984)는 피로의 한 원인이 능동적으로 수축하는 근육에 혈액의 흐름이 제한되기 때문이라고 하였고, Guyton(1991)은 산소의 불충분한 전달과 대사산물의 부적당한 제거가 근육에 적절한 혈액 공급없이 일어날 수 있다고 하였다.

근육의 피로는 근육의 수축강도와 지속시간에 영향을 받는다. Bigland-Ritchie(1984)는 지속적인 등척성 최대 수의적 수축동안 힘은 단계적으로 감소한다고 하였고, Kahn과 Monod(1989)는 근육의 수축강도가 15-20% 최대 수의적 수축력(Maximal voluntary contraction force: MVC) 이상일 경우 수축 지속시간이 길어짐에 따라 근육피로가 급격히 증가한다고 하였다.

등척성 근수축을 서로 다른 세 가지의 %MVC(20%, 40%, 60%)에서 실시하고 근 수축 사이에 40분의 휴식 시간을 부여한 연구 결과에 따르면 %MVC 크기에 관계없이 약 85-90%의 근력 회복율을 보였다(Funderburk 등, 1974). 변승남과 정운태(1995)는 지속적 근수축과 주기적 근수축 방법이 피로 회복율에 미치는 영향에 관한 연구에서 근수축 방법에 관계없이 근력지속시간과 근력 회복율은 휴식시간의 크기에 영향을 받아 휴식시간이 길어지면 근력 지속시간과 근력 회복율은 증가하였고 주기적인 근 수축에 따른 근력 회복율은 휴식시간의 길이에 관계없이 지속적인 근 수축에 비해 낮았으며 분당 수축회수가 증가함에 따라 근력 회복율은 더 낮아지는 경향을 보였다고 하였다.

마사지란 치료하고자 하는 부위에 적절한 압력(pressure)과 신장(stretching)을 유효적으로 해 줌으로써 그 조직에 기계적인 자극을 주는 것(김상수 등, 1999)으로 운동선수의 회복이나 임상 또는 일상생활에서 피로회복을 목적으로 일반적으로 사용되는 기술이다(Hemmings 등, 2000). Goats(1994)에 의하면 마사지는 조직 순환을 증가시키는 것으로 생각되고 그로인해 과긴장이 감소되고 근피로부터 회복이 향상된다고 하였다. Mori 등(2004)은 요부의 등척성 운동 후에 근피로와 혈액흐름에 마사지가 미치는 영향에서 근피로에 대한 시각적 유사 척도(Visual analogue scale)가 마사지 적용과 대조군 간에 유의한 차이를 보였고 국소영역에 혈

액흐름이 늘어나고 피부온도가 증가하는 효과가 있었다고 하였다. Ostuka 등(1999)은 5분간의 마사지면 국소 주위 조직에 생리학적 반응을 일으키기에 충분하다고 하였는데 기계적 마사지를 사용하여 5분간 적용 후 근육 내 혈류가 유의하게 증가하였다고 하였다. 운동 후 마사지 적용이 회복 과정에 관련된 요인에서 아직 과학적인 근거가 부족하였다고 Hinds 등(2004)은 주장하였는데 그들은 대퇴사두근의 동적 운동 후 마사지를 적용하여 휴식을 취한 대조군과 비교한 연구에서 대퇴동맥혈의 흐름에는 유의한 차이가 없었으나 피부혈류와 피부 온도가 대조군과 비교하여 유의한 증가를 보여 대퇴동맥 혈류 증가 없이 피부 혈액순환으로 근육의 혈액 흐름에 대한 가능성을 주장하였다.

유연성과 운동은 활동을 하는데 있어 중요한 역할을 한다. 스트레칭은 이 요소들을 정상적으로 회복하고 유지하도록 처방할 수 있는 가장 중요한 운동영역 중 하나(Shankar, 1999)로 상해예방과 신체활동 후 근 긴장이나 통증을 감소시키고, 관절가동범위를 늘리기 위해서 실시한다(이현희, 2003). 근육이 정상의 유연성을 잃어버릴 때는 근육길이-장력의 변화가 일어나며 유연성의 소실은 근력을 감소시킬 수 있다(Kisner와 Colby, 1996). Worrell 등(1994)은 스트레칭을 통해서 슬딕근의 최대토크(peak torque)가 증가하였다고 제시하였다. 최근 연구에 의하면 스트레칭을 적용한 후 초기에 근력이 감소를 보인다는 보고(Nelson 등, 2001; Fowels 등, 2000)가 있었고 지속적인 근 수축으로 유발된 근피로에 정적 스트레칭이 근 긴장을 이완시켜 근피로에 영향을 미친다는 Eguchi(2004)의 보고도 있었다. Hebert와 Gabriel(2004)은 운동전이나 후의 스트레칭이 근육통을 막지는 못한다고 보고하였으나 스포츠 활동에서 스트레칭의 효과를 결정하는데 아직 연구가 불충분하다고 하였다.

지금까지의 근피로의 회복에 대한 연구들은 혈액분석이나 근전도를 통한 회복도의 연구가 대부분이었다. 근피로 유발 후에 스트레칭이나 마사지를 적용한 후 나타나는 근수축력 회복에 관한 연구는 아직 부족한 실정이다. 이에 이 연구는 지속적인 등척성 수축으로 유발된 근피로에 대해 성별에 따른 근피로 양상과 스트레칭과 마사지를 적용한 후 나타나는 최대 수의적 수축력 회복에 미치는 영향을 알아보고 임상이나 스포츠 또는 작업 현장에서 이를 적용하는데 기초 자료를 제공하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상

이 연구는 포항시 S병원 직원과 P대학에 재학 중인 물리치료과학생으로 건강한 남녀 64명을 대상으로 2005년 2월 15일부터 3월 31일까지 실험을 실시하였다. 대상자들을 스트레칭군과 마사지군 그리고 휴식군으로 무작위로 배분하였다. 실험 실시 전에 연구목적과 방법에

대해 대상자에게 설명하였고 모두 실험에 동의하였다. 선정기준은 신경이나 근골격계의 질환 및 심혈관계 질환이 없고 정기적인 근력운동에 참여하지 않는 사람으로 하였다. 연구 대상자들의 일반적 특성은 (표 1)과 같다.

표 1. 대상자의 일반적 특성

성별	나이	키(cm)	몸무게(kg)	MVC(Nm)
여자(n=30)	26±3.07	162.4±5.32	54.17±5.23	166.47±26.88
남자(n=34)	28.29±4.74	172.62±5.04	65.21±9.46	239.71±42.03
전체(n=64)	27.22±4.18	167.83±7.26	60.03±9.51	205±51.13

평균±표준편차

2. 실험방법

이 연구는 지속적인 등척성 수축을 통해 근피로가 유발된 근육에 마사지, 스트레칭 그리고 휴식의 처치를 적용한 후 나타나는 최대 수의적 수축력의 변화를 통하여 근피로의 회복 양상을 알아보려고 하였다.

등척성 운동을 위해 임상과 연구목적 모두에서 적용할 수 있다고 증명된(Drouin 등, 2004) Biodex System 3 pro Isokinetic Dynamometer (Biodex Medical, Inc., USA)를 이용하여 대상자는 Biodex의 의자에 앉아 상체와 대퇴부가 움직이지 않도록 벨크로로 고정시키고 슬관절을 동력계와 일치 시키고 슬관절 굴곡 70°에서 대퇴사두근의 수의적 등척성 수축을 실시하였다. 피로유발을 위한 등척성 수축과 스트레칭군과 마사지군 및 휴식군에 각 처치를 적용한 후 시간대별로 나타나는 근 수축력의 변화를 알아보기 위해 다음과 같은 방법으로 연구를 실시하였다.

1) 최대 수의적 수축력 측정

슬관절 신전에 의한 대퇴사두근의 등척성수축을 5초간 3회 실시하여 최대 수의적 수축력을 정하였고, 피로의 영향을 없애기 위해 5초간의 수축마다 2분간의 휴식을 주었다. 3번의 반복을 통해 이상치가 없으면 그 평균치를 MVC로 선택하고, 이상치가 있을 경우 하나를 제거하고 나머지 두 개의 값을 취하여 평균값을 MVC로 사용하였다.

2) 근피로 유발 및 시간측정

피로유발을 위해 대퇴사두근의 지속적인 등척성 수축을 실시하여 대상자가 목표 수준인 50% MVC를 유지하도록 하였다. 등척성 수축의 종료시점은 50% MVC로 시작하여 컴퓨터 모니터에 나타난 토크가 초기 목표수준의 50%로 감소할 때까지로 하였다(그림 1). 이때 측정된 피로발생 시점까지의 시간을 직무실패시간(time to task failure)이라 하였다. 대상자가 모니터의 그래프를 보며 시각적 피로감이 되게 하여 유지할 수 있게 하였다.

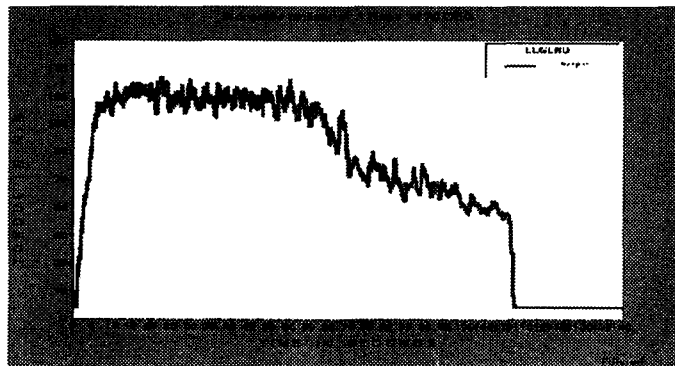


그림 1. 지속적 등척성 수축에 의한 근피로 유발

3) 피로유발 후의 최대 수의적 수축력 측정

모든 군에서 피로 유발 직후 5초간 등척성으로 최대 수의적 수축력을 측정하여 수축력에 대한 피로의 영향을 확인하였다. 그리고 피로유발 직후 MVC를 측정한 후 10분, 20분 그리고 30분에 5초간 등척성으로 최대 수의적 수축을 실시하여 처치 후 회복기 동안의 근수축력의 변화를 확인하였다.

4) 각 군별 처치의 적용

휴식군은 피로유발 후 휴식을 취하게 하며 각 시간별 회복기 동안의 MVC를 측정하였다. 스트레칭군은 피로 유발 직후에 MVC를 측정한 후 대퇴사두근에 스트레칭을 3회 실시하였다. 마사지군은 피로유발 직후에 MVC를 측정한 후 대퇴사두근에 마사지를 5분간 적용하였다.

(1) 스트레칭 방법

대퇴사두근의 스트레칭은 Evjenth와 Hamberg (2001)에 의한 수동적인 도수기법을 사용하였다. 피험자는 도수 테이블에 엎드리고 골반의 움직임을 막기 위해 반대측 다리를 테이블 밖에 나오게 하고 최대한 구부리게 한 후 바닥에 지지하도록 하고 골반은 벨트로 묶어 고정하였다. 고관절이 신전이 될 수 있게 테이블의 한쪽을 약간 들어올리고 무릎을 서서히 구부리고 피험자에게 당겨 지면서 약간의 통증을 느끼는 지점을 말하도록 하고 그 지점을 시작자세로 하였다. 초기 굴곡자세에서 손으로 누르는 힘에 대해 버티도록하고 등척성 수축을 5초간 실시하고 이완하는 동안 근육에 의해 멈춰지는 지점까지 이동하여 수동굴곡을 실시하고 그 지점에서 30초간 유지였다. 10초간의 휴식시간을 가지게 하고 반복적으로 3회 적용하였다.

(2) 마사지 방법

대퇴사두근에 대한 마사지는 유날법(kneading)을 5분간 적용하였다. 한손은 근육의 부착부에 놓고 다른 손은 대퇴사두근에 나란히 대고 두 손으로 가능한 한 근육 주위를 많이 잡고 실시하였다. 왼손의 손가락면을 외측으

로 당기고 외전된 오른손 엄지와 손바닥은 동시에 조직을 내측으로 밀었다. 그리고 엄지를 외전 시킨 왼손바닥은 오른 손가락면이 동시에 조직을 외측으로 당길 때 근육을 내측으로 밀어주었다. 근육의 원위부로부터 근위부로 진행하고 밀고 당기는 것은 견관절부와 주관절부의 팔을 굴곡, 신전에 의해 유효적으로 수행하였다.

실험의 일관성을 위해 스트레칭과 마사지는 한 명의 치료사에 의해 시도하고 등속성 동력계의 측정도 한 명의 치료사가 실시였다.

2. 자료처리

자료의 통계는 상용 통계 프로그램인 SPSS 10.0을 이용하여 분석하였다. 최대 수의적 수축력에 대한 피로유발 후 최초의 MVC 측정값으로부터 각 단계별 측정값의 비율을 %MVC로 계산하여 근수축력의 변화를 알아보고 각 그룹 간 비교와 성별 간 비교를 하였다.

남녀 간의 직무실패시간의 비교는 독립표본 t-test를 사용하였고, 각 처치군별과 성별로 시간대 간의 %MVC 비교는 대응표본 t-test를 실시하여 각 처치군별 변화와 성별에 따른 변화를 시간대간 비교로 알아보았다. 시간별 처치군간 %MVC의 비교는 일원배치분산 분석(ANOVA)을 실시하였고, 유의성이 나타날 경우에 사후검정은 LSD로 다중 비교하였다. 통계적 유의성을 검정하기 위하여 유의수준은 $\alpha = 0.05$ 로 하였다.

III. 결과

1. 직무실패시간

50% MVC로 지속적인 등척성 근수축을 하게하여 대상자들에게 근피로를 유발한 검사결과로 직무실패시간이 여자에서는 127.50 ± 9.67 초였고 남자에서는 115.24 ± 14.91 초로 여자에서 더 길게 나타나 남녀 간에 비교분석 결과 유의한 차이를 보였다(표 2).

표 2. 직무실패시간에 대한 비교

구분	직무실패시간	t	df	p
여자(n=30)	127.50±9.67	3.948	57.173	.000*
남자(n=34)	115.24±14.91			
전체(n=64)	120.98±14.05			

평균±표준편차 * p<.05

2. 최대 수의적 수축력의 변화

1) 남녀 간 최대 수의적 수축력의 비교

전체적인 변화양상은 10분까지 가장 많이 증가하였고 이후는 완만히 증가하는 양상을 보였다. 여자의 경우는 전반적으로 완만한 증가를 보인 반면 남자의 경우에는

피로직후에서 10분까지 급격히 증가하다 이후엔 증가가 둔화되는 양상을 보였다.

시간대별로 나타난 남녀 간의 최대 수의적 수축력의 측정결과로 (표 3)에서 보는 바와 같이 모든 시간대에서 남녀 간에 비슷한 비율을 나타내어 유의한 차이를 보이지 않았다.

표 3. 남녀간 최대수의적수축력의 비교

단위 : %

시간	전체(n=64)	여자(n=30)	남자(n=34)	t	p
피로직후	85.34±8.00	86.80±5.07	84.05±9.79	1.435	.157
10분	90.41±6.42	89.36±5.84	91.33±6.85	-1.230	.223
20분	93.20±5.73	93.02±4.68	93.37±6.58	-.240	.811
30분	95.17±4.67	95.22±4.19	95.12±5.12	.078	.938

평균±표준편차

2) 시간에 따른 성별 최대 수의적 수축력의 비교

성별에 따라 시간대 간에 나타난 최대 수의적 수축력을 비교 분석하였다. 대상자 전체 평균에서는 시간대간

에 모두 유의하게 증가하였다. 피로직후와 10분간의 분석 결과로 여자는 p=.007이고 남자는 p=.000으로 남녀 모두 유의한 차이를 보였다.

표 4. 피로직후와 10분에서의 성별 최대 수의적 수축력 대응비교

구분	대응차	t	df	p
여자	-2.56±.88	-2.914	29	.007*
남자	-7.28±1.62	-4.496	33	.000*
전체	-5.07±.99	-5.108	63	.000*

평균±표준오차 * p<.05

10분과 20분에서 최대 수의적 수축력에 대한 비교 결과로 여자는 p=.001였고 남자는 p=.054로 여자에서는

시간대간에 유의한 차이가 있었으나 남자에서는 차이를 보이지 않았다.

표 5. 10분과 20분에서의 성별 최대 수의적 수축력 대응 비교

구분	대응차	t	df	p
여자	-3.66±.88	-3.915	29	.001*
남자	-2.03±1.02	-1.998	33	.054
전체	-2.79±.70	-4.005	63	.000*

평균±표준오차 * p<.05

시간대간의 비교로 20분과 30분에서의 최대 수의적 수축력 비교결과로 여자는 p=.006으로 유의하게 차이

가 나타났으나 남자에서는 p=.067로 유의한 차이를 보이지 않았다.

표 6. 20분과 30분에서의 성별 수의적 수축력 대응비교

구분	대응차	t	df	p
여자	-2.20±.74	-2.968	29	.006*
남자	-1.76±.93	-1.894	33	.067
전체	-1.96±.60	-3.279	63	.002*

b평균±표준오차 * p<.05

3) 처치군간 최대 수의적수축력의 비교

지속적인 등척성 수축으로 근피로 유발 후 각 처치를 적용한 후 나타나는 %MVC의 변화를 측정된 결과 휴식군에서는 10분까지 회복이 빠르게 증가하다 20분까지는 급격히 증가율이 감소하였다가 30분까지 서서히 증가하는 양상을 보였다. 마사지군에서는 10분까지 급격한 증가를 보이다 20분까지 증가율이 다소 둔화되다 20분 이후는 거의 증가를 보이지 않았다. 스트레칭군에서는 10분에서 다른 처치군에 비해 증가율이 훨씬 적었으나 이후 20분까지 크게 증가하다 30분까지는 휴식군과

유사하게 증가하는 양상을 보였다(그림 2).

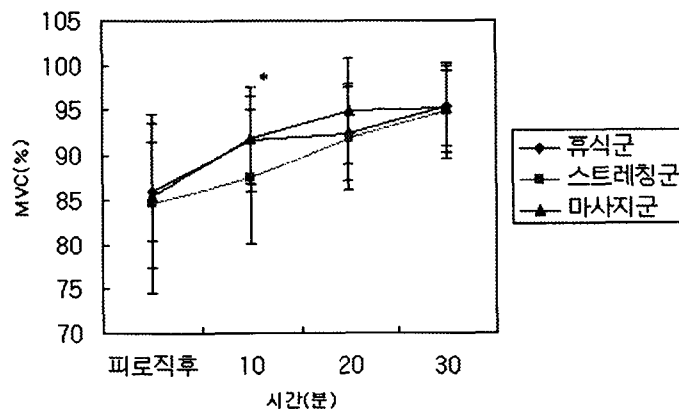
각 처치군 간에 시간대별로 등척성으로 측정된 최대 수의적 수축력을 비교분석한 결과로 10분에서 처치군 간에 p=.039로 유의한 차이가 있었고 LSD로 다중 비교한 결과 스트레칭군과 마사지군간(p=.022)에 그리고 스트레칭군과 휴식군간(p=.033)에 유의한 차이를 보였다. 20분에서는 마사지군에서 %MVC가 다른 군에 비해 높게 나타났으나 군 간에 유의한 차이는 보이지 않았고 피로직후와 30분에서도 처치군 간에 유의한 차이는 없었다(표 7).

표 7. 처치군 최대수축력의 비교

단위 : %

시간	휴식(n=20)	마사지(n=23)	스트레칭(n=21)	F	p
피로직후	85.98±5.55	85.52±8.03	84.54±10.01	.171	.844
10분	91.74±4.91	91.89±5.87	87.52±7.48	3.421	.039*
20분	92.50±5.26	94.90±5.91	92.02±5.76	1.648	.201
30분	95.34±4.91	95.26±4.19	94.89±5.13	.053	.948

평균±표준편차 * p<.05



* p<.05

그림 2. 처치별 최대 수의적 수축력의 변화

4) 시간에 따른 처치군별 최대 수의적 수축력의 비교
 처치별로 최대 수의적 수축력의 변화를 측정하여 시간
 대간에 대응 비교한 결과로 휴식군에서는 피로직후와
 10분에서 $p=.000$ 으로 차이를 보였고 10분과 20분에

서는 $p=.421$ 로 유의한 차이를 보이지 않았다. 20분과
 30분에서는 $p=.018$ 로 다시 유의한 차이가 나타났다
 (표 8).

표 8. 휴식군의 최대 수의적 수축력 대응비교

대응시간	대응차	t	df	p
피로직후 - 10분	-5.77±.78	-7.373	19	.000*
10분 - 20분	-.75±.91	-.822	19	.421
20분 - 30분	-2.85±1.10	-2.583	19	.018*

평균±표준오차 * $p < .05$

마사지군에서 나타나는 최대 수의적 수축력의 변화를
 시간대간에 비교한 결과로 피로직후와 10분에서는
 $p=.004$ 로 유의한 결과를 나타내었다. 10분과 20분에서

는 $p=.019$ 로 유의한 차이를 보였으나 20분과 30분간의
 비교에서는 $p=.693$ 으로 유의한 차이가 없었다(표 9).

표 9. 마사지군의 최대수의적수축력 대응비교

대응시간	대응차	t	df	p
피로직후 - 10분	-6.37±1.97	-3.227	22	.004*
10분 - 20분	-3.01±1.19	-2.531	22	.019*
20분 - 30분	-.36±.90	-.400	22	.693

평균±표준오차 * $p < .05$

스트레칭군에서 측정된 최대 수의적 수축력을 시간대
 간에 비교분석한 결과로 피로직후와 10분에서는
 $p=.146$ 로 시간대간에 유의한 차이를 보이지 않았다.

10분과 20분에서는 $p=.004$ 로 유의한 차이가 나타났다.
 20분과 30분에서는 $p=.014$ 로 유의한 차이를 보였다
 (표 10).

표 10. 스트레칭군의 최대수의적 수축력 대응비교

대응시간	대응차	t	df	p
피로직후 - 10분	-2.98±1.97	-1.514	20	.146
10분 - 20분	-4.50±1.36	-3.298	20	.004*
20분 - 30분	-2.88±1.07	-2.694	20	.014*

평균±표준오차 * $p < .05$

IV. 고 찰

이 연구는 Biodex 등속성 동력계를 이용하여 근피로
 를 유발하고, 최대 등척성 수의적수축력을 이용하여 근

피로의 회복양상을 측정하였다. 근피로의 측정방법에 대
 해서 여러 연구자들이 연구하였는데, 운동전·후의 혈청
 크레아틴 키나아제(creatine kinase) 또는 젖산의 농도
 를 측정하는 혈액·화학적 방법(Hagberg 등, 1982), 근

최대 수축력을 측정하는 운동 역학적 방법(Fulco 등, 1995), 그리고 간섭양상의 분석(Leisman 등, 1995) 및 주파수 영역에서의 분석(Mannion과 Dolan, 1996; Ng와 Richardson, 1996)을 통한 전기생리학적 방법 등이 있다. Vollestad(1997)는 근피로는 힘 발생능력의 측정에 많이 의존하고 있으며 최대 수의적 등척성 수축력이 자주 이용된다고 하였다. Pincivero 등(2004)에 의하면 슬관절 신전근의 피크 토크(peak torque)와 평균 토크(average torque)가 슬관절 굴곡 70°에서 가장 높았다고 하였는데, 이 연구에서도 슬관절 70° 굴곡에서 최대 수의적 수축력 측정과 근피로 유발 실험을 실시하였다.

근피로를 유발하는 방법에는 수의적 피로유발 검사(volitionally induced fatigue test)와 전기적 피로유발 검사(electrically induced fatigue test)가 있다(Binder-Macleod와 Snyder-Mackler, 1993). 이 두 가지 피로유발 방법은 생리학적으로 거의 동일한 결과를 나타내고 임상적으로 유용한 방법이라고 하였다(Bigland와 Woods, 1984; McDonnell 등, 1987). 이 연구에서는 수의적 피로유발 검사로서 50%의 MVC를 사용하였는데 이는 실제작업장에서 힘든 일을 할 때 주로 쓰이는 수준이고 NIOSH(National Institute of Safety and Health)에서 규제하는 작업수준이라 하였다(박태현과 김정룡, 2000).

근육의 피로 발생시점을 결정하는 방법에는 두 가지가 있는데, Baratta 등(1998)과 Potvin과 Bent(1997)에 의한 대상자의 입장에서 대상자 스스로가 피로를 느껴 운동수행을 포기하는 방법과 Hagberg(1981)와 Vollestad 등(1988)에 의한 연구자의 입장에서 대상자의 지구력을 측정하는 방법이 있다고 하였다. Thornley 등(2003)은 슬관절 신전을 통한 피로유발에 대한 실험에서 70%의 MVC로 등척성 수축을 하게하고 가능한 한 이 수준을 유지하도록 하였는데 이때 힘이 MVC의 30%까지 떨어지는 지점을 피로라 정의하였다. 고경석(2000)은 슬관절의 최대수축력의 50%로 신전력을 최대한 장시간 유지하도록 대상자에게 지시하여 피로를 측정하였는데 10%이내에서 유지가 가능했던 기간을 직무유지기(task maintenance stage)라 하고 이후 수축력이 감소하면서 25%의 수축력이 되는 기간을 직무실패기(task failure stage)라 하였다. 이 연구에서는 고경석(2000)의 방법을 사용하여 50% MVC로 지속적인 등척성 수축을 시작하여 이로부터 25%MVC까지 떨어지는 지점인 직무 실패기까지를 피로발생시점으로 하고 시간을 측정하여 직무 실패 시간이라 하였다.

이 연구에서는 근피로가 유발된 대퇴사두근에 대해 5분간 유날법을 사용하여 마사지를 적용하였다. 마사지에 대한 연구로 Ostuka 등(1999)은 5분간의 마사지면 국

소 주위 조직에 생리학적 반응을 일으키기에 충분하다고 하였는데 기계적 마사지를 사용하여 5분간 적용 후 근육내 혈류가 유의하게 증가하였다고 하였다. 또한 King(1993)과 박인기 등(2000)은 유날법이 무찰법보다 좀더 심부의 마사지이며, 근육의 덩어리와 그룹 등을 손아귀로 붙잡아 들어올리고, 비틀거나 쥐어짜는 것으로 이것은 격렬한 운동이나 동작 후에 소모된 대사성 산물들을 손상된 부위로부터 내보내는데 목적이 있다고 하였다.

이 연구에서 지속적인 등척성 수축 후 근피로로 인한 힘의 감소를 보였는데, 이러한 힘(torque)의 감소는 힘을 발생시키는 초기의 십자교 능력의 감소와 피로로 나중에 나타나는 근형질세망(sarcoplasmic reticulum: SR)으로 부터 Ca²⁺ 방출의 감소와 연관이 있다. 이러한 수축기전의 장애가 피로의 직접적인 원인으로 보인다(Westerblad 등, 1998; Metzger와 Moss, 1990). Westerblad 등(1998)은 후기 피로에서 SR의 Ca²⁺ 방출 감소는 ATP의 감소와 상관이 있고 감소된 Ca²⁺ 방출은 국소적인 ADP/ATP 비율의 증가 때문이라 하였다. 또한 Allen과 Westerblad(2001)는 근형질(myoplasm)에 무기인산염(inorganic phosphate: Pi)의 집중은 피로 동안에 사실상 증가하고 근섬유의 단백질(myofibrillar protein)과 수축 과정에 영향을 미친다고 하였다.

근육의 힘 발생 능력은 근육의 크기, 근섬유 종류, 그리고 근활성 특성과 같은 많은 요인에 의존하게 되는데, Freilich 등(1995)은 대퇴사두근의 등척성 수축력과 두께의 관련성에 관한 연구에서 MVC와 근육의 두께관계에 대한 남녀 간의 차이는 type I 섬유와 비교하여 더 큰 힘 생산능력을 지닌 type IIb 섬유의 크기와 관련이 있을 것이라고 하였다. 정소라와 정민근(1993)은 최대수축력이 클수록 최대수축력이 적은 경우에 비해 수축지속시간이 짧은 경향을 보이며 이러한 경향은 최대수축력이 큰 경우는 큰 힘을 순간적으로 동원할 수 있는 Type IIb 섬유의 비율이 상대적으로 높기 때문에 피로의 축적도 빨리 일어난다고 하였다. 이 연구에서는 피로가 유발되는 직무 실패 시간(time to task failure)이 여자가 남자보다 길게 나타났는데, 이는 남자에서 Type IIb 섬유의 비율이 높아 큰 힘을 발휘함으로써 상대적으로 피로유발이 빨리 일어나는 것으로 생각된다. 기존의 연구를 살펴보면 Hicks 등(2001)은 최대하 강도에서 지속적인 등척성 수축에 의한 직무 실패 시간이 남자에 비해 여자에서 더 크다고 하였다. 또 West 등(1995)은 30%, 50%, 75% MVC에서 지속적인 수축동안에 남자에서보다 여자에서 지구력 시간(endurance time)이 더 길게 나타났다고 하여 이 연구의 결과를 뒷받침해 주고 있다.

주어진 수축강도로 등척성 수축을 지속할 경우 근육의

피로로 인해 발휘 근력의 크기는 감소한다. 그러나 적절한 휴식시간이 주어질 경우 근육 피로의 회복에 따라 근력 또한 회복되게 된다(Funderburk 등, 1974; Lind, 1959). 변승남과 정운태(1995)는 지속적인 근수축에 따른 근력 회복율이 휴식시간 3분일 경우 45.8%로 나타났고 휴식시간이 늘어남에 따라 근력 회복율이 증가하여 휴식시간이 40분일 경우 근력은 86%까지 회복되는 것으로 보고하였다. 이 연구의 결과에 의하면 휴식을 적용한 군에서는 10분까지 빠른 회복을 보였으나 이후 20분까지는 회복이 둔화되다 마지막 30분에서 약간 증가하여 10분 이후에는 회복율이 떨어짐을 알 수 있었다.

이윤수(2000)는 운동 후 회복방법에 따른 혈중젖산 농도의 비교에서 스포츠 마사지회복과 운동회복이 안정 회복보다 혈중젖산농도를 빠르게 감소시키는데, 스포츠 마사지회복은 3분에서 10분 사이에서 회복율이 가장 높았고 운동회복은 회복기 10분에서 20분 사이에서 가장 높았다고 보고하였다. 서영환 등(2001)은 운동선수들에 대해 운동부하 후 피로회복에 스포츠마사지가 미치는 영향에 대한 실험에서 실험군에서는 피로회복에 소요된 시간이 22.3분이었고 비실험군은 45.93분으로 매우 큰 차이를 나타내었다. 이 연구에서는 마사지를 처치한 군이 10분에서 가장 큰 회복을 보였고 20분이면 거의 95%MVC까지 회복이 되어 서영환 등(2001)의 연구와 유사한 결과를 보였다.

이현희(2003)는 정적 스트레칭과 에반스-함베르크 스트레칭이 슬관절의 관절가동범위와 슬관절 신전근의 등척성 근력변화에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 4주와 8주에 관절 가동범위와 근력을 측정하였는데 정적 스트레칭에 비해 에반스-함베르크 스트레칭이 관절가동범위의 변화폭이 더 크고 근력 증가폭이 높게 나타나는 것으로 나타나 관절가동범위와 장기적인 근력의 향상에 스트레칭이 효과가 있는 것으로 보고하였다. 하지만 최근 여러 연구결과에 의하면 힘 발생에 대한 스트레칭의 즉각적인 영향은 유해한 것으로 보인다. Nelson 등(2001)은 대퇴사두근의 스트레칭을 적용한 후에 등속성 수축력을 측정하였는데 1.05 과 1.57 rad · s⁻¹에서 슬관절의 등속성 신전력이 각각 7.2%와 4.5% 감소를 보인다고 하였다. Laur 등(2003)은 슬픽근 스트레칭이 최대하 부하로 수행한 최대 반복회수에 유의한 감소를 보인다고 하였다. Fowels 등(2000)은 족저굴곡근의 지속적으로 강한 스트레칭 후에 1시간까지 MVC가 감소되었다고 하였다. 이러한 스트레칭 후의 직접적인 MVC 감소는 근활성 감소와 근육의 힘 발생 능력의 감소 때문이라 하였다. 이 연구에서는 피로 후 10분에서 스트레칭 처치 군이 다른 군과 비교하여 낮은 근수축력의 회복을 보였고 몇몇 대상자에서는 오히려 더 피로직후보다 더 낮은

수축력을 보여 이전의 연구와 결부시켜볼 수 있겠다. Eguchi(2004)는 지속적인 수축으로 요부근의 피로에 정적 스트레칭이 미치는 영향을 연구하였는데 대조군에서는 첫 번째 측정에서 보다 두 번째 측정에서 중간주파수(median frequency: MF)의 감소율이 커 측정 간에 피로의 영향으로 MF에 유의한 차이를 나타내었고 스트레칭을 적용한 군에서는 유의한 차이를 보이지 않아 정적 스트레칭이 MF의 감소율에 영향을 미쳐 요부근의 피로 회복에 유의한 영향을 미친다고 하였다. 이 연구에서는 스트레칭을 처치한 후 20분에서 근수축력의 회복이 크게 증가하기 시작하였고, 이후 30분까지 완만한 증가를 보였는데 10분까지는 역학적인 요인에 의해 힘 발생이 떨어지고 10분 이후부터는 스트레칭이 근수축력의 회복에 기여하는 것으로 보인다. 그리고 근피로 유발 후 30분이면 처치에 상관없이 근수축력의 회복이 비슷한 비율을 나타내었는데, 이 시점부터는 처치의 종류에 영향을 받지 않고 근수축력이 회복된다고 생각된다.

연구결과 피로발생시점에 있어 여자가 더 길게 나타나 남녀 간에 차이를 보여 근력과 근조성이 영향을 미침을 알 수 있었다. 근피로 유발 후 시간대에 따른 근수축력의 회복이 처치의 종류에 따라 다르게 나타남을 알 수 있었다.

V. 결론

이 연구에서는 건강한 남녀 64명(여자: 30명, 남자: 34명)을 대상으로 하고, 대상자들을 휴식군(20명), 마사지군(23명) 그리고 스트레칭군(21)로 나누어 대퇴사두근에 지속적인 등척성 수축을 통해 근피로 유발 후 최대 수의적 등척성 수축력의 변화양상을 Biodex System을 이용하여 알아보았다. 지속적인 등척성 수축에 의한 피로발생시점과 피로직후, 10분, 20분 그리고 30분에서 나타나는 등척성수축력의 변화를 측정하여 성별과 처치에 따라 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 피로발생시점을 측정한 결과로 직무실패 시간이 남녀 간에 차이를 보였는데 여자에서 유의하게 길었다.
2. 성별에 따른 최대 수의적 수축력은 여자군에서는 모든 시간대 간에 유의하게 변화하였으나, 남자군에서는 피로직후와 10분대 간에만 유의한 변화가 있었다.
3. 처치 집단 간의 최대 수의적 수축력의 비교에서는 10분에서 집단 간에 유의한 차이가 있었다.

4. 집단별 최대 수의적 수축력의 변화에서 시간대 간의 비교의 결과로 휴식군은 피로직후와 10분대 간에 그리고 20분과 30분대 간에서 유의한 차이를 보였다. 마사지군에서는 피로직후와 10분대 간에 그리고 10분과 20분대 간에서 유의한 차이가 나타났고, 스트레칭군에서는 10분과 20분대 간에 그리고 20분과 30분 대간에서 유의한 차이가 있었다.

이상의 결과를 종합해볼 때 남녀 간에 근육 특성에 의한 근피로 유발이 차이가 있었다. 최종적인 회복은 비슷한 결과를 보였으나 각 처치마다 근수축력의 회복이 시간대별로 다르게 나타났는데, 통계적으로 유의한 차이는 없었지만 마사지기군이 가장 빠른 회복을 보였고 휴식군과 스트레칭군은 보다 늦은 회복을 보였다.

참고문헌

고경석. 지속적 근수축시 시간경과에 따른 근피로도의 power spectrum 분석. 용인대학교 대학원 석사학위 논문. 2000.

김상수, 김한수, 박래준 등. 마사지의 이론과 실제. 서울, 학문사. 1999.

박인기, 이명수, 조병준. 스포츠 마사지에 관한 이론적 고찰. 충남대학교 체육과학연구지. 2000;18(1):70-76.

박태현, 김정룡. 등척성 신전 작업시 요추근육의 적정 피로회복시간 산정. 대한산업공학회/한국경영과학회 춘계공동학술대회논문집. 2000:621-624.

변승남, 정운태. 두 근 수축 방법이 피로 회복율과 근육 동원방법에 미치는 영향에 관한 연구. 대한인간공학 회지. 1995;14(1):9-23.

서영환, 나승희, 위승두. 스포츠마사지가 운동선수들의 피로회복에 미치는 영향에 관한 연구. 한국스포츠리 서치. 2001;12(4):513-522.

이윤수. 스포츠 마사지가 운동 후 혈중 젖산 농도변화와 심박수에 미치는 영향. 원광대학교대학원, 석사학위 논문. 2000.

이현희. 에비안스-함베르크 스트레칭이 슬관절의 관절 가동범위와 등척성, 등속성 근력 변화에 미치는 영향. 연세대학교 교육대학원, 석사학위논문. 2003.

정소라, 정민근. 주기적 등척성 수축에서의 국소 근육피로 측정을 통한 피로지수의 개발. 대한산업공학회 지. 1993;19(4):87-96.

Allen DG, Westerblad H. Role of phosphate and calcium stores in muscle fatigue. J Physiol.

2001;536(3):657-65.

Baratta RV, Solomonow M, Zhou B et al. Methods to reduce the variability of EMG power spectrum estimates. J Electromyogr Kinesiol. 1998;8(5):279-85.

Bigland-Ritchie B. Muscle fatigue and the influence of changing neural drive. Clin Chest Med. 1984; 5(1):21-34.

Bigland-Ritchie B, Woods JJ. Changes in muscle contractile properties and neural control during human muscular fatigue. Muscle Nerve. 1984;7(9):691-9.

Binder-Macleod SA, Snyder-Mackler L. Muscle fatigue: clinical implications for fatigue assessment and neuromuscular electrical stimulation. Phys Ther. 1993;73(12):902-10.

Chaffin DB. Localized muscle fatigue--definition and measurement. J Occup Med. 1973;15(4):346-54.

Drouin JM, Valovich-mcLeod TC, Shultz SJ et al. Reliability and validity of the Biodex system 3 pro isokinetic dynamometer velocity, torque and position measurements. Eur J Appl Physiol. 2004;91(1):22-9.

Edwards RHT. Biomechanical bases fatigue in exercise performance: Catastrophe theory of muscular fatigue in: Biochemistry of exercise. Int Ser Sports Sci.1983:13.

Eguchi A. Effect of static stretch on fatigue of lumbar muscles induced by prolonged contraction. Electromyogr clin Neurophysiol. 2004;44(2):75-81.

Evjenth O, Hamberg J. 근육 신장의 맨손요법: 실전의 길잡이. 경기도, 메드라인. 2001.

Fowles JR, Sale DG, MacDougall JD. Reduced strength after passive stretch of the human plantarflexors. J Appl Physiol. 2000;89(3):1179-88.

Freilich RJ, Kirsner RL, Byrne E. Isometric strength and thickness relationships in human quadriceps muscle. Neuromuscul Disord. 1995;5(5):415-22.

Fulco CS, Lewis SF, Frykman PN et al. Quantitation of progressive muscle fatigue during dynamic leg exercise in humans. J Appl Physiol. 1995;79(6):2154-62.

Funderburk CF, Hipskind SG, Welton RC et al. Development of Recovery from fatigue induced by

- static effort at various tensions. *J Appl Physiol.* 1974;37(3):392-6.
- Goats GC. Massage--the scientific basis of an ancient art: Part 2. physiological and therapeutic effects. *Br J Sports Med.* 1994;28(3):153-6.
- Guyton AC. Local control of blood flow by the tissue, and hormonal regulation, In: *Textbook of Medical Physiology*, eighth edition, Philadelphia, PA: W.B. Saunders. 1991.
- Hagberg M, Michaelson G, Ortelius A. Serum creatine kinase as an indicator of local muscular strain in experimental and occupational work. *Int Arch Occup Environ Health.* 1982;50(4):377-86.
- Hagberg M. Muscular endurance and surface electromyogram in isometric and dynamic exercise. *J Appl Physiol.* 1981;51(1):1-7.
- Hemmings B, Smith M, Graydon J et al. Effects of massage on physiological restoration, perceived recovery, and repeated sports performance. *Br J Sports Med.* 2000;34(2):109-15.
- Herbert RD, Gabriel M. Effects of stretching before and after exercising on muscle soreness and risk of injury: systematic review. *BMJ.* 2002;325:468-72.
- Hicks AL, Kent-Braun J, Ditor DS. Sex differences in human skeletal muscle fatigue. *Exerc Sport Sci Rev.* 2001;29(3):109-12.
- Hinds T, McEwan I, Perkes J et al. Effects of massage on limb and skin blood flow after quadriceps exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2004;36(8):1308-13.
- Kahn JF, Monod H. Fatigue induced by static work. *Ergonomics.* 1989;32(7):839-46.
- King RK. *Performance Massage*. Champaign. Human Kinetics. 1993.
- Kisner C, Colby LA. *운동치료 총론*(배성수 외 15인 역). 서울, 영문출판사, 1997.
- Latash ML. *운동의 신경생리학적 기초*(박상범과 김미현 역). 서울, 도서출판 금광, 2002.
- Laur DJ, Anderson T, Geddes G et al. The effects of acute stretching on hamstring muscle fatigue and perceived exertion. *Jf Sports Sci.* 2003;21(3):163-70.
- Leisman G, Zenhausern R, Ferentz A et al. Electromyographic effects of fatigue and task repetition on the validity of estimates of strong and weak muscles in applied kinesiological muscle-testing procedure. *Percept Mot Skills.* 1995;80(3 Pt 1):963-77.
- LIND AR. Muscle fatigue and recovery from fatigue induced by sustained contractions. *J Physiol.* 1959;127(1):162-71.
- Mannion AF, Dolan P. Relationship between myoelectric and mechanical manifestations of fatigue in the quadriceps femoris muscle group. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1996;74(5):411-19.
- McDonnell MK, Delitto A, Sinacore DR et al. Electrically elicited fatigue test of the quadriceps femoris muscle: Description and reliability. *Phys Ther.* 1987;67:941-5.
- Metzger JM, Moss R. Effects on tension and stiffness due to reduced pH in mammalian fast- and slow-twitch skinned skeletal muscle fibers. *J Physiol.* 1990;428:737-50.
- Mori H. Effect of massage on blood flow and muscle fatigue following isometric lumbar exercise. *Med Sci Monit.* 2004;10(5):CR137-78.
- Nelson AG, Guillory IK, Cornwell A et al. Inhibition of maximal voluntary isokinetic torque production following stretching is velocity-specific. *Journal of Strength and Conditioning Research.* 2001;15:241-6.
- Ng JK, Richardson CA. Reliability of electromyographic power spectral analysis of back muscle endurance in healthy subjects. *Arch Phys Med Rehabil.* 1996;77(3):259-64.
- Otsuka T, Hirai K, Mori H. Change of intramuscular circulation by commercial massage device. *Nihon Shugi Ryouho Zasshi.* 1999;10.
- Pincivero DM, Salfetnikov Y, Campy RM et al. Angle- and gender-specific quadriceps femoris muscle recruitment and knee extensor torque. *Journal of Biomechanics.* 2004;37:1689-97.
- Potvin JR, Bent LR. A validation of techniques using surface EMG signals from dynamic contractions to quantify muscle fatigue during repetitive tasks. *Electromyogr Kinesiol.* 1997;7:131-9.
- Shankar K. *운동처방*(대한운동치료학회 역). 서울, 영문출판사, 2001.
- Thornley LJ, Maxwell NS, Cheung SS. Local tissue temperature effects on peak torque and muscular

이종대 외 2인 : 등척성수축으로 근피로 유발 후 스트레칭과 마사지가 근수축력 회복에 미치는 영향

- endurance during isometric knee extension. *Eur J Appl Physiol*, 2003;90:588-94.
- Vollestad NK. Measurement of human muscle fatigue. *Journal of Neuroscience Methods*. 1997;74:219-27.
- Vollestad NK, Sejersted OM, Bahr R et al. Motor drive and metabolic responses during repeated submaximal contractions in humans. *J Appl Physiol*. 1988;64:1421-17.
- West W, Hicks A, Clements L et al. The relationship between voluntary electromyogram, endurance time and intensity of effort in isometric handgrip exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1995;71(4):301-5.
- Westerblad H, Allen DG, Bruton JD et al. Mechanisms underlying the reduction of isometric force in skeletal muscle fatigue. *Acta Physiol Scand*. 1998;162:253-260.
- Worell TW, Smith TL, Winegardner J. Effect of stretching on hamstring muscle performance. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1994;20:154-9.