



노화가 지속적 최대하강도 수축시 근피로 기전에 미치는 영향 The Effect of Aging on the Mechanism of Muscle Fatigue during Sustained Submaximal Isometric Contraction

윤태진* · 김용운 · 정철수(서울대학교), Hunter Sandra(Marquette Univ.)
Yoon, Te-Jin* · Kim, Yong-Won · Chung, Chul-Soo(Seoul National University),
Hunter, S. K(Marquette Univ.)

ABSTRACT

T. J. YOON, Y. W. KIM, C. S. CHUNG, S. K. HUNTER, The Effect of Aging on the Mechanism of Muscle Fatigue during Sustained Submaximal Isometric Contraction. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 15, No. 2, pp.51-59, To examine the influence of aging on the mechanism of muscle fatigue, we compared the magnitude of central and peripheral fatigue in young and old women before, during and after a sustained submaximal isometric contraction of elbow flexor muscles. Twelve women (6 young, 20.7 ± 1.2 years and 6 old, 68.8 ± 2.9 years) performed a contraction at 20% of maximal voluntary contraction (MVC) torque with their non-dominant arm. The old women were weaker than the young women, however their endurance time for the 20% contraction was longer compared with the young women (1822 ± 444 vs. 1061 ± 678 sec, $p < .05$). Both groups had a similar reduction in voluntary activation ratio (VA) during and after the fatiguing contraction. However, the old women showed much greater variability in VA before and after the contraction (91.61 ± 4.54 % and 76.70 ± 19.55 %, range of 79~99 to 87~99% respectively) compared with the young women (95.71 ± 1.86 % and 83.46 ± 7.57 %, range of 39~75 to 69~90%, respectively). Furthermore, the EMG activity of the elbow flexor muscles and triceps brachii was greater for the old women compared with the young women throughout the fatiguing contraction, indicating different activation strategies with age. Indices of peripheral fatigue including twitch properties, showed that fatigue within the muscle was more rapid for the young women compared with the old women. These results suggest that although old women are weaker than young women, they have greater endurance due to mechanisms within muscle. Furthermore, old women showed great variability in their ability to optimally activate all muscle fiber compared with young women for an isometric contraction.

KEYWORDS: FATIGUE, VOLUNTARY ACTIVATION, ENDURANCE, MVC, OLD, WOMEN

I. 서론

인간에게 있어 피로란 현상은 관련 영역에 따라 다양한 형태로 나타나며 다소 추상적이고 광의적인 개념이다. 일반적으로 운동학 연구에서 피로는 근피로를 뜻한다. 구체적으로 근피로는 “운동으로 야기된 급성적인 근육의 힘 발휘 능력 저하”를 의미하며, 근피로의 정도는 수의적으로 수축할 수 있는 최대 힘의 감소량으로 정량화되거나 최대하의 목표 힘으로 수축할 때 과업 지속 실패시간으로 나타낼 수 있다(Gandevia, 2001). 이와 같이 운동과 함께 급성적으로 발생한다는 측면에서 근피로는 일상생활뿐만 아니라 스포츠 활동에서 인간의 수행력을 제한하는 주요 요인 중의 하나로 매우 중요한 의미를 지닌다고 할 수 있다. 따라서 근피로는 지난 백여 년간 많은 학자들에게 있어 지대한 관심을 끌여왔다. 하지만 지난 백여 년간의 연구에도 불구하고 근피로의 기전은 여러 부분에서 아직도 논쟁 중인 상태로 남아있다. 특히 중추와 말초 피로의 상대적인 역할은 지금도 진행 중인 대표적인 연구 주제라 할 수 있다.

한편, 피로에 관한 많은 연구에도 불구하고, 노화가 피로에 미치는 영향에 관한 연구는 상대적으로 적은 편이다(Allman & Rice, 2002). 노화 과정이 모든 근육군에 동일하게 영향을 미치는 것은 아니나 노화로 인하여 근육량이 줄고 힘 발휘 능력이 저하되는 것이 일반적인 현상이다(Grimby, 1995; Lexell, 1995). 또한 일부 근육에서 나타나는 II형 근섬유의 위축으로 인한 수축 속도의 감소와 같은 동적인 능력의 저하는 정적 능력의 손실의 정도 보다 더욱 큰 것으로 보고되었다(Lanza, Luss, & Kent-Braun, 2004; Lanza, Towse, Caldwell, Wigmore, Kent-Braun, 2003). 이와 같은 연구 결과로 미루어 볼 때, 노화가 근피로에 미치는 영향은 젊은이를 대상으로 한 기존의 근피로 연구 결과와는 다른 양상을 띠지 않을까하는 의문이 가능하다. 결론적으로 기존의 연구는 실험 조건에 따라 다양한 결과를 나타내고 있다. 예를 들어, 일부 연구자들은 노인 쪽이 더 피로했다고 하며(Cupido, Hicks, & Martin, 1992), 일부는 비슷했으며(Allman & Rice, 2001), 또 다른 학자들은 노인 쪽이 젊은이보다 덜 피로했다고 보고했다(Bilodeau

& Erb, 2001; Behm, St-Pierre, & Perez, 1996; Ditor & Hicks, 2000; Kent-Braun, Ng, Doyle, Towse, 2002). 이러한 상이한 결과에 대한 원인은 연구마다 각기 다른 피험자의 연령, 성, 신체 활동 상태 그리고 시행된 피로 과업에 차이로 설명될 수 있을 것이다(Allman & Rice, 2002). 또한 이러한 연구 결과들을 볼 때, 피로기전에 대한 중추 및 말초의 상대적인 역할에 대해서도 또 다른 의문이 생긴다. 예를 들어 근육으로의 수의적 명령(voluntary drive)이 약화되는 중추 피로가 노인 쪽에서 더하다는 연구 결과(Bilodeau et al., 2001; Stackhouse, Stevens, Lee, Pearce, Snyder-Mackler, Binder-Macleod, 2001)가 보고되었다. 이는 노인 쪽이 상대적으로 같은 강도 부하라면 덜 피로한데(Hunter, Christchlow, & Enoka, 2004), 중추 피로는 오히려 증가한 역설적인 피로 기전을 보인다는 것이다. 이상의 결과들로 볼 때, 노화로 인한 피로의 기전의 변화를 충분히 예측할 수 있을 것이다. 하지만 현재까지도 노화에 따른 중추 피로의 상대적인 역할에 대한 연구는 다른 영역의 피로 연구에 비해 미진한 편이다. 이와 같은 맥락에서 본 연구는 젊은 여성 집단과 노인 여성 집단의 최대 수의적 수축력(MVC), 수의적 활성화 수준(VA), 근전도, 인지적 자각도(RPE) 등을 비교하여 노화가 여성의 근피로 기전에 미치는 영향을 규명하기 위한 것이다. 본 연구를 통해 나타난 결과는 피로 연구에 있어 기초적인 자료의 마련이라는 학문적인 측면뿐만 아니라 노인 복지라는 실질적인 측면에서 노인을 위한 운동 프로그램의 마련과 노인을 위한 보조 도구 개발에 유용한 자료로 사용될 수 있기를 기대한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구의 대상은 20대의 젊은 여성과 65세 이상의 노인여성(각 6명)으로 하였다. 연구 대상자는 M시 인근의 거주자로 알림판, 지역신문, 관련 홈페이지 등에 게재한 광고를 통해 모집하였다. 모든 연구대상자는 심혈관계 질환, 정신 질환, 신경 질환 그리고 상지의 수술 전력이 없었다.

표 16. 연구대상자의 신체 특성

집단구분	연령(세)	신장(cm)	체중(kg)
노인여성(OW)	68.83±2.86	157.92±45.26	60.62±39.46
젊은여성(YW)	20.67±1.21	166.60±7.28	58.47±9.84

2. 실험도구

본 연구의 실험 도구로는 힘 측정 도구, 근전도 측정 도구, 전기 자극 도구, 기타 용품 등이 있다

1) 힘 측정도구

상완 근력을 측정하기 위한 미국 JR3사의 Force-Moment Sensor와 연구대상자의 손목을 보호하기 위해 플라스틱과 알루미늄을 이용하여 제작된 손목아대 모양의 성형도구¹⁾ 등으로 구성되었다.

2) 근전도 측정 도구

In Vivo Metric사의 반복적 사용이 가능한 원형의 지름 8mm Ag-AgCl 전극과 전극 신호를 증폭하는 Coulbourn사의 Lablink V모델 모듈로 구성되었다.

3) 전기 자극 도구

Digitimer DS7A 모델, 최대 400V, 1000mA로 TTL 형태의 전기를 발생시킬 수 있다.

4) 아날로그 디지털 변환기

CED(Cambridge electronics design)사의 Power 1401 모델로 16개의 아날로그 채널, 각각 2개씩의 아날로그, 디지털 출력, 입력, 트리거 등 총 32개의 단자를 갖추고 있으며 컴퓨터와 USB 단자로 연결이 되어 있다. 또한 수축력에 대한 피드백을 위해 두 대의 오실로스코프와 T형 BNC 어댑터로 연결 되어 있다. 또한 디지털 출력에 의해 전기 자극기를 제어 할 수 있도록 연결 되어 있다.

5) 오실로스코프

시각적 피드백을 위한 Tektronix사의 TDS 2014모델(4 채널, 100MHz, 1GS/s)와 TDS 3014B 모델(4채널, 1000Hz, 1.25GS/s)이 사용되었다.

6) 기타 용품

In Vivo Metric사의 피부 연마젤, 전극용 젤, 알코올 패드 및 기타 측정(자, 초시계) 도구 및 실험 용품 등이 있다.

3. 실험방법

1) 예비 실험

연구대상자에 대한 간단한 문진과 연구 대상자가 직접 실험기구를 조작하여 실험에 대한 공포심을 최소화 시키며 실험에 대해 친숙해질 수 있도록 하는 단계이다.

2) 본 실험

① 실험준비-성형도구와 근전도 전극 및 전기 자극 전극을 부착(상완 이두, 완요골근, 상완삼두근 muscle belly에 약 2cm 간격의 근전도 전극, 전기 자극 전극은 상완과 전완의 경계부분에서 약 4cm 위의 이두근 위)한 후 실험용 의자에서 실험자세로 앉게 한다. 간단한 준비 운동과 자료 입력의 이상 유무를 확인한다. (실험 자세: 왼팔을 수직 아래로 늘어뜨려 의자에 앉은 상태에서 전완을 굴곡하여 상완과 90° 각도를 이루게 한 후, 전완을 회내와 회외의 중심위에 오도록 하였다. 이 상태에서 팔꿈치를 축으로 손목 관절 부위에 부착된 힘 측정기를 직상방으로 밀어올리는 동작을 실시하였다.)

② 최대위 자극 결정-25mA에서부터 25mA씩 전기 자극의 강도를 높이며 단축력을 모니터하여 단축력이 더 이상 증가하지 않을 때의 자극을 실험의 최대위 자극으로 결정한다.

③ 최대 수의적 수축력의 결정-실험 자세를 취한 후 약 5초간의 최대 수축을 발휘하여 오실로스코프에 나

1) <http://www.orthomerica.com/products/upext/whto.htm>

타난 값을 측정한다. 각각의 값이 최대 5% 이상이 차이가 나지 않을 때까지 1분간의 휴식 후 3내지 4회 반복한다.

④ 피로 수축 약 5분간의 휴식을 취한 후 최대힘의 20% 강도를 지속 정적 수축을 시작한다. 매 5분마다 최대수축을 실시한 후 근육을 완전히 이완시키고 전기 자극을 가한 후, 다시 20% 강도의 수축을 계속한다. 더 이상 계속할 수 없을 때(과업 실패: 최종 5초중 3초의 값이 목표 강도의 10% 이상 떨어질 때)까지 위의 과정을 반복한 후 완전 이완 후 다시 최대 수축을 실시한다.

⑤ 전기자극-수의적 수축률을 계산하기 위한 것으로 매 5분 직 후 최대 수축의 정점과 완전 이완 시에 최대 위 전기 자극을 가한다.

⑥ 각 실험 측정 변인의 Sampling Rate는 힘 변인은 1,000Hz, 근전도는 2,000Hz로 하였다. 특히 근전도는 Lablink V모델 모듈을 이용하여 13~1,000 Hz의 대역에서 필터링을 실시한 후 power 1401로 전달되었다.

4. 자료처리 및 자료분석

각 측정도구로부터 컴퓨터로 전달된 각종 신호는 SPIKE2 ver 5.12 프로그램을 이용 하드디스크에 컴퓨터 파일로 저장되었다. 이후 저장된 파일은 연구 목적에 맞게 SPIKE2의 내장 Script와 Excel 등의 프로그램을 이용하여 분석하였다. 세부적인 내용은 다음과 같다.

1) 과업 지속 (실패) 시간

근수축을 시작하여 최초로 목표 힘을 통과하는 시점을 시작으로 목표 힘의 10% 미만이 3초간 지속될 때까지의 시간이다.

2) 최대 수의적 수축력(MVC)

최대 수축 구간에서 최대값을 중심으로 0.5초의 구간을 평균하여 값을 취하고, 3~4회의 수축 값을 다시 평균한다.

3) 단축력(Twitch Force; Tw)

전기 자극이 가해지는 순간을 기준으로 전기 자극에

의한 추가적인 힘 파형의 최대값을 단축력으로 하였다. 특히 근육을 완전히 이완한 상태의 단축력을 VA 산출을 위한 Control Twitch(Tw_c)으로 하였다.

4) TTP, HRT, dTTP, dHRT

TTP와 HRT는 힘 파형에서 각각 자극 후 최대값에 이르는 시간과 다시 최대 단축력의 반이 되는데 걸리는 시간을 의미하며, dTTP와 dHRT는 각각 단축력을 TTP와 HRT로 나눠 표준화한 값이다.

5) 수의적 수축률(Voluntary Activation; VA)

근수축시 수축력에 기여한 수의적 능력의 정도를 나타내는 값으로 다음과 같이 Merton(1954)의 이론을 기초한 공식을 사용하였다.

$$\text{수의적 수축률(VA)} = (1 - (\text{Tw} / \text{Tw}_c)) \times 100$$

6) 힘 변동성(불안정성)

피로 수축 시 힘 유지의 안정성(steadiness)을 측정하기 위한 지수로 분석구간에서 힘 값의 표준편차를 구해 다시 평균값으로 나누어 산출하였다. 분석 구간은 각 상대 시간 시점(0, 25, 50, 75, 100%)에서 전·후의 30초 구간의 즉, 0, 100%구간은 30초, 나머지 구간은 1분간의 구간으로 산출하였다.

힘 관련 변인은 힘 변동성을 제외하고, 모두 피험자의 팔 길이를 참고하여 회전력으로 환산하여 분석하였다.

7) 근전도

최대 수의적 수축 시 발생하는 근전도 파형에서 0.5초 구간의 RMS 값을 구하였다. 이후 안정성 변인과 같은 구간에서 구해진 값을 최대 수축시 근전도 값으로 표준화시켜 비교 분석하였다.

8) 인지적 자각도

피로 수축 개시, 이후 매 1분마다 분석하였다.

5. 통계처리

노화(개체간변인)에 따른 피로전후(반복)의 변인 값

을 SPSS+ Ver 13.0 패키지를 이용 하여 반복 측정 분산 분석을 실시하였다. 이후 집단 간의 정확한 비교를 위한 일부 변인에 대해 t-test를 실시하였으며, 유의 수준은 .05로 하였다. 모든 자료의 값은 평균 ± 표준편차로, 그림의 경우 평균과 표준오차로 표시하였다.

III. 결과 및 논의

1. 수축 과업 지속 시간

<그림 1>과 같이 노인 여성과 젊은 여성 집단의 20% 수축 과업 지속 시간은 노인 쪽이 더 긴 것 (1822.15 ± 444.15 vs. 1066.80 ± 678.17 초, $p < .05$)으로 나타났다. 이러한 결과는 비슷한 강도의 같은 근육을 대상으로 한 선행연구(Bilodeau, 2001; Hunter, 2004)의 결과와 일치하였다. 이는 노화에 따른 근량과 II형 근섬유의 감소로 절대 근력의 감소를 초래하고 결국 상대적으로 낮은 강도에서 더 많은 비율의 I형 근섬유를 이용하여 근수축을 하기 때문인 것으로 사료된다.

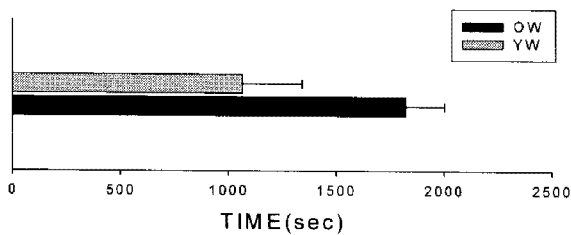


그림 1. 수축과업 지속시간

2. 최대 수의적 수축력(MVC)

최대 수의적 수축력은 <표 2>와 같이 나타났다. 두 집단 모두 피로에 따라 감소하는 것으로 나타났으며, 피로 수축 전후의 최대 수의적 수축력은 모두 노인 집단이 약한 것($p < .05$)으로 나타났다. De Serres와 Enoka(1998)는 근력저하의 한 가능성으로 상완 굽힘근의 활성화 능력을 비교한 연구에서 노인이 최대 수축중에 최대로 활성화시킬 수 있다고 하였다. 결국 본 연구의 노인 연구 대상자들의 최대 수축 능력 저하는 근육자체의 의한 것으로 사료된다. 이러한 결과는 노화로 인한 근력의 저하 현상과 일치하는 것이다. 하지만 피로와 관련하여 노인 여성 집단의 힘 저하율은 젊은 여성의 집단보다 큰 것으로 나타났다 (표 2, 그림 2). 즉, 말초 또는 중추 피로에 의해 노인 쪽의 최대 근력이 더 큰 비율로 영향을 받은 것으로 사료된다.

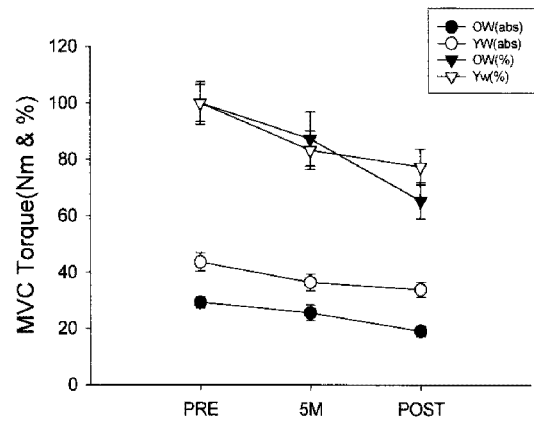


그림 2. 최대 수의적 수축력

표 17. 최대 수의적 수축력과 VA

변인	집단구분	시간			피로효과	ΔPre/Pre(%)
		PRE	5min	POST		
MVC (N·m)	OW	29.23±4.74	25.50±6.84	19.12±4.56	p < .05	34.75±10.36
	YW	43.65±8.07	36.31±7.34	33.78±6.77		
	집단비교	p < .05	p < .05	p < .05		
VA (%)	OW	83.46±7.57	84.29±14.47	76.70±19.55	p < .05	20.16±8.23
	YW	95.71±1.86	91.23±5.23	83.46±7.57		
	집단비교	p > .05	p > .05	p > .05		

* Δ Pre / Pre (%) = (PRE-PO)/PRE ×100(%), 피로효과를 제외한 나머지는 t-test 실시

3. Control Twitch Torque(Twc)

Twc는 두 집단 모두 피로에 따라 차이가 있는 것 ($p < .05$)으로 나타났다. 하지만 전반적으로 감소하는 경향에도 불구하고 사후 최대 수축 후 보다 과업 실패 직후의 Twc는 더 작게 나타났다. Twc이 감소한다는 것은 근수축의 지속에 따라 말초 피로가 진행되었음을 의미한다. 즉, 동일한 전기 자극에도 안정시 근육의 반응이 저하 된다는 것은 근신경 연결로부터 마이오신의 십자 가교가 근수축을 위해 액틴에 결합하는 일련의 과정에 피로로 인한 장애가 발생한 것이다(Enoka, 2001). <그림 3>에서와 같이 약 5분의 수축 후 노인 여성 집단은 초기 수준을 지속하고 있는데 반해 젊은 여성 집단의 경우 약 20%가 감소하여 더 빠르게 피로가 진행됨을 알 수 있었다. 본 실험 결과에서 한 가지 흥미로운 사실은 더 이상 근수축을 지속할 수 없는 과업 실패 직후의 Twc가 두 집단 모두 약 5초 후의 최대 수축 후에 전기 자극에 다시 커진다는 것이다. Garner Hicks & McComas(1989)는 전기 자극 전 수축의 특성에 따라 발생하는 Twc의 강화 현상과 피로 사이의 상호작용에 의하여 Twc가 변화할 수 있다고 하였는데 본 연구의 결과도 이러한 맥락에서 해석될 수 있을 것이다. 즉, 대단히 짧은 시간 안에 말초 피로의 일부가 회복 될 수 있거나 강한 근수축에 의한 단축력의 강화 현상 또는 이 두 가지 요소모두에 의한 것으로 사료된다.

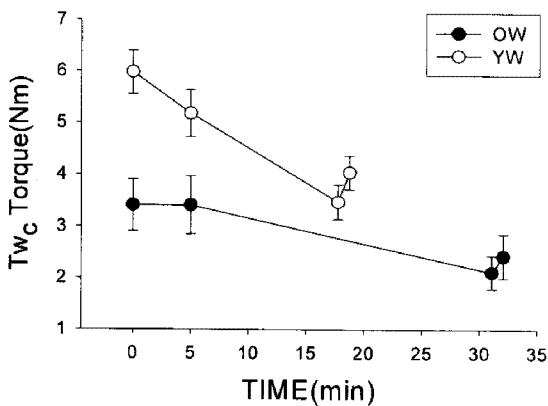


그림 3. Twc 토크

4. TTP, HRT, dTTP, dHRT

TTP의 경우 상호작용은 나타나지 않았지만 시간에 따른 차이는 통계적으로 유의하지 않았다. 단지 집단 간의 비교에서 전반적으로 노인 집단이 큰 것으로 나타났다. HRT의 경우 시간에 따라 감소하는 것으로 나타났으나 집단 간의 평균차이는 나타나지 않았다. dTTP의 경우 시간에 따른 차이가 나타났으며 노인 집단이 더 작은 것($p < .05$)으로 나타났다. 또한 dHRT의 경우 시간에 따른 차이는 통계적으로 유의하지 않았으나, 노인 집단 쪽이 더 작은 것으로 나타났다. 통계 결과나 두 집단 간의 특징적인 차이점은 두드러지지 않았다.

5. 수의적 수축률(Voluntary Activation Ratio)

수의적 수축률은 두 집단 모두 피로에 따라 선형적으로 감소($p < .05$)하는 것으로 나타났다. 하지만 두 집단 간의 차이는 없는 것($p > .05$)으로 나타났다. 단지 사전의 수의적 수축률에 대한 비교에서 통계적으로 유의($p = 0.6$)하지는 않았지만 노인 집단이 더 작은 경향이 나타났다. <그림 5>은 각 6명씩 3회에서 4회씩의 사전 MVC 측정에서 얻어진 수의적 수축률이다. 노인 집단의 수의적 수축률은 다소 넓게 분포하는 것을 알 수 있으며 노인 간에도 수의적 수축률에 차이가 있음을 추측할 수 있다. Jakobi 와 Rice(2002)는 노인의 수의적 수축률이 젊은이에 비해 떨어지나 연습을 한 후 시기를 증가시키면 증가될 수 있다고 하였는데 본 실험의 경우 각 일회의 측정으로 확인 할 수는 없었다. 피로와 관련하여 수의적 수축률의 저하는 중추 피로가 존재함을 의미하는데 두 집단 모두 중추피로가 진행되었음을 알 수 있었으며 선행연구의 결과와는 상반되게 피로후의 수의적 수축률이나 감소 비율 모두 두 집단 간의 유의한 차이는 나타나지 않았다. 하지만 여전히 노인의 수의적 수축률이 상대적으로 낮은 값을 나타내어 노인의 중추 피로가 더할 가능성을 배제할 수 없는 것으로 사료된다. 결국 집단 간의 차이점을 명확히 하기 위해서는 특히 VA의 변화정도가 큰 노인 연구 대상자의 사례 수를 늘린 후속 연구가 필요한 것으로 판단된다.

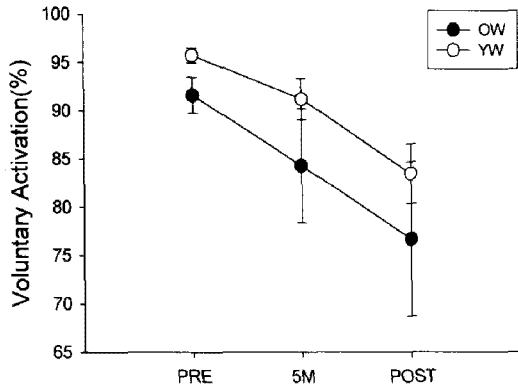


그림 4. 수의적 수축률

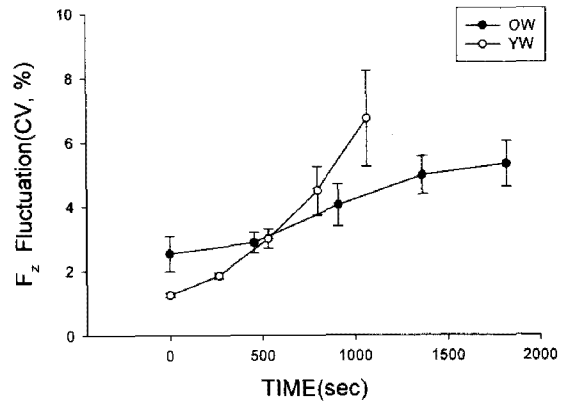


그림 6. 힘 변동성

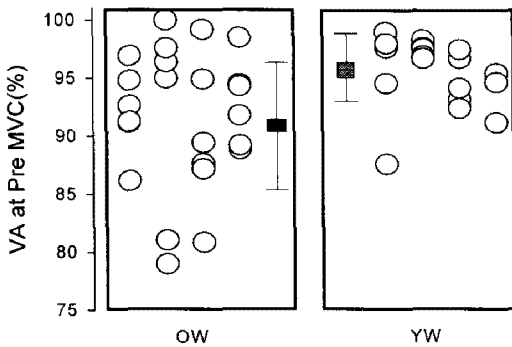


그림 5. 사전 MVC에서 VA의 분포

6. 힘 변동성(Fluctuation)

힘 변동성은 두 집단 모두 피로에 따라 선형적으로 증가($p < .05$)하는 것으로 나타났으나, 두 집단 간의 전반적인 평균 차이는 나타나지 않았다. 하지만 초기 값을 100으로 한 과업 실패시의 변화량을 표준화하여 비교한 결과 노인 집단 쪽이 더 작은 것($p < .05$)으로 나타났다. 이는 Hunter 등(2004)의 연구결과와 일치하는 것으로 노인 쪽이 상대적으로 더 안정되게 근수축을 유지하는 것으로 판단된다.

7. 근전도

상완 이두근, 완요골근, 상완삼두근의 표준화된 근전도 값은 두 집단 모두 피로에 따라 선형적으로 증가하는 것($p < .05$)으로 나타났다. 상완 이두근과 완요골근

의 경우는 두 집단 간의 전반적인 차이가 나타났으며 전반적으로 노인 쪽의 근전도 값이 큰 것으로 나타났다. ($p < .05$) 하지만 상완 삼두근의 경우 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 근전도 값이 커진다는 것은 상대적인 근활동이 더 크다는 것을 의미한다. 두 가지 요소 즉, 근섬유 동원과 방전비율이 증가함을 의미한다. 또한 동일한 강도의 수축을 유지하는데 근활동의 비율이 커진다는 것은 지속적 근수축으로 인한 말초 피로가 진행되고 있음을 의미한다. 하지만 <그림 7>에서와 같이 두 집단을 비교할 때 다소 이해하기 힘든 점이 나타났다. 전술한 바와 같이 젊은 여성 집단의 말초 피로가 더 빨리 진행되는 것으로 판단되었는데 전반적인 근전도 값은 여성 노인 집단이 더 큰 것으로 나타났기 때문이다. 하지만 이러한 해석은 표면 근전도 연구 방법이 갖는 태생적인 한계를 감안해야 할 것이다.

8. 인지 자각도(RPE)

인지 자각도는 피로 3분 후부터 두 집단 모두 선형적으로 증가($p < .05$)하는 것으로 나타났다. 3분 후부터의 5분까지의 인지적 자각도는 노인 집단 쪽이 더 낮은 것($p < .05$)으로 나타났다. 또한 인지적 자각도가 최대(10)에 이르는 시간은 노인 쪽이 더 늦은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 전술한 피로진행과 같은 맥락이다. 하지만 한 가지 흥미로운 사실은 두 집단 모두 최대 수축에 이르렀다고 응답하면서도 짧게는 수 분에서 20여 분간의 수축을 더 지속할 수 있다는 사실이다. 근수축

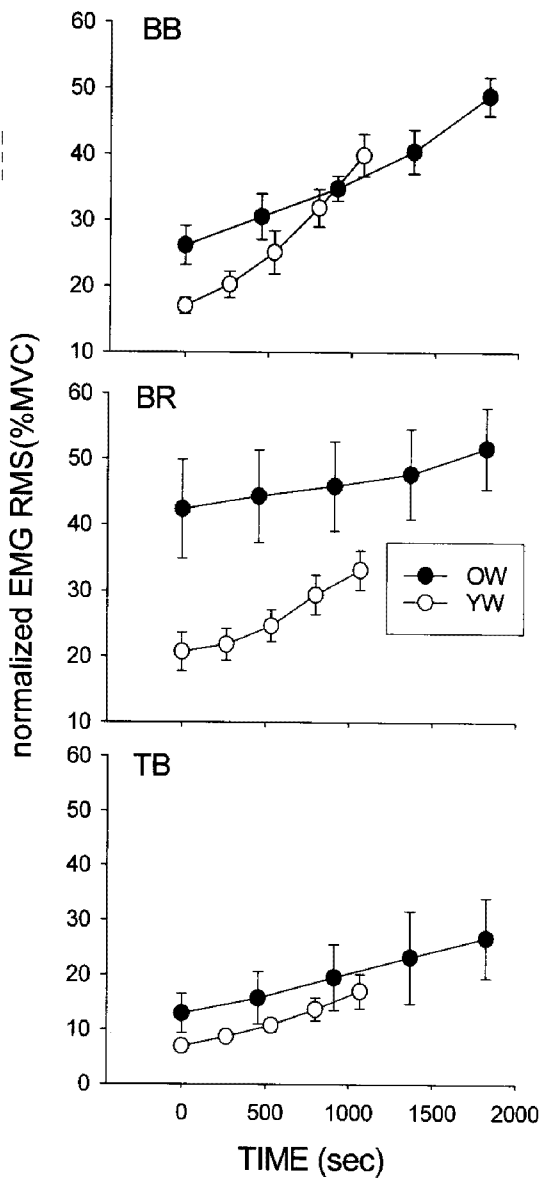


그림 7. 표준화 근전도

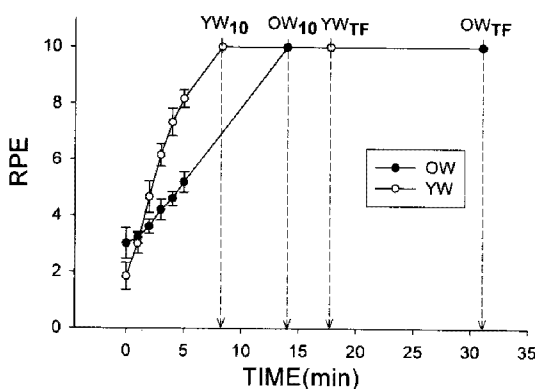


그림 8. 인지적 자각도

지속시 과연 어떤 요소가 과업 실패의 판단을 가져올까 하는 의문이 생긴다. 물론 말초와 중추 피로의 기원에 관한 전통적인 논쟁처럼 대답이 간단치는 않다.

IV. 결론 및 제언

본 연구는 노화가 여성의 근피로 기전에 미치는 영향을 규명하기 위한 것이다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 노인 여성 쪽이 최대 수축력이 약했다. 하지만 젊은 여성 집단 보다 말초 피로가 더 느리게 진행되어 과업 지속 시간은 더 길었다. 따라서 노인 집단이 낮은 강도의 근수축 지속 능력에서 더 뛰어났다.
- 젊은 여성 쪽의 말초피로가 더 빨리 진행되었지만, 전반적인 근전도 값이 더 작았다. 이는 두 집단간의 근수축 전략에 차이가 있다고 할 수 있다.
- 두 집단 모두 중추 피로를 경험했지만 두 집단간의 유의한 차이는 나타나지 않았다. 이는 노인 여성 집단의 수학적 활성 수준이 큰 변이성을 갖는데 기인한 것으로 사료된다. 따라서 반복 측정 또는 연구 대상자 수를 늘린 후속 연구가 필요한 것으로 사료된다.

참고 문헌

Allman, B. L., & Rice, C. L. (2001). Incomplete recovery of voluntary isometric force after fatigue is not affected by old age. *Muscle Nerve*, 24, 1156-67.

Allman, B. L., & Rice, C. L. (2002). Neuromuscular fatigue and aging: central and peripheral factors. *Muscle Nerve*, 25, 785-96.

Behm, D. G., St-Pierre, D. M., & Perez, D. (1996). Muscle inactivation: assessment of interpolated twitch technique. *Journal of Applied Physiology*, 81, 2267-73.

Bilodeau, M., Erb, M. D., Nichols, J. M., Joiner, K. L.,

- & Weeks, J. B. (2001). Fatigue of elbow flexor muscles in younger and older adults. *Muscle Nerve*, 24, 98-106.
- Cupido, C. M., Hicks, A. L., & Martin, J. (1992). Neuromuscular fatigue during repetitive stimulation in elderly and young adults. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 65, 567-72.
- De Serres, S. J., & Enoka, R. M. (1998). Older adults can maximally activate the biceps brachii muscle by voluntary command. *Journal of Applied Physiology*, 84, 284-91.
- Ditor, D. S., & Hicks, A. L. (2000). The effect of age and gender on the relative fatigability of the human adductor pollicis muscle. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 78, 781-90.
- Enoka, R. M. (2001). *Neuromechanics of Human Movement: Human Kinetics*.
- Gandevia, S. C. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiological Reviews*, 81, 1725-89.
- Garner, S. H., Hicks, A. L., & McComas, A. J. (1989). Prolongation of twitch potentiating mechanism throughout muscle fatigue and recovery. *Experimental Neurology*, 103, 277-81.
- Grimby, G. (1995). Muscle performance and structure in the elderly as studied cross-sectionally and longitudinally. *The Journals of Gerontology, Biological Sciences and Medical Sciences*, 50 Spec No, 17-22.
- Hunter, S. K., Critchlow, A., & Enoka, R. M. (2004). Influence of aging on sex differences in muscle fatigability. *Journal of Applied Physiology*, 97, 1723-32.
- Jakobi, J. M., & Rice, C. L. (2002). Voluntary muscle activation varies with age and muscle group. *Journal of Applied Physiology*, 93, 457-62.
- Kent-Braun, J. A., Ng, A. V., Doyle, J. W., & Towse, T. F. (2002). Human skeletal muscle responses vary with age and gender during fatigue due to incremental isometric exercise. *Journal of Applied Physiology*, 93, 1813-23.
- Lanza, I. R., Russ, D. W., & Kent-Braun, J. A. (2004). Age-related enhancement of fatigue resistance is evident in men during both isometric and dynamic tasks. *Journal of Applied Physiology*, 97, 967-75.
- Lanza, I. R., Towse, T. F., Caldwell, G. E., Wigmore, D. M., & Kent-Braun, J. A. (2003). Effects of age on human muscle torque, velocity, and power in two muscle groups. *Journal of Applied Physiology*, 95, 2361-9.
- Lexell, J. (1995). Human aging, muscle mass, and fiber type composition. *The Journals of Gerontology, Biological Sciences and Medical Sciences*, 50 Spec No, 11-6.
- Merton, P. A. (1954). Voluntary strength and fatigue. *Journal of Physiology*, 123, 553-64.
- Stackhouse, S. K., Stevens, J. E., Lee, S. C., Pearce, K. M., Snyder-Mackler, L., & Binder-Macleod, S. A. (2001). Maximum voluntary activation in nonfatigued and fatigued muscle of young and elderly individuals. *Physical Therapy*, 81, 1102-9.

투 고 일 : 07월 30일
 심 사 일 : 08월 15일
 심사완료일 : 09월 01일