

정상 골격근의 근전도 중앙주파수 및 초음파 영상 밀도 분석

정진규, 김태열¹, 김용남², 황태연², 이정우³

전남과학대학 물리치료과, ¹동신대학교 물리치료학과, ²전남과학대학 물리치료과, ³동신대학교 대학원 물리치료학과

Analysis of sEMG Median frequency and Ultrasound Image Echodensity of Normal Skeletal Muscle

Jin-Gyu Jeong, PT, PhD, Tae-Youl Kim, PT, PhD¹, Yong-Nam Kim, PT, PhD², Tae-Yeun Hwang, PT, PhD², Jeong-Woo Lee, MPT, PT³

Department of Physical Therapy, Chunnam Techno College, ¹Department of Physical Therapy, Dongshin University, ²Department of Physical Therapy, Chunnam Techno College, ³Department of Physical Therapy, Graduate school, Dongshin University

Purpose: This study conducts quantitative evaluation of structural and functional characteristics of normal skeletal muscle with ultrasound image and surface electromyography, and is to provide basic materials for utilizing ultrasound image analysis in physical therapy diagnosis and assessment of skeletal muscle. **Methods:** Measurement of three stages was conducted with 88 normal adults between their twenties and seventies, correlations and differences using collected data according to age and gender were compared and correlations among measured items were analyzed and then the following conclusions were obtained. **Results:** Analysis of ultrasound image of normal skeletal muscle showed that density, median frequency had the closest relations with age. In addition, it was found that there were high correlations between density explaining structural characteristics of skeletal muscle and median frequency explaining functional characteristics. **Conclusion:** Analysis of ultrasound image makes complex evaluation of structure and function of skeletal muscle possible when it is connected with functional evaluation method using physical measurement surface electromyography as well as quantitative evaluation of structural changes of skeletal muscle and is effective in complementing physical therapy diagnosis centering around functionality evaluation. (*J Kor Soc Phys Ther* 2006;18(1):83-94)

Key words: Density, Median frequency, sEMG, Ultrasound image

I. 서 론

골격근은 인간의 활동능력을 결정하는데 매우 중요한 역할을 한다. 따라서 노화나 질병 및 외상 등 다양한 원인에 의한 골격근의 기능변화에 대한 평가와 관리의 물

리치료학 분야에서도 가장 주된 연구영역 중에 하나이다 (Felicci 등, 1997; Sbriccoli 등, 2001). 또한 골격근의 기능을 평가하고 분석하는데 있어서 구조적 특성인 근 섬유 크기나 두께, 섬유 형태 등을 파악하고 비교하는 연구도 매우 중요하다 (Bilodeau 등, 2003; Moore 등, 2002). 골격근의 구조적 특성을 평가하는 방법으로 다양한 영상진단장치를 사용할 수 있는데, 초음파 촬영 (ultrasonography, US), 자기공명영상 (magnetic resonance image, MRI), 컴퓨터 단층촬영

논문접수일: 2005년 12월 10일
수정접수일: 2005년 12월 19일
게재승인일: 2006년 1월 13일
교신저자: 김태열, 전남 나주시 대호동 252, 동신대학교 보건복지대학 물리치료학과 e-mail: ptcep@hanmail.net

(computerized tomography, CT) 등이 주로 활용되고 있다.

골격근(skeletal muscle)의 기능을 결정하는 요인은 무엇보다 근력, 반복속도, 지속시간의 차이에 의하여 힘과 발휘능력 차이가 인정된다고 볼 수 있으며, 또한 각 골격근의 근섬유 구성비율에 크게 의존하고 있는 것으로 알려져 있다(최석준, 1994). 따라서 초음파 및 자기공명 영상을 이용한 다양한 디지털 영상분석 방법을 이용한 구조적 특성의 평가는 골격근의 기능적 변화를 이해하는데 있어 매우 유용한 방법이 될 것으로 생각되며, 이러한 영상분석 방법에 대한 연구와 임상적용은 골격근 진단의 효율성을 더욱 향상시킬 것으로 예상된다.

골격근 병변을 진단하는데 구조적 평가도 기능적 평가만큼 중요한 가치를 가진다. 지금까지 구조적 평가방법으로 생검(biopsy)을 통한 조직 관찰이 주를 이루고 있으나 침습적 방식이기 때문에 임상에서 보편적으로 적용하기에는 제한이 많다는 문제점이 있으며, 비 침습적 방식으로 영상진단장치를 이용한 골격근 인대, 신경 등 연부조직에 대한 평가를 시도하고 있으나 현재까지는 주로 질적 평가에 의존하고 있다(Guido와 Achim, 2005; Hasan 등, 2005; Naredo 등, 2005). 그러나 최근 영상진단장비의 성능이 향상되면서 해상도가 높아져 골격근 등에 대한 정량적 영상분석이 시도되고 있으며, 주로 초음파 영상이나 자기공명영상(MRI)을 이용한 영상획득과 디지털 영상분석 기법을 이용한 골격근 구조의 정량적 분석이 연구되고 있다(Maurits 등, 2003, 2004; Nielsen 등, 2000). 특히 초음파 영상장치는 골격근을 관찰함에 있어 적용 절차가 간편하고, 비 침습적이며 안전한 방법으로 MRI나 CT 등과 비교해 볼 때 경제적이고 방사능에 노출이 되지 않는다는 장점을 가지고 있다(Maurits 등, 2004).

초음파 영상장치는 어린이와 같이 움직임이 많은 상태에서도 빠르게 적용시킬 수 있으며, 또한 근력의 측정과 연관되어지는 근육의 양적, 질적 정보를 제공해 줄 수 있는데, Jesen 등(1998)은 정량적 초음파 검사를 통해 건강한 근육과 근 질환이 있는 근육 간의 조직 구조와 형태를 발견할 수 있는 임상적 검사방법이라고 하였다. 정진규 등(2004)은 초음파를 이용해 근 두께와 수축력과의 상관성을 연구하였고, Chi-Fishman 등(2004)은 초음파를 이용해 정상의 근육과 약한 근육간의 수축력의 차이를 수축과 이완시 근육의 횡단축의 변화로 비교 하였으며, Heckmatt 등(1982)과 van der Hoeven(2003)은 초음파 영상을 이용한 연구에서 아이들이나 성인에 있어서 근육의 병적 상태와 진행상태를 평가 하였다. Juul-Kristensen 등(2000)은 자기공명영상과 초음파

영상을 이용해 일부 회전근개의 크기와 moment arm을 측정 비교한 결과 두 기법 간에 큰 차이가 없었다고 보고 하였으며, Bargfrede 등(1999)은 초음파와 도수근력검사(manual muscle test, MMT), 근전도와의 비교를 통해 신경근, 신경총의 질환과 말초신경 질환에서의 근육의 위축과 같은 해부학적 비정상 상태를 관찰하기도 하였다. 초음파는 다양한 조직 구조에 의해 다르게 반향되므로 근육 조직은 어두운 반면에 골과 결합조직은 초음파 영상에서 밝게 보인다. 건강하고 훈련이 잘된 근육은 선명하고 밝은 선과 함께 어둡게 보이는 반면에 병이 있는 근육은 구조(structure)에서 좀더 산만하게 보인다. 이러한 초음파의 특징을 바탕으로 Nielsen 등 (2000)은 초음파 반사 경향은 근육의 능력(capacity) 또는 질(quality)과 관련이 있어 보인다고 하였으며, 근육 구성에 대한 정보를 반사 경향을 통해 얻을 수 있다고 하였다. Maurits 등(2003)은 이러한 각각의 특징을 바탕으로 디지털 영상 분석 기법을 통해 근육병증과 신경병증을 구분하는데 필요한 측정 항목을 제공 하였고, 정상 성인에 있어 연령별 구조적 특성과 근육병증 환자와 신경병증 환자 간의 구조적 특성을 비교하여 차이점을 발견 하였다.

20세기 후반 Henneman 등(1974)이 크기의 원리(size principle)를 제시한 이래로 근 수축에 있어서 운동신경원(motor neuron)과 운동단위 활동(motor unit activity)의 양적인 변화를 연구하기 위해 표면 근전도 신호의 분석이 발전되어 왔다(Andearssen과 Arendtnilsen, 1987; Basmajian과 De Luca, 1985). 골격근의 기능적 측면에 관한 연구는 근전도(electromyography, EMG) 신호의 진폭을 반영한 실효치(root mean square, RMS) 진폭이나 주파수를 반영한 중앙주파수(median frequency, MDF) 등을 지표로 사용하는 주파수 스펙트럼 분석법(Basmajian과 De Luca, 1985; Bigland와 Lippold, 1991; Macaluso 등, 2000)을 이용하여 많은 연구가 진행 되어오고 있다. 실효치 진폭은 시평면(time domain)의 관점에서 표면 근전도 신호의 진폭(amplitude)을 반영하여 활성화된 운동단위의 수와 발화율(firing rate)을 반영한 것이며, 중앙주파수는 주파수평면(frequency domain)의 관점에서 주파수 스펙트럼 분석법을 이용한 것으로 활동전위 전도속도(action potential conduction velocity), 속근섬유의 동원비와 비례한다(Anne 등, 1998; Basmajian과 De Luca, 1985; Kupa 등, 1995).

Krivickas 등(1998)은 근전도 신호의 주파수 분석을 사용한 방법으로 근육내의 근 섬유의 구성 비율을 추정하기도 하였다. 일반적으로 높은 중앙주파수는 II형 섬

유가 많이 분포된 근육에서 관찰되며(Gerdle 등, 2000; Moritani 등, 1985) 더욱이 힘 또는 피로의 증가와 함께 하는 중앙주파수의 변화는 섬유조성비율과 섬유크기에 의해 영향을 받는다(Gerdle 등, 2000; Kupa 등, 1995; Wretling 등, 1997). 예를 들면, 피로동안에 중앙주파수는 II형 섬유가 많이 분포되거나 더 많은 지역에서 더 많은 감소를 보였으며(Gerdle 등, 1997; Gerdle 등, 2000; Kupa 등, 1995), II형 섬유의 높은 비율을 가진 근육에서 힘의 증가와 함께 중앙주파수의 증가를 보였다(Gerdle 등, 1991). 이것은 I형보다 직경이 크거나 또는 전기생리학적 성질인 보다 높은 전도속도를 가지고 있는 II형 섬유의 점진적인 동원에 의해 설명되어진다(Masuda와 De Luca, 1991; Sadoyama 등, 1988). 따라서 국소적 근피로가 발생함에 따라 근섬유 전도속도가 감소함으로써 속근섬유의 동원이 감소하고 지근섬유의 동원은 증가하여 결과적으로 중앙주파수는 저주파수 대역으로 이동하게 된다(Basmajian과 De Luca, 1985; Biedermann 등, 1991; Gerdle과 Elert, 1994; Merletti와 Roy, 1996). 주파수 스펙트럼의 저주파수 대역으로의 이동은 근섬유 전도속도의 감소에 의한다. 이와 같이 주파수 스펙트럼 분석은 속근섬유의 특성을 반영하므로 근섬유 조성비를 추정하기 위한 비침습적인 전기생리학적 근육생검으로 사용될 수 있다(Bottinelli 등, 1996; Gerdle 등, 1988; Moritani 등, 1985).

이에 본 연구자는 초음파 영상분석을 통한 골격근 구조의 정량적 평가의 중요성을 인식하고 본 연구를 시작하게 되었다. 초음파 영상 분석을 통해 구조적 변화를 정량화하여 분석하게 되면 퇴행화 과정이나 질병 및 외상

등에 의한 골격근 병변의 구조적 진단 및 평가 결과를 더욱 객관화 시킬 수 있으며, 기능적 평가에 의한 정량적 결과와 상호 보완적 역할을 할 수 있을 것으로 생각되어 골격근의 구조적 특성과 기능적 특성을 초음파 영상장치와 근전도를 이용하여 측정하고, 대상자의 성별, 연령 등에 따른 차이점을 알아보고, 초음파 영상 측정항목과 근전도 측정항목과의 상관성을 분석하여 초음파 영상을 이용한 정량적 분석을 골격근의 구조적 진단 및 연구방법으로 활용하고, 기능적 평가 방법과 연계하여 골격근의 구조 및 기능적 변화에 대한 복합적 평가를 시도하는데 필요한 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

II. 연구대상 및 방법

1. 대상자

본 연구는 2004년 5월 1일부터 12월 20일까지 20대에서 70대 사이의 정상성인 88명을 대상으로 실험 절차에 따라 시행 하였으며, 대상자 선정기준은 신경계 및 근골격계의 병리학적 소견이 없고, 정기적인 근력강화 운동에 참여하지 않고 있으며, 전문적인 운동선수가 아닌 자로 하였으며 특히 실험 일주일전에는 근육통을 유발할 정도의 과도한 운동은 제한 시켰다. 실험에 참여하기 전에 대상자에게 본 연구의 목적과 방법에 대하여 충분한 설명을 한 후 동의를 얻었다. 대상자 연령의 분류는 Maurits 등(2003)의 연구를 참고하였다(표 1).

표 1. 대상자의 일반적 특성

	>30		30~60		60<	
	남성(n=16)	여성(n=13)	남성(n=14)	여성(n=17)	남성(n=14)	여성(n=14)
나이(세)	23.69±2.05 ^a	22.08±0.76	49.85±7.96	48.53±8.53	69.36±3.39	69.43±4.80
체중(kg)	66.81±8.14	53±5.16	69.5±5.96	56.53±4.67	63.43±5.45	56.79±8.75
신장(cm)	174±3.79	162.31±3.45	170.21±2.94	158.53±3.87	167.86±4.22	157.57±3.44

^a 평균±표준편차

2. 초음파 측정

근육의 디지털 영상분석을 위한 초음파 영상 수집은 SONOACE 6000C (Medison Co., Korea)를 사용하였다. 이 장치의 주파수 변조 범위는 6~8.5 Mhz이고 gain의 범위는 20~80이다. 초음파 영상 측정에 사용된 초음파

변환기는 7.5 Mhz 선형탐촉자(linear transducer)이며, gain(G55)과 dynamic range(C04)는 고정된 값으로 모든 검사에서 동일하게 적용 하였다. 피부의 압박을 최소화하기 위하여 충분한 양의 초음파 젤(Dayo Medical, Co., PROGEL-II, Korea)을 변환기와 피부사이에 도포 하였고, 측정이 일정하게 되도록 변환기는 피부에 직각

을 유지하고 영상에서 최대 골 반향(bone echo)으로 판단하여 조절하였다. 상완이두근의 측정 시 자세는 대상자가 허리를 곧바로 세우고 앉은 상태에서 견관절은 해부학적 자세를 유지하게 하였으며 주관절은 90° 굴곡위를 취하게 하였다. 대퇴직근의 측정자세는 고관절, 슬관절 모두 90° 굴곡위를 취하게 하였다. 측정부위는 상완이두근의 경우 상완에서 최대 둘레를 나타내는 지점으로 하였으며, 대퇴직근의 경우에는 전상장골극과 슬개골 침부를 잇는 선의 중간지점으로 하여 3회 반복 측정하였다. 측정부위를 정확히 유지하기 위하여 수술용 펜으로 표시 한 후 시행 하였다.

1) 디지털 영상분석

초음파 장치에서 획득된 영상을 디지털 영상분석을 하기 위해 포토샵 4.0(Adobe, USA)을 이용해 디지털 화시킨 후 영상 프로그램으로 옮겨 근막이나 근건 이행부가 포함되지 않도록 주의하여 분석하고자 하는 부분을 사각형 모양으로 추출하였다(Maurits 등, 2003). 추출한 근육 마스크(그림 1)의 평균 화소 수는 상완이두근에서 12,444 화소(pixels), 대퇴직근에서 13,434 화소이었다. 디지털 영상 분석을 위해 Image-Pro Plus 4.1(Media Cybernetics, USA)을 사용하였다.

상완이두근과 대퇴직근의 density를 측정하기 위해 명암도 분석을 이용하여 분석하였는데, 근육의 echogenicity를 정량화 하기위해 선택된 부분의 평균 화소값을 구하여 density로 정하였다. 선택 된 화소가 순수한 검정색이면 추출된 부분의 grey scale의 평균값이 0 이 되고, 순수한 흰색이면 평균값이 255가 된다.

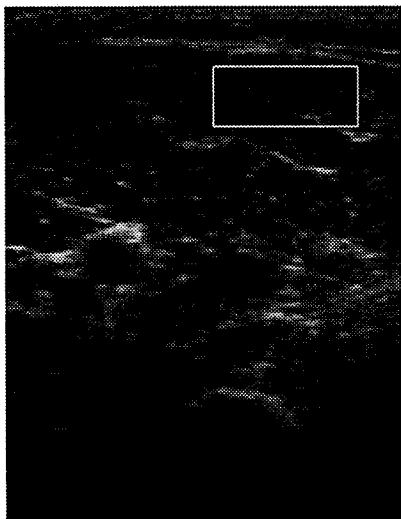


그림 1. 영상분석을 위한 완이두근의 초음파 영상

3. 근전도 측정

1) 근전도 신호의 기록

근전도 신호의 수집을 위해 표면 근전도기의 sample rate는 1000 Hz이고 bandpass는 20~450 Hz인 Bagnoli 4-EMG system(Delsys Inc., USA)를 사용하였다. 기록전극으로 DE-2.1 single differential electrode (Delsys Inc, USA)을 사용하였으며, 전극배치는 근육이 수축하는 경우 근육(muscle belly)의 위치변동을 고려하여 상완이두근은 주관절 90° 굴곡 상태에서 등척성 수축을 했을 때 나타나는 근육의 아래쪽 1/3 지점으로 결정하였고(이수영 등, 2003), 대퇴직근은 슬관절 90° 굴곡 상태에서 슬개골 침부위 10cm 지점으로 결정하여 근섬유의 주행방향과 평행하도록 배치하였다. 접지전극은 운동에 방해를 주지 않는 슬개골 외측 및 상완골 외과 부위에 부착하였다(Ebenbichler 등, 1988). 전극을 부착하기 전 피부저항을 최소화하기 위해 모든 대상부위를 면도한 후 알코올로 청결하게 세척하고 완전히 마른 후에 전극을 부착하였다.

근전도 신호는 sampling rate를 1000 Hz, band pass filter를 20~450 Hz하여 1개 채널을 이용하여 수집하였다. 근전도 신호의 저장과 분석은 signal acquisition and analysis software(Delsys Inc., EMGwork 3.0, USA)를 이용하였다.

2) 근전도 신호의 분석

최대 수의적 등척성 수축력과 피로유발 운동 시 수집된 근전도 신호를 분석하였으며, 최대 수의적 등척성 수축 시 수집된 근전도 신호는 운동단위가 동원되는 과정에서 불안정할 수 있으므로 최초 2초와 최종 2초는 신호 분석 처리 과정에서 제외하고 가운데 3초의 신호만을 분석하였다.

중앙주파수(MDF) 분석은 저장된 근전도 신호를 대상으로 피로가 발생할 때까지의 신호 중 1초 동안 1000개의 신호를 대상으로 주파수 스펙트럼을 얻은 후 분석변수로 window length는 1초, window overlap은 0.5초로 하여 FFT(fast fourier transformation)를 반복하여 얻었다.

피로지수를 구하기 위해 최대 등척성 수축력이 100%에서 50% 이하 수준으로 떨어질 때까지 구간에서 최초 중앙주파수와 마지막 중앙주파수 값을 구한 후 다음과 같은 공식에 의해 구했다.

$$\text{피로지수 (F.I.)} = \frac{\text{최초중앙주파수} - \text{마지막중앙주파수}}{\text{초기중앙주파수}}$$

4. 자료 분석

초음파 영상과 근전도 측정 항목과의 상관관계는 피어슨 상관분석(Pearson's correlation)을 이용하여 분석하였다. 일반적 특성에 따른 초음파 영상과 근전도 측정 항목들의 비교는 Kruskal-Wallis 검정을 이용하였고, 사후분석은 Mann-Whitney 검정을 실시하였으며 전체 오류율을 .05로 하기 위해 유의수준을 .05/3으로 하였다. 성별 간 차이는 Mann-Whitney 검정을 실시하였다. 통계학적 유의성을 검증하기 위해 유의수준은 $\alpha=.05$ 로 정하였다. 모든 자료는 윈도우즈용 SPSS 10.0 프로그램으로 분석하였다.

III. 결 과

1. 연령에 따른 Density의 비교

연령에 따른 density의 차이를 비교한 결과 상완이두근은 남성($p<.001$)과 여성($p<.001$) 모두에서 유의한 차이를 나타내었으며, 사후분석에서 남성은 20대와 30~60대, 20대와 60대이상 사이에서, 여성은 20대와 30~60대, 20대와 60대이상, 30~60대와 60대이상 사이에서 유의한 차이가 있었다. 연령별 남·녀 density의 차이는 60대이상($p<.05$)에서 유의하게 나타났다. 대퇴직근은 남성($p<.001$)에서 유의한 차이를 나타내었으며, 사후분석에서 20대와 30~60대, 20대와 60대이상, 30~60대와 60대이상 사이에서 유의한 차이가 있었다. 연령별 남·녀의 density의 차이는 20대($p<.001$), 30~60대($p<.001$), 60대이상($p<.001$) 모두에서 유의하게 나타났다(표 2).

표 2. 상완이두근과 대퇴직근의 density 비교

나이(세)	>30	30~60	60<	χ^2	p
상완이두근					
남성	53.26±8.42	65.05±11.39	72.24±6.49	19.572	.000
여성	52.39±5.90	69.35±12.99	76.74±13.62	17.994	.000
Z	-.768	.000	-2.068		
p	.449	1.000	.039		
대퇴직근					
남성	56.90±6.61	67.73±4.84	74.50±4.64	29.517	.000
여성	83.39±10.13	80.99±11.32	84.05±8.05	1.113	.573
Z	-4.473	-3.969	-3.424		
p	.000	.000	.000		

2. 연령에 따른 중앙주파수(MDF)의 비교

연령에 따른 중앙주파수의 차이를 비교한 결과 상완이두근은 여성($p<.05$)에서 유의한 차이를 나타내었으며, 사후분석에서 20대와 60대이상 사이에서 유의한 차이가 있었다. 연령별 남·녀의 중앙주파수 차이는 유의하지 않았다. 대퇴직근은 남성($p<.001$)과 여성($p<.01$) 모

두에서 유의한 차이를 나타내었으며, 사후분석에서 남성은 20대와 30~60대, 20대와 60대이상, 30~60대와 60대이상 사이에서, 여성은 20대와 60대이상 사이에서 유의한 차이가 있었다. 연령대별 남·녀의 중앙주파수 차이는 20대($p<.001$), 60대이상($p<.001$)에서 유의하게 나타났다(표 3).

표 3. 주관절 굴곡근과 슬관절 신전근의 중앙주파수 비교

나이(세)	>30	30~60	60<	χ^2	p
주관절 굴곡근					
남성	76.35±8.71	71.41±5.91	73.99±6.07	3.205	.201
여성	79.95±10.11	73.79±5.25	71.31±3.79	7.837	.020
Z	-.921	-1.292	-.992		
p	.374	.200	.329		
슬관절 신전근					
남성	85.46±10.79	66.43±6.38	73.77±7.63	21.757	.000
여성	69.35±4.27	67.21±5.57	63.70±5.44	9.465	.009
Z	-3.992	-.457	-3.748		
p	.000	.653	.000		

3. 연령에 따른 피로지수(FI)의 비교

연령에 따른 피로지수의 차이를 비교한 결과 상완이두근은 여성(p<.01)에서 유의한 차이를 나타내었으며, 사후분석에서 20대와 30~60대, 20~30대와 60대이상 사이에서 유의한 차이가 있었다. 연령별 남·녀의 피로지수의 차이는 60대이상(p<.001)에서 유의하게 나타났다.

대퇴직근은 남성(p<.001)에서 유의한 차이를 나타내었으며, 사후분석에서 20대와 30~60, 20대와 60대이상 사이에서 유의한 차이가 있었다. 연령대별 남·녀의 피로지수의 차이는 20대(p<.001), 30~60대(p<.01)에서 유의하게 나타났다(표 4).

표 4. 주관절 굴곡근과 슬관절 신전근의 피로지수 비교

나이(세)	>30	30~60	60<	χ^2	p
주관절 굴곡근					
남성	.34±.14	.27±.06	.30±.06	4.162	.125
여성	.34±.11	.23±.09	.23±.19	12.096	.002
Z	-.154	-1.849	-3.084		
p	.880	.064	.001		
슬관절 신전근					
남성	.26±.09	.19±.05	.18±.02	13.118	.001
여성	.15±.06	.13±.05	.15±.07	2.069	.355
Z	-3.220	-2.804	-.785		
p	.001	.004	.454		

4. 측정 항목 간의 상관관계

주관절 굴곡근에서 초음파 영상분석 항목인 density는 중앙주파수(r=-.301, p<.01)와 음의 상관관계를 나타내었다. 근전도 분석 항목인 중앙주파수는 피로지수(r=.406, p<.001)와 높은 양의 상관관계를 나타내었다.

슬관절 신전근에서 초음파 영상분석 항목인 density는 중앙주파수(r=-.414, p<.001), 피로지수(r=-.422, p<.001)와 높은 음의 상관관계를 나타내었다. 근전도 분석 항목인 중앙주파수는 피로지수(r=.511, p<.001)와 높은 양의 상관관계를 나타내었다.

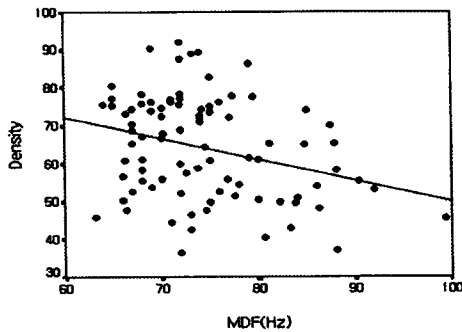


그림 3. 주관절 굴곡근의 density와 중앙주파수의 상관관계($r = -.301$, $p < .01$)

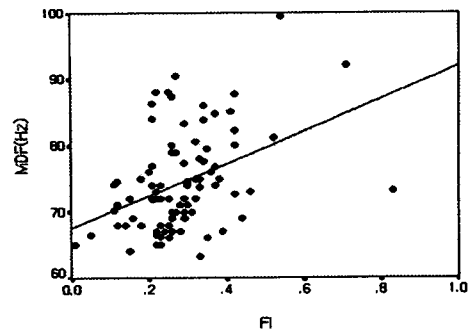


그림 4. 주관절 굴곡근의 중앙주파수와 피로지수의 상관관계($r = .406$, $p < .001$)

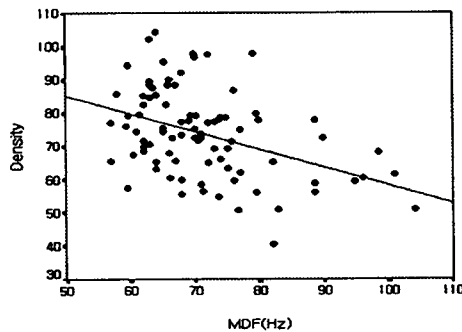


그림 5. 슬관절 신전근의 density와 중앙주파수의 상관관계($r = -.414$, $p < .001$)

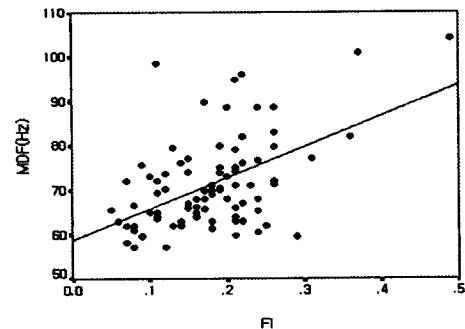


그림 6. 슬관절 신전근의 중앙주파수와 피로지수의 상관관계($r = .511$, $p < .001$)

IV. 고찰

초음파는 비용이 적게 들며, 안전하고 사용하기 간편한 영상 획득 장치이다. 초음파 영상을 이용한 골격근의 두께의 평가는 매우 신뢰도가 높은 방법이라는 것이 많은 연구 결과를 통하여 증명되었다(Hides 등, 1995; Sipila와 Suominen, 1993; Walton 등, 1997). 초음파 영상은 골격근을 평가하는데 다른 영상기법이나 다른 장비에 비해 심부근과 표재근을 평가하는데 용이하며, 근 수축과 이완에 따른 근골격계의 모든 형태와 구조를 시각화 할 수 있으며, 다양하고 공간적인 시각화와 정량화를 할 수 있다(Chi-Fishman 등, 2004).

디지털 영상 분석 항목인 density는 명암도 분석을 이용해 분석하며, 디지털 영상 분석을 위하여 사각형 부분만을 선택 하였는데, 비만의 정상성인의 경우 한 영상에 전체의 근육을 옮길 수 없고 전체의 영상을 분석함이 불필요했기 때문이다. 이러한 방법은 여러 연구에서 믿을

만한 방법으로 증명 되었으며, 특히 Maurits 등(2003, 2004)의 연구에서는 정상 성인과 근육병증, 신경병증 환자를 대상으로 이러한 방법을 이용해 각각의 특징적인 값을 정량화 하였다.

근육의 정량적 평가를 위해 시도된 디지털 영상 분석 측정 항목 중 density는 근섬유가 아닌 지방이나 결합조직에 대해 높은 반사강도를 보이는데, 연령의 증가에 따라 상완이두근과 대퇴직근에서 남·녀 모두 증가함을 보였다. 연령의 증가에 따른 density의 증가에 대한 연구를 살펴보면, Reimers 등(1993)은 근육생검의 조직병리학 적 평가에서 고령화에 따른 근 섬유가 섬유지방 조직으로 전환되어 있음을 발견 하였는데 이러한 섬유지방 조직으로의 전환은 근육의 반사강도와 밀접한 관련이 있다고 언급 하였으며, Lexell 등(1988)은 전체 내측광근의 근 섬유의 비율을 계산했는데, 청년층과 노년층에서 각각 70%와 50%의 근 섬유를 관찰해 고령화에 따른 근 섬유의 소실을 보고 하였고, Larsson (1995)은 나이가

들면서 근 섬유가 지방이나 결합조직으로 전환 된다고 하였다. 또한 Sipila와 Suominen(1991)은 노년층의 정기 운동군과 비운동군 간을 초음파를 이용한 연구결과 비운동군에서 높은 반사율을 관찰 하였고, 다른 연구에서는 노년층의 여성을 대상으로 근력 강화 운동 전.후의 외측광근과 대퇴골의 반사강도를 평가한 결과 외측광근의 반사강도는 감소하였고, 대퇴골의 반사강도는 증가하였다고 보고 하였는데, 근육에서의 반사강도의 감소는 지방조직의 소실로 인한 것이라 제안 하였다(Sipila와 Suominen, 1996). 또한 같은 연구에서 근력강화군에서는 근육의 두께가 증가 하였고, 지구력 훈련군에서는 근 체적의 감소를 관찰 하였는데, 근 두께의 증가는 II형 섬유 크기의 증가 때문이라 하였고, 근 체적의 감소는 지방 조직의 소실 때문이라고 하였다. Wallgren Pettersson 등(1990)은 비정상적으로 높은 근육의 반사강도를 선천성 근육병증 환자에서 발견하기도 하였다.

Density는 상완이두근보다는 대퇴직근에서 높은 값을 나타내었는데, 상완이두근의 경우 모든 연령층에서 남녀 간에 차이가 없었으며, 대퇴직근에서는 모든 연령층에서 여자의 density가 높았다. 또한 20대의 density가 높아 군간의 변화율이 적었는데, 이러한 결과는 대퇴근과 극상근의 반사강도를 비교한 연구에서 상지의 극상근보다는 하지의 대퇴근에서 높은 반사강도를 관찰한 Nielsen 등(2000)의 연구결과와 일치 하였다. 이러한 차이는 두 근육의 내부구조의 차이로 생각 하였는데, 남성에 비해 여성이 신체적 활동량이 적어서 나오는 현상이라 생각된다. 또한 체중 부하를 하고 있는 하지의 대퇴직근이 체중 부하를 하고 있지 않는 상지의 상완이두근보다 퇴행의 속도가 빠르다고 생각된다. 이상의 영상 분석으로 볼 때 고령화와 신체적 활동의 감소로 인해 근섬유가 지방이나 다른 결합조직으로 전환되어 초음파의 반사강도를 높여 density의 증가를 일으켰는데, 이것은 근육의 자연스러운 퇴행과정이라 생각되어 지며 초음파를 이용해 골격근의 퇴행을 평가할 수 있을 것이라 사료된다.

골격근의 기능적 특성을 평가하기위해 사용한 표면 근전도는 비 침습적이고 사용하기 편리하며 개개 근육의 전기적 활동을 분석할 수 있는 방법으로, 등척성 수축을 하는 동안 표면 근전도는 보통 두 가지의 매개변수에 의해 종합적으로 기술되어 지는데 활성화된 운동단위의 수와 발화율을 반영한 실효치 진폭과 활동전위 전도속도와 속근섬유의 동원비와 비례하는 주파수 스펙트럼 분석을 이용한 중앙주파수이다. 주파수 스펙트럼분석은 전극에 의한 영향이 상대적으로 적고 그 변화가 근 전도속도나 운동단위 전위의 특성과 그 외 여러 가지 생리, 생화학적 변화와 관계가 깊은 것으로 보고되어 피로도 측정 등의 근육의 기능적 특성에 대한 연구에 빈번히 사용되고 있

으며 신호분석을 통한 근섬유 조성비를 추정하는데 사용되고 있다.

근육 내 섬유 형태의 상대적인 비율과 이러한 근섬유 형태의 특성은 의심할여지 없이 수축을 하는동안 근전도 신호에 영향을 끼치는데, 보통 I형 섬유는 낮은 강도의 힘에서 동원되며 힘의 강도가 증가하면 II형 운동섬유가 추가로 동원되어(Yoneda 등, 1986) 중앙주파수나 실효치 진폭에 영향을 끼치게 된다. 동물(Hatcher 와 Luff, 1985) 및 사람(Linssen 등, 1991; Young, 1984)을 대상으로 한 실험에서 II형 섬유는 I형 섬유보다 더 큰 힘을 발휘한다는 것을 보여줬는데, 중앙주파수의 크기는 이러한 II형 섬유의 점진적인 동원을 반영 한다. 일반적으로 남성에서 크기가 큰 II형 섬유의 분포가 많고 상대적으로 여성은 I형 섬유와 크기가 작은 II형 섬유의 분포가 많다(Miller 등, 1993; Simoneau 등, 1985). Pincivero 등(2001)의 연구 결과 외측광근(vastus lateralis)에서 여성에 비해 남성에서 힘의 증가와 함께 중앙주파수의 증가를 관찰했고, 힘과 관련된 중앙주파수의 남녀 차이는 근 섬유의 조성비와 관련이 있다고 하였으며, Bilodeau 등(2003)은 외측광근에서 힘의 증가와 함께 중앙주파수의 증가를 남자에서 관찰했고, 내측광근(vastus medialis)과 대퇴직근(rectus femoris)에서는 남녀간의 차이를 관찰하지 못했다. 또한 피로운동을 하는 동안 힘의 감소와 함께 주파수의 이동을 관찰 하였는데, 근육이 피로함에 따라 주파수 스펙트럼이 고주파수 대역에서 저주파수 대역으로 변환하는 이유는 근 섬유의 전도 속도의 감소(Bigland-Ritchie 등, 1986; Brody 등, 1991; Linssen 등, 1993; Solomonow 등, 1990)와 운동단위의 발화율의 변화에 의해서 야기된다고 하였다. 더욱이 이러한 주파수 대역의 이동은 근섬유의 I형 섬유와 II형 섬유의 상대적인 관계와 밀접한 관련이 있다고 하였다(Braakhekke 등, 1989).

본 연구의 결과 중 연령에 따른 중앙주파수의 변화에서 여성의 경우 상완이두근과 대퇴직근 모두에서 유의한 감소를 보였으며, 남성의 경우 대퇴직근에서 유의한 감소를 보였고 상완이두근에서는 유의성은 없었으나 20대에 비해 나이가 들면서 다소 감소하는 경향을 보였다. 또한 피로지수의 경우 여성의 상완이두근, 남성의 대퇴직근에서 유의한 감소를 보였으며, 여성의 대퇴직근과 남성의 상완이두근에서는 통계적으로 유의한 변화는 없었으나 감소하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 여러 가지 원인이 있겠으나 고령화와 신체적 활동의 감소로 인한 속근섬유의 크기의 감소와 근섬유의 지근화로 인한 감소된 속근섬유의 동원과 젖산과 같은 대사산물의 축적으로 인한 근섬유 전도속도의 감소 때문이라 생각되어 진다. 또한 대퇴사두근에서는 남녀간의 근섬유 조성비의 차이

가 있을 것이며, 상완이두근에서는 근섬유 조성비의 차이가 없었을 것이라 생각한다. 근전도 분석에서 나이가 들어감에 따라 II형 섬유 크기의 감소와 소실, 근섬유의 지근화로 인해 활동전위 전도속도와 II형 섬유의 동원율이 낮아져 연령대간에 중앙주파수, 피로지수에 영향을 끼쳤으리라 생각된다.

아울러 구조적 특성 항목과 기능적 특성 항목간의 상관성에서는 근육의 질을 평가할 수 있는 density와 II형 섬유의 동원율을 반영한 중앙주파수와와의 상관성이 높게 나왔으며, density와 지구력 측정 항목인 피로지수와도 상관성이 높게 나왔다. 이것은 density가 골격근 섬유의 형태를 반영한 것으로 볼 수 있는데, 직접적으로 근 섬유 형태를 나타냈다가보다는 수축성 조직과 비수축성 조직의 분포를 나타냄으로서 근 기능과의 상관성을 보인 것으로 생각된다. 이러한 결과는 상호 간에 큰 영향력을 준다고는 볼 수 없지만 density의 분석이 골격근의 내부 구조 상태를 나타내 기능적 부분을 평가할 수 있을 것으로 생각한다.

본 연구의 결과에 의하면 골격근의 구조적 변화를 초음파 영상분석을 이용하여 정량적으로 평가할 수 있으며, 골격근의 구조적 평가가 근전도 등을 이용한 기능적 평가와 연계 된다면 지금까지의 기능평가 중심의 근골격계 물리치료진단 방법을 보완할 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다.

V. 결론

본 연구는 초음파 영상분석을 이용해 골격근의 구조적 특성을 분석하고 근전도를 이용해 골격근의 기능적 특성을 분석하여, 대상자의 성별 및 연령에 따른 차이와 각 측정 항목 간의 상관관계를 분석하여 골격근에 대한 진단 및 연구방법에 초음파 영상분석을 활용하기 위한 기초 자료를 제공하고자 실시하였다. 측정은 20대에서 70대 사이의 정상성인 88명을 대상으로 실시하였다. 측정 자료를 이용하여 대상자의 일반적 특성에 따른 차이를 비교하고, 측정항목간의 상관관계를 분석한 결과 연령의 증가와 함께 density는 유의한 증가를 보였고, 중앙주파수, 피로지수는 유의한 감소를 보였다. 또한 초음파 영상 분석 항목과 근전도 분석 항목간에 높은 상관성을 보였다.

이상의 결과를 정리하면 초음파 영상분석 항목인 density, 표면 근전도 분석 항목인 중앙주파수 등은 연령의 증가와 함께 유의한 차이를 보였으며, 또한 골격근의 구조적 특성을 설명할 수 있는 density와 기능적 특성을 설명할 수 있는 중앙주파수 간에 상관성이 높은 것으로

나타나 초음파 영상분석을 이용한 진단방법은 골격근의 구조적 변화에 대한 정량적 평가는 물론 이학적 측정, 표면 근전도 등을 이용한 기능평가 방법들과 연계되면 골격근에 대한 복합적 평가를 가능하게 하여 주로 기능평가에 치중된 물리치료진단을 보완하는 효과가 클 것으로 생각된다.

참고문헌

- 이수영, 신화경, 조상현. 등척성 운동시 운동강도에 따른 중앙주파수의 특성. 한국전문물리치료학회. 2003;10(3)141-149.
- 정진규, 김양호, 김태열. 골격근에서 최대 수의적 등척성 수축력과 근 두께와의 관계. 대한임상전기생리학회. 2004;2(2)25-37.
- 최석준. 지구력 및 순발력 훈련이 지근과 속근 섬유의 기계적 특성과 근섬유 형태 변화에 미치는 영향. 전남대학교 대학원, 박사학위논문, 1994.
- Andearssen S, Arendt-Nilsen. Muscle fiber conduction velocity in motor units of human anterior tibial muscle. J Physiol, 1987;39:561-571.
- Anne FM, Genvevieve AD, Joan MS. The influence of muscle fiber size and type distribution on electromyographic measure of back fatigability. Spine, 1998;23(5):576-584.
- Bargfrede M, Schwennicke A, Tumani H et al. Quantitative ultrasonography in focal neuropathies compared to clinical and EMG findings. Eur J Ultrasound, 1999;10:21-29.
- Basmajian JV, De Luca CJ. Muscle Alive. 5th ed. Baltimore, Williams Wilkins, 1985.
- Biederman HJ, Shanks GL, Forrest WJ. Power spectrum analysis of electromyographic activity, discriminators in the differential assessment of patients with chronic low-back pain. Spine, 1991;16(10):1179-1184.
- Bigland B, Lippold OCJ. The relation between force, velocity, and integrated electrical activity in human muscles. J Physiol, 1991;123:214-224.
- Bigland-Ritchie BR, Dawson NJ, Johansson RS et al. Reflex origin for the slowing of motoneurone firing rates in fatigue of human voluntary contractions. J Physiol, 1986;379:451-459.
- Bilodeau M, Schindler-Ivens S, Williams R et al. EMG frequency content changes with increasing force

- and during fatigue in the quadriceps femoris muscle of men and women. *J Electromyogr Kinesiol*, 2003;13:83-92.
- Bottinelli R, Caneparri M, Pellegrino MA. Force-velocity properties of human skeletal muscle fiber. *J Physiol*, 1996;495:573-586.
- Braakhekke JP, Stegeman DF, Joosten EMG. Increase in median power frequency of the myoelectric signal in pathological fatigue. *Electroenceph Clin Neurophysiol*, 1989;73:151-156.
- Brody LR, Pollock MT, Roy SH et al. pH-induced effects on median frequency and conduction velocity of the myoelectric signal. *J Appl Physiol*, 1991;71:1878-1885.
- Chi-Fishman G, Hicks JE, Cintas HM et al. Ultrasound Imaging distinguishes between normal and weak muscle. *Arch phys Med Rehabil*, 2004;85:980-986.
- Ebenbichler G, Kollmitzer J, Quittan M et al. EMG fatigue patterns accompanying isometric fatiguing knee-extensions are different in mono- and bi-articular muscles. *Electroencephalogr and clin Neurophysiol*, 1988;109:256-262.
- Felici F, Colace L, Sbriccoli P. Surface EMG modifications after eccentric exercise. *J Electromyogr Kinesiol*, 1997;7:193-202.
- Gerdle B, Elert J. The temporal occurrence of the mean power frequency shift of the electromyogram during maximum prolonged dynamic and static working cycles. *Int J Sport Med*, 1994;5:S32-S37.
- Gerdle B, Henriksson-Larsen K, Lorentzon R et al. Dependence of the mean power frequency of the electromyogram on muscle force and fiber type. *Acta Physiol Scand*, 1991;142:457-465.
- Gerdle B, Karisson S, Crenshaw AG et al. The relationship between EMG and muscle morphology through sustained static knee extension at submaximal force levels. *Acta Physiol Scand*, 1997;160:341-351.
- Gerdle B, Larsson B, Karlsson S. Criterion validation of surface EMG variables as fatigue indicators using peak torque. *J Electromyogr Kinesiol*, 2000;10:225-232.
- Gerdle B, Wretling ML, Henriksson-Larsen K. Do the fiber type proportion and the angular velocity influence the mean power frequency of the electromyogram? *Acta Physiol Scand*, 1988;134:341-346.
- Guido H, Achim H. Correlation of ultrasonographic findings to Tossy's and Rockwood's classification of acromioclavicular joint injuries. *Ultrasound in Med Biol*, 2005;31:725-732.
- Hasan RK, Suleyman K, Ahmet Y et al. The value of ultrasonographic measurement in carpal tunnel syndrome in patients with negative electrodiagnostic tests. *Eur J Radiol*, 2005.
- Hatcher DD, Luff AR. Force-velocity properties of fast-twitch and slow-twitch muscles of the kitten. *J Physiol*, 1985;367:377-385.
- Heckmatt JZ, Leeman S, Dubowitz V. Ultrasound imaging in the diagnosis of muscle disease. *J pediatric*, 1982;101:656-660.
- Henneman E. *Medical Physiology*. 13th ed. St Louis, Mosby, 1974.
- Hides JA, Richardson CA, Jull GA. Magnetic resonance imaging and ultrasonography of the lumbar multifidus muscle. *Spine*, 1995;20:54-58.
- Jesen BR, Bakke M. Prolonged work with shoulder muscles and other small muscle groups: Use, function, and pain. In *advances in occupational medicine & rehabilitation. Activities of the upper limbs: Aspects of occupational medicine and rehabilitation. Muscle atrophy: Disuse and disease* eds. 1998:149-161.
- Juul-Kristensen B, Bojsen-Moller F, Holst E et al. Comparison of muscle sizes and moment arms of two rotator cuff muscles measured by ultrasonography and magnetic resonance imaging. *Eur J Ultrasound*, 2000;11:161-173.
- Krivickas LS, Taylor A, Maniar RM et al. Is spectral analysis of the surface electromyographic signal a clinically useful tool for evaluation of skeletal muscle fatigue?. *J Clin Neurophysiol*, 1998;15:138-145.
- Kupa KJ, Roy SH, Kandarian SC et al. Effects of muscle fiber type and size on EMG median frequency and conduction velocity. *J Appl Physiol*, 1995;79:23-32.
- Larsson L. Motor units: remodeling in aged animals. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 1995;50:91-95.
- Lexell J, Taylor CC, Sjostrom. What is the cause of

- the ageing atrophy? Total number, size and proportion of different fiber types studies in whole vastus lateralis muscle from 15-to 83-year-old men. *J Neural Sci*, 1988;84:275-294.
- Linssen WHJP, Stegeman DF, Joosten EMG et al. Fatigue in type I fiber predominance: a muscle force surface EMG study on the relative role of type I and type II muscle fibers. *Muscle Nerve*. 1991;14:829-837.
- Linssen WHJP, Stegeman DF, Joosten EMG et al. Variability interrelationships of surface EMG parameters during local muscle fatigue. *Muscle Nerve*, 1993;16:849-856.
- Macaluso A, De Vito G, Felici F et al. Electromyogram changes during sustained contraction after resistance training in women in their 3rd and 8th decades. *Eur J Appl Physiol*, 2000;82:418-424.
- Masuda T, De Luca C. Recruitment threshold and muscle fiber conduction velocity of single motor units. *J Electromyogr Kinesiol*, 1991;1:116-123.
- Maurits NM, Beenakker EAC, van Schaik DEC et al. Muscle ultrasound in children. *Ultrasound in Med Biol*, 2004;30:1017-1027.
- Maurits NM, Bollen AE, Windhausen A et al. Muscle ultrasound analysis: Normal values and differentiation between myopathies and neuropathies. *Ultrasound in Med Biol*, 2003;29:215-225.
- Merletti R, Roy S. Myoelectric and mechanical manifestations of muscle fatigue in voluntary contraction. *J Orthop Sports Phys Ther*, 1996; 4(6):342-353.
- Miller AE, MacDougall JD, Tarnopolsky MA et al. Gender differences in strength and muscle fiber characteristics. *Eur J Appl Physiol*, 1993;66:254-262.
- Moore BD, Drouin J, Gansneder BM et al. The differential effects of fatigue on reflex response timing and amplitude in males and females. *J Electromyogr Kinesiol*, 2002;12:351-360.
- Moritani T, Graffney F, Carmicheal T et al. "Interrelationship among muscle fiber types, electromyogram, and blood pressure during fatiguing isometric contraction" in *Biomechanics IXA*. Champaign, IL:Human kinetics, 1985:287-292.
- Naredo E, Cabero F, Palop MJ et al. Ultrasonographic findings in knee osteoarthritis: A comparative study with clinical and radiographic assessment. *OARSI*, 2005;13:568-574.
- Nielsen PK, Jasen BR, Darvann T et al. Quantitative ultrasound tissue characterization in shoulder and thigh muscles. *Clin Biomech*, 2000;15:S13-S16.
- Pincivero DM, Campy RM, Salfetnikov A et al. Influence of contraction intensity, muscle, and gender on median frequency of the quadriceps femoris. *J Appl Physiol*, 2001;90:804-810.
- Reimers CD, Fleckenstein J, Witt ThN et al. Muscular ultrasound in idiopathic inflammatory myopathies of adults. *J Neurol Sci*, 1993;116:82-92.
- Sadoyama T, Masuda T, Miyata H et al. Fiber conduction velocity and fiber composition in human vastus lateralis. *Eur J Appl Physiol*, 1988;57:767-771.
- Sbriccoli P, Felici F, Rosponi A et al. Exercise induced muscle damage and recovery assessed by means of linear and non-linear sEMG analysis and ultrasonography. *J Electromyogr Kinesiol*, 2001;11:73-83.
- Simoneau JA, Lortie G, Boulay MR et al. Skeletal muscle histochemical and biochemical characteristics in sedentary male and female subjects. *Can J Physiol Pharmacol*, 1985;63:30-35.
- Sipila S, Suominen H. Ultrasound imaging of the quadriceps muscle in elderly athletes and untrained men. *Muscle Nerve*, 1991;14:527-533.
- Sipila S, Suominen H. Muscle ultrasonography and computed tomography in elderly trained and untrained women. *Muscle Nerve*, 1993;16:294-300.
- Sipila S, Suominen H. Quantitative ultrasonography of muscle. *Arch Phys Med Rehabil*, 1996;77:1173-1178.
- Solomonow M, Baten C, Smit J et al. Electromyogram power spectra frequencies associated with motor unit recruitment strategies. *J Appl Physiol*, 1990;68:1177-1185.
- van der Hoeven JH. Ultrasound examination of muscle. *Adams Elsevier*, 2003:113-118.
- Wallgren Pettersson C, Kivissari L, Jaaskelainen J et al. Ultrasonography, CT and MRI of muscles in

- congenital nemaline myopathy. *Pediatr Neurol*, 1990;6:20-28.
- Walton JM, Roberts N, Whitehouse GH. Measurement of the quadriceps femoris muscle using magnetic resonance and ultrasound imaging. *Br J Sports Med*, 1997;31:59-64.
- Wretling ML, Henriksson-Larsen K, Gerdle B. Inter-relationship between muscle morphology, mechanical output and electromyographic activity during fatiguing dynamic knee-extensions in untrained female. *Eur J Appl Physiol*, 1997;76:483-490.
- Yoneda T, Osihi K, Fujikura S et al. Recruitment threshold force and its changing type of motor units during voluntary contraction at various speeds in man. *Brain Res*, 1986;372:89-94.
- Young A, Strokes M, Crowe M. Size and strength of the quadriceps muscles of old and young women. *Eur J Clin Invest*, 1984;14:282-287.