점진적 저항증가와 점진적 저항감소 운동에서의 표면 근전도 신호 비교

The Journal Korean Society of Physical Therapy

■한경주, 최보경[1]
■서남대학교 대학원 물리치료학과전공 박사과정, [1]서남대학교 대학원 물리치료학과전공 박사과정

Comparison of the Surface Electromyographic Signal of Progressive Resistance Increase and Progressive Resistance Decrease Exercise

Kyoung-Ju Han, PT, MS; Bo-Kyung Choi, PT, MPH[1]

Department of Physical Therapy, Graduate School of Seonam University; [1]Department of Physical Therapy, Graduate School of Seonam University

Purpose: This study was undertaken to compare the signal characteristics of surface electromyography (EMG) between progressive resistive increase exercise (PRIE) and progressive resistive decrease exercise (PRDE).

Methods: Forty healthy male subjects were randomly assigned to either the PRIE group or the PRDE group. Subjects participated in the PRIE and PRDE methods, with 10 RM for each subject. EMG activity was recorded from the rectus femoris muscle. Outcome data were collected for both groups pre-exercise, immediately post-exercise, then at 5 and 10 minutes post-exercise. Repeated measures 2-way ANOVA was used to determine the statistical difference of the root mean square (RMS) in EMG activity.

Results: We showed that RMS values, when compared with pre-exercise, were decreased immediately after exercise and were increased at 5 and 10 minutes after exercise ($p<0.05$). The RMS values were not significantly different between the two groups ($p>0.05$).

Conclusion: These results can indicate that both the PRIE and PRDE protocols will be improve strength with equivalent efficacy. Further studies are needed to address exercise duration, frequency of exercise sessions, and rest times than the PRIE and PRDE protocols with regard to the changes in strength improvement without a large amount of muscle fatigue.

Key Words: Progressive resistance increase exercise(PRIE), Progressive resistance decrease exercise(PRDE), RMS

논문접수일: 2007년 11월 23일
수정접수일: 2008년 1월 14일
게재승인일: 2008년 2월 14일
교신저자: 최보경, i-jhana@hanmail.net

Ⅰ. 서론

근력 감소는 주로 손상이나 질병으로 인해 발생되며 각 개인의 적절한 회복을 위해서는 정상적인 근력을 되찾는 것이 필수이다(Fisher 등, 1991; Gallery와 Forster, 1985; Rutherford 등, 1990). 근력 약화는 신체의 전반적인 기능을 저하시킬 뿐만 아니라 요통, 손상, 그리고 낙상에 대한 위험을 증가시키며 특히 노화에 따른 근위축은 근기능 장애를 유발하는 주요 원인이 되기도 한다(Mortell과 Tucker, 1993; Sale 등, 1990). 이에 따라 연구자들은 정상적인 근력을 유지시키기 위한 운동이 신체 건강을 위한 하나의 방법이 되고 개개인의 운동 계획에 있어 중요한 부분이라고 하였다(Rogers와 Evans, 1993; Schultz, 1992).

근력의 증가는 근수축 동안 동원되는 운동 단위(motor unit)의 수와 동원 빈도(firing frequency) 및 동시활동(synchronization)등의 증가로 발생된다(Kraemer, 1988). 저항

운동은 운동 동안 많은 운동단위가 동원되는 운동 방법으로 근세포의 발육 및 근력의 발달을 촉진하며 성장호르몬(growth hormone: GH)의 분비 빈도와 양도 증가 시킨다(Kraemer 등, 1988; Singh 등, 1999). 저항운동은 또한 근골격계 뿐만 아니라 목적하는 결과에 따라 신체 여러 기관에 긍정적인 영향을 미치고(Kraemer, 1988), 최근에는 식이요법과 더불어 비만의 예방과 치료에 중요하게 작용한다고 보고되었다(배진성, 2004).

근력 증가를 위한 저항운동 형태는 실행하는 방법에 따라 여러 가지가 소개 되고 있다(Kisner와 Colby, 2002). 그 중 DeLorme과 Watkins(1951)에 의한 점진적인 저항 증가 운동(progressive resistance increase exercise: PRIE)은 낮은 정도의 저항에서 시작하여 점차적으로 저항을 증가시켜 수행 하는 방법이다. 이와는 반대로 Zinovieff에 의한 Oxford 방법은 높은 저항에서 시작하여 점차적으로 저항의 정도를 감소시켜가는 점진적 저항 감소 운동(progressive resistance decrease exercise: PRDE)이다. Zinovieff는 훈련을 수행하는데 제한을 주는 근피로를 감소시켜야 할 것을 제안하면서, 운동 동안 높은 저항에서 시작하여 점차적으로 감소시켜 나가는 PRDE 방법이 근피로 감소에 효과적일 것이라고 하였다(Fish, 2003).

이전의 연구자들은 운동 동안 표면 근전도(surface electromyography)에서 나타나는 신호(signal)를 분석하여 근수축에 있어서의 운동 신경원(motor neuron)과 운동 단위 활성(motor unit activity)에 대한 양적인 변화를 알아보는데 이용 하였다(Andearssen과 Arendt-Nilsen, 1987; Basmajian과 De Luca, 1985). RMS(root mean square)는 표면 근전도에서 나타나는 신호의 진폭(amplitude)을 분석하는 방법이다. 이 분석 방법은 운동 동안 일정한 힘으로 등척성 수축을 하는 동안에는 신호의 진폭 정도가 증가하는 양상을 나타내고, 근피로가 발생한때에는 감소되는 양상을 보이기 때문에 활성화된 운동단위의 수와 동원율(firing rate)을 측정할 수 있다(Basmajian과 De Luca, 1985).

근력 증가를 위한 저항운동은 성별, 연령, 직업, 그리고 상황에 따라 다양한 목적으로 이루어진다. 개개인의 목적에 부합되는 효과를 얻기 위해서는 각각의 운동 방법에 따른 특성을 확인하여 목적에 적절한 방법을 실시하는 것이 필요하지만 PRIE와 PRDE 방법에 따른 차이를 비교한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 PRIE와 PRDE 방법 적용 후 발생하는 운동단위 동원율의 차이를 표면 근전도를 이용하여 알아보고자 실시하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상자

본 연구는 대학에 재학 중인 건강한 남자 40명을 대상으로 실시하였다. 대상자의 선정기준은 본 연구의 취지에 동의한 자 가운데 지난 1년 동안 신경학적 질환이나 근골격계 및 심혈관계에 질환이 없고, 정기적으로 근력강화 운동이나 다른 스포츠 활동을 하고 있지 않은 사람으로 하였다. 또한 최근 2-3 일 전에 과도한 활동을 하지 않은 자로 하였다. 연구대상자들은 PRIE군과 PRDE군에 무작위로 배정하였다.

2. 연구도구

대퇴직근(rectus femoris)의 근전도 자료수집을 위해 MP100 시스템(BIOPAC Systems Inc., CA, 미국)을 사용하였고, 수집된 아날로그 신호는 개인용 PC에 있는 Acqknowledge 3.7.3 프로그램을 이용하여 필터링과 기타 신호처리 하였다. 근전도 신호는 60 Hz의 밴드 스탑 필터(band stop filter)를 사용하였으며, 표본 수집율은 1024 Hz이었다. 주파수 영역(band width)은 20~450 Hz 로 하였다.

3. 연구방법

연구대상자의 선정기준에 적합한 40 명에 대한 나이, 신장과 체중을 측정하여 대상자들의 신체적 특성을 기록하였다. 실험 전 대상자들에게 가벼운 스트레칭으로 준비운동을 하게 한 후 5 분 동안 휴식을 취하게 하고 대상자들이 저항운동을 수행하기 전 저항 강도를 설정하기 위하여 10RM을 측정하였다. 그 후 5 분 동안 휴식을 취하고 운동 전 근전도 신호를 측정하였고, 다시 5 분 동안 휴식을 취하게 한 후 3 세트의 운동을 실시하였다. 이때 각 세트 사이의 휴식시간은 1 분으로 하였고, 운동이 끝난 직후, 5 분 후, 그리고 10 분 후에 근전도 신호를 측정하였다.

1) 10RM 측정

대상자들의 10RM을 측정하기 위하여 각각의 대상자들은 예상되는 최고 무게의 50%의 무게로 10 회 준비운동을 한 후 1 분 후 마다 중량을 증가시키며 10RM을 시도하였다. 실험대상자들이 들 수 없을 때까지 실시하며 마지막으로 성공한 중량을 10RM으로 선택하였다.

2) 근력증가 운동방법

대퇴직근의 근력증가를 위하여 N-K 테이블에 걸터앉아 슬관절을 70~180 도 범위로 신전하며 등장성 운동을 실시하였다. PRIE군은 1 세트에는 10RM의 50% 무게, 2 세트에는 75%의 무게, 그리고 3 세트에는 100%의 무게를 저항의 양으로 사용하였다. PRDE군은 10RM의 100% 무게에서 시작하여 75%, 그리고 50%의 무게로 각 세트 동안 실시하였다. 운동 동안에는 슬관절을 신전한 상태에서 2 초 동안 그 상태를 유지한 후에 천천히 원심성(eccentric) 수축을 하며 슬관절을 굴곡시키도록 하였고, 이때 대상자들에게 반동(reaction)을 이용하여 운동을 하지 않도록 주의를 주며 각 세트마다 10 회 운동을

실시하였다.

3) 표면 근전도 신호의 측정 기록 및 신호처리

운동 동안의 표면 근전도 신호를 측정하는 방법은 다음과 같다. 표면 근전도 신호는 대퇴직근(rectus femoris)에서 수집하였다. 표면 근전도 신호에 대한 피부저항을 감소시키기 위해 부착 부위를 가는 사포로 3~4 회 문질러 피부 각질층을 제거하고, 소독용 알코올로 피부 지방을 제거한 후에 소량의 전해질 젤(electrolyte gel)이 도포된 표면 전극을 피부에 부착하였다. 활성전극(active electrode)은 근육이 수축함에 따라 근복(muscle belly)의 위치가 변하는 것을 고려하여 상전장골극(anterior superior iliac spine)과 슬개골(patella)을 연결하는 선의 중간지점에 부착하였다. 참고전극(reference electrode)은 활성전극의 원위부 5 cm 위치에 부착하였으며, 접지전극(ground electrode)은 활성전극과 수직으로 동측 경골(tibia)의 근위부에 부착하였다. 표면 근정도 신호 수집을 위한 저항의 양을 10RM의 75% 무게로 하여 대상자들에게 N-K 테이블에 앉은 상태에서 무릎을 완전히 신전할 때까지 들어 올리도록 하였다. 이 상태에서 10 초 동안 등척성(isometric) 수축을 유지하도록 독려하면서 표면 근전도 신호를 기록하였다. 여기에서 얻은 표면 근전도 신호 중에서 최초 2 초에 해당하는 부분은 동원 과정에서 불안정할 수 있으므로 분석에서 제외하고 RMS 값을 구하였다(Figure 1).

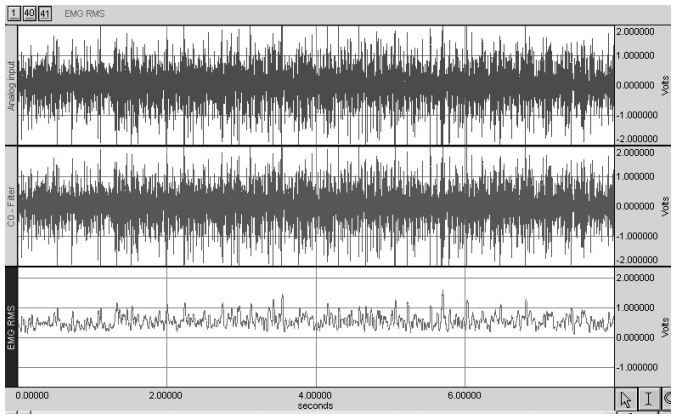

Figure 1. Typical example of the recorded RMS by the EMG

4. 분석방법

PRIE군과 PRDE군의 시간에 따른 RMS 값의 차이를 비교하기 위하여 반복측정에 의한 이요인 분산분석검정(repeated 2-way ANOVA test)을 실시하였고, 사후검정으로 대비검정(contrast test)을 실시하였다. 자료의 통계처리는 상용 통계프로그램인 윈도우즈용 SPSS(Statistical Package for the Social Science) version 10.0을 사용하였으며, 모든 통계학적 유의수준 α =0.05로 하였다.

III. 결과

1. 연구대상자의 일반적인 특성

연구대상자는 PRIE군에 20 명, PRDE군에 20 명으로 하였고, 대상자의 전체 평균 연령은 23.6 세 이었고, 평균 신장은 174.1 cm, 그리고 평균 체중은 73 kg 이었다(Table 1).

Table 1. Descriptive Characteristics of Participants

	Group		Subjects(n=40)
	PRIE(n=20)	PRDE(n=20)	
Age (y)	23.5±2.78	23.7± 3.26	23.6± 2.99
Height (cm)	174.9±3.42	173.3± 3.79	174.1± 3.65
Weight (kg)	73.3±8.29	72.7±12.85	73.0±10.68

PRIE: Progressive Resistance Increase Exercise, PRDE: Pregressive Resistance Decrease Exercise

2. RMS 값의 변화

1) 시간에 따른 RMS 값 비교

운동 전과 운동 직후, 운동 전과 운동 5 분 후, 운동 전과 운동 10 분 후에 측정한 RMS 값의 변화를 반복측정 이요인 분산분석한 결과 PRIE군과 PRDE군 모두에서 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($p<0.05$)(Table 2). 그러나 시간과 운동방법간의 상호작용은 없었다. 유의한 차이의 구간을 알아보기 위하여 운동 전을 기준으로 운동 직후, 운동 5 분 후, 운동 10 분 후 구간에 대해 대비 검정을 실시하였다. 그 결과 운동 전과 비교한 모든 운동 후의 측정 시간에서 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(Table 3).

Table 2. Comparison of the RMS values.

	Sum of Squares	df	F	p
Time(min)	177.372	3	16.818	0.000*
Exercise method	0.007	1	0.000	0.991
Time·Exercise method	14.267	3	1.353	0.261

* $p<0.05$

2) 운동방법에 따른 RMS 값 비교

PRIE군과 PRDE군의 운동방법에 따른 RMS 값 변화에는 차이가 없는 것으로 나타났다($p>0.05$)(Table 2). PRIE군의 RMS 값은 운동 전에 16.06에서 운동 직후 15.42로 감소되었다가 운동 5 분 후에는 18.00, 10 분 후에는 18.37로 운동 전보다 증가되었다. PRDE군의 RMS 값 또한 운동 전 16.82에서 운동 직후에는 15.62로 감소되었다가 운동 5 분 후에 17.12, 운동 10 분 후에는 18.22로 운동 전보다 증가되는 양상을 보였다(Figure 2).

Table 3. RMS values contrast test on the difference between pre-exercise and post-exercise

	Time	Sum of Squares	df	F	p
Time	Immediately post-Ex. vs. pre-Ex.	32.763	1	4.417	0.042*
	5 min. post-Ex. vs. pre-Ex.	50.306	1	6.273	0.017*
	10 min. post-Ex. vs. pre-Ex.	137.044	1	10.832	0.002*
Time · Exercise method	Immediately post-Ex. vs. pre-Ex.	3.499	1	0.472	0.496
	5 min. post-Ex. vs. pre-Ex.	27.377	1	3.414	0.072
	10 min. post-Ex. vs. pre-Ex.	8.373	1	0.662	0.421

* p<0.05
post-Ex: post-exercise, per-Ex: pre-exercise, min: minutes

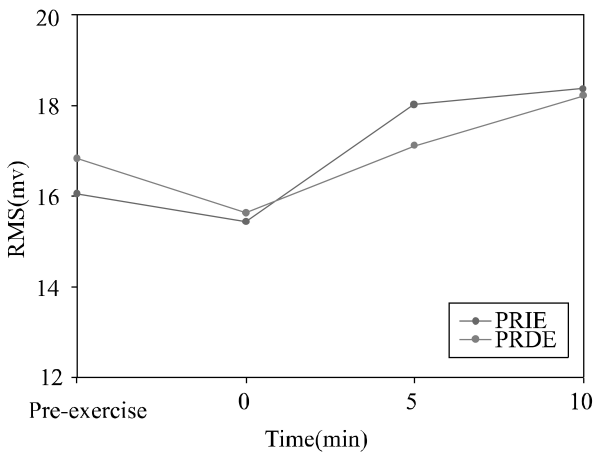

Figure 2. Comparison of RMS values between PRIE and PRDE group at pre-exercise and post-exercise

IV. 고찰

본 연구는 40 명의 건강한 남자 대학생들을 대상으로 근력 증가를 위한 저항운동의 방법에 따라 운동단위의 동원율에 어떠한 차이가 있는지를 알아보고자 시행되었다.

저항운동은 근력을 발달시키는데 가장 좋은 방법 중의 하나로써 무거운 기구를 가지고 운동을 하면 신경과 근육 사이에 상호작용을 증진 시킬 수 있도록 신체를 자극한다. 저항운동의 부하는 근력과 근섬유 비대에 영향을 주는 중요한 요소 중의 하나이며(Delmonico 등, 2005; Knuttgen, 2007; Staron 등, 1991), 운동단위를 동원하여 힘을 증가시키는 것으로 나타났다(Wani와 Guha, 1975). 점진적 저항운동을 위해서 각 대상에게 알맞은 저항의 양을 결정하는 것은 매우 어려운 일이다. 그러나 최대반복이 가능한 중량을 계산하기가 쉽지 않고, 이것이 가장 정확한 방법이 아닌데도 불구하고 저항의 양을 결정하는 한 방법으로 여전히 이용되고 있다(Kisner와 Colby, 2002).

운동방법의 특성을 규명하기 위한 여러 가지 방법 중에서 표면 근전도를 이용한 방법은 표면 전극을 피부에 부착하여 신경 및 근섬유에서 나오는 복합활동전위(compound action potential)를 기록하는데 좋고 사용이 간편해 신경전도검사에 일반적으로 사용되고 있다(편성범, 2001). RMS는 표면전극을 통해 획득한 근전도 신호의 진폭을 반영하는 것으로써 운동단위의 동원율을 반영한다고 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 PRIE와 PRDE 방법이 운동 후 운동단위의 동원율에 어떠한 차이가 있는지를 비교하기 위하여 표면 근전도를 이용하여 RMS 값을 측정하였다.

근육의 피로는 예상되었던 근력을 유지하지 못하는 상태(손민균 등, 1998; Doud와 Walsh, 1995), 또는 근 장력을 최대로 유지시킬 수 있는 능력의 손실로 정의된다(Bigland-Ritchie 등, 1986; Vollestad, 1997). 홍완성 등(2002)은 건강한 성인 남녀 16 명을 대상으로 하퇴삼두근(triceps surae muscles)에 등척성 운동을 실시하여 근피로를 유발한 후 표면 근전도로 측정한 결과 운동 전에 비해 RMS 값이 감소하였다고 보고하였다. Bilodeau 등(2003)도 건강한 성인남녀 14 명을 대상으로 대퇴사두근(quadriceps femoris muscle)에 근피로를 유발한 후 근전도 신호를 분석한 결과 RMS 값이 감소하였다고 보고하였다. 또한 한정수와 곽현석(2000)은 RMS 값은 근피로가 발생하면 감소하고, 휴식을 취하면 일시적으로 증가한다고 하였다. 본 연구에서도 RMS 값은 PRIE군과 PRDE군 모두 운동 직후에는 유의하게 감소를 보였으나, 운동 5 분 후와 10 분 후에는 운동 전보다 더 유의하게 증가하였다. 이는 운동 직후 발생한 피로에 의하여 운동 단위 동원율이 감소되었고, 시간이 지나 피로가 회복되면서 운동 단위 동원율이 회복된 것으로 보인다.

Zinovieff는 저항의 정도를 감소시키는 것이 근피로의 점차적인 증가를 예방할 것이라고 제안하며 DeLorme의 PRIE 방법보다는 PRDE 방법이 과부하 원리(overload principle)를 유지하면서 근육이 최대의 수행력까지 운동할 수 있을 것이라고 했다(Fish, 2003). 그러나 본 연구에서 운동 후 두 군 간에 RMS 값을 비교하였을 때 운동 전과 운동 직후에 유의한 차이가 없었고, 운동 5 분 후와 10 분 후에도 두 군 간에 비슷한 평균값을 보여 두 가지 운동방법에 따른 운동 단위 동원율의 차이는 발견하지 못하였다. 이러한 결과는 PRIE 방법과 PRDE 방법으로 유발된 근피로에 차이가 없었기 때문인 것으로 사료된다. 따라서 근력강화 운동에 따른 근피로를 줄이기 위해서는 저항을 점차 증가시키거나 감소시키는 방법을 고려하기 보다는 다른 요소들 즉, 운동 반복 횟수나 지속시간, 그리고 휴식시간 등을 고려해야 할 것으로 보인다. Zinowieff의 주장과 본 연구의 결과에서 나타나는 차이는 연구방법이나 실험 동안 대상자

들의 생리적 상태 및 실험 환경의 변화, 또는 심리적 요인에 의해 발생 하였을 가능성이 있다. 그러나 Fish 등(2003)은 50 명의 성인 남녀를 대상으로 9 주 동안 PRIE와 PRDE 방법에 의한 운동을 각각 시행하고 악력계(dynamometer)로 측정한 결과, 두 운동방법에 따른 근력증가의 차이는 나타나지 않았고, 두 방법 모두에서 근력이 증가하였음을 보고하였다. 이러한 결과는 본 연구의 결과에서처럼 두 운동방법에 따른 운동 단위의 동원율에 차이가 없었던 요인도 작용했을 것으로 여겨진다.

특정 근육 및 근육군에서 근력증가의 목적을 달성하기 위해서는 장기간의 훈련이 필요하고 그와 함께 각각의 수행 기간 동안 근피로와 같은 불필요한 제한사항 들이 발생하지 않아야 한다. 이러한 견해에서 그리고 본 연구의 결과에서 PRIE 방법과 PRDE 방법 모두 운동 단위 동원율의 변화가 비슷하게 나타났기 때문에 근력증가를 위한 운동 방법으로 두 가지 모두 비슷한 결과를 가져올 것이라고 생각된다.

V. 결론

본 연구에서는 건강한 성인남자 40명에게 근력증가 운동 방법인 PRIE와 PRDE를 대퇴직근에 실시하고, 표면 근전도를 사용하여 두 가지 운동방법에 따른 운동 단위 동원율의 차이를 알아보았다. 그 결과 운동 동안 표면 근전도 상에 운동 단위 동원율을 나타내주는 RMS 값이 PRIE군과 PRDE군 모두에서 운동 후 시간에 따라 비슷하게 변화되는 것으로 나타났으며 RMS 값 자체의 비교에서도 유의한 차이가 없었다. 따라서 근력강화 운동에 따른 근피로를 줄이고 근력을 효과적으로 증가시키기 위해서는 저항을 점차 증가시키거나 감소시키는 방법을 고려하기 보다는 운동 반복 횟수나 지속시간, 그리고 휴식시간과 같은 다른 요소들을 고려해야 할 것으로 보인다.

본 연구의 제한점으로는 20대의 성인 남성을 대상으로만 하였다는 것과 하지의 한 근육에만 국한하여 실험하였다는 점이다. 따라서 향후 연구에서는 대상자와 적용 근육을 다양화하고, 근피로 분석과 관련된 여러 변수들 즉 회귀직선상의 중앙주파수, 기울기, 그리고 근피로 지수 등을 이용한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

배진성. 12주 운동 유형이 신체 조성에 미치는 영향. 대전대학교 보건스포츠대학원, 석사학위 논문, 2004.

손민균, 윤여삼, 전계호. 만성 요통환자에서 요추신전근의 근전도 주파수 분석. 대한재활의학회지. 1998;22(1):68-76.

편성범. 근전도기의 구성과 실제 조작. 대한근전도전기진단의학회지. 2001;3(1):1-12.

한정수, 곽현석. 근전도를 통한 척추 근육의 피로도의 정량화 및 척추손상에 미치는 영향 연구. 의공학회지. 2000;21(2):219-24.

홍완성, 김기원, 김병곤. 근전도를 이용한 하퇴삼두근의 근피로 분석. 대한물리치료학회지. 2002;14(4):203-11.

Andreassen S, Arendt-Nilsen L. Muscle fibre conduction velocity in motor units of the human anterior tibial muscle: a new size principle parameter. J Physiol. 1987; 391:561-71.

Basmajian JV, De Luca CJ. Muscle Alive: EMG signal amplitude and force. 5th ed. Baltimore, Williams & Wilkins, 1985.

Bigland-Ritchie B, Cafarelli E, Vollestad NK. Fatigue of submaximal static contractions. Acta Physiol Scand Suppl. 1986;556:137-48.

Bilodeau M, Schindler-Ivens S, Williams DM 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(1):83-92.

Delmonico MJ, Kostek MC, Doldo NA et al. Effects of moderate-velocity strength training on peak muscle power and movement velocity: do women respond differently than men? J Appl Physiol. 2005;99(5): 1712-8.

Delorme TL, Watkins A. Progressive Resistance Exercise. New York, Appleton-century, 1951.

Doud JR, Walsh JM. Muscle fatigue and muscle length interaction: effect on the EMG frequency components. Electromyogr Clin Neurophysiol. 1995;35(6):331-9.

Fish DE, Krabak BJ, Johnson-Greene D et al. Optimal resistance training: comparison of DeLorme with Oxford techniques. Am J Phys Med Rehabil. 2003;82(12): 903-9.

Fisher NM, Pendergast DR, Gresham GE et al. Muscle rehabilitation: its effect on muscular and functional performance of patients with knee osteoarthritis. Arch Phys Med Rehabil. 1991;72(6)367-74.

Gallery PM, Forster AL. Human Movement. New York, Churchill Livingstone, 1985.

Kisner C, Colby LA. Therapeutic Exercise Foundation and Techniques. 4th Ed. Philadelphia, Davis, 2002:58-148.

Knuttgen HG. Strength training and aerobic exercise: comparison and contrast. J Strength Cond Res. 2007; 21(3):973-8.

Kraemer WJ. Endocrine responses to resistance exercise. Med Sci Sports Exerc. 1988;20:152-7.

Mortell R, Tucker L. Effects of a 12-week resistive training

program in the home using the body bar on dynamic and absolute strength of middle-age women. Percept Mot Skills. 1993;76(3):1131-8.

Rogers MA, Evans WJ. Changes in skeletal muscle with aging: effects of exercise training. Exer Sports Sci Rev. 1993;21:65-102.

Rutherford OM, Jones DA, Round JM. Long-lasting unilateral muscle wasting and weakness following injury and immobilisation. Scand J Rehabil Med. 1990;22(1):33-7.

Sale DG, Jacobs I, MacDougall JD et al. Comparison of two regimens of concurrent strength and endurance training. Med Sci Sports Exerc. 1990;22(3):348-56.

Schultz AB. Mobility impairment in the elderly: challenges for biomechanics research. J Biomech. 1992;25(5): 519-28.

Singh MA, Ding W, Manfredi TJ et al. Insulin-like growth factor I in skeletal muscle after weight-lifting exercise in frail elders. Am J Physiol. 1999;277(1):135-43.

Staron RS, Leonardl MJ, Karapondo DL et al. Strength and skeletal muscle adaptations in heavy-resistance-trained women after detraining and retraining. J Appl Physiol. 1991;70(2):631-40.

Vollestad NK. Measurement of human muscle fatigue. J Neurosci Methods. 1997;74(2):219-27.

Wani AM, Guha SK. A model for gradation of tension-recruitment and rate coding. Med Biol Eng. 1975;13(6):870-5.