

# 운동이 노화로 인한 골격근의 생리적 변화에 미치는 영향

송주영

부산광역시 장애인종합복지관

김진상

대구대학교 재활과학대학 물리치료학과

## Abstract

### Effects of Exercise on the Physiological Changes of Aging Skeletal Muscle

Song Ju-young, R.P.T.

Pusan Rehabilitation Center for the Disabled

Kim Jin-sang, Ph.D., D.V.M.

Dept. of Physical Therapy, College of Rehabilitation Science, Taegu University

The decrease of muscle power and muscle size between twenties and seventies was about 30% and 40% respectively. The loss of muscle mass by aging resulted in the decrease of muscle power. The loss of muscle mass was due to the decrease of number of Type I fiber and Type II fiber and size of each muscle fiber. The aging skeletal muscle didn't show the loss of glycolysis capacity but showed 20% decrease of the oxidative enzymes and muscle vascularization. The vigorous endurance exercise training with graded intensity played a role in the vascular proliferation, increase of activity of oxidative enzymes and improvement of  $VO_2$  max. The graded resistance exercise also played a role in the muscle hypertrophy and increase of muscle power, if it performed with adequate intensity and period. The exercise adaptation of aging skeletal muscle prevented it from sarcopenia, provided the activity of daily living with great effect and provided the aging related disease, that is Type II diabetes mellitus, arteriosclerosis, hypertension, osteoporosis and obesity, with great effect.

**Key Words:** Exercise; Aging; Skeletal muscle; Physiological changes.

## I. 서론

노화란 시간이 변화함에 따라 나타나는 유기체의 정상적인 변화로 모든 유기체에 공통으로 나타나고 시간의 경과와 함께 진행되며 평생동안 계속되어 결국 사망에 이르게 되는 것이다(송미순과 하양숙, 1995). 일반적으로 노인이라 하면 인구학이나 사회학적 측면에서 65세 이상의 노령 인구를 의미한다. 국제연합회의에 따르면 65세 이상의 노령 인구 비율이 4% 미만인 나라를 유년인구국, 4~7%인 나라를 성년인구국, 7% 이상을 노년인구국으로 분류한다(조유향, 1995). 우리나라의 노인인구 추이는 1960년 전국 인구 구성비의 3.3% 였던 것이 1995년에는 5.3%로 점차 그 증가 추세가 빨라져서 2005년에는 7.6%로 증가하게 될 것이다(송미순과 하양숙, 1995). 경제성장과 첨단과학 기술의 발달로 의료기술이 급속히 발달하고 수명이 연장됨으로써 노인의 문제가 우리 모두 피할 수 없는 심각한 중요한 문제로 대두되고 있다.

이와 같은 시대적, 사회적 변화속에서 노화현상으로 인해 신체 모든 기관의 효율성이 떨어지고 기능저하와 만성질환으로 인한 장애 문제가 사회문제로 부각되고 있다. 실제로 만성장애는 젊은층 보다는 노년층에서 더 빈번하며 미국의 경우 65세 이상의 인구에서 만성장애로 인한 활동의 제한을 경험한 사람이 약 40% 였고(Ruskin, 1984), 권춘숙과 이인학(1994)의 연구에 의하면 우리나라 농촌 노인의 67.2%가 만성질환을 겪고 있다고 보고하였다. 이 연구에서 특히 주목할 만한 것은 만성질환 중에서 근골격계 질환이 64.5%로 가장 높았고 다음으로 호흡기계 질환(14.0%), 순환기계

질환(8.7%)의 순이었다. 65세 이상 노인을 대상으로 한 국내 노인의 상병분류별 외래환자 수진율에서도 근골격계 질환의 진료수가 가장 많았고 그 다음으로 소화기, 호흡기, 신경계 및 감각계 질환, 순환기 질환의 순이었다(유형준, 1994). 근골격계, 호흡기계, 순환기계(심혈관계) 및 신경계는 인체의 운동과 관련된 계통이므로(Ruskin, 1984) 노화로 인해 모든 기관들의 기능이 퇴화하고, 활동이 제한되고, 무기력해지며 심한 경우 독립적인 생활이 어렵게 된다. 송건용 등(1990)의 조사에 의하면 노인의 약 절반은 스스로 건강하지 않다고 인식하며 노인 중 58%, 특히 군지역에 거주하는 노인의 62%는 한 가지 이상의 질병을 갖고 있다고 하였다. 미국의 통계에서도 65세에서 74세 노인 중 5%, 75세에서 84세 노인의 16%, 85세 이상의 노인의 35%가 육체적 활동에 제한을 받는다고 하였다(Feller, 1983).

그러나 누구나 노화과정에 속해가는 것이 분명한데도 그것이 일정하게 획일적으로 정해진 것이 아니라 각 개인에 따라 노화속도가 다르게 나타난다. 미국국립노화연구소(National Institute on Aging, USA)가 1958년부터 주관하여온 Baltimore Longitudinal Study of Aging(BLSA) 프로젝트를 통해서 정상적인 노화과정을 추적한 결과 인간의 노화과정은 사람마다, 조직마다, 세포마다 서로 다른 속도로 진행됨을 보였으며 이러한 노화과정에 유전적 및 생활패턴과 질병상태가 영향을 미치고 있음을 보였다(Shock 등, 1984). 인간의 노화는 연대적 연령의 증가로 인해 결정되는 것이 아니라 오히려 유전과 같은 내적요인과 환경, 영양 등의 외적요인에 의해 결정된다. 내적요인

인 유전형질을 유리하게 바꾸기는 어렵다고 하더라도 환경 즉, 일상적인 식사형태, 운동량, 스트레스 등의 외적요인들은 우리의 노력 여하에 따라 어느 정도 조절이 가능하다.

본 연구는 노화로 인해서 발생하는 골격근의 생리적 기능적 변화와 그러한 변화에 운동이 미치는 영향을 살펴봄으로써 노인들의 조기재활을 위한 운동프로그램을 조성하고 사회적 위축과 기능저하의 원인이 되는 운동성 상실을 최소화하며 궁극적으로 노화로 인한 각종 신체적인 문제들을 예방하는데 그 목적이 있다.

## II. 노화로 인한 신체의 일반적 변화

노화에 의한 신체의 변화는 불가역적이며 개체간에 약간씩의 차이가 있으나 모든 종족에서 공통된 변화가 예외 없이 출현한다는 점에서 질병과는 다른 것이다(조유향, 1995).

### 1. 신경계의 변화

신경계는 대체될 수 없는 비분열성 세포(nonmitotic cell)인 신경세포로 구성되어 있다. 노화가 진행됨에 따라 신경세포수는 느리게 감소하고 중추신경계의 크기가 줄어들며 노인반점(senile plaques)과 신경원섬유 농축제(neurofibrillary tangles)의 수가 증가하고 신경원과 신경교세포(glia cell)에 색소과립(pigment granules)이 증가한다. 아울러 물과 지방의 감소와 같은 뇌내 화학성분의 변화로 외적자극을 인식하고 처리하는 능력이 감소되며 신경전도가 느려져 내적자극을 처리하는 속도가 감소

될 뿐만 아니라 단기 기억력이 감소하고 학습능력이 더디고, 쉽게 피로해하며 운동기술과 운동적 활동속도가 감소되고 감각지각이 변한다. 또한 운동성의 문제로 균형조절이 떨어져 낙상을 당하거나 주요손상을 받는 원인이 된다(Ruskin, 1984). 말초신경계의 기능장애는 대부분 70대에 보이며 기능 장애로는 진동감각, 2점식별력의 저하, 족관절 간대성경련, 말초신경 전도속도의 변화 등이 있다. 젊은층에서 50~70 %의 전도속도를 보이던 말초신경의 전도율이 30~40대에 서서히 감소되기 시작해서 60~80대에는 10 %이하로 감소된다(Nordin과 Frankel, 1989).

### 2. 심혈관계의 변화

심혈관계 질환은 노인들의 사망원인 중 1/3을 차지한다. 노화가 진행되어도 정상시 심박수는 거의 변화가 없으나 최대 심박수와 최대산소소비량(maximal oxygen consumption)이 서서히 감소한다. 건강한 사람의 경우 최대산소 흡수력은 25세 남자가 각각 46~48 ml/min/kg, 34~36 ml/min/kg 이다. 단면 연구와 추적 연구에서 산소소비량(oxygen consumption;  $VO_2$ )은 남자의 경우 10년에 4~5.5 ml/min/kg씩 감소하고 여자는 2.0~3.5 ml/min/kg 혹은 약 12%~13% 정도 감소한다. 동맥벽은 일반적으로 50세 이후에 더 딱딱해지는데 순환이 증가하고, 혈관벽의 탄력성 소실로 수축기와 이완기의 혈압이 점차로 상승해서 말초저항이 증가하고(Ruskin, 1984) 뇌혈관 및 심혈관계 질환의 위험인자가 된다.

### 3. 호흡기계의 변화

노화로 인해 호흡기계는 폐의 내재적 변

화와 흉곽운동의 변화로 심혈관계나 신경근계에 이상이 없을 경우 폐기능은 제한없이 예비용량만 감소한다. 폐활량, 최대수의 환기량, 호식유속, 1초간의 노력성 호기 폐활량 등의 감소가 보이는데 이는 연령이 증가하면서 늑간근과 복근이 약화되고 기관지의 반경이 좁아지기 때문이다(김진호 등, 1995).

#### 4. 소화기계의 변화

위장관의 일차적 변화로 운동성이 감소하고 대장이 저긴장화되며 이로 인해 대변통과 시간이 길어지고 변의 탈수화가 생겨 변비가 잘 생긴다. 식도의 운동성 감소로 하부 식도 괄약근의 이완이 감소되어 연하곤란을 보이기도 한다.

### III. 골질 변화

골조직은 하나의 특별화된 결합조직으로 내부기관을 보호하고 견고한 운동학적 연쇄와 근 부착지를 제공하며 근육작용과 신체활동을 촉진하는 기능을 한다. 노화에 의해서 골질의 밀도(density)가 감소하는데 종방향의 골소주는 얇아지고 횡방향의 골소주의 일부는 재흡수된다. 이로 인해 골해면질 양이 뚜렷하게 감소하고 골피질이 얇아져 골의 강도와 견고함이 떨어지게 된다(Nordin 등, 1989). 골질(bone mass)의 감소는 골흡수(bone resorption)가 새로운 골형성보다 더 빠르게 발생하기 때문에 야기된다. 최대 골질은 20~30세 사이에 최대로 획득되어지며(Duncan과 Parfitt, 1984), 35세에서 40세경에 골흡수가 골형성을 초과해서 일어날 수 있다(Thibodeau, 1987).

노화로 인한 골밀도의 변화는 사지보다 척추에서 더 빨리 발생한다. 남자의 경우 50세에 시작해서 매년 약 0.4%씩 소실된다. 60세에서 80세 사이의 남녀노인의 경우 신장의 평균 감소율은 10년당 약 2 cm이며 골소실이 심한 경우 총 12 cm가 감소되는 경우도 있다. 여성의 경우 30~35세부터 매년 0.75%~1.0%의 골소실이 보인다. 60세 이후의 남·녀 골밀도는 1년에 1.0%의 비율로 감소되어 골절의 위험성이 크다. 여성의 경우 폐경기 이후에 즉각적으로 골밀도의 감소가 가속화되고 65세 이상의 여성 중 1/3이 척추골절을 경험하고 있으며, 80세 이상의 노인 여성의 경우 1/3이 고관절 골절로 고통을 받을 수 있다. 그러나 운동을 통해서 1년에 최소한 9개월 동안 수행한 근력강화동작이나 보행, 조깅과 같은 호기성 동작을 통해 골밀도의 감소를 줄일 수 있다(Hertling 등, 1990). 노화와 관련된 골질의 감소는 골의 역학적 부하와 순환을 제한하는 노인들의 감소된 활동수준과도 관련이 있다.

Pickles(1989), Mackinnon(1988) 및 Borner 등(1988)은 지속적인 체중부하 활동이 골밀도에 미치는 영향을 연구했는데 신체활동이 골밀도를 유지하는데 도움이 된다고 결론내렸다. 골격계에 가해지는 지속적인 기능적 부하는 골형성과 골흡수의 균형을 이루게 해준다.

### IV. 골격근의 생리학적, 조직화학적, 형태학적 특징

#### 1. 섬유유형

골격근은 힘의 생산(force generation)과

운동을 위한 일차적인 기관계(organ system)로 1600년대부터 폭넓게 연구되어 왔다. Dadykula와 Herman이 1955년 미오신 아데노신 삼인산 분해효소(myosin adenosine-triphosphatase enzyme; myosin ATPase)에 대한 조직화학적 염색법을 설명한 이후 Engel은 이 기술을 이용하여 수축성, 신진대사적 특성에 기초해 근섬유를 세가지 유형으로 분류했다(Thompson, 1994). 섬유 유형은 주로 ATP를 발생시키는 신진대사 경로와 그 에너지가 근섬유 분질의 수축계에 사용되는 비율에 따라 구분된다.

### 1) Type I 섬유

Type I 섬유는 산화효소활성이 높고 무기성 효소활성이 낮으므로 쉽게 피로하지 않는다. 미오신 아데노신 삼인산 분해효소(myosin adenosine-triphosphatase enzyme)에 의한 ATP의 파괴율을 낮게 유지하면서 섬유에 빠른 속도의 혈류가 산소와 영양분을 전달하므로 지속적이고 낮은 강도의 운동을 하는데 적합한 유형이다. 모세혈관 밀도가 높고 미오글로빈(myoglobin)이 풍부하다. 활성화(activation)와 느린 연속성 수축을 위한 낮은 발화빈도와 역치로 특징되는 운동단위에 포함된다.

### 2) Type IIa 섬유

Type I 섬유와 Type IIb 섬유의 중간구조의 세포학적 특성을 나타낸다. 빠른 수축시간과 산화성 활동과 무기성 활동의 특성이 결합되어 있다. 비교적 긴 시간동안 수축을 유지할 수 있으며 피로에 비교적 저항한다. 활성화와 빠른 연속성 수축을 위한 높은 발화빈도와 높은 역치로 특징되는 운동단위에 포함된다.

### 3) Type IIb 섬유

무기성 효소활성이 높아서 쉽게 피로해진다. 미토콘드리아와 미오글로빈이 매우 작으며 모세혈관의 밀도가 빈약하다. 최근 Schiaffino(1986)에 의해서 네번째 주요조직합유전자복합체 이소폼(MHCs isoforms; IIx-MHC)이 발견되었다. Type IIx 섬유는 Type IIa와 Type IIb와 비슷하게 짧은 수축시간(contraction time)과 반이완시간(half-relaxation times;  $\frac{1}{2}$  RT)을 가진다. 그러나 연속과 강축은 Type IIb 섬유가 Type IIa 섬유와 Type IIx 섬유보다 더 높다. Type IIx 섬유의 피로율은 Type IIa 섬유와 Type IIb 섬유의 중간정도이다.

## 2. 근섬유 분포의 변화

초기의 연구들에 의하면 노화하는 동안 근섬유 유형 분포는 Type I 섬유와 Type II 섬유 사이의 상호전달 혹은 특수한 근섬유 유형의 이차적인 선택적 소실로 변화된다고 하였다. Larsson 등(1978)의 연구에서, 20세에서 29세의 연령층이 39%의 Type I 섬유를 보인 반면에 60세에서 65세 사이의 연령층은 상당히 증가된 66%의 Type I 섬유를 보였다. 이 연구에서 Type II 섬유의 분포는 30대에서 70대까지 직선적으로 감소하는 것으로 나타난 반면에 Type II 섬유 집단내의 하위유형분포는 변화가 없었다. Gollnick 등(1972)은 24세에서 30세의 남자 그룹과 31세에서 52세의 남자그룹을 비교했는데 전자의 경우 Type I 섬유가 36%인 반면 후자의 경우 44%의 Type I 섬유를 보였다. 변화된 섬유분포에 관해 고안된 기전은 분열이나 증식에 의해 발생하는 Type I 섬유수의 증가, 종말발화(terminal sprouting)의 상실로 인한 Type II 섬유수의 선택

적 위축과 연이은 축소, Type I섬유에서 Type II섬유로의 변형을 포함한다.

최근의 연구들은 초기발견과는 다른 견해를 보이고 있다. Sato 등(1984)은 26세에서 80세 사이의 여성 200명을 대상으로 소흉근의 섬유분포를 조사했는데 Type I섬유의 백분율은 나이에 따라 변하지 않았다. Grimby와 Saltin(1983)은 66세에서 100세 사이의 노인을 대상으로 외측광근(vastus lateralis muscle)의 섬유분포를 연구했다. Type I섬유는 모든 여성그룹에서 52~58%였고 나이에 따라서 섬유유형변화가 발생하지 않았다고 결론지었다. Lexell 등(1986)은 외측광근의 섬유유형분포를 측정했는데 24세의 젊은층의 경우 49%의 Type I섬유를 가지고 52세는 52%, 77세는 51%의 Type I섬유를 가지고 있음을 측정했다. Lexell 등(1988)에 의한 최근의 연구는 특수한 섬유유형의 선택적인 상실은 없다고 주장한다. 그러므로 Type II섬유의 위축은 매우 고령자(80세 이상)에게서 나타나는 현상일 수 있다. 요약하자면 최근의 연구들은 노화되는 동안 골격근 질량의 소실이 발생할 때 그것은 특수한 섬유유형의 선택적 소실이 아니라 훈련에 의한 근육의 섬유-특수 가소성(fiber-specific plasticity)을 나타낸다고 한다. 즉 노인에게 있어서 섬유유형 분포는 부분적으로 유전적, 활동적 산물이라고 할 수 있다(Thompson, 1994).

### 3. 섬유수

노화하는 동안 근섬유의 전체수가 감소되는 것으로 보인다. 근섬유수의 상대적인 감소는 다양하나 흔히 30%에서 40%로 기록된다. 근섬유수에 있어서 나이와 관련된 감소는 전체 운동단위의 소실로 인한 것이

며, 노년에서 이미 변성된 근육의 재생이 불완전하기 때문으로 본다(Edstrom 등, 1987). Caccia 등(1979)의 연구에서 3, 4~18개월 된 쥐의 장지신근과 가자미근에서 섬유수의 25~30%가 감소되었음이 관찰되었고, Eddinger 등(1985)은 9~28, 30개월된 Fisher쥐 344마리로 장지신근과 가자미근의 섬유수를 계산했으나 아무런 변화도 없었다고 하였다. 노화하는 여성의 소흉근을 대상으로 한 Sato(1984)의 연구에서 전체 섬유수와 Type I, II섬유의 수는 26대, 40대 및 50대에서 유사했다. 반면에 60세 이상에서는 전체 섬유수와 두 섬유유형수가 상당히 감소했고, 70대에서는 전체 섬유수의 약 25%가 감소된 것으로 나타났다. Brown(1987)도 이와 유사하게 6~24개월된 암쥐의 장지신근과 가자미근에서 나이와 관련된 섬유수의 변화는 크게 없었다고 하였으나 어느 정도의 섬유위축은 12개월 이상의 쥐에서 거의 대부분 나타났고, 아주 심한 섬유위축을 보였던 6개의 장지신근 근육은 전자현미경 관찰에서 비수축성 섬유로 나타났다고 하였다.

Lexell 등(1986)은 그들의 초기 연구에서 30세에서 72세 사이의 건강한 남자들의 외측광근의 근 크기를 측정했고 섬유수를 계산하였는데 늙은 그룹에서 외측광근의 근 섬유 크기는 젊은 그룹보다 18% 더 작으면서 전체 섬유수도 25% 더 낮았다(평균 섬유수 = 364,000:478,000). 최근에 Lexell 등(1988)은 외측광근에서의 섬유소실이 25세에서 시작하며 20세에서 80세 사이에 전체섬유수의 39%가 감소된다고 하였다. 섬유수는 발생학적인 특성으로 결정되고 노화에 의해 관찰된 섬유수의 어떤 변화 역시 발생학적으로 조절된다(Thompson, 1994).

#### 4. 섬유 크기의 크기

인간의 경우 평균 섬유 크기는 30대 혹은 40대에서 최대치에 달하다가 그후 점차로 감소한다. Type I섬유는 적어도 60에서 70세까지 비교적 노화와 관련된 위축에 저항하는 것으로 보인다(Rogers 등, 1993). 섬유 크기의 감소는 Type II섬유에서 현저한 반면 Type I섬유는 영향을 적게 받는다. Lexell 등(1988)은 Type I섬유의 크기가 80세와 20세에서 거의 정확하게 일치했으며 Type II섬유의 감소는 나이가 들어감에 따라 감소하는데 20세와 80세의 차이가 26%라고 하였다. Aniansson 등(1984)은 70세에서 80세까지의 남자를 7년 동안 연구한 결과 Type I섬유영역은 변하지 않은 반면에 Type IIa섬유와 Type IIb섬유영역은 각각 14%, 25% 감소했다고 하였다. Coggan 등(1992)의 연구에서 젊은 남자와 늙은 남자의 Type IIa섬유와 Type IIb섬유는 감소되었다고 한다. Holloszy 등(1991)은 20~30개월된 늙은 쥐의 족저근(plantaris muscle)에서 Type IIb섬유의 평균 횡단면적이 약 37%가 감소했다고 기록했다. Essen-Gustavsson과 Borges(1986)는 20세에서 70세 Type I섬유의 평균 백분율은 남자에게서 상당히 높은 반면에 Type IIa섬유의 평균 백분율은 여자에게서 더 높다고 하였다(Men: 58% I, 27% IIa, 13% IIb, Women: 51% I, 32% IIa, 15% IIb).

남자들이 여자들보다 상당히 더 큰 섬유영역을 보이지만 노화과정에서 근섬유 크기의 감소는 남녀 모두 비슷한 결과를 보였다. 최근의 연구들은 노화되는 동안 근질량의 소실이 Type I섬유와 Type II섬유의 수와 크기의 감소로 인해 부분적으로

일어난다고 주장한다.

#### 5. 근육의 모세혈관(Muscle capillarization)

Grimby 등(1983)은 78세에서 80세 남녀 노인의 외측광근에서 모세혈관 조밀도(350/㎟)와 모세혈관-근섬유비율(capillary/fiber ratios)(1.5)이 젊은층과 유사하다고 하였으나 Coggan 등(1992)은 25세와 비교했을 때 65세 남녀의 가자미근의 모세혈관 조밀도가 25% 감소했다고 하였다. 모세혈관-근섬유 비율과 모세혈관수는 근육에서의 실제적인 모세혈관 소실을 반영하므로써 노인 남녀의 근육수에서 19~40%정도 더 낮았다. 근모세혈관에 노화가 미치는 영향에 대한 우리의 이해는 다소 불완전한 상태이다. 모세혈관의 감소가 활동의 감소로 인한 것인지, 노화 과정인 것인지는 확실하지 않다.

### V. 근기능의 변화

#### 1. 수축성 성질의 변화

노화에 의해 근세포는 액틴(actin)과 미오신(myosin)이 부족한 근섬유막관(sarcomere)이 있는 지점에서 위축이 진행됨으로써 섬유는 수축성을 잃게 된다. 섬유 위축은 노화하는 동안 종판에서의 신경근 접합의 소실과 축삭변성에 의해 이차적으로 발생하는 것으로 추정된다(Brown, 1987). 근질량의 감소와 감소된 섬유의 크기와 수에 근거해서 노화된 골격근에서 최대강축력(peak tetanic tension;  $P_o$ )의 감소를 예견할 수 있다. Brooks와 Faulkner(1988)는 늙은 생쥐(24~26개월)의 느린 근섬유와 빠른 근섬유 모두 최대강축력이 20%에서 30% 감소한 것을 보고했고, Klitgaard 등

(1989)은 쥐(9개월:29개월)의 가자미근과 족저근 모두에서 나이에 따라 최대연축력(peak twitch tension)과 최대강축력이 상당히 감소했음을 밝혔다. 몇몇 연구들은 나이에 따라 장지신근의 등척성 연축의 연장은 수축시간과 반이완시간이 증가했기 때문이라 주장했다.

## 2. 근력감소

노화의 진행에 따라 최대 힘 생산이 상당히 감소하게 되는데 일반적으로 등척성력이 30~40% 감소된다. 등척성근력의 소실은 45세 이후 가속되어 65세에는 기능의 손상이 약 25% 발생한다(Aoyagi 등, 1992). Larsson 등(1978)은 11세에서 70세 사이의 남자 114명을 대상으로 해서 대퇴사두근의 최대 등척성과 동적 근력이 30세까지 증가하여 50세까지 비교적 지속되다가 그 이후 나이가 증가함에 따라 감소했다고 보고하였고, Young 등(1984)은 20대와 70대 여성의 대퇴사두근의 근력을 비교하여 노인 여성의 경우 최대등척성근력이 35%정도 낮았으며, 이때 대퇴사두근의 평균 횡단면적은 33% 적었다고 하였다. Copenhagen City Heart Study에 따르면 근력은 50대까지 비교적 잘 유지되다가 60대와 70대에서는 10년당 약 15%씩 감소하고 그 이후는 10년당 거의 30% 감소한다.

노화에 의한 근력의 감소는 근질량의 소실 혹은 힘을 생산하기 위한 근 용적의 일부 변화(운동단위의 활성감소, 근육의 수축성, 역학적 성질의 소실)에 의한 것이다. 노화가 일어나는 동안 최대등척성력의 소실은 하지의 근위 근육에서 주목할만한데 다른 근군에서 다양한 반면 배부근과 손의 근에는 별로 영향을 미치지 못한다.

McDonagh 등(1984)에 의하면 남성의 하퇴삼두근의 최대등척성근력이 26세때 1,895 N에서 71세때 1,141 N으로 40% 감소한 반면 주관절 굴곡근은 각각 330 N, 263 N로 단지 20% 감소한 것으로 밝혀졌다. Asmussen(1980)은 이러한 다양성이 노인의 상지보다 하지의 이용이 감소되기 때문인 것으로 추정했다. 노화가 진행되는 동안 힘생산을 감소시키는 다양한 요인들이 있다. 흥분-수축쌍(excitation-contraction coupling)은 근형질막의 탈분극, 가로세관계(transverse tubular system)를 통한 활동전압의 전도, 칼슘이온의 완화, 단백질을 조정하는 칼슘이온의 경화, 액틴-미오신(actin-myosin) 교차대의 활성화 칼슘의 재축적을 포함한다. 흥분-수축쌍의 과정이 노화에 따라 퇴화함으로써 힘의 감소가 나타난다. 그리고 근육은 근육의 횡단면적에 비례하므로 근섬유 크기나 섬유수의 변화는 근수행의 감소로 기인한 것이다.

## 3. 근 지구력 용적

Fitts 등(1984)은 28개월된 쥐와 9개월된 쥐의 가자미근 피로도는 나이에 따른 근육이 보다 높은 젖산(lactate)과 낮은 당원치(glycogen levels)를 갖고 있음에도 불구하고 차이가 없었다고 보고하였으며 이는 연장된 수축성 활동에 대한 신진대사적 반응의 차이라고 하였다. 늙은 쥐는 반이완시간이 증가했기 때문에 느린 연축과 빠른 연축근 모두 연장된 등척성 연축기를 가졌다. 더욱이 연축과 강축장력, 장력발달의 최대률로 단축의 최대속도가 9개월 쥐와 28개월 쥐 모두 유지되었다. 그러나 Klitgaard 등(1989)은 노화에 의해 가지미근과 족저근에서 연축과 강축장력이 상당히 감소했다고 보고



하였다. Lennmarken 등(1985)은 노인 남자(65세)가 젊은 남자(32세)와 노인 여자(3.5%)에 비해 모지내전근(adductor pollicis muscle)의 30초간 전기자극 이후 더 큰 힘소실을 보였다고 했는데 이것은 근지구력에 대한 나이와 성의 영향을 의미하는 것이며, 젊은이에 비해 노인의 골격근에서 수축기능이 이완기로 회복되는 것이 더 느리다고 하였다. 피로를 유도하는 정적인 노력(fatiguing static effort)에 대한 지구력 시간은 해당근군, 등장성 혹은 등척성 근력, 동적 혹은 정적훈련 상태와는 관계가 없다. 수행에 영향을 미치는 중요한 요인으로는 관련된 근육의 최대수축력과 관련된 노인의 강도, 반복횟수 및 수축간격(inter-contraction interval)이다. Petrofsky와 Lind(1975)에 의하면 개인간의 근지구력 차이는 체지방의 백분율과 관계가 있으며 근육내 온도와 관계가 있다고 하였다. 체지방이 백분율이 높으면 근육의 온도가 더 높고 결과적으로 근 지구력이 감소된다. 그러나 경피지방의 증가가 근 지구력에 주요영향을 미친다고는 보지 않는데 이것은 손을 쥐는 등척의 지구력과 슬관절 신전근의 등척성, 동적 지구력이 표지방의 정상적인 증가가 있을 때에도 초기 성인기에서 변하지 않거나 약간 증가하기 때문이다.

#### 4. 수축속도

근 단축의 최대속도는 미오신(myosin)의 actin-activated ATPase의 활동이 직접적으로 비례한다. 수축시간과 반이완시간은 나이가 들어감에 따라 연장된다. 대퇴사두근과 같은 큰 근육과 손으로 쓰는 동작에 관여하는 작은 근육들 모두 수축속도가 약간 감소하는 것으로 보이나 노화에 의한

최대 슬관절 신전속도의 어떤 변화는 근력의 감소보다 작다. Larsson(1978)은 60~69세의 노인을 대상으로 근력이 26~38% 감소한 반면 최대 슬관절 신전 속도는 7% 감소했다고 보고하였다. 최대속도가 느려지는 것은 근육의 양적 감소 보다도 오히려 질적인 변화(기능적 Type IIb섬유의 비율 감소)를 반영하는 것이다. Aniansson 등(1980), Aniansson과 Gustafsson (1981)은 70세 노인 남녀를 비교했는데 근질량은 성별에 따른 차이가 컸는데 비해 최대 슬관절 신전속도는 차이가 없었다. Payton과 Poland(1983)는 노화에 의한 섬유구성의 작은 변화와 막탈분극의 손상, 흥분수축쌍기전의 손상이 근수축을 느리게 하는 요인이라고 설명했다.

## VI. 운동이 미치는 영향

근육에서 훈련효과를 획득하기 위해서는 운동과부하(exercise overload)가 적용되어야만 한다. 운동훈련의 기록은 대상자에 의해 수행된 운동의 유형(type), 강도(intensity), 양(amount)이 포함되어야 한다.

### 1. 지구력 훈련

심혈관계의 노화에 따른 기능 감소는 의심할 여지가 없고 이차적으로 신체활동의 감소에 의한 것이다. 최대산소소비량( $VO_2$  max)은 10년에 약 10%씩 감소되는데 지속적인 강한 지구력운동훈련(vigorous endurance exercise training)을 받은 노인의 경우  $VO_2$  max의 감소가 거의 5%에 불과하다. 노인을 대상으로 한 초기 연구는 지구력운동훈련이  $VO_2$  max의 개선을 초래하

지 않았다고 보고했으나, 이들 연구들은 불충분한 훈련자극(예를들어 부적절한 강도와 기간)을 이용했기 때문이다. 보다 최근에 Seals 등(1984)은 60~70세의 건강한 노인 11명을 대상으로 낮은 강도와 높은 강도의 지구력 훈련을 6개월간 실시했는데 그 결과  $VO_2$  max가 평균 30% 증가했다. 다른 연구에서도 강한 지구력 운동훈련이  $VO_2$  max를 약 20% 증가할 수 있다고 보고했다. 노인들의 경우  $VO_2$  max의 상대적 개선은 그들의 연령, 성별, 심혈관 적응도의 초기수준과는 관계가 없었다. 지구력 훈련에 반응하는 젊은이의  $VO_2$  max 증가는 부분적으로 골격근의 말초적응(peripheral adaptations)에 의한 것이다. 이러한 적응은 미토콘드리아 호흡용적의 증가, 근육모세혈관화의 증가, Type IIb섬유의 Type IIa섬유로의 전환을 포함한다. Suominen 등(1977)은 69세 노인 남녀를 대상으로 저강도 지구력 훈련을 8주간 실시한 결과 호흡용적이 약 10~15% 증가했다. 최근 Meredith 등(1989)은 건강한 젊은이(24세)와 노인(65세) 남녀를 대상으로 70% 심박수로 45 min/day, 3 days/week를 고정 자전거로 12주간 강한 지구력훈련을 실시한 후 말초효과를 비교했다. 두 그룹 모두 훈련이 체중이나 신체구성에 영향을 미치지 않았으나 노인의 근산소용적이 훈련후 128% 증가한 반면에 젊은이는 단지 27%만 증가했다. 제한된 수의 연구들에서 보이는 일반적인 견해는 연장된 지구력 훈련이 젊은이들의 경우 처럼 노인의 골격근에서도 해당효소활동에 최소한의 영향을 미친다는 것이다. 최근에 Coggan 등(1992)은 강한 지구력훈련을 실시한 60-70세 노인들에게서 모세혈관 분포(capillary supply)가 증가했다고 보고

했다. 10개월간 훈련한 후  $mm^2$  당 모세혈관 조밀도는 남녀 각각 20%씩 증가했다. 모세혈관대 섬유비와 각 섬유와 연결하는 모세혈관의 수가 약 25% 증가했다는 사실은 노인들의 경우 지구력 훈련에 대한 적응이 젊은이들과 같이 새로운 모세혈관들의 재생이라는 것이다. Frontera 등(1988)은 12명의 남자(60-72세)를 반이완시간의 80%로 8회 반복을 3회, 12주간 실시했는데 평균 섬유영역이 28% 증가했고 섬유당 모세혈관수는 15% 증가했다. Gollnick 등(1973)은 30세 남자를 대상으로 5개월간 지구력 운동훈련을 실시했는데 Type I섬유의 크기가 23% 증가했으나 Type I섬유영역과 Type I섬유의 백분율은 변화하지 않았다고 했다. Coggan 등(1992)은 60-70세 노인 남녀를 대상으로 10개월간 지구력 훈련을 실시했는데 Type I근섬유의 백분율은 변하지 않았다. 젊은이와 노인 모두 지구력 훈련에 의한 Type I섬유의 백분율은 변하지 않았다. Type IIa섬유는 약 8% 증가한 반면 Type IIb섬유의 백분율은 상당히 감소했다. 요약하자면 지구력 운동훈련에 적응한 노인 남녀는 젊은이의 경우와 마찬가지로  $VO_2$  max, 모세혈관과 미토콘드리아 호흡용적, 섬유크기 그리고 Type IIb섬유에서 Type IIa섬유로의 전환이 증가한다. 이러한 적응은 훈련자극의 강도와 기간에 달려있다. 23명의 건강한 노인( $64 \pm 3$ 세)남녀를 보행/조깅 프로그램으로 훈련 전후를 비교한 바 9~12개월간 1주일에 4일, 1일에 45분, 80% 최대 심박수로 훈련을 실시한 프로그램은 최대 산소소비량을 23%증가시켰으나 Type I섬유의 백분율은 변함 없었다. Type IIb섬유는  $19.1 \pm 9.1\%$ 에서  $15.1 \pm 8.1\%$ 로 감소한 반면 Type IIa 섬유는  $22.1 \pm 7.7\%$ 에

서  $29.6 \pm 9.1\%$ 로 증가했다.

## 2. 근력훈련(저항훈련)

근력훈련은 심호흡계의 건강을 증진시키지 않으면서 근구조를 변화시키고 신경근 기능(반응시간)을 증가시키는 것이다. 다양한 저항훈련 프로그램의 결과로 근비대(muscle hypertrophy)와 근력증강, 신체구성의 변화, 호르몬과 신경 적응 및 심혈관계 용적의 변화가 초래된다. 저항훈련에 의해 Type I섬유와 Type II섬유의 횡단면적이 증가한다. 근비대는 세포의 증식(hyperplasia)보다는 오히려 근섬유(myofibrils)의 크기와 수가 증가하고, 이차적으로 부수적인 액틴-미오신사, 근섬유에 존재하는 근질의 추가로 인한 것이다. Luthi 등(1986)은 매우 강한 저항훈련에서 외측광근의 횡단면적이 약 8% 증가한다고 보았다. 높은 저항/낮은 반복훈련(high resistance/low repetition training)은 일반적으로 모세혈관/섬유비의 변화없이 모세혈관 조밀도를 감소시키며, 높은 반복/낮은 저항훈련(high repetition/low resistance training)은 효과적으로 모세혈관 분포를 증가시킨다. 근력의 증진은 근육의 구조적 변화 뿐만 아니라 신경적응에 의한 것이다. 저항훈련에 의해 발생하는 신경적응(neural adaptations)에는 근전도 활동의 증가로 증명된 것과 같이 골격근의 증가된 신경 흐름(neural drive), 증가된 후단위동요(meta unit recruitment), 동시발화(synchronization) 및 협응과 학습의 개선 등이 포함된다. Frontera 등(1988)은  $66 \pm 2$ 세의 남자 12명을 대상으로 슬관절 굴근과 신근을 12주간 80%의 1회 반복 최대부하(one repetition maximum; 1RM)로 훈련시킨 연구에서 근력은 하루에 5%씩 증진

되었다고 하였는데 이것은 동등한 저항훈련 이후에 젊은이들이 획득하는 4~6%증진과 유사하다. 12주간의 훈련 결과로 슬관절 신전과 굴근 근력이 각각 100%, 200% 증가했다. 등장성 근력은 느린 각속도에서 10% 증가한 반면에 빠른 속도에서는 변화가 없었다. 저항훈련 전후를 컴퓨터촬영한 결과 근육의 횡단면적은 젊은 남자에게서 보여지는 것과 같이 약 11% 증가했다. Type I섬유와 Type II섬유영역은 34%, 28% 증가했다. Charette 등(1991)의 연구에서 점진적 저항훈련에 의해 12주간 훈련된 여성의 경우 하지 근력이 28%(하지와 고관절 신전)에서 115%(하지 굴곡)까지 증가했다. 훈련후 Type II섬유영역은 20% 증가했으나 Type I섬유의 비대는 관찰되지 않았다. 위의 연구에서 평균  $69 \pm 1$ 세의 노인 여성을 대상으로 12주간 저항훈련을 실시했는데 대조군과 실험군 중 실험군에서 Type II섬유의 횡단면적이  $20.1 \pm 6.8\%$  증가한 반면 대조군에서의 Type II섬유영역 변화는 없었으며, Type I섬유영역은 두 그룹 모두 변하지 않았다. 대부분의 연구에서 저항훈련에 의해 Type I섬유, Type II섬유의 크기가 증가한다고 보고되었다. 최근에 Klitgaard(1989)는 늙은 쥐의 근육의 수축성질에 근력훈련이 미치는 영향을 연구했는데 이 결과 오랫동안 저항훈련을 수행하는 것이 골격근의 수축성질에 긍정적인 효과를 미칠 수 있다 한다. 매우 늙었거나 약한 노인들은 무용성, 질병, 영양부족, 노화의 영향에 의해 Type II섬유의 위축을 경험한다. 노화에 의해 발생하는 근 약증은 낙상이나 골절의 위험요소가 된다. Fiatarone 등(1990)은 고령의 남녀 노인의 대퇴사두근 근력을 대상으로 높은 강도의 점진적

저항훈련 효과를 연구하였는데 초기 대퇴사두근 평균 근력은 1회 반복 최대부하의 90%로 매우 낮았으나 훈련이후 8~21kg으로 증가했다. 8주간의 저항훈련 이후 근력의 평균 증가는  $174 \pm 31\%$  였고 컴퓨터촬영영상의 횡단면적은  $15 \pm 8\%$  증가했다. 흥미롭게도 훈련을 받지않은 7명의 대상자를 4주후 1RM 테스트를 했을 때 대퇴사두근 근력이 32% 감소했다. 이 연구 결과 약한 노인들도 점진적인 저항운동훈련에 적용할 수 있는 능력을 보유하고 근력을 증가시킬 수 있을 것이다. Judge 등(1993)은 62-75세 여성을 대상으로 자세조절 운동프로그램만 실시한 경우와 저항훈련, 걷기, 자세운동을 같이 결합시킨 훈련프로그램을 비교했는데 균형을 개선하는데는 후자가 더 효과적이었다.

인간은 나이를 먹으면서 신경근계의 변화로 힘을 생산하는 골격근의 능력이 감소한다. 노화에 의한 힘생산 능력의 감소는 운동단위의 손실, 근질량의 감소로 인한 것이다. 노화된 근육의 힘을 가장 크게 증가시키기 위한 방법은, 높은 강도의 저항훈련이다. 저항운동 프로그램이 힘생산 능력을 가장 크게 증가시키는 것으로 보이며, 이 운동은 1주일에 1회 반복 최대부하의 50%, 60% 강도로 시작되어 80% 까지 증가시킬 수 있다. 높은강도의 저항훈련을 하는 동안 지속적으로 노인의 심박수, 혈압, 고통(distress)에 관한 어떤 증상이나 징후를 관찰해야 하며 발살바기법(Valsalva maneuver)를 일으키지 않도록 주의해야 한다.

## Ⅶ. 요약

노화에 의한 신체의 변화는 불가역적이

면서 예외없이 나타나고 개인의 유전적, 내적요인과 환경 등의 외적요인에 따라 약간씩의 차이가 있다. 노화에 의해 골의 밀도가 감소하게 되는데 골질의 감소는 골흡수가 골형성보다 더 빠르게 발생하기 때문이다. 골격근의 생리적 특성에서 노화의 영향은 섬유-유형 특이성이다. 20대와 70대 사이의 근력 감소는 30%이고 근면적은 40% 감소한다. 노화에 의한 근질량의 손실은 근력 소실의 주요 요인이다. 근질량의 소실은 Type I섬유와 Type II섬유의 수적 감소와 근세포의 크기 감소로 인한 것이다. 노화하는 골격근에서 해당능력(glycolysis capacity)의 소실은 없었으나 산화효소활동과 근모세혈관화는 약 25% 감소했다. 점진적으로 증가되는 강한 지구력훈련에 의해 모세혈관의 증식, 산화효소 활성의 증가, 최대산소소비량( $VO_2 \max$ )의 개선을 보였다. 점진적인 저항훈련은 훈련자극이 충분한 강도와 기간으로 수행되었다면 근비대를 초래하고 근력을 증가시킨다. 노화하는 골격근의 운동훈련적용은 근위축을 방지하고, 일상생활 동작을 더 용이하게 수행하게 하며 Type II 당뇨병, 관상동맥질환, 고혈압, 골다공증, 비만 등과 같은 노화와 관련된 질병에 이로운 효과를 보인다. 다시 말해 노인들은 젊은층에서 처럼 저항훈련과 지구력 훈련에 적용하기 때문에 근육의 신진대사와 힘 생산능력의 감소 등은 더 이상 노화과정의 필연적인 결과로 간주될 수 없다.

이상에서 노화에 의한 골격근의 생리적인 변화와 운동이 노화과정에 미치는 영향에 대해 살펴보았다. 인간이면 누구나 발달과정을 거쳐 성장하고 어느 시기가 되면 전반적인 기능이 감소한다. 그런데 여기서

주목할만한 것은 노화과정에 누구나 속하게 되는 것은 분명한데도 그 정도와 시기가 사람의 내적요인과 외적요인에 따라 다르다는 것이다. 본 연구는 외적요인을 유리하게 하는 방법으로 운동을 적용한 여러 문헌을 정리한 것이다. 노화라는 것은 누구도 피해갈 수 없는 보편적인 것으로 노인 문제가 현재 사회문제로 부각되고 있는 실정이다. 노인의 가장 큰 문제점이 근골격계의 문제라는 점에서 우리 물리치료사들은 노화과정을 명백히 이해함으로써 그들의 문제를 해결하는데 효과적으로 대처할 수 있어야 하며 나아가 노화과정을 지연시키고 노화로 인한 문제들을 예방하는데 중요한 조력자가 되어야 할 것이다.

## 인용문헌

- 권춘숙, 이인학. 일부농촌지역 노인들의 만성질환 유병상태 조사. 대한물리치료사학회지. 1994;15(1):3-15.
- 김진호, 한태윤. 재활의학. 삼화출판사, 1995.
- 송건용, 김영입, 이의경. 1989년도 국민건강조사-이환 및 의료이용. 한국보건사회연구원, 1990.
- 송미순, 하양숙. 노인간호학. 서울대학교출판부, 1995:3-6.
- 유형준. 노인병과 노인진료의 현황과 당면과제. 대한의학협회지. 1994;37(10):1141-1146.
- 조유향. 노인보건. 현문사, 1995.
- Aniansson A, Grimby G, Rundgren A. Isometric and isokinetic quadriceps muscle strength in 70-year-old men and women. Scadin J Rehab Med. 1980;12:161-168.
- Aniansson A, Gustafsson E. Physical training in elderly men with special reference to quadriceps muscle strength and morphology. Clin Physiol. 1981;1:87-98.
- Aniansson A, Ljungberg P, et al. Effect of a training program for pensioners on condition and muscular strength. Arch Gerontol Geriatr. 1984;3:229-241.
- Aoyagi Y, Shephard RJ. Aging and muscle function. Sports Med. 1992;14(6):377-390.
- Asmussen E. Aging and exercise. In: Horvath, Jousef, eds. Environmental Physiology: Aging, heat and altitude. New York, Elsevier, 1980:419-428.
- Borner JA, Dillworth BB, Sullivan KM. Exercise and osteoporosis. A critique of the literature. Physiother Can. 1988;40(3):146-155.
- Brooks SV, Faulkner JA. Contractile properties of skeletal muscles from young, adult and aged mice. J Physiol. 1988;404:71-82.
- Brown M. Change in fiber size, not number, in ageing skeletal muscle. Age Aging. 1987;16(4):244-248.
- Caccia MR, Harris JB, Johnson MA. Morphology and physiology of skeletal muscle in aging rodents. Muscle Nerve. 1979;2:202-212.
- Charette SL, McEvoy L, et al. Muscle hypertrophy response to resistance training in older women. J Appl Physiol. 1991;70(5):1912-1916.

- Coggan AR, Spina RJ, King S, et al. Histochemical and enzymatic comparison of the gastrocnemius muscle of young and elderly men and women. *J Gerontol.* 1992;46:71-76.
- Duncan H, Parfitt AM. The biology of ageing bone. In: Nelson CL, Dwyer AP, eds. *The Aging Musculoskeletal System: Physiologic and pathological problems*, DC Heath, 1984.
- Eddinger TJ, Moss RL, Cassens RG. Fiber number and type composition in extensor digitorum longus, soleus, and diaphragm muscles with aging in fisher 344 rats. *J histochem Cytochem.* 1985; 33:1033-1041.
- Edstrom L, Larsson L. Effect of age on contractile and enzyme-histochemical properties of fast and slow-twitch single motor units in the rat. *J Physiol.* 1987;392:129-145.
- Essen-Gustavsson B, Borges O. Histochemical and metabolic characteristics of human skeletal muscle in relation to age. *Acta Physiol Scand.* 1986;126:107-114.
- Feller BA. Americans needing help to function at home, advance data from vital and health statistics. DHHS Pub, 1983:92.
- Fiatarone MA, Marks EC, et al. High intensity strength training in nonagerarians: Effects on skeletal muscle. *J Am Med Assoc.* 1990;263:3029-3034.
- Fitts RH, Troup JP, Witzmann FA, et al. The effect of aging and exercise on skeletal muscle function. *Mech Aging Dev.* 1984;27:161-172.
- Frontera WR, Meredith CN, O' Reilly KP, et al. Strength conditioning in older men: Skeletal muscle hypertrophy and improved function. *J Appl Physiol.* 1988; 64:1038-1044.
- Gollnick PD, Armstrong RB, Saubert CW, et al. Enzyme activity and fiber composition in skeletal muscle of untrained and trained men. *J Appl Physiol.* 1972;33:312-319.
- Gollinick PD, Armstrong RB, Saltin B, et al. Effect of training on enzyme activity and fiber composition of human skeletal muscle. *J Appl Physiol.* 1973;34:107-111.
- Grimby G, Saltin B. The aging muscle. *Clin Physiol.* 1983;3:209-218.
- Hertling D, Kessler RM. Management of common musculoskeletal disorders: Physical therapy principles and methods. The Murray Printing Co., 1990:60-80.
- Holloszy JO, Chen M, Cartee GD, et al. Skeletal muscle atrophy in old rats. differential change in the three fiber types. *Mech Aging Dev.* 1991;60:199-213.
- Judge JO, Lindsey C, et al. Balance Improvements in older women. Effects of exercise training. *Phys Ther.* 1993;73 (4):254-262.
- Klitgaard H, Marc R, Brunet A, et al. Contractile properties of old rat muscles: Effect of increased use. *J Appl Physiol.* 1989;67:1401-1408.
- Larsson L. Morphological and functional

- characteristics of the ageing skeletal muscle in man. *Acta Physiol Scand S suppl.* 1978;457:1-36.
- Lenmarken C, Bergman T, Larsson J, et al. Skeletal muscle function in man. *Clin Physiol.* 1985;5:243-255.
- Lexell J, Downham D, Sjoström M. Distribution of different fiber types in human skeletal muscle. *J Neural Sci.* 1986; 72:211-222.
- Lexell J, Taylor CC, Sjoström M. What is the cause of aging atrophy? *J Neural Sci.* 1988;84:275-294.
- Luthi JM, Howald H, et al. Structural changes in skeletal muscle tissue with heavy resistance exercise. *Int J Sports Med.* 1986;7:123-127.
- Mackinnon JL. Osteoporosis. *Phys Ther.* 1988;68(10):1533-1540.
- Mcdonagh MJN, White MJ, Davies CTM. Different effects of aging on the mechanical properties of human arm and leg muscles. *Gerontol.* 1984;30:49-54.
- Meredith C, Frontera W, Fisher E, et al. Peripheral effects of endurance training in young and old subjects. *J Appl Physiol.* 1989;66(6):2844-2849.
- Nordin M, Frankel VH. *Basic Biomechanics of the Musculoskeletal System.* 2nd ed. Philadelphia London, Lea and Febiger, 1989:89-109.
- Payton OD, Poland JL. Aging process: Implications for clinical practice. *Phys Ther.* 1983;63:41-48
- Petrofsky JS, Borse RL, Lind AR. Comparison of physiological response of women and men to isometric exercise. *J Appl Physiol.* 1975;38:863-868.
- Pickles B. Biological aspects of aging. In: Jackson O ed. *Physical Therapy of the Geriatric Patient.* 1989.
- Rogers MA, Evans WJ. Changes in skeletal muscle with ageing: Effects of exercise training. *Exerc Sport Sci Rev.* 1993;21:65-102.
- Ruskin ASAP. *Current Therapy in Physiatry.* WB Saunders company, 1984:90-99.
- Sato T, Akatsuka H, et al. Age changes in size and number of muscle fibers in human minor pectoral muscle. *Mech Aging Dev.* 1984;28:99-109.
- Schiaffino S, Saggin L, Viel A, et al. Muscle fiber types identifies by monoclonal antibodies to myosin heavy chains. *Biochemical aspects of physical exercise.* 1986:27-34.
- Shock NW, Greulich RG, Andres RA, et al. *Normal human aging: The Baltimore longitudinal study of aging,* Washington DC., US Government Printing Office, 1984.
- Suominen H, Heikmen E, Liesen H, et al. Effects of 8 weeks endurance training on skeletal muscle metabolism in 56-70 year old sedentary men. *Eur J Appl Physiol.* 1977;37:173-180.
- Thompson LV. Effects of age and training on skeletal muscle physiology and performance. *Phys Ther.* 1994;74(1):77-86.
- Tibodeau GA. *Anatomy and Physiology.* St Louis, Mosby, 1987.

Young A, Strokes M, Crowe M. Size and strength of the quadriceps muscles of old and young women. *Eur J Clin Inv.* 1984;14:282-287. ,