

I. 서론

질병이나 손상에 의해 전혀 활동을 못하거나 활동이 제한된 경우 인체의 모든 기관계통에서 비정상적(disequilibrium)상태가 초래된다. 비활동(inactivity)이나 활동저하의 결과로 인한 장애를 무용성 증후군(disuse syndrome)이라 하며 골격근위축, 혈장과 혈량의 상실, 체위성 저혈압, 욕창 등의 특징적 증후와 더불어(Roberts & Smith, 1989 ; Sandler 등, 1988), 장기간의 활동저하로 인해 근육단백질의 상실, 골격근의 산소 이용 능력의 저하, 기능적 능력(functional capacity)의 장애를 유발한다(Hung 등, 1982; 김기환, 1984).

골격근은 적응성이 커서 골격근의 구조와 기계적 특성, 에너지대사 특성이 활동형태에 빠르게 변화하며(Hainaut & Duchateau, 1989 ; Shephard 등, 1988), 질병이나 손상에 의해 활동을 전혀 못하거나 제한된 경우 위축의 크기와 정도는 근육에 가해지는 체중부하의 양과 활동제한에 의해 결정된다(Booth, 1982; Booth & Gollnick, 1983 ; Finol 등, 1981). 골격근 위축은 평형으로 위치하는 근원섬유의 숫자감소(Faulkner 등, 1980), 단위 근육당 근섬유 숫자의 감소, 근세포직경의 감소로 인해 근육질량이 시간 경과에 따라 소모되는 것으로 보고되었다(Booth & Seider, 1979; Jaspers & Tischler, 1984; kasper 등, 1990; Wronski 등, 1981).

골격근의 생화학적 특성에 관한 연구에서 장기간의 활동 저하로 인한 근의 불사용은 최대 유산소능력(aerobic capacity)이 감소되고 사립체 효소(mitochondria enzyme)의 농도와 작용이 저하되어 근육의 산화능력이 감소된다(Booth, 1977). 근육의 산화능력 감소는 탈신경근(Henriksson , 1982), 부동 뒷다리 근(Edes 등, 1980), 뒷다리가 부유된 근(Fell 등, 1987)에서 입증되었고 우주공간 등의 무중력 상태에 노출된 쥐에서 산화능력이 현저히 감소되는 것으로 보고 되었

다.(Thronton & Rummel, 1977).

적당한 강도, 기간, 빈도에 의한 훈련은 골격근의 비대, 근력의 증가, 유산소 대사 능력의 증가 및 지구력의 증진을 일으키며, 지구력 훈련에 대한 적응으로 골격근의 산화능력이 커지며, 이는 사립체 밀도의 증가와 밀접한 관련이 있는 것으로 보고되었다(Booth, 1977; Terjung, 1975; 박상갑, 2000). 특히 유산소 훈련에 적응된 골격근에서 단백질 합성의 증가는 사립체 밀도의 증가로 인한 구연산 합성 효소(citrate synthase)와 크레아틴 키나제(creatine kinase)의 증가, 인산 크레아틴(phosphocreatine)의 산화능력 향상 때문인 것으로 알려져 있다(Terjung, 1975; 김 등, 1999).

골격근의 위축과 신체훈련의 상관성을 연구하기 위하여 트레드밀 훈련(Desplanches 등, 1987; Graham 등, 1989; Thomason 등, 1987), 추를 달아 계단을 오르게 하는 방법(Herbert 등, 1988), 근육을 피동적 신전시키는 방법(Fell 등, 1985; loughna 등, 1986) 등을 이용한 연구 결과 신체 훈련군에서 유의하게 근질량과 근섬유 직경이 증가되며, 이와는 대조적으로 비훈련군의 근질량과 근섬유 직경이 정상치에 비해 현저히 낮은 것으로 확인되었다. 또한 위축근에 대한 수영훈련의 효과를 비교한 연구에서 2주간의 훈련으로 뒷다리 근질량이 현저히 증가하는 것으로 보고하였다(최 등, 1992).

이와 같은 연구 결과를 토대로 활동 저하에 의해 유발되는 심각한 근위축 현상이 수중치료를 통해 감소될 수 있을 것으로 사료되나 수중운동 효과와 근위축과 관련된 세포 미세 구조적 연구는 미비한 실정이다. 이에 본 연구는 실험동물인 흰쥐를 대상으로 고정 후 위축근에 수중운동을 통한 근 지구력운동이 골격근 회복에 미치는 영향을 세포 미세 구조적으로 확인하기 위해서 광학현미경과 투과전자현미경을 사용하여 근섬유의 조직형태학적 변화를 관찰하고자 한다.

II . 연구대상 및 방법

1. 실험동물의 사육 및 처치

1) 실험동물 사육

실험에 사용된 흰쥐는 대한 동물 사육 센터에서 생산, 공급하는 8주령 (체중 235 ± 15 g)의 건강한 웅성 흰쥐(Sprague-Dawley, n=18)를 분양 받아 1주일간의 적응사육 후 실험에 이용하였다. 이 실험 동물들은 동일한 조건을 유지하기 위해 규격화된 cage에 사육실 조건(온도: $24 \sim 28^{\circ}\text{C}$, 습도: $55 \pm 5\%$)에서 사육하였고 1일 12시간의 광주기와 암주기를 적용하였으며, 사료(고형사료)와 물(drinking water)은 무제한 공급하였다.

2) 실험 방법

실험동물은 1주일간의 적응기간을 통해 무작위로 대조군(n = 9)과 실험군(n = 9)으로 분류하였다. 대조군은 2주 동안 뒷다리를 고정한 후 규격화된 cage에 사육하였으며, 실험군은 2주 동안 고정 후 20일간의 수중 운동을 적용하여 대퇴사두근을 채취하였다. 대퇴사두근 시료 채취는 뒷다리 고정 제거 후 10일, 20일째 실시하였다.

(1) 뒷다리 고정 방법(Hindlimb immobilization method)

Savolainen(1987)이 제안한 근위축을 유발하기 위해 ether로 단순 마취 후 흰쥐 뒷다리를 stockinet을 감은 후 석고로 고정한 다음 풀어지는 것을 방지키 위해 수술용 철사를 감아 고정시켰다. 뒷다리 고정기간 동안 매일 쥐를 관찰하여 비정상적인 호흡상태, 부당한 불편감, 뒷다리 부종과 피부색 변화를 확인하였고, 이들 증상 중 한가

지라도 나타내는 동물은 연구대상에서 제외시켰다.

(2) 회복기의 지구력 운동

실험군은 활동이 시작되는 시간인 오후 6 : 30분~8 : 00 사이에 높이 1m 가로 80cm 세로 60cm의 사각 스텐 실험용 풀 안에서 하루 30분간 매일 수중운동을 실시하였다. 물의 깊이는 50cm 높이까지 담아서 쥐가 임의로 멈추어 서있거나 실험용 풀에서 탈출을 방지하였으며, 또한 임의로 물결을 만들어 주어 운동의 효과를 높였다. 물의 온도는 25~28℃(Baker & Horvath, 1964 ; 최 등, 1992)의 따뜻한 정도를 사용하였으며. 수영 후 급격한 체온 저하를 방지하기 위해 타올과 드라이기를 사용해 젖은 몸을 말려 주어 체온을 유지하도록 하였다.

3) 광학현미경 및 투과전자현미경 시료 제작

실험완료 후 실험동물은 경추 탈구법으로 희생시킨 후 채취한 대퇴사두근은 10% NBF(neutral buffered formalin)용액으로 24시간 고정된 후, 에탄올로 탈수하였으며 xylene을 거친 다음 paraplant에 포매하였다. 포매한 조직은 마이크로톰으로 5 μ m의 두께로 절단한 후 hematoxyline-eosin으로 염색하여 광학현미경으로 관찰하였다(Fig. 1).

투과형전자현미경 관찰을 위해 채취한 조직을 1mm의 크기로 세절하여 2.5% glutaraldehyde 용액(4℃, 0.1M phosphate buffer, pH7.4)에 2시간 고정하고, 1% osmium tetroxide 용액(0.1M phosphate buffer, pH7.4)으로 실온에서 2시간 동안 후고정 하였다. 고정된 시료를 50% ethanol에서 농도 상승 순으로 탈수하였고, propylene oxide로 치환한 후 Poly/Bed 812 resin (Polysciences, USA)혼합액에 포매하여 37℃에서 12시

간, 60℃에서 48시간 동안 열중합시켰다. 제작된 시료는 ultramicrotome(LKB V형)으로 1 μ m 두께의 절편을 만들어 toluidine blue로 염색하여 광학현미경으로 관찰하였고, 60~80nm의 초박절편을 제작하여 uranyl acetate - lead citrate로 이중 전자염색을 한 후, 투과전자현미경(Hitachi H-7100)으로 관찰하였다(Fig. 2).

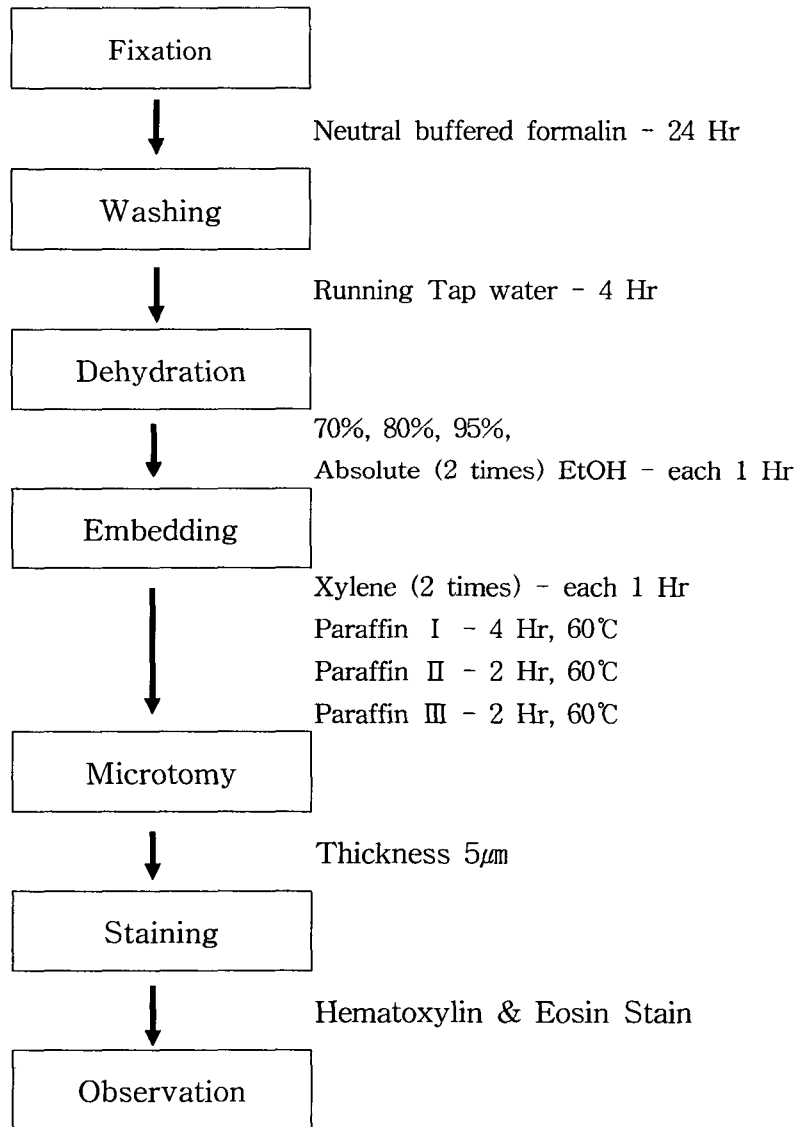


Fig. 1. 광학현미경 조직표본 제작방법.

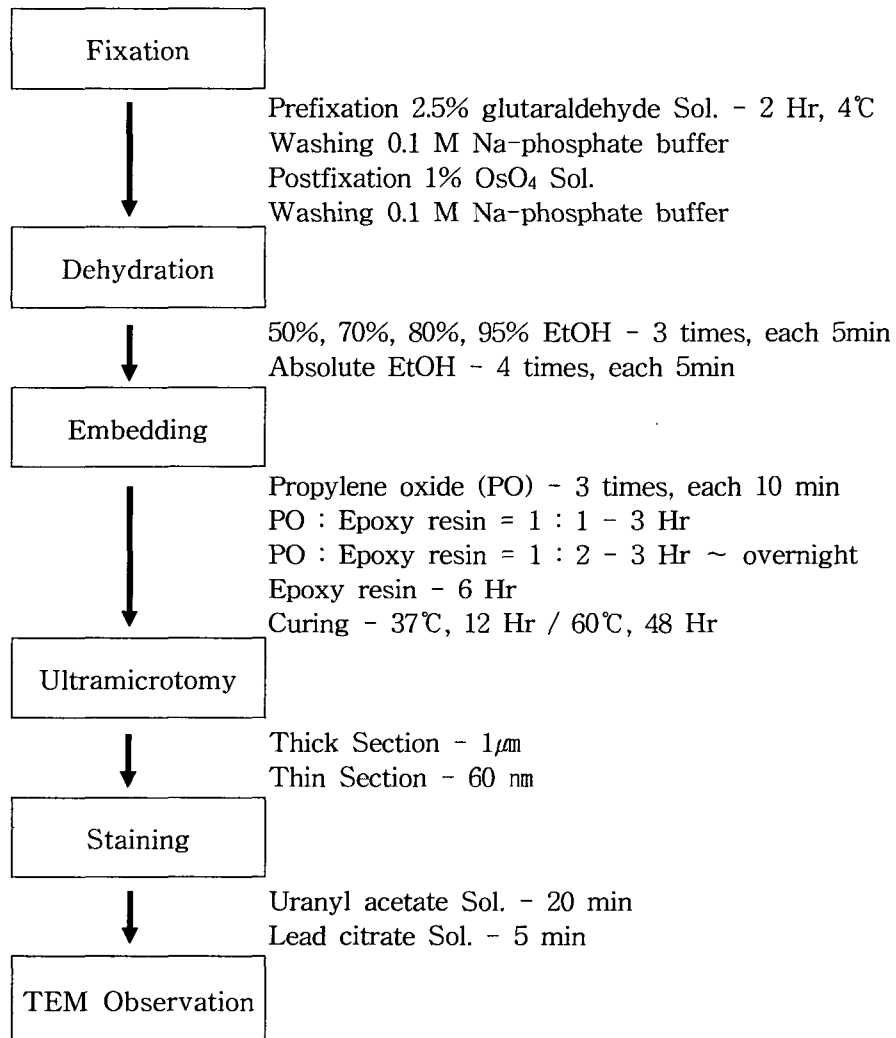


Fig. 2. 투과전자현미경 조직표본 제작방법.

III. 결 과

1. 광학현미경 관찰 소견

1) 대조군

대조군(10 days) 대퇴사두근의 일반적인 형태를 관찰하기 위한 H&E 염색 결과 근섬유 가장자리에 위치한 핵이 다수 확인되었으나, 각 근섬유와 핵의 배열이 불규칙한 것으로 관찰되었다. 초기 퇴행성 근질환 또는 근위축 시 근섬유의 특징적인 근섬유 직경의 감소 소견이 관찰되었다(Fig. 3).

대조군 20일군의 대퇴사두근의 경우 근섬유 가장자리 핵의 배열이 매우 불규칙한 것으로 관찰되었고, 특징적으로 각 근섬유의 굴절과 분리현상이 확인되었고 근섬유질 내에서 다수의 부종현상 또한 확인되었다(Fig. 4).

2) 실험군

실험군(10 days)의 경우 비교적 규칙적 배열의 근세포와 일정한 정렬방식으로 구성된 근섬유 배열이 확인되었다. 근섬유 외측에 위치하는 근세포 핵은 구형의 특징을 지니고 있었으며, 규칙적인 배열이 관찰되었다(Fig. 5).

실험 20일 수중 훈련군의 경우 정상 근조직의 수축성 특성인 근섬유 근질의 구분이 가능하였다(Fig. 6). 체계적인 근섬유 배열이 확인된 실험군의 경우 근세포 외측에 위치한 근세포 핵은 특징적 형태의 구조와 일정한 분포 상을 나타내었으며, 정상 근조직과 거의 유사한 형태학적 구조를 확인할 수 있었다(Fig. 6).

2. 투과전자현미경 관찰 소견

1) 대조군

대조군(10 days) 대퇴사두근의 투과전자현미경 관찰 결과 퇴행성 변화 또는 근위축 시 근섬유에서 확인할 수 있는 근섬유세사와 근절의 특징적 퇴행성 근위축 현상이 관찰되었고, 특이적으로 사립체능(cristae)의 소포화(vesiculation) 현상이 확인되었다(Fig. 7). 근절의 배열은 연속적인 형태의 배열 방식이 손상된 것으로 관찰되었고, 사립체는 확장되어 있는 것으로 확인되었다(Fig. 8).

대조군 20일군의 경우 근원섬유의 소실로 인한 근섬유의 심각한 위축현상이 확인되었고, 핵 주위에서 확장된 형태의 근형질세망이 관찰되었다(Fig. 9a). 특이적으로 괴사성 소견인 근절에서의 Z-선 유동(streaming)현상이 확인되었고, 손상되어 분리된 T-소관과 근섬유세사의 붕괴 현상이 함께 관찰되었다 (Fig. 9.b, 10, 11)

2) 실험군

실험군 (10 days) 대퇴사두근의 투과전자현미경 관찰 결과 대부분의 근원섬유에서 A-대, I-대, H-대가 잘 구분되었으며, 규칙적인 배열의 전자밀도가 높은 Z-선이 관찰되었으나, 지그재그형의 Z-선과 이중막과 사립체능이 불명확한 사립체가 다수 확인되었고, 근형질에서 전자밀도가 높은 당원과립이 관찰되었다 (Fig. 12, 13).

실험 20일군 대퇴사두근의 경우 정상 근조직의 수축성 단위인 근절이 확연히 관찰되었고, 규칙적 배열의 가는세사 (thin filament)와 굵은세사 (thick filament)와 더불어 전자밀도가 높은 M-선이 규칙적 배열로 관찰되었다 (Fig. 14 a, b, c). 또한 골격근 섬유 재생 및 발달

시 나타나는 위성세포(satellite cell)가 근섬유막 기저층(basal lamina)을 따라 발달된 모습으로 관찰되었으며, 새로운 근섬유 합성을 위한 많은 분비물을 함유하고 있는 것으로 확인되었다. 관찰된 기저막의 정상적인 구조는 근섬유 또는 physical scaffolding에 있어 매우 필수적인 구조로 알려져 있다(Fig. 15).

IV. 고 찰

끌력근은 개별적 혹은 총괄적으로 조절될 수 있는 근섬유들의 집합체이다. 동일근이나 근육군은 미세한 조절, 짧고 강한 힘의 발현 또는 지속적인 활동에 대해 반응하거나 적응을 할 수 있으며, 이렇게 환경자극에 쉽게 반응하고 적응하는 것은 근조직의 특성이다 (Saltin & Gollicnick, 1983; 윤 등, 1998).

근섬유 형태는 운동의 형태, 지속시간 및 운동의 강도에 따라서 조직화학적, 생화학적, 생리학적, 형태학적 변화를 초래한다. 서근성 근섬유(slow twitch., ST)는 상대적으로 느린 수축속도와 낮은 장력을 가지고 있지만 사립체와 산화효소, 모세혈관의 분포가 많기 때문에 지속적인 유산소성 운동에 적합하다. 반면 적근성 근섬유(fast twitch., FT)는 빠른 수축속도와 높은 장력을 가지고 있으나 쉽게 피로하는 성질을 가지고 있어서 대개 단시간의 폭발적인 힘을 발휘하거나 근력이 필요한 스프린트성 형태의 운동에서 사용되고 낮은 강도의 활동에서는 활성화되는 비율이 적다(대한병리학회, 1997). 따라서 지구성 운동을 통해 ST섬유가 비대되고 스프린트성 운동으로 FT섬유인 type IIa와 type II b의 비대 현상이 나타난다고 하였다 (Thorstensson 등, 1976; Houston 등, 1983; Tesch 등, 1987; Bailey 등, 1987). 또한 신체적 훈련에 따른 근섬유 형태 전환 효과에 대한 일반적인 개념은 유산소 운동은 미오신 중쇄(myosin heavy chain., MHC)I 과 MHC IIa가 공존하고 있는 섬유에 영향을 미치는 반면, 고강도 무산소 운동은 MHC II를 포함하고 있는 섬유분포의 증가를 유도한다(Schantz & Dhoot, 1987; Saltin & Gollink, 1983; Lubert, 1999). 지구력 훈련은 근육의 미오신 분자 구조를 변화시키게 되는데 섬유의 전환은 MHC IIb에서 MHC IIa로, 그리고 결국에는 빠른 섬유 집단의 감소로 인하여 MHC I 섬유의 우세한 증가

가 발생하게 된다(Pette & Vrbova, 1985; Sullivan 등, 1995).

그러나 근섬유가 수의적이든 불수의적이든 활동이 억제되면 골격근의 양, 근력 및 운동능력이 감소된다. 흥미로운 연구 결과로 우주비행을 마치고 귀환한 우주비행사들의 근력과 근육의 양이 크게 감소됨이 발견(Thronton & Rummel, 1977)된 이후로 무용성 근위축에 관한 많은 연구가 진행되어 오고 있다(Miu 등, 1990; Riley 등, 1990; Baldwin 등, 1990; Desplanches 등, 1990).

침상안정, 비활동, 사지와 체간부의 석고붕대적용, 질병이나 신경절단에 의한 신경지배의 상실 등으로 근의 사용이 저하된 경우 골격근질량이 상실되며 1-2개월간 근육사용이 저하되면 근육의 크기가 반으로 줄어든다(Sandler & Vernikos, 1986; Booth, 1982; Lindboe & Plataw, 1984; Hauschka 등, 1988). 실험적 조건에서 뒷다리 부유에 의한 활동저하로 근 질량이 심각하게 감소되는 것으로 확인되었다(Musacchia 등, 1981; 최명애, 1996).

이와 같이 무중력이나 활동 제한으로 인한 체중 무부하의 대표적 인 현상을 근위축이라 하며 이를 무용성 위축이라 한다. 근육조직은 다른 조직과 같이 단백질합성속도와 단백질분해속도의 균형적 조절에 의해 정상적 기능을 유지한다. 부동(immobilization), 비활동(inactivity)은 근육작용과 근육에 가해지는 부하 둘 다를 저하시켜 수축성 단백질의 합성을 저하시키고 단백질 분해를 증가시켜 위축 과정이 진행된다(최 등, 1993, 1994). 근 위축은 활동이 저하된 지 6 시간 내에 발생하며 3-7일 동안 근육질량의 절대적 상실이 가장 큰 것으로 확인되었다(Booth, 1977). 사지석고붕대적용(Booth, 1982), 관절부동(Maier 등, 1976), 뒷다리 부유(Desplanches 등, 1987; Alford 등, 1987; Musacchia 등, 1980; Winiarski 등, 1987; Kasper 등, 1990) 등과 같은 실험모형에서 실험적 골격근 위축의 양상을 연구한 결과 근전도 소견의 변화, 단백질 합성률 변화, 수축특성의 변화를 보고하였고(Gibson 등, 1988; Savolainen, 1987; Cotter & Phillip,

1986; Gardiner & Lapointe, 1982), 고정으로 인한 심각한 퇴행성 변화는 본 연구의 광학 및 투과전자현미경적 연구에서도 관찰되었다. 관절고정으로 인한 관절가동 범위의 제한은 장액섬유성 (sero-fibrinous)삼출물과 결합조직 손상 및 근육의 섬유화에 의한 것으로 (Booth, 1982 ; Finol 등, 1981), 본 연구의 일반적 관찰을 통해서도 대조군의 경우 실험 완료 일까지 관절가동범위의 제한이 있는 것으로 관찰되었다. 골격근 위축은 근원섬유의 감소, 단위 근육당 근섬유의 감소, 근세포 직경의 감소로 인해 근 질량이 시간경과에 따라 소모되어 근위축이 유발되는 것으로(Kasper 등, 1990; Jasper & Tischler, 1984), 본 연구의 세포 미세 구조적 형태 변화와 밀접한 관련성이 있는 것으로 사료된다.

적당한 강도, 기간, 빈도에 의한 훈련은 골격근의 비대, 근력의 증가, 유산소 대사 능력의 증가 및 지구력의 증진을 일으키며, 지속적인 근수축에 의한 골격근의 적응성 변화에 의한 것이다. 이러한 현상은 골격근의 산화능력 변화와 사립체 밀도의 증가에 의한 것으로서(Booth, 1977; Terjung, 1975; 박상갑, 2000), 유산소 트레이닝에 적응된 골격근에서 단백질 합성의 증가, 구연산 합성효소(citrate synthase)와 크레아틴 키나제(creatine kinase)의 증가, 인산 크레아틴(phosphocreatine)의 산화능력이 향상되는 것으로 보고되었다 (Terjung, 1975). 근육을 수의적으로 수축 이완을 반복하면 근 비대가 일어나는데 이는 그 수가 증가하는 것이 아니라 근육의 최소 수축성 단위인 근원섬유 내의 근 필라멘트 수가 증가하여 근육자체의 부피증가와 근력증가를 일으킨다. 실제로 이와 같은 근 필라멘트의 증가는 위성세포(Satellite cell)에 의해 일어나는데 이 위성세포는 신경절 주위에 존재하고 핵과 세포막을 지니고 근섬유와 공통의 기저막을 유지하는 형태적 특성을 나타내는 세포이며, 근재생에 매우 중요한 세포로서(박래준, 1993; 박 등, 1999) 본 연구의 수중 훈련군에서도 이들 세포가 다수 확인되었다. 이는 수중훈련으로 인한 위축근

재생과 밀접한 관련이 있는 것으로서 본 연구에서 확인된 위성세포의 활성화는 근세포의 형태학적 구조의 유지 및 재생에 중요한 역할을 담당하는 것으로 사료되는 중요한 결과이다. 정상근의 미세구조는 근섬유가 등장성(isotropic)이기 때문에 밝게 보이는 I 대와 이방성(anisotropic)이기 때문에 어둡게 보이는 A대가 관찰되는데 I 대와 A대는 Z선에 의해 이분된다. A대 내에는 연하게 보이는 얇은 H대가 있고 다시 중앙에는 M선이 관찰된다(William & Ganong, 1999). 이와 같은 미세 구조적 특징은 정상근에서 잘 관찰된다. 특히 적색섬유에서는 Z선이 백색섬유에 비하여 넓게 관찰되고 사립체가 근섬유와 평행으로 잘 발달되어 있으나 백색섬유는 Z선이 적색섬유에 비해 작고 사립체도 근절부위에서 주로 확인되고 중간근은 Z선이 백색섬유에 비하여 약간 크게 관찰될 뿐 백색섬유와 별다른 차이가 없는 것으로 알려져 있다(박래준, 1993). 위축과 관련된 각 섬유사 구성 비율에 관한 본 연구의 투과전자현미경적 관찰 결과 대조군의 근세포에서 Z-선의 유동현상(streaming)과 전자밀도가 높은 M-선이 손상된 특징적인 위축성 근 변성이 관찰되었으나, 수중운동군에서는 근섬유의 정상적 배열이 관찰되었고, 특히 근섬유 재생 시 중요한 구조인 기저막이 잘 발달되었다. 박래준(1993)의 연구에서 고정으로 인한 위축근에서 심한 근위축과 함께 근초와 근절의 심한 굴곡의 증가 소견은 본 연구의 대조군에 대한 형태학적 연구와 매우 일치하는 결과로서, 추후 위축근 재생과 관련된 다양한 운동적용과 전기자극과의 밀접한 관련성이 보다 집중적으로 연구되어야 할 것으로 생각된다.

근재생과 혈관의 변화에 관한 연구에서 조윤희(2000)등은 운동을 부하한 실험군의 가자미근에서 근섬유당 모세혈관 수가 증가하고 대조군에 비해 뚜렷한 근 미세구조의 향상과 사립체 밀도 증가를 보고하였다. 운동을 하지 않은 대조군의 경우 신체 활동의 감소로 인해 에너지가 몸에 축적됨으로써 근외막(epimysium)이라 불리는

치밀결합조직집(sheath of dense connective tissue)으로 둘러싸인 근육다발사이에 큰 지방 덩어리가 위치하나 실험군의 골격근에서는 지방조직이 관찰되지 않았고(조윤희 등, 2000), 광학 및 전자 현미경 관찰 결과 근육섬유 당 모세혈관 밀도의 증가와 핵 주변부의 조면 소포체(rough endoplasmic reticulum)가 근세사들 사이에 매우 발달되어 있다고 보고하였다. 이러한 결과는 액틴, 미오신 등의 수축 단백질 합성과 밀접한 관련이 있는 것으로서, 본 연구에서 확인된 액틴과 미오신의 반복적인 층상배열 또한 이들 결과와 상호 관련성을 부여할 수 있다.

이와 같은 결과는 운동이 생체 내 물질대사를 촉진하여 단백질 합성 증대를 유도하고, 골격근의 크기 및 강도를 유지시킨다는 일반적인 사실을 입증할 뿐만 아니라, 운동 등의 외부적 자극이 세포의 기능과 구조의 변화를 야기시킬 수 있음을 설명하는 사실로 사료된다.

임상적으로 무용성 위축의 문제는 골절 시 골유합을 위한 석고 고정으로 인해 불가피한 증상이 발생되는데 이때 필연적으로 관절이 고정되어 큰 운동을 못하게 된다. 골유합 후 고정을 제거하였을 때 고정된 근육은 위축이 되어 정상근력을 유지하지 못해 이차적으로 관절손상과 골조소증 등 합병증을 일으킨다. 고정으로 인한 병리적 특성 중 골격근 질량의 상실과 근육의 크기 감소가 확인되었다(Sandler & Vernikos, 1986). 이러한 퇴행성 변화는 일반적으로 가자미근과 같이 서서히 수축하는 산화근섬유(Type I)로 구성된 골격근이 빠르게 수축하는 근섬유(Type II)로 구성된 근육에 비해 더 큰 범위로 위축되는 것으로 알려져 있으나(Booth & Seider, 1980; Musacchia 등, 1980.1983), 힘근에 대한 세포 미세구조적인 연구는 미진한 실정이다.

따라서 본 연구는 뒷다리 고정으로 인한 대표적 힘근인 대퇴사두근의 퇴행성 근섬유 변화와 수중운동을 통한 세포 형태학적 변화에

대한 연구를 수행하여, 고정 후 수중운동을 실시한 실험군에서 유의한 형태학적 변화를 관찰할 수 있었으며, 수중운동 등의 다양한 신체적 활동자극은 위축으로 인한 퇴행성 근조직 변화를 억제하고 보다 체계적인 근세포 회복에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 연구는 실험동물인 흰쥐를 대상으로 고정 후 위축근에 수중운동을 통한 근 지구력운동이 골격근 회복에 미치는 영향을 세포 미세구조적으로 확인하기 위해서 광학현미경과 투과전자현미경을 사용하여 근섬유의 조직형태학적 변화를 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 광학현미경 관찰 결과

대조군 대퇴사두근의 경우 퇴행성 근질환 또는 근 위축 시 근섬유에서 확인되는 각 근 섬유의 불규칙한 배열과 근섬유 직경이 감소된 소견이 관찰되었으며, 특징적으로 각 근섬유의 굴절과 분리현상이 확인되었고, 근섬유질 내에서 다수의 부종현상 또한 확인되었다. 실험군의 경우 규칙적 배열의 근세포와 일정한 정렬방식으로 구성된 근섬유가 확인되었다. 근섬유 외측에 위치하는 근세포 핵은 특징적인 형태인 구형의 특징을 지니고 있었으며, 정상 근조직의 수축성 특성인 근섬유 근절의 구분이 가능하였다. 체계적 배열의 근섬유 배열은 정상 근조직과 거의 유사한 형태학적 구조를 확인할 수 있었다.

2. 투과전자현미경 관찰 결과

대조군의 투과전자현미경 관찰 결과 특이적으로 근절에서 Z-선의 유동(streaming) 현상과 기저막과 분리된 세포핵의 이탈 현상이 관찰되었고, 근절의 배열은 연속적인 형태의 배열 방식이 손상되었으며, 확장된 사립체와 핵 주위에서 확장된 형태의 근형질세망이 관

찰되었다. 또한 손상되어 분리된 T-소관과 근섬유세사의 붕괴현상이 함께 관찰되어 퇴행성 변화가 심각한 것으로 관찰되었다.

실험군 대퇴사두근의 경우 대부분의 근원섬유에서 A-대, I-대, H-대가 잘 구분되었으며, 규칙적인 배열의 전자밀도가 높은 Z-선이 관찰되었으며, 근형질에서 전자밀도가 높은 당원과립이 관찰되었다. 또한 골격근 섬유 재생 및 발달 시 나타나는 위성세포(satellite cell)가 근섬유막 기저층(basal lamina)을 따라 잘 발달된 모습으로 관찰되었다. 또한 정상 근조직의 수축성 단위인 근절과 규칙적 배열의 가느다란세사(thin filament)와 굵은세사(thick filament)와 더불어 전자밀도가 높은 M-선이 규칙적 배열로 관찰되어 비교적 정상적인 근조직으로의 회복이 확인되었다.

이상의 결과를 종합하면 수중운동은 근위축 후 흰쥐 골격근 세포의 퇴행성 미세구조 변화를 억제하고, 빠른 회복을 도와주며, 특징적으로 각 근세포의 정상적 구조 형성에 밀접한 영향을 미치는 것으로 사료된다.

V.참고문헌

- 김기환. (1984). 운동과 근육섬유. *대한스포츠의학회지*, 2(2), 46-58.
- 김복주, 성혜련, 조윤제, 윤영학, 박상갑, 박철호. (1999). Rat의 유영훈련이 비복근의 α - β -MHC · mRNA 농도에 미치는 영향. *대한스포츠의학회지*, 17(2), 297-303
- 대한병리학회. (1997). *병리학: 고문사*
- 박래준. (1993). 전기자극이 흰쥐의 골격근 형태에 미치는 영향. 미 간행 박사학위 논문: 효성여자대학교 대학원
- 박상갑. (2000). Rat의 유영훈련이 심근의 α - β -MHC · mRNA 농도에 미치는 영향. *대한스포츠의학회지*, 18(1), 101-108
- 박승화, 박경아, 이원택, 이종은. (1999). *조직학*, 제 2판. 서울 : 고려 의학
- 윤정수, 고영호, 한영민. (1998). 흰쥐의 뒷다리 부유 및 운동이 단일 섬유 Myosin Heavy Chain 변화에 미치는 영향. *운동과학*, 7(2), 93-102
- 조윤희, 문미숙, 권영덕. (2000). *운동의 근육생물학적 효과*. 미 간행 학사 학위논문: 순천향대학교
- 최명애, 박상철, 고창순. (1992). 지구력 훈련이 위축골격근과 그 산화능력(oxidative capacity)에 미치는 영향. *대한스포츠의학회지*, 10(2), 151-162.
- 최명애, 박상철, 고창순. (1994). 주기적인 낮은 강도의 운동 부하가 뒷다리 부유 쥐의 Type I, II 근육에 미치는 영향. *대한스포츠의학회지*, 12(1), 182-196
- 최명애, 지제근. (1993). 주기적인 체중지지가 발달중인 뒷다리 부유 쥐의 Type I 근육에 미치는 효과. *대한간호학회지*, 23(2), 207-223

- 최명애. (1996). 주기적인 보행이 성장하는 어린 뒷다리 부유 쥐의 Type II 근육에 미치는 효과. *대한간호학회지*, 26(2), 271-80
- Alford, E. K., Roy, R. R., Hodgson, J. A., and Edgerton, V. R. (1987). Electromyography of rat soleus, medial gastrocnemius and tibialis anterior during hindlimb suspension. *Exp. Neurol*, 96, 635-649
- Baker, M. A., & Horvath, S. M. (1964). Influence of water temperature on oxygen uptake by swimming rats. *J. appl. Physiol*, 19, 1215-1218
- Bailey, L. L., Byrnes, W. C., Dickinson, A. L., & Foster, V. L. (1987). Muscular hypertrophy in women following a concentrated resistance training program. *Med. Sci. Spt Exerc*. 19, S16.
- Baldwin, K. M., Herrick, R. E., Ilyina-Kakueva., & Oganov, V. S. (1990). Effect of zero gravity on myofibrill content and isomyosin distribution in rodent skeletal muscle. *FASEB J*. 4, 69-83
- Booth, F. W. (1977). Time course of muscular atrophy during immobilization of hindlimbs in rats. *J. Appl. Physiol*, 43(4), 656-661
- Booth, F. W., & Seider, M. J. (1979). Recovery of skeletal muscle after 3 months of hindlimb immobilization in rats. *J. Appl. Physiol*, 47, 435-439
- Booth, F. W. (1982). Effect of limb immobilization on skeletal muscle. *J. Appl. Physiol*, 52(5), 1113-1118
- Booth, F. W., & Seider, M. J. (1980). Effects of disuse by limb immobilization on different muscle fiber types. Plasticity of muscle.

- Booth, F. W., & Gollnick, P. D. (1983). Effects of disuse on the structure and function of skeletal muscle. *Med. sci. Spt Exercise*, 15, 415-420
- Cotter, M., & Phillips, P. (1986). Rapid fast to slow fiber transformation in response to chronic stimulation of immobilized muscles of the rabbit. *Exp Neurol*, 93(3), 531-545
- Desplanches, D., Mayet, M. H., Ilyina-kakueva., Sempore, B., & Flandrois, R. (1990). Skeletal muscle adaptation in rats flown on cosmos 1667. *J. Appl. Physiol*, 68, 48-52
- Desplanches, D., Sempore, B., & Flondrois, R. (1987). Structural and functional responses to prolonged hindlimb suspension in rat muscle. *J. Appl. Physiol*, 63, 558-563
- Edes, L., Sohir, L., Mazarean, H., Takacs, O., & Guba, F. (1980). Immobilization effects upon aerobic and anaerobic metabolism of the skeletal muscles. *the physiologist*, 23, S103-S104
- Faulkner, J. A., Niemeyer, J. H., Maxwell, L. C., & white, T.P. (1980). Contractile properties of transplanted extensor digitorum longus muscle of the cat. *J. Appl. Physiol*, 238, C120-126
- Fell, R. D., Steffen, J. M., Mook, K. A., & Musacchia, X. J. (1987). Effects of exercise on rat skeletal muscle exposed to disuse. *Med. Sci. Spt Exerc*, 19, 550(Abstract).
- Fell, R. D., Gladden, L. B., Steffen, J. M., & Musacchia, X. J. (1985). Fatigue and contraction of slow and fast muscles in hypokinetic/ hypodynamic rats. *J. Appl. Physiol*, 58, 65-69
- Finol, H., Lewis, D. M., & Owens, R. (1981). The effects of

- denervation on contractile properties of rat skeletal muscle. *J. Physiol*, 319, 82-92
- Gardiner, P. F., Lapointe, M. A. (1982). Daily in vivo neuromuscular stimulation effects on immobilized rat hindlimb muscle. *J. Appl Physiol*, 53(4), 960-966
- Gibson, J. N. A., Smith, K., & Rennie, M. J. (1988). Prevention of disuse muscle atrophy by means of electrical stimulation maintenance of protein synthesis. *Lancet* (8614) 767-770
- Goldspink, G., Loughna, P., Morton, A. J., & Goldspink, D. F., (1986). The Effect of inactivity and passive stretch on protein turnover in phasic and postural rat muscles. *J. Appl. Physiol*, 61, 173-179
- Graham, S. C., Roy, R. R., Hauschka, E. O., & Ederton. (1989). Effects of periodic weight support on medial gastrocnemius fibers of suspended rats. *J. Appl. Physiol*, 67(3), 945-953
- Hainaut, K., & Duchateau, J. (1989). Muscle fatigue effects of training and disuse. *Muscle and Nerve*, 12, 660-669
- Hauschka, E. O., Roy, R. R., & Edgerton, V. R. (1988). fiber size and periodic weight support effects on rat soleus fibers after hindlimb suspension. *J. Appl. Physiol*, 65(3), 1231-1237
- Henriksson, J. (1982). Role of the motor nerve in activity-induced enzyme adaptation in skeletal muscles. *J. Appl. Physiol*, 242, C272-277
- Herbert, M. E., Roy, R. R., & Edgerton, V. R. (1988). Influence of one-week hindlimb suspension and intermittent high load exercise on rat muscles. *Exp. Neurol*, 102, 190-198
- Huston, M. E., Wilson, D. M., Green, H. J., Thomson, J. A., &

- Ranney, D. A. (1983). Physiological and muscle enzyme adaptations to two different intensities of swim training. *J. Appl. Physiol*, *46*, 283-291
- Hung, J., Goldwater, D., Convjertino, T. A., Goris, M. L., & Debusk, R. F. (1982). Passive stretch on protein turnover in phasic and postural rat muscles. *J. Appl. Physiol*, *61*, 173--179
- Jaspers, S. R., & Tischler, M. E. (1984). Atrophy and growth failure of rat hindlimb muscles in tail-cast suspension. *J Appl. Physiol*, *57(5)*, 1472-1479
- kasper, C. E., White, T. P., & Maxwell, T. C. (1990). Running during recovery from hindlimb suspension induces muscular injury. *J. Appl. Physiol*, *68(2)*, 533-539
- Lindboe, C. F., & Platou, C. S. (1984). Effect of immobilization of short duration on the muscle fiber size. *Clin. Physiol*, *4*, 183.
- Lubert Stray. *Biochemistry*. 박인원(역). (1999). 생화학(상권). 서울 : 서울외국서적
- Maier, A., Crockett, J. L., Simpson, D. R., Saubert, C. W., & Edgerton VR. (1976). Properties of immobilized guinea pig hindlimb muscle. *J. Appl. Physiol*, *231*, 1520-1526
- Miu, B., Martin, T. P., Roy, R. R., Oganov, V., Ilyina-Kakueva., Marini, J. .F., Leger, J. J., Bodine-Fowler, S. C., & Edgerton, V. R. (1990). Metabolic and morphologic properties of single muscle fiber in the rat after spaceflight. *Cosmos 1887. FASEB J*, *4*, 64-72
- Musacchia, X. J., Deavers, D. R., Meininger, A., & Davis, T. P. (1980). A model for hypokinesia: Eeffects on muscle

- atrophy in the rat. *J. Appl. Physiol: Respirat. environ. Exercise Physiol*, 48, 479-486
- Musacchia, X. J., Steffen, J. M., & Deavers, D. R. (1981). Suspension restraint induced hypokinesia and antiorthostasi as a simulation of weightlessness. *The Physiologist* 246. (Suppl).
- Musacchia, X. J., Steffen, J. M., & Deavers, D. R. (1983). Rat hindlimb muscle responses to suspension hypokinesia/hypodynamia *Aviat. Space Environ Med* 54, 1015-1020
- Pette, D., & Vrbova, G. (1985). Invited review: Neural control of phenotypic expression in mammalian muscle fibers. *muscle and nerve*, 8, 676-689
- Riley, D. A., Ilyina-Kakueva., Ellis, S., Slocum, G. R., & Sedlak, F. R. (1990). Skeletal muscle fiber, nerve, and blood vessel breakdown in space-flown rats. *FASEB J*, 84-91
- Roberts, D., & Smith, D. J. (1989). Biochemical aspects of peripheral muscle fatigue. *A review, Spt Med*, 7, 125-138
- Saltin, B., & Gollinick, P. D. (1983). Skeletal muscle adaptability: significance for metabolism and performance. In skeletal muscle. Eds. Peachey, L. D. & Adrian, R. H, *Handbook of physiology*. sect. 10(555-631), Baltimor MD.
- Sandler, H., Pop, R. L., & Harrison, D. C. (1988). The hemodynamic effects of repeated rest exposure. *Aviat, Space. Med. (November)*, 1047-1054
- Sandler, H., & Vernicos. (1986). *Inactivity Physiological effects*. Orlando, Academic press, Inc.
- Savolainen, J. (1987). Acid and alkaline proteolytic activities of

- cast immobilized rat hind limb muscle after electric stimulation. *Arch Phys Med Rehabil*, 68(8), 481-485
- Schantz, P. G., & Dhoot, D. K. (1987). Coexistence of slow and fast isoforms of contractile and regulatory proteins in human skeletal muscle fibers induced by endurance training. *Acta Physiol. Scand.*, 131, 147-154
- Shepard, R., Bouhler, E., Vandewalle, H., & Monod, H. (1988). Muscle mass as a factor limiting physical work. *J. Appl. Physiol.*, 64(4), 1472-1479
- Sullivan, V. K., Scott, K. P., Savid, S. C., Nihal, T., Jeffrey, S. L., & David, L. T. (1995). Myosin heavy chain composition in young and old rat skeletal muscle: effects of endurance exercise. *J. Appl. Physiol*, 78(6), 2115-2120
- Tesch, P. A., & Karlsson, J. (1987). Muscle fiber types and size in trained and untrained muscles of elite athletes. *J. Appl. Physiol*, 59, 1716-1720
- Thomasson, D. B., Herrick, R. E., & Baldwin, K. M. (1987). Activity influence on soleus muscle myosin during rodent hindlimb suspension. *J. Appl. Physiol*, 63, 138-144
- Thorstensson, A., Siodin, B., & Karlsson, J. (1976). Enzyme activity and muscle strength after sprint training in man. *Acta Physiol. Scand.* 94, 313-318
- Thronton, W. E., & Rummel, J. A. (1977). Muscular deconditioning and its prevention in space flight. In Jhonston, R. S, & Dietlein, L. F (Eds.), *Biomedical Results from Skylap*. 191-197
- Terjung, R. L. (1975). Cytochrome turnover in skeletal muscle. *Boichem. Biophys. Res Commun*, 66, 173-178

- William. F., & Ganong, M. D. *Medical Physiology*. 전국외과대학
교수(역). (1999). 생리학. 서울 : 한우리
- Winiarski, A. M., Roy, R. R., Alford, E. K., Chiang, P. C., &
Edgerton, V. R. (1987). Mechanical properties of rat
skeletal muscle after hindlimb suspension. *Exp. Neurol*,
96, 650-660
- Wronski, T. J., & Morey-Holton, E. (1981). Animal models for
simulating weightlessness, *The Physiologist*. *24 (Suppl. 6)*,
45.

The effects of aqua-exercise
on the muscle atrophy of hind limb in rats

Cho, sun-yeo

Department of Physical Therapy
Graduate School of Rehabilitation Science
Taegu University

Supervised by Prof. Park, Rae-Joon

(Abstracts)

This study was performed to investigate the effects on skeletal muscle recovery with aqua-exercise; swimming to take the muscle endurance for 20 days on two group of white rats which were the low extremity atrophy group(control groups) by fixed for two weeks and aqua-exercise group(experimental groups) after it. The effects was observed with light and electron microcope to measure the morphological changes of muscle fibers.

The results obtained were as follow.

1. Light microscope: In the case of control groups, quadriceps fibers had been irregular alignment, decreased muscle width and the irregular alignment nuclear appeared, as it is degenerative muscle fibers. In the case of experimental groups, the fibers had been regular alignment cells and fibers. The nucleus of muscle had been normal

characterized by oval shape and fiber sarcomere clearly classified.

2. Electron microscope: In the case of control groups, there were the quadriceps which was Z-line streaming phenomenon induced at the sarcomere and cells nuclear separated from basal membrane. It was not only observed the sarcomere alignment irregularly and mitochondria damaged, but also vacuoles found. In the case of experimental groups, A band, I band, H band had been clearly appeared, classified at the myofibrils of quadriceps, and electronic dense M-line found in sarcomere. There were observed satellite cells and basal laminas that usually to be appeared at the time of mitochondrial development, skeletal muscle fiber regeneration or development.

This results suggest that the aqua-exercise assisted to inhibit the degenerative morphological changes of skeletal muscle cells and help to recover from abnormal states. Especially, it is considered to effect on a normal structural formation.

Figures Legend

Fig. 3. A light micrograph of the quadriceps muscle in control groups at 10 days after hind limb immobilization. The width of muscle fiber is decreased, and each muscle fiber shows irregular alignment with oval shape nucleus. Asterisk : Edema. ($\times 200$)

Fig. 4. A light micrograph of the quadriceps muscle in control groups at 20 days after hind limb immobilization. The muscle fiber shows marked disorganization displaying degenerative changes. Asterisks : Edema. ($\times 200$)

Fig. 5. A light micrograph of the quadriceps muscle in experimental groups at 10 days after hind limb immobilization. The myofilament which in the muscle fiber layer were readily identified. ($\times 200$)

Fig. 6. A light micrograph of the quadriceps muscle in experimental groups at 20 days after hind limb immobilization. The muscle fiber shows the regular alignment of each myofilament with well developed oval nucleus (arrows). ($\times 200$)

Fig. 7. An electron micrograph of the quadriceps muscle in control groups at 10 days after hind limb immobilization. Dilated and vesiculated cristae of mitochondria (arrow), disintegrated myofibril and myofibril with disorganized Z-line (Z) are observed. ($\times 18.000$)

Fig. 8. An electron micrograph of the quadriceps muscle in control groups at 20 days after hind limb immobilization. More marked changes include disorganized and loss of myofibrils over one or more sarcomere lengths are observed.

Z : Z-line. Arrows : Mitochondria. ($\times 24.000$)

Fig. 9. **a, b.** An electron micrograph of the quadriceps muscle in control groups at 20 days after hind limb immobilization **a.** The atrophic myofiber (arrows) in the center shows reduced, disoriented myofibrils and dilated sarcoplasmic reticulum (arrow-heads) are also seen, indicating degenerative change of myofiber. **b.** Higher magnification of necrotic myofiber reveal advanced stage of degeneration, myofibril with disorganized Z-line (Z) and transverse tubule (T) are observed. (**a.** $\times 12.000$, **b.** $\times 30.000$)

Fig. 10. An electron micrograph of the quadriceps muscle in control groups at 20 days after hind limb immobilization. The loss of myofilaments from the myofibrils (Mf) and vesiculated mitochondria (arrow-heads) are observed. ($\times 30.000$)

Fig. 11. An electron micrograph of the quadriceps muscle in experimental groups at 20 days after hind limb immobilization. The atrophic myofiber reveals disoriented and disrupted myofibers. It exhibits a markedly irregular alignment of myofibers.
Z : Z-line. M : M-line. N : Nucleus. ($\times 10.000$)

Fig. 12. An electron micrograph of the quadriceps muscle in experimental groups at 10 days after hind limb immobilization. Dilated mitochondria (arrows) and discontinuation of myofibril are observed. There is decrease in the width of myofibrils due to loss of myofilament, indicating mild degenerative changes. (× 8.000)

Fig. 13. An electron micrograph of the quadriceps muscle in experimental groups at 10 days after hind limb immobilization. The myofibrils have partially degenerated their alignment structure, but the normal sarcomere structure is preserved. N : Nucleus (× 12.000)

Fig. 14. a. b. c. An electron micrograph of the quadriceps muscle in experimental groups at 20 days after hind limb immobilization. **a.** Longitudinal section of experimental group muscle shows orderly alignment of myofibrils with sarcomere. **b.** Higher magnification of the sarcomere. The sarcomere is delimited by the dense Z-line. Arrow-heads :glycogen particle. M : M-line. **c.** In this skeletal muscle, the sarcomere consist of highly ordered arrays of thin and thick filaments.

S : sarcomere M : M-line A : A-band I : I-band
Z : Z-line (**a.** × 38.000, **b.** × 40.000, **c.** × 14.000).

Fig. 15. An electron micrograph of the quadriceps muscle in experimental groups at 20 days after hind limb immobilization. The satellite cell (SC) joined with each myofiber, and found within the basal lamina (arrows) of the muscle fiber and tightly associated with the sarcolemma. (× 16.000).