

노출손상시킨 닭의 굴곡건의 형태학적 변화에 대한 연구

연세대학교 의과대학 정형외과학교실

강 호 정 · 김 남 현

= Abstract =

A Morphological Study of Exposed Chicken Flexor Tendons

Ho Jung Kang, M.D. and Nam Hyun Kim, M.D.

Department of Orthopedic Surgery Yonsei University College of Medicine Seoul, Korea

The depth of wound level is as important as the level of the tendon injury itself. And the timing of the operative procedure is an important factor. As a rule, tendons injured outside of the flexor sheath yield much better results than those injured within the sheath. The nutritional supply of the flexor tendons is not completely understood. Many elaborate studies have outlined the vascular anatomy of these tendons, and not all authors are in agreement. It is now clear that synovial fluid within the sheath supplies nutrition to the tendon much as synovial fluid in a joint supports cartilage. With this in mind, the present study was designed to determine the effect of exposing tendons for varying periods of time on the viability of the tendon and sequential morphological changes.

The results are as follows:

1. Twelve hours after tendon sheath removal, collagen fibrillar dissociation and irregular surface of the tendon sheath were noted on the chicken flexor tendons by electronmicroscopy.
2. Superficial tenocyte necrosis was created after 24 hours of tendon exposure.
3. At 3 days, inflammatory cell infiltration and thickening of the outer synovial layer were noted. After 7 days, fibrosis of the degenerated tendon started from the exposed surface.
4. The fibrous connective tissue and new blood vessel infiltration into the tendon were progressed after 7 days.

From these morphological results, any interference with the synovial environment leads to a regressive change of the flexor tendons immediately. It is suggested that delayed primary wound covering procedure within three days an after exposed tendon injury is ideal, and it should be done at least 7 days after tendon exposure.

Key Words: Exposed tendon, Sheath, Morphological changes.

서 론

늘어나는 수부손상에 따라 손상된 건의 수복과 기능회복을 위하여 건의 영양공급, 혈액공급, 건손상의 치유기전, 건치유에 영향을 미치는 요소, 손상건의 봉합방법 및 봉합물질, 건이식, 수복건의 수술후 재활운동등에 대한 실험 및 임상연구가 계속 진행되고 있다. 수부건은 치밀하고 규칙적인 배열의 결합조직으로 구성 성분은 건세포와 교원섬유, 기저물질로 구성되

며 건세포는 평행하게 배열되어 있는 교원섬유의 bundle(속) 사이에 길게 같은 방향으로 줄을 지어서 배열되어 있다. 이러한 수부건은 건초에 싸여있는 부분과 건방(paratenon)에 싸여있는 두 부분으로 구분된다.

실제로 접하게 되는 수부손상의 많은 부분이 산업재해나 교통사고에 의한 것으로 골절 및 건의 절단손상 외에도 좌절창에 의한 피부결손, 연부조직 및 건초의 손상을 동반하여 치료에 어려움이 따르게 된다. 이러한 경우는 일차 봉합술로 치료하는데 문제점이 많으므로 지연일

차봉합술, 이차봉합술 혹은 재건술 등을 시행하게 된다.

일차봉합술의 적용이 안되는 경우에는 빠른 속도의 기계에 의한 손상, 사람에게 물린 경우, 치료하지 않은 상태로 6시간 내지 12시간 이상 방치된 경우, 길이 1cm이상의 건의 손실이 있는 경우, 불안정성 골절을 동반한 경우, 다발성 건손상, 활차(pulley)손상을 동반한 경우이다. 이러한 다양한 창상상태의 적절한 치료시기의 결정은 예후에 커다란 영향을 미치게 된다.

Kleinert(1973)등은 5일에서 6일사이가 좋은 시기라고 하였고, Verdan(1960)은 늦어도 2주에서 3주사이에 지연일차봉합술을 시행해야 한다고 하였다. 이차봉합술을 실시하는 경우에는 길게는 2개월후까지도 시행하게 된다.

실제로 지연일차봉합을 실시하는 경우에 4주 정도에서는 건조직의 retraction에 의해서 2차 봉합이 힘들고, 절단단의 괴사, 부종, 변형등의 기형이 생기면서 건자체의 탄성도 감소되어 정상기능 유지가 어려워지며, 심한 경우는 건이식술을 시행하게 된다.

따라서 손상건의 정도는 건주위조직과 건초 및 건으로 가는 혈관손상의 정도와 비례하고 다시 각 부분의 건대사에 관여하는 정도에 따라 세분된다. 일반적으로 배측의 손상이 빈도가 적으므로, 굴측에서의 결체조직 손상과 건초의 손상을 동반한 수부건손상이 대부분이다.

이에 저자는 일차봉합술의 적용이 안되는 개방성 수부건손상에서 건초를 보존한군과 건초를 제거한 군에서 노출손상시간에 따른 건조직 변화를 육안, 광학현미경, 주사전자현미경, 투시전자현미경적으로 관찰하여 비교하고자 한다.

실험재료 및 방법

A. 실험재료

1975년 Greenlee등에 의해서 닭의 중앙족지의 심부굴곡근 힘줄은 인간의 수지 굴곡근 힘줄의 혈액공급 및 건초의 구조와 유사하다고 하여 체중 약 2kg이상의 백색 Leghorn 닭 56마리를 사용하였다.

실험기간중 동일한 온도와 동일한 습도의 같은 사육실에서 동일한 배합사료로 사육하였으며, 굴곡근 힘줄은 일측의 가장 긴 제 3족지의 심굴곡근 힘줄을 대상으로 하였다.

B. 실험군

실험군을 두 군으로 나누어서 실시하였다.

첫째군은 제 3족지의 제 1,3지간관절의 내측부에 약 3cm의 피부를 종절개하여 심부 굴곡근 힘줄을 싸고 있는 연부조직과 건초를 block 형태로 피부편과 함께 제거하여 노출부위가 폐쇄되지 않도록 하였다. 둘째군은 연부조직과 피부편만을 0.7×1.5 cm 크기로 제거하였다.

창상부위는 매일 젖은 생리식염수 거즈로 치료한 후 붕대로 감아 주고 활동에는 제한을 주지 않았다. 감염예방을 위해 수상후 7일간은 항생제로 Kanamycin을 0.25mg/kg씩 근육주사하였다.

대조군은 2 kg이상 닭 5마리의 굴곡근 힘줄을 사용하였다.

C. 실험방법

Leghorn 닭 날개정맥에 체중 kg당 20mg의 secobarbital을 정맥주사하여 마취를 시키고 보조자가 양쪽다리를 잡고 실험대상이 되는 발을 세척시킨 후 75% alcohol과 betadine으로 소독을 시행하여 일반적인 수술적 무균 조작하에 지혈 목적으로 슬관절부에 지혈대를 착용하였다. 제 3족지의 제 1,2지간 관절의 굴측에 2cm의 종절개를 평행하게 넣은 후에 양단에도 서로 절개를 넣어서 피부편을 제거해 내었다. 손상면이 나타난 후에는 피하조직의 절개선을 따라 박리 제거하여 노출손상된 부위가 다시 폐쇄되지 않도록 하였다. 건초를 제거해야 하는 첫째군에서는 피부절개선과 일치하도록 건초도 건에서 분리하여 제거해 내었다.

창상 치료시 이물질 제거와 거스만 바꾸어 주고 창상 부위가 오염되지 않도록 주의하였으며 특별히 활동에 제한을 주지는 않는다.

조직고정은 닭의 제 3족지를 근위부에서 절단후 고정된 후에 창상의 근위부 원위부의 연부조직을 제거하여 수배부로 먼저 족지골을 제거한 후 노출건부위가 손상을 받지 않도록 연부조직과 함께 적출하였다.

D. 관찰대상 및 방법

실험기간 중에 슬후 감염이 속발하였거나 사망한 동물은 본 실험성적에서 제외되었으며 관찰대상이 되었던 동물은 56마리였으며 대조군은 5마리였다.

실험동물은 제 1군과 제 2군에서 실험조작 후 12시간, 24시간, 48시간, 3일, 7일, 14일, 21일 간격으로 희생시켜 관찰하였다. 손상된 굴곡근 힘줄은 우선 육안적으로 관찰한 다음, 조직학적검사를 위하여 즉시 10% neutral forma-

lin 용액에 24시간 고정후 조직처리과정을 거친 적출건을 paraffin에 매몰하여 조직세절기로 5 μ m 절편을 작성한 후 hematoxylin-eosin염색, reticulin염색, masson-trichrome염색을 시행하여 검색하였다.

전자현미경적 관찰을 위해서는 표본적출후 0.01M phosphate buffer, pH 7.4의 4% glutaraldehyde에 0°C 내지 4°C에서 4시간이상 고정한 후, 같은 완충액으로 조절된 pH 7.4의 1% osmium tetroxide로 0°C 내지 4°C에서 2시간 고정하였다. 탈수는 ethanol 농도 상승순으로 실시하고 Epon 812로 포매한 다음 미세세절기로 500-600 Å 두께로 세절하였으며, uranyl acetate와 lead citrate로 이중염색하여 Hitachi 500형 전자현미경으로 투시 전자현미경적 관찰을 시행하고 주사 전자현미경적 관찰을 위해서는 표본을 4°C에서 pH 7.4의 1% phosphate buffer osmium tetroxide에 2시간 고정시킨 후에, ethanol로 탈수시키고 30분동안 isoamylacetate에 포매시켜다. CO₂하에서 건조시키고 Gold-palladium particle로 도금한 후에 검색하였다.

사진은 positive-negative 4 × 5 Polaroid Land Films을 이용하여 Hitachi S-450형 주사현미경으로 관찰하였다.

결 과

1. 정상대조군

조직표본상 정상인 건조직은 종단면에서 치밀하며 규칙적인 층으로 배열된 교원 섬유속이 대부분을 이루면서, 그 사이에 평행하게 줄로

배열한 건세포들이 위치하고 있다. 횡단면상에서는 섬유속 사이에 질게 염색되는 성상의 단면을 보이는 건세포가 있으며, 건초에 싸여있는 부분과 건방에 싸여있는 부분으로 구성된다 (Fig. 1). 섬유속 사이에는 간질물질과 미세한 혈관구조들이 배열되어 있게 된다. 혈관분포가 적은 굴측 외측부 건조직은 건세포들이 주로

Fig. 2. Normal tendon tissue of the compression part showing pronounced distribution of chondrocyte-like cells in the volar side (H & E, ×200).

Fig. 1. Normal tendon tissue, which is composed of tenocytes, collagen and ground substance, is covered with a visceral sheath (H & E, ×200).

Fig. 3. The scanning electron microscopic (SEM) finding of a normal tendon showing an even and also slightly irregular surface outline (×400).

활액의 확산작용을 통한 영양을 받아서 관절내 연골에서 볼 수 있는 연골세포 모양의 형태를 이루고 있는 것을 볼 수 있다(Fig. 2). 건초는 이중으로 된 주머니 형태로 건을 싸고 있으며, 건과 밀착해서 이루어진 구조를 visceral layer, 주머니의 바깥층을 parietal layer라고 한다.

주사현미경 관찰에서 보면 건강한 건의 표면은 미세한 collagen fibril이 서로 enmesh 되어서 collagen bundle을 이루고 있고 이러한 규칙적 배열구조를 활막이 덮고 있는 구조로써, 낮은 구름모양의 규칙적인 파상구조를 관찰하게 된다. 방추형의 용기는 약 $15-30\mu\text{m}$ 의 크기정도이다(Fig. 3)

활막을 제거한 상태의 건구조는 건세포의 세포돌기 (cellular process)와 밀집된 교원섬유 bundle로 구성된 것을 볼 수 있다. 대부분의 bundle은 일정한 주행방향을 갖고 있으며 내용

의 구조를 볼 수 없도록 조밀하게 구성되어 있었다.

투시전자현미경 관찰상 직경 $1-2\mu\text{m}$ 의 작은 것에서 $5-6\mu\text{m}$ 직경의 collagen bundle이 서로 섞여있고, bundle은 $0.1-0.2\mu$ 두께의 fibril이 서로 망상구조로 되어있다. 드물게 일부 횡으로 $1-2\mu$ 직경의 bundle이 존재하기도 한다. Collagen fibril은 드물게 건내에서 단단을 갖고 있으면서 tapering 되며, 건자체의 길이보다는 대개 짧다. 이러한 fibril사이의 stress transfer는 비섬유성물질들인 proteoglycan, 소량의 collagen, 다른 단백질에 의해 이루어진다. 즉 건조직은 stress-transfer matrix내에 묻혀있는 연속성이 없는 collagen fibril의 구성으로 이루어진다 (Fig. 4).

건내의 세포는 건세포와 건초를 이루는 활액 세포 및 interfascicular cell로 이루어진다. 건세포는 세포질이 비교적 치밀하고 조밀한 RER를 함유하고 있고, 적은 수의 사립체를 가지고 있다(Fig. 5). 이에 비해 건초세포는 약간의 fine filament만 가지고 있으며, 형태학적으로도 건세포와 다르게 나타난다. Interfascicular cell

Fig. 4. The transmission electron microscopic (TEM) finding of normal collagen fibrils of a chicken flexor tendon showing different sizes of the diameter and the cross-banding pattern of fibrils ($\times 65,000$).

Fig. 5. TEM finding of normal tendon cell (TC). There were fine filaments and mitochondrias (M) in the cytoplasm. The collagen fibril (CF) is densely packed along the tendon cell ($\times 16,00$).

Fig. 6. SEM finding at 12 hours after exposure, the sheath has uneven outline and rough wavy appearance ($\times 550$).

은 극히 많은 양의 intracellular filament를 갖고 있으면서 가능한 잘 알려져 있지 않은 상태이나 수축력등에 관여하는 것을 추측되어 진다.

2. 건초를 제거한 군

가. 건초제거후 12시간 경과군

육안적 관찰상 건조직의 광택이 소실되어 있으나, 표면은 비교적 평활하였고, 정상의 striation양상을 관찰할 수 있었다. 광학현미경에서는 건의 굴측부 및 배부등에서 의의있는 변화가 관찰되지 않았다. 건세포의 배열, 형태에서도 대조군과 비교해 차이를 관찰할 수 없었다. masson-trichrome stain에서도 같은 소견을 보이고 있었다.

주사현미경상에서는 초기에 규칙적인 낮은 형태의 구릉구조 (groove)들이 약간씩 불규칙해지고 거칠어지는 것이 관찰되면서, 고배율에서는 형태가 없는 fibrin물질과 fibrinous coating의 gel형태가 건표면을 덮게된다. fibrin material 사이에 일부의 혈구세포 침착을 볼 수 있었다 (Fig. 6)

투시현미경상에서는 다양한 크기의 collagen fibril의 cohesiveness의 감소에 의해 fibril 사이의 간격이 불규칙적으로 벌어지게 되며, fibril 사이에 electrondense material의 증가소견을 관찰할 수 있었다. 고배율에서 건세포는 주위의 collagen fibril과 adhesion이 없어지면서 retraction되는 양상을 보이기 시작하며, interfascicular space의 widening도 함께 관찰할 수 있었다 (Fig. 7).

나. 건초제거 24시간 경과군

육안적으로 건조직 표면이 광택이 잃으면서 일부에서 약간의 황갈색 변화가 보이기 시작했

으며, 육안적으로 탄력성에는 별로 변화가 없었다. 건조직자체의 부종을 육안으로 확인할 정도의 변화는 없었다.

광학현미경상에서 혈구세포, nuclear debris, fibrin등이 응집이 표면에서 관찰된다. 활액막층에서는 fibrinous exudate와 polymorphonuclear leukocyte의 침윤이 보이기 시작하며, 외부세포층의 증식은 별로 없다. 건조직 자체의 변화도 조직학적으로 확인할 수 없었다.

주사현미경에서는 황갈색 변화를 보인 부위에서 표면을 덮고 있는 fibrin coating 부위에 fibroblast 모양의 세포돌기를 가진 세포가 나타나기 시작하며, 이러한 세포돌기들은 비교적 건주행방향과 평형을 이루고 있었다 (Fig. 8). 일부에서는 carter와 groove 형성이 보이면서 아직도 세포의 형태를 인식할 수 있을 정도의 외

Fig. 8. SEM finding of 24 hours after exposure. Many strings of fibrin (FI), some inflammatory cells and blood cells (BC) are seen on a superficial area of the tendon. The ground substance may be seen in the back ground, but no collagen fibrils ($\times 400$).

Fig. 7. TEM finding of 12 hours after exposure, diagonally oriented fibrils (arrows) at the surface of flexor tendons are the first indication of fibrillar dissociation (CO) ($\times 55,000$).

Fig. 9. TEM finding at 24 hours after exposure. The flexor tendon shows a collagen fibril (CF) with surrounding "Type 1" particles(short arrow) and "Type 2" particles(long arrow)($\times 55,000$).

부형태를 유지하고 있다. Crater속에서는 5-6 μ m 직경의 염증세포와 일부 collagen bundle의 노출이 보이기 시작한다. 종단면에서는 천층 bundle의 해리를 확인할 수 있었다.

투시전자현미경 소견상에서 bundle내에 fibril의 해리가 진행되는 소견이 나타나며, 평행배열에서 벗어나는 fibril이 사선배열에 의해 tapering end 되는 소견을 관찰할 수 있다. fibril 내에서 관찰되는 periodicity나 polysaccharide particle의 배열에는 별 변화를 관찰할 수 없었다(Fig. 9). Interfascicle부분에서도 불규칙한 세포의 (extracellular) collagen fibril의 해리소견이 보이면서 세포경계가 불확실해지면서 세포내 공포의 증가소견을 확인할 수 있었으며, 핵농축(pyknosis)의 소견이 보이기 시작하였다(Fig. 10).

다. 건조제거 48시간 경과군

육안적으로 건조적의 부종이 관찰되며, 탄력성도 감소되어 있다. 광학현미경상 24시간에

비해서 진행된 PML의 침윤이 보이고 있으며, 이러한 소견은 주로 굴측의 중심부와 외측부에 심하였다. 활액막 하부에서 fibrin의 deposition이 관찰되며, 일부에서는 건조의 detach소견도 보이고 있었다. 염증세포의 침윤은 활액막을 따

Fig. 12. SEM finding after two days. The superficial part of a degenerated tendon shows low grade inflammation and collagen bundles (CB). It revealed a marked unevenness due to cavity formation (CA) and splitting of the fibrillar components. ($\times 600$).

Fig. 10. TEM finding at 24 hours after exposure. There was retraction of the tenocyte(N) from the fibrils(CO) and vacuoles(arrows) in the cytoplasm($\times 45,000$).

Fig. 11. At two days after exposure, fibrin exudates and some inflammatory cells were noted on the superficial tendon (H& E, $\times 200$).

Fig. 13. TEM finding at two days after exposure. Diffuse fibrillar dissociation on the exposure side, pyknosis of the nucleus and an irregular margin of cellular contour were noted ($\times 30,000$).

라서 배측으로도 확대되어가는 양상을 관찰할 수 있었다(Fig. 11).

주사현미경상에서는 활막이 탈락된 부위에서 collagen bundle의 구분이 확실해지면서, 일부의 fibril의 노출과 distortion을 볼 수 있으며 섬유아세포의 증가 소견을 볼 수 있다. 종이나 횡으로 절단된 표본에서 건중심부의 fibril의 배열이 흐트러짐과 해리를 확인할 수 있었다(Fig. 12).

투시전자현미경 소견상에는 천층부에서 bundle의 해리와 fibril의 distortion이 더 진행하면서 더 많은 수의 fibril의 단단(end)을 관찰할 수 있게 된다. 건세포는 세포내의 vesicle이 증가하면서 세포의 경계와 핵의 경계가 불확실해지는 것과 세포내 organelle이 특징없는 electron dense material로 보이는 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 13).

라. 건초제거 3일 경과군

육안적으로 탄력성의 감소가 심해진 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 14). 광학현미경에서는 sub-synovial area에 edematous한 변화와 함께 PML의 침윤이 계속되며, young fibroblast들이 불규칙한 배열을 보이면서 관찰되고 초기의 육아조직의 형성을 관찰할 수 있었다. 염증세포의 침윤부위는 masson-trichrome stain intensity가 떨어지는 것을 알 수 있었다(Fig. 15). Synovial sheath의 손상을 받은 부위에서는 자연파열된 건조직을 관찰할 수 있었으며, 이러한 소견은 주로 연골세포모양의 건세포가 있는 avascular area에서 일어났다.

주사전자현미경에서는 collagen fibril에 많은 과립형의 particle이 붙어 있으면서 서로 뭉쳐

지고, 진행방향이 엇갈리는 소견이 관찰되었다(Fig. 16).

투시전자현미경에서는 퇴행성변화가 심해진 건의 천층에서 교원섬유 bundle, fibril의 해리소견 진행이 배측부를 향하여 계속된 것을 알 수 있고, 염증세포와 혈구세포가 응집되어 있는

Fig. 15. At three days, early granulation tissue infiltration and thickening of the outer cell layer are seen (Reticulin stain, $\times 200$).

Fig. 14. Gross appearance of the exposed tendon after 3 days. Yellow-brown discoloration and loss of elasticity of the flexor tendon are seen.

Fig. 16. Longitudinal section of SEM finding after three days. An irregular ridge and particles of collagen bundle (CB), some inflammatory cells of 5-6 μ m diameter and fibroblasts were noted in the visceral synovial area (VS) ($\times 550$).

소견과 함께 관찰되었다(Fig. 17).

마. 건조제거 1주일 경과군

1주일째부터는 확장된 혈관과 림프구, 혈철소로 찬 대식세포등이 건초와 건초주위 조직등에서 관찰되고, 일부는 synovial space의 폐쇄소견이 관찰되었다. 염증세포의 침윤이 약 1/3부위

까지도 관찰되며 육아조직은 주위의 활막과 결합조직에서 기원된 세포로 추정되는 섬유아 세포모양의 세포들로 구성되어있다. Synovial membrane 아래에서 비교적 평행하게 배열되어 있는 young fibroblast 주위로 eosinophilic한 collagenous repair양상을 보이면서, 일부에서는 새로 형성되는 blue colour stain의 교원섬유가 관찰되며, reticulin 염색에서는 fibroblast주위에 비교적 가는 reticulin fiber들이 관찰되었다(Fig. 18)

주사현미경소견에서는 육아조직으로 덮혀서 정상건조직을 관찰하기 어려우며 편평한 세포들로 덮혀있는 것을 관찰할 수 있었다.

투시전자현미경소견에서는 collagen bundle, fibril의 해리와 퇴행성변화의 진행되는 양상이 건 중심부로 확대되어가면서 배측까지 같은 소견을 보였다.

바. 건조제거 2주 경과군

2주째에서는 synovial space의 폐쇄와 혈관의

Fig. 17. TEM finding of the superficial tendon at 3 days after exposure showing marked disintegration of the superficial chicken flexor tendon ($\times 5,600$).

Fig. 19. Cross section of the exposed tendon at two weeks. Blood vessels and many reticulin fibers were seen in the deep layer of the flexor tendon (Reticulin stain, $\times 200$).

Fig. 18. Cross-sectional finding of the tendon at 7 days after exposure. There were young fibroblasts and new collagen tissue which was stained a light blue colour (Masson-trichrome, $\times 200$).

Fig. 20. Longitudinal section of the flexor tendon at three weeks. Reorientation of collagenous tissue was noted in the damaged portion (H & E, $\times 100$).

Fig. 21 A. SEM finding of the exposed tendon which was covered with a tendon sheath at 7 days after operation. It showed a stratified squamous epithelium-like cell lining ($\times 350$).

증식, 섬유조직에 의한 유착양상이 보이면서, 건두께의 약 1/2두께까지도 염증세포의 침윤이 나타나나 1주 경과군에 비해서 염증세포의 숫자가 감소하고, masson-trichrome 염색에서는 좀더 치밀하고 많은 collagen fiber의 deposition이 보이고, 섬유화 양상도 진행되며 reticulin fuber의 침착도 다량으로 나타났다(Fig. 19).

사. 건초제거 3주 경과군

건초제거 2주에서 더 진행되어서 거의 전층에 걸쳐서 건조직의 파괴가 보이면서 섬유조직의 침윤, 혈관증식과 함께 주근조직과의 유착소견이 더 심해진 것을 관찰할 수 있었다. 건초제거 2주군에 비해서 염증세포 침윤 및 fibroblast의 cellularity가 감소하면서, 좀더 dense하며 일정한 배열을 갖춘 collagenous connective tissue로 대체되는 것을 masson-trichrome 염색에서 확인할 수 있었다(Fig. 20).

3. 건초보존군

건초보존군에서의 소견은 24시간까지의 건조직 일부에서 염증세포 출현과 fibrin exudate

Fig. 21 B. Cross-sectional SEM finding of exposed tendon which was covered with a tendon sheath at 10 days after exposure. Collagen bundles (CD) were covered by multiple layers of flat mesothelial-like cells ($\times 400$).

의 출현이 관찰되었으나, 그 이후에는 건초와 주위의 결합조직에서 형성되기 시작하는 육아조직과 섬유조직으로 덮히기 시작하여 3일 이후부터는 건조직에서 정상대조군과 커다란 차이점을 발견할 수 없었다(Fig. 21 A, B)

광학현미경 관찰상 건초보존군 12시간 경과군에서 별다른 이상소견을 발견할 수 없었다. 초기의 주사현미경소견에서는 결합조직과 혈구들로 덮힌 부분 이외에는 특이한 소견을 관찰할 수 없었으며, 건조직 자체의 투시전자현미경소견에서 12시간 경과군에서 cohesiveness의 감소에 의한 fibril의 해리를 관찰할 수 있는 정도였으며 24시간 지나서는 이같은 변화도 일부의 건표본에서 관찰되었다. 48시간 이후에서는 정상건 소견을 보이고 있었다(Table 1).

고 찰

굴곡근 힘줄은 건세포와 건초, 주위의 결합조직, 건유(vincula)로 이루어진 구조로써 굴축

Table 1. 노출손상된 건조직의 형태학적 변화

실험군	/실험기간/ 변화	윤택 및 장력	염증세포의 침윤	섬유조직	건초의 파상구조 변화	교원섬유의 해리 및 건 세포의 미세변화
제1군 (건초 제거군)	12시간	-	-	-	+	+
	24시간	+	+-	-	++	++
	48시간	++	+	-	+++	+++
	3일	+++	++	±	↓	↓
	1주	↓	+++	+		
	2주		++	++		
	3주		+	+++		
제11군 (건초 보존군)	12시간	±	-	-	±	+
	24시간	-	-	-	-	±
	48시간	-	-	-	-	-
	3일 이후	-	-	-	-	-

-: 없음, +: 정도, ++: 중등도, +++: 고도, ↓: 진행.

에는 건초가 두꺼워져서 활시위(bow-string) 현상을 막는 구조인 활차(pulley)가 있고 배측에는 두겹으로 된 건간막(mesotenon)의 구조가 있어서 혈관이 건내로 들어가는 연결부위 역할을 한다. 건을 싸고있는 건초는 2겹으로 이루어져 있으면서 visceral layer와 parietal layer로 구분되고, 활액을 분비하여 건의 gliding 작용과 영양공급을 담당하게 된다. 최근에 수부건의 중요성을 인식하여 많은 연구가 이루어졌으나, 아직도 건초내 및 No Man's Land부위에서의 굴곡근 힘줄의 손상은 건손상의 예후를 예측하기 어렵다. 이러한 어려움은 건의 정상생리 및 건의 치유기전에 대한 충분한 지식부족에 의한 것이다. 아직 노출건의 형태학적 변화에 대한 보고는 없는 상태에서 굴곡근 힘줄의 건초내에서의 영양공급에 대해서는 여러가지 학설이 있다.

Mayer(1916)는 건의 영양공급원이 되는 혈관이 4개의 부분에서 혈액공급을 받는다고 보고하였다. 즉 근육-건의 연결부위, 건주위의 결합조직인 건방조직(paratenon)과 건유를 통해서 받는다고 하였다. 1940년대부터 해부학적 방법 및 미세혈관조영술등을 통해 닭과 사람의 건내의 혈관은 굴곡근 힘줄의 혈관분포에 대한 결과가 보고되었다. Edward(1946)는 혈관의 내부배열을 조사하여 건내의 혈관은 건을 구성하고 있는 Collagen bundle 주위에 평행하게 종으로 배열되어서 맥관구조를 이루면서 서로 횡으로 연결되어 있으며 각각의 intratendinous longitudinal channel은 미세동맥과 2개의 미세정맥으로 구성된다고 하였다. Brockis(1983)는

심부굴곡건에서 근위 및 원위지간 관절부의 배측에서 나오는 장건유, 단건유를 관찰하였으며, Peacock(1959)는 건조직은 자체의 대사요구량이 낮으므로 (0.1μl of Oxygen per mg/dry weight per hour), 미량의 혈액순환에 의해서도 교원섬유의 치환적 건세포의 생존유지가 가능하다고 하였다.

그러므로 이러한 미량의 순환마저도 없다면 건세포의 퇴행성변화와 괴사가 일어나면서 교원질의 점진적인 파괴와 흡수가 일어나고 반흔조직으로 대체된다고 하였다. 실제로 건손상 후에 나타나는 반응이 매우 다양하므로 건손상 후에 건조직의 미세순환구조를 정확히 규명하기는 어렵다²⁸⁾.

Caplan등(1975)은 굴곡건은 주혈관이 배측에서 들어오므로 건 취급시에 건유를 통한 건의 영양공급을 분리시키지 않도록 주의해야 한다고 하면서 건의 내부 혈관분포는 주로 중심부, 배측부에 한정되어 있고, 굴곡부 및 외측부는 혈관분포가 적다고 하였다. 굴곡부의 혈관분포가 적은 부위의 깊이도 건 두께의 1/5-1/3까지로 다양하게 주장되고 있다^{18, 23, 25)}.

Landi등(1980)은 근육을 전기자극시에 건으로 가는 혈류량이 현저히 증가하는 것을 발표하였으며, 건으로 가는 건유의 혈관을 결찰시에 건내의 혈류량이 감소하지는 않는다고 주장하였다. 토끼에서 건의 혈류량은 2.1-2.8ml/kg/min으로 연령에 따른 변화가 거의 없으며 혈류량이 결찰후에도 감소하지 않는 기전에 대해서는 혈관의 결찰이 불완전하였거나, 빠른 재혈관분포(revascularization) 또는 생화학적 변

화가 건조직에 일어나기 때문일 것이라고 설명하였다. 건조직의 구조적인 변화는 건의 partition coefficient의 현저한 변화와 중심부의 심한 피사를 동반한 구조적 변화 또는 건 조직이 비교적 적은 수의 세포로 생존가능하기 때문이라고 생각된다.

Lundborg와 Rank(1977)는 건 굴측부의 1/4에서 1/3까지 혈관분포가 부족하다고 하였으며 근위지절 관절부위에서의 굴측부의 혈관분포가 적은 부분은 약 1mm 정도의 깊이라고 하면서 건의 각 부분에 따라서 차이를 보인다고 하였다. 특히 활차와 접촉하는 부위에서 건이 압박력 (compression force)을 가장 많이 받으므로 혈관분포가 없는 건조직의 두께가 가장 깊다고 하였다.

본 실험의 정상대조군에서도 조직학상 굴측부의 1/4-1/3부위에서 건의 마찰부위(friction surface)에서 볼 수 있는 연골세포 모양의 세포들이 관찰되었으며 배측의 1/2이상되는 부위에서는 연골세포모양의 세포는 관찰할 수 없었다. 개방된 건손상에서 굴측부의 손상이 더 심하게 유발되는 기전도 synovial environment의 파괴에 의한 영양공급 차단 및 건조직의 건조증의 영향을 혈관분포가 적은 굴측부에서 노출손상과 함께 가중되어 받기 때문일 것으로 사료되었다.

건초는 활막의 2중구조로 내벽층 (visceral layer)을 건외막 (epitenon)이라고도 하며, 건외막은 얇은 활막세포로 구성되면서 1-2개의 세포층을 이루고 있다. 활막사이의 공간에는 활막세포에서 생성되는 활액이 있어서 건의 gliding기전에 필수적인 역할을 한다. 건초는 이외에도 건손상에 주위조직에서 육아조직의 침투를 막아주기도 하며, 활액의 확산작용에 의해서 건 자체의 영양공급에도 큰 역할을 하는 것으로 알려져 있다^{6,9)}.

Potenza(1962)는 건조직도 관절내의 연골이 활액을 통해 영양공급을 받는 것처럼 활액을 통해 영양분을 제공받한다고 하였다. Lundborg와 Rank(1977)도 굴곡건의 굴측부는 주로 활액의 확산에 의해 영양공급을 받는다고 하면서 가장 굴측의 건세포는 연골세포로 향하는 세포 분화 형태를 보인다고 하였다.

Manske등 (1978)은 원숭이, 닭, 토끼, 개를 이용하여 tritiated proline의 흡수를 이용하여 혈관을 통한 관류 (vascular perfusion)와 활액의 확산 (synovial diffusion)에 대한 상대적 중요성을 비교하여 모든 혈관분포가 차단된 상태

에서도 건의 segment는 확산에 의해 충분히 영양을 공급받으며, 이러한 확산작용은 혈액분포보다는 중요하며 더 빠르게 진행된다고 하였다. 즉 방사선 동위원소를 이용하여 능동적 건 운동을 시키면 건의 굴곡부에 많은 양의 동위원소의 농도증가를 보였으나, 수동적 운동은 별변화를 관찰할 수 없다고 하였다. 즉 건내에서의 용질 (solute)의 전달은 주된 기전에 능동적 확산이고, 굴곡건 힘줄이 생리학적으로 관절연골과 비슷하며, 활액으로부터의 확산경로가 건내로의 동위원소 전달에 중요한 역할을 하고 있으며, 건내부의 혈관분포는 거의 영향을 못 미치거나 없다고 하였다.

Manske(1978)등은 hydrogen washout 방법도 이용하여, 활액막이 붙어있는 건조직과 혈관손상이 없는 건조직에서 활액막 제거후 박편으로 건을 분리하고 실험한 두 실험군 사이에 hydrogen uptake와 decay의 차이가 없음을 보고하면서 건초의 영양공급을 강조하였다. 이러한 활액의 확산작용의 중요성은 fluorescing albumin을 토끼의 굴곡건 부위에 투여후, 이 물질이 건조직내로 확산되어가는 것을 실험해 보면 10분내에 건표면의 0.1mm두께까지 red fluorescence를 볼 수 있고, 30분안에 건전체 두께에 강한 fluorescence를 보이며 비교적 빠른 속도로 Ablumin particle의 침투능력을 관찰할 수 있다.

Peterson(1986)등은 원숭이를 이용한 실험에서 건초를 절개한 후에 건초를 봉합하고 연부조직을 봉합한 군과 건초를 완전히 제거해 내고 연부조직을 봉합한 군의 H³-proline의 uptake를 조사하였으나 두 실험군 사이에서 별 차이를 발견할 수 없었다. 즉 세포의 조직액만으로도 건자체의 영양공급 및 대사는 활액과 마찬가지로 일어나는 것으로 생각된다.

건의 봉합시에 건초를 봉합하는 것은 유착방지에는 도움을 주나 건자체의 영양공급이나 대사를 더 증가시키지는 않는 것으로 알려져 있다. 본 실험에서는 연부조직을 절개하였으므로 이러한 세포의 조직액에 의한 영향을 제거하였다.

본 실험에서는 노출손상 24시간후부터 synovial environment의 파괴에 의해서 활액의 확산작용에 손상을 입으므로 영양공급 차단 및 부종증의 소견을 볼 수 있으나, 배측의 혈관구조는 손상을 주지 않는 상태이므로 건 자체의 혈관분포는 노출초반에는 손상을 안 입게 되므로 주로 건의 굴측부에 손상을 받은 소견을 보이며, 주로 굴측의 중심부와 외측부에서 건세

포의 손상 및 건섬유 파괴의 소견을 조기에 관찰할 수 있었다.

건조직은 약 50%-60%의 수분을 포함하고 있으며, 이 수분은 교원섬유와 세포의 간질물질에 분포하고 있다. 건조직의 수분은 조직의 탄성을 유지하고 마찰없는 윤활작용에 커다란 역할을 하게 된다. 수분함량은 건을 고정하거나, 근육의 신경충상시에 약간씩 증가하는 소견을 보이며, 연령등에 따라서도 수분함량에 변화를 보이고 있다. 건조직의 수분함유기전은 확실히 알려져 있지 않으나 교원섬유에서 fibril의 겹치는 부위에 형성되는 공간내에 물분자로 존재하거나, 단백질 표면에 여러층의 비특이성 수소결합에 의해서 또는 helical구조에 수소결합의 inclusion상태로 존재한다고 하였다.

본 실험에서 collagen network이 노출초기에 fibril사이가 넓어지면서 건조직 자체가 부종을 띠는 것을 관찰할 수 있는 것은 건의 수분함량에도 변화가 와서 나타나는 결과로 생각된다¹⁾.

건세포는 성숙된 섬유아세포로 주로 collagen bundle사이에 종으로 평행하게 배열되어 있다. 세포체는 막대모양 또는 방추형이며 세포와 세포사이에 현저한 경계를 이루면서 분포한다. 세포질을 염기성 dye에 짙게 염색되고, 하나의 원형 핵을 갖고 있으면서 압박력을 받는 부위에는 연골세포모양의 건세포가 관찰되며 이러한 세포들은 주로 활액의 확산작용을 통해 영양공급을 받는 세포들이다.

Mitchell과 Shepard(1989)는 기간에 따른 가토 슬관절연골의 노출손상후에 나타나는 결과에서 연골세포의 괴사가 노출 2시간 전까지는 회복가능하다고 하면서 노출시간이 길어질수록 연골세포의 괴사가 천층에서 심층부로 확대되어 가는 것을 전자현미경으로 통해 관찰하였다.

본 전자현미경적 관찰에서는 노출손상 12시간부터 교원섬유의 해리와 동시에 건세포의 퇴행성 변화가 천층부에서 나타난 것을 전자현미경에서 관찰할 수 있었으며, 12시간 이전에 대한 변화는 실시치 않았다. 건조직의 더 이른 변화를 보기 위해서는 노출 후 수시간내에 변화를 다시 실험해 보아야 할 것으로 생각된다.

교원질은 수분이 없는 건조직의 약 86%를 차지하고 있으며 주된 구조는 glycine(33%) proline(13%)과 hydroxyproline(15%)이다. 교원질의 가장 기본적인 세포의 형태는 tropocollagen이며, 이것은 직경이 1.5nm이며 길이는 300nm이고 이들은 서로 lefthanded, helical 구조로 나선형으로 꼬여있게 된다. Tropocol-

gen은 fibril을 형성하고 fibril은 fascicle을 형성해서 특징적인 종적배열의 치밀한 bundle구조를 이루게 되어서 건의 장력(tensile force)에 저항을 갖게 한다.

건내 교원섬유의 fascicle은 loose areolar tissue에 의해 서로 연결되어 있으며, 이조직을 endotenon이라고 하며 이 구조가 collagen bundle의 장축에 따라 운동과 혈관, 임파관 및 신경등의 구조를 지지하는 역할을 하며, 탄성섬유도 4-6%정도 함유하게 된다. 건유부분에서는 탄성섬유의 함유가 70%까지 증가되어 있다.

본 실험에서도 탄성섬유를 endotenon부위에서 전자현미경상에서 관찰할 수 있었으며 이 부위의 교원섬유는 섬유배열이 불규칙하고, interfascicular cell도 정상 건세포와는 다르게 모양이 불규칙하고, 세포내에 많은 endoplasmic reticulum을 함유하고 있었다.

전자현미경상 교원섬유(collagen fibril)는 약 64nm의 periodicity가 있는 cross banding을 구성하는 미세분자들의 순서에 따라서 나타내고 있다. 4개에서 8개의 collagen molecule이 microfibril을 이루고 이것이 합쳐서 fibril을 이루는 것으로 여러종류의 조직처리 방법에 따라서 fibril의 helical구조, 표면등에 변화가 올 수 있다. filament의 두께는 2-20nm의 직경을 갖고 있으면서, 모여서 fibril을 형성하게 된다.

Lillie(1977)등은 건조직에 해리성 용매들이 작용하면 microfibril의 수소결합의 파괴를 초래해서 fibril에 구조변화를 일으키므로 실험결과에 영향을 미칠 수 있다고 하였다. 즉 용매에 따라 fibril의 해리(dissociation)와 fibril의 표면에 사선의 cleft등이 관찰될 수 있다고 하였다.

건섬유의 dimensional change는 물이나 phosphate buffer에 immersion시는 광학현미경으로 판단하기 어려운 정도의 제한된 swelling을 보이고 있으며, 미세절편에서 발견 가능한 정도였고, glutaraldehyde로 고정한 경우에는 별로 변화를 주지 않는다고 하였다²³⁾.

본 실험에서는 대조군에서의 변화를 기준으로 해서 교원섬유의 dimensional변화를 조사하여 교원섬유의 cross banding 및 interfibrillar space의 변화를 비교하였다. 건초를 포함하여 손상된 건에서 주로 초기의 변화를 주사 및 투시전자현미경을 이용하여 관찰하여 12시간부터 건초 및 교원섬유의 형태학적 변화를 인식할 수 있었으며, 3일 지난후부터의 주사 및 투시현미경 소견은 광학현미경 소견에서 관찰된 소견보다 커다란 도움을 주지 못하였다.

Collagen fibril의 형태가 오랫동안 유지가능한 기전은 잘 알려져 있지 않으나, 아마도 치밀한 구조, multiple hydrogen bonding, tropocollagen molecule사이의 staggering이나 cross-linking 때문으로 생각되며, 이러한 기전이 fibril의 morphological integrity를 유지하는데 중요한 역할을 하는 것으로 생각된다.

Collagen 대사에 관한 것은 비교적 알려져 있으나, 해부학적으로 밀접한 관계에 있는 proteopolysaccharide와의 관계에 대해서는 별로 알려져 있지 않다. 1876년 Flemming은 교원섬유의 bundle이 mucopolysaccharide, noncollagenous protein, very fine collagen fibril, 수분으로 구성된 세포간 간질물질로 싸여져 있다고 하였다. 이러한 mucopolysaccharide와 collagen의 복합체 형성은 electrostatic force에 의한 것이며, 결합비율에 따라 물리적인 성질등에 변화가 온다고 하였다. Weeks(1965)등은 창상의 초기 회복력은 collagen bundle과 acid mucopolysaccharide의 amalgamation에 의한다고 하였다. Jackson(1953)과 Edward와 Dunphy(1958)는 점성다당류가 cementing substance로 작용하여 chondroitin sulfate B, C와 함께 polypeptide의 interchain force에 의해 결합된다고 하였다.

본 실험에서 전자현미경소견상 polysaccharide의 type I, II particle을 fibril주위에서 관찰할 수 있었으나, particle의 파괴나 해리소견을 관찰할 수 없었다.

건의 치유이론에서 건세포는 섬유아세포의 성숙된 형태이므로 창상치유에 참여하는 것은 어려우므로 건 손상시에 회복에 관여하는 세포들은 건초 및 주위의 결합조직에서 이동해야 하며, 여기에는 반드시 혈액공급이 필요하게 된다는 paraaxial이론과, Lundborg와 Rank(1977)가 쥐의 슬관절강내에 굴곡건을 유리체로 넣어서 활액만을 통한 영양공급만으로도 건세포가 살아있고, 세포들의 증식이 일어났음을 보여주면서 건의 내적인 재생기전이 있음을 주장하는 axial이론, 즉 건의 천층부 세포뿐 아니라 내부 세포도 적절한 영양공급이 있으면 생존능력뿐 아니라 치유능력까지도 지니고 있다는 이론이 있다. 이외에도 두가지 기전이 동시에 작용한다는 주장도 있다.

본 실험에서는 육아조직 및 섬유조직의 형성이 주로 외부의 활액막과 결합조직에서부터 증식되어 들어오는 소견을 관찰할 수 있었다.

Kleinert(1973)와 Verdan(1960)은 건의 지연 일차봉합 시기는 수시간부터 3주까지의 넓은

범위를 보이고 있으며, 적절한 시기를 넘기면 절단 건의 근위부로 이동, 탄력성의 감소, 염증, 건 중심부의 괴사등으로 수술이 어렵다고 하였다.

본 실험에서 노출건의 시간경과에 따른 형태학적 변화를 관찰하여 적절한 치료시기를 정하고자 하였으며, 건초동반 손상의 창상에서는 3일이내에 실시하는 것이 좋을 것으로 생각되며, 건초구조가 손상을 받지 않은 군에서는 감염예방에 주의하면 늦은시기까지 건의 손상을 막을 수 있을 것으로 사료된다.

Lindsay와 Birch(1964), Farkas(1974)등은 닭의 굴곡건이 인간의 굴곡건과 근육, 골막, 건유를 통한 혈관 분포가 비슷하고 그중에서도 특히 3번째의 제일 긴 족지가 사람의 굴곡건과 가장 유사하다고 하여 실험대상으로 하였으나, 실제로 닭의 굴곡건의 실험결과를 인간에서 똑같이 기대하기는 어려울 것으로 사료되며, 창상부위의 정도, 창상치료 및 추후관찰 등에서도 많은 변수가 있으므로 앞으로는 영장류를 이용한 실험을 통한 재확인 작업이 필요할 것으로 생각된다.

결 론

닭의 굴곡근 힘줄을 이용한 노출손상후 시간의 경과에 따른 건조직의 형태학적 변화를 광학현미경, 주사 전자현미경 및 투시 전자현미경으로 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 건초손상과 함께 건조직이 노출된 경우는 전자현미경 관찰상, 손상후 12시간부터 교원섬유의 해리, 건세포 및 건초의 퇴행성 변화를 관찰할 수 있었다.

2) 광학현미경 관찰상 24시간이후부터 염증세포의 침윤이 시작되며, 3일부터는 초기의 육아조직 형성이 관찰되었다. 1주일후부터는 섬유화가 시작되어서 3주까지 성숙하게 진행되는 것을 관찰할 수 있었다.

3) 염증세포의 침윤, 육아조직 형상, 섬유화의 소견은 시간이 경과함에 따라 주로 굴곡의 중심부, 외측부에서 시작되면서 건전체로 확대되어가는 것을 알 수 있었다.

4) 건초의 손상이 없는 피부 및 피하조직이 결손된 굴곡근 힘줄의 손상은 주위의 육아조직의 성장에 의해 3일후부터 cover가 시작되며, 48시간 이후에는 건조직 자체의 변성을 관찰할 수 없었다.

상기한 결과로 미루어 노출손상의 정도에 따

라서 건의 치료시기에 변화가 있으며, 치료결과에도 중요한 영향을 미치는 것으로 건초를 포함하여 개방성 건손상을 받은 군에서는 3일 이내에 자연일차봉합술을 실시하는 것이 이상적이며 늦어도 1주일내에는 실시하여야 좋은 결과를 얻을 것으로 사료되었다.

참 고 문 헌

- 1) Birdsell, D.C., Tustanoff, E.R. and Lindsay, W.K.: *Collagen production in regenerating tendon. Plast. Reconstr. Surg.*, 37:504-511, 1966.
- 2) Brockis, J.G.: *The blood supply of the flexor and extensor tendons of the fingers in man. J. Bone and Joint Surg.*, 35: 131-138, 1953.
- 3) Caplan, H.S., Hunter, J.M. and Merklin, R. J.: *Intrinsic vascularization of flexor tendons. AAOS symposium on tendon surgery in the hand. p48-70, St. Louis, The CV Mosby Co., 1975.*
- 4) Edwards, D.A.W.: *The blood supply and lymphatic drainage of tendons. J. Anat.*, 80: 147-153, 1946.
- 5) Edwards, L.C. and Dunphy, J.E.: *Wound healing A. Injury and normal repair. New England J. Med.*, 259: 224-231, 1958.
- 6) Eiken, O., Lundborg, J.E. and Rank, F.: *The role of the digital synovial sheath in tendon grafting. Scand. J. Plast. Reconstr. Surg.*, 9: 182-109, 1975.
- 7) Farkas, L.G., Thompson, H.G. and Martin, R.: *Some practical notes on the anatomy of the chicken toe for surgeon investigators. Plast. Reconstr. Surg.*, 54:452-458, 1974.
- 8) Flemming, W.: *Beitrag zur anatomie und physiologie des bindegewebes. Archiv. Mikroskopische Anatome* 12:391-411, 1876.
- 9) Fujita, T., Inoue, T. and Kodama, T.: *Scanning electron microscopy of the normal and rheumatoid synovial membranes. Arch. Hist. Jap.*, 29:511-522.
- 10) Greenlee, T.K., Bedcham, C. and Pike, d.: *A fine struchtrual study of the development of the chick flexor digital tendon; a model for synovial sheathed tendon healing. Am. J. Anatomy*, 143:303-321, 1975.
- 11) Jackson, D.S.: *Chondroitin sulphuric acid as a factor in the stability of tendon. Biochem. J.*, 54:638-647, 1953.
- 12) Kleinert, H.E., Kutz, J.E., Atasoy, E. and Stormo, A.: *Primary repair of flexor tendon. Orthop. Clin. North Am.*, 4:865-877, 1973.
- 13) Landi, A.P., Altman, F.P. and Pringle, J.: *A. Oxidative enzyme activity in rabbit intrasynovial flexor tendons. I. Changes in enzyme activity of the tenocytes with age. J. Surg., Res.*, 29:276-284, 1980.
- 14) Linsay, W.K. and Birch, J.B.: *The fibroblast in flexor tendon healing. Plast. & Reconstruct. Surg.*, 34:223-232, 1964.
- 15) Lillie, J.H., Maccallum, D.K., Scaletta, L.J. and Occhino, J.C.: *Collagen Structure; Evidence for a helical organization of the collagen fibril J. Ultra. Res.*, 58:134-143, 1977.
- 16) Lundborg, G. and Rank, F.: *Experimental intrinsic healing of flexor tendons bases upon synovial fluid nutrition; a new aspect of the biology of tendon repair. J. Hand Surg.*, 2: 231-242, 1977.
- 17) Manske, P.R., Whiteside, L.A. and Lesker, P.A.: *Nutrient pathways to flexor tendons using hydrogen washout technique. J. Hand Surg.*, 3:32-36, 1978.
- 18) Matthews, P. and Richards, H.: *The repair potential of digital flexor tendons. J. Bone and Joint Surg.*, 56B:618-626, 1974.
- 19) Mayer, L.: *The physiologic method of tendon transplantation. Surg. Gyn. Obst.*, 22:298-311, 1916.
- 20) Mitchell, N. and Shepard, N.: *The deleterious effect of drying on articular cartilage. J. Bone and Joint Surg.*, 71A:89-95, 1989.
- 21) Peacock, E.E.: *A study of the circulation in normal tednons and healing grafts. Ann. Surg.*, 149:415-506, 1959.
- 22) Peterson, W.W., Manske, P.P. and Lesker, P.A.: *The effect of flexor sheath integrity on nutrient uptake by primate flexor tendons. J. Hand Surg.*, 11A:413-416, 1986.
- 23) Potenza, A.D.: *Tendon healing within the flexor digital sheath in the dog. J. Bone and Joint surg.*, 44A:49-64, 1962.
- 24) Schmidt, D. and Mckay, B.: *Ultrastructure of human tendon sheath and synovium implications for tumor histogenesis. Ultrastruc.*

- Pathol.*, 3:269-283, 1982.
- 25) Smith, J.W.: *Blood supply of tendons. Am. J. Surg.*, 109:272-276, 1965.
- 26) Verdan, C.E.: *Primary repair of flexor tendons. J. Bone and Joint Surg.*, 42:647-657, 1960.
- 27) Weeks, P.M.: *Collagen turnover and reorganization in secondary wounds. Surgical Forum.*, 16:475-489, 1965.
- 28) Young, H. and Weeks, P.M.: *Profundus tendon blood supply within the digital sheath. Surgical Forum.*, 21:504-519, 1971.