

절단된 토끼 아킬레스힘줄의 시간 경과에 따른 수술 및 비수술 치료후 생역학적 특성 및 형태 비교

동아대학교 의과대학 정형외과학교실, 연세대학교 의과대학 정형외과학교실*

김 성 수 · 김 남 현*

— Abstract —

A Comparison of Biomechanical Characteristics and Morphologies between Operative and Nonoperative Treatments of Tenotomized Rabbit Achilles Tendon over Lapse of Time

Sung-Soo Kim, M.D. and Nam-Hyun Kim, M.D.*

*Department of Orthopaedic Surgery, College of Medicine,
Dong-A University and Yonsei University**

The treatment of Achilles tendon rupture is controversial between surgical repair and conservative cast treatment.

This study was attempted to compare the biomechanical and morphological results between operative and nonoperative treatments of experimentally tenotomized rabbit Achilles tendon with the lapse of time.

A total of 72 adult rabbits were used. After tenotomizing the Achilles tendons, the subjects were divided into 3 groups according to the time of the initiation of the treatment and each group was subdivided into 2 further subgroups according to the method of treatment; immediate operation and non-operation, 1 week delayed operation and nonoperation, and 2 weeks delayed operation and nonoperation subgroups.

Ten animals from each subgroup were sacrificed after four weeks of cast immobilization and the Achilles tendons were prepared for the gross, biomechanical and histological examinations. At the same time, two animals from each subgroup were examined by Microfil perfusion for microvascular changes in the healed tendons.

* 통신저자 : 김 성 수

부산시 서구 동대신동 3가 1번지
동아대학교 의과대학 정형외과학교실

* 본 논문의 요지는 제 38차 대한정형외과학회 추계학술대회에서 구연 발표되었음.

On biomechanical examination, maximal loads were decreased with the lapse of time in each treatment method, and there were statistical significances between the immediate and 2 weeks delayed operation subgroups, 1 week and 2 weeks delayed operation subgroups, and immediate and 2 weeks delayed nonoperation subgroups. A maximal loads were higher in the operative treatment of each group but there was no statistical significances between operative and nonoperative treatment of each group. The results of absorption energy and stiffness were similar to those of maximal load.

In conclusion, these results suggest that a rupture of the Achilles tendon should be treated as early as possible preferably within 1 week, in order to achieve a high tensile strength irrespective of the treatment method. In terms of rerupture, nonoperative treatment is comparable with surgical treatment if a rupture of Achilles tendon is managed within 2 weeks of injury.

Key Words: Achilles tendon rupture, Time lapse, Operative and nonoperative treatment.

서 론

현재 아킬레스힘줄 파열시 치료방법에는 수술 방법과 비수술 방법이 논란되고 있다. 과거에는 아킬레스힘줄 파열시 일반적으로 수술 방법이 적용되어 왔으나 1970년대 초반부터 석고붕대 고정만으로 수술 방법과 대등한 결과를 가져 올 수 있다는 주장이 동물실험과 임상경험을 통하여 대두되었다. 수술을 선호하는 사람들은 아킬레스힘줄 파열의 수술 치료와 비수술 치료를 비교하여 수술 치료 결과가 더 좋다고 하여 "아킬레스힘줄 파열은 반드시 그리고 지체없이 수술하여야 한다"라고 한 Quénu와 Stoianovitch²⁹⁾의 주장을 흔히 인용한다. 그 이후로도 수술 치료가 비수술 치료보다 결과가 우수하다는 보고가 많았다^{14, 38, 39)}.

반면에 동물실험^{6, 20, 21)} 및 임상에서 관찰한 결과^{4, 32, 33)}, 아킬레스힘줄은 자연 치유되어 아킬레스힘줄 파열시 석고붕대고정 치료로도 만족스러운 결과를 얻을 수 있어 여러가지 합병증이 생기는 수술 치료가 필요없다는 임상 보고가 나오기 시작하였다^{12, 19, 28)}.

수술 치료를 주장하는 학설들은 비수술 치료에서 높은 재파열율을 단점으로 지적하고, 비수술 치료를 선호하는 주장은 수술 치료에서 동반되는 마취의 위험, 정맥혈전, 폐색전, 피부 및 힘줄의 괴사, 창상감염 등의 여러 합병증을 단점으로 지적하고 있다.

이미 발표된 여러 보고를 취합한 결과에서 나타난 재파열율은 587례의 수술 치료에서 2.2%, 229례의 비수술 치료의 경우 17.9%로서 비수술 치료시 재파열율이 높지만, 수술 치료시에는 피부나 힘줄의 괴

사같은 중요한 합병증이 12.3%, 창상 감염과 신경손상등의 경미한 합병증이 19.4%로서 재파열을 제외한 합병증은 수술 치료에서 많은 비율을 차지함을 알 수 있다. 그러나 치료시점을 고려한 첫 임상보고는 수상후 48시간이내의 조기치료에서는 비수술 치료가 수술 치료보다, 48시간 이후의 지연치료에는 수술치료가 비수술치료보다 재파열율이 낮다고 보고하고 있다³⁾.

아킬레스힘줄 파열 치료후 족저 굴곡력(plantar flexion power)에 관해서도 비수술 치료와 수술 치료의 결과가 비슷하다는 보고^{12, 28)}와 비수술 치료 결과가 수술에 비해서 떨어진다는 보고^{14, 15)}로 서로 다르다. 그러나 비수술 치료에서 족저 굴곡력이 떨어진다는 보고는 치료가 지연된 경우에 해당하는 것으로 수상후 48시간이내에 시행되면 수술 치료의 결과와 유사하며, 1주일이상 지연된 경우 비수술 치료를 하면 족저 굴곡력이 떨어지므로 이때는 수술 치료가 좋다는 주장⁵⁾이 제기되었다. 그에 반해서 수상후 3주 및 4주 지연되어 비수술 치료를 하여도 증상, 보행, 족관절 운동 범위 그리고 활동적인 운동에 복귀할 수 있는 능력 등의 관점에서 좋은 결과를 얻었다는 보고도 있다¹²⁾.

이와 같이 많은 연구 보고를 종합하면 아킬레스힘줄 파열 치료의 최근 추세는 초기에는 비수술 치료를 시행하고, 치료가 지연된 경우에는 수술 치료를 시행하는 것이 일반적인 것으로 보인다. 한편 아킬레스 힘줄이 파열되어도 비굴근과 장족지 굴곡근의 작용으로 족저 굴곡이 가능하므로 초진시 약 25%에서 진단되지 못하여 치료가 지연되는 경우가 적지 않다³⁴⁾. 이런 경우 조기 치료와 지연 치료의 명확한 구

분이 없어서 많은 임상자들은 시간적으로 비수술 치료 방법을 언제까지 시행할 수 있을 것인지, 또한 비수술 치료후 재파열율이 높지 않을 것인지에 대한 확실한 정보가 없어 의구심을 가지고 있다.

이 연구의 목적은 치료시기에 따라 수술과 비수술 치료 방법간의 생역학적 특성 및 형태에 차이가 있는지 알아보는 데 있다.

연구대상 및 방법

1. 연구 대상

가. 실험동물

실험동물로는 체중 2.0kg - 2.5kg의 건강한 성숙 토끼를 사용하고 실험동물은 실험 1주일전부터 동일한 온도와 습도의 사육실에서 동일 배합사료(신촌사료주식회사, 김포군, 경기도)로 사육하여 환경에 적응시켰다.

나. 실험군

실험군은 우측 아킬레스힘줄을 절단한 후 치료시기에 따라 즉시, 1주일 지연 및 2주일 지연의 3군으로 대별하고 각군을 수술 치료소군(A소군)과 비수술 치료소군(B소군)으로 나누었다. 실험동물은 총 72마리로 각군에 24마리, 각 소군에 12마리씩 배정하였으며, 각 실험동물의 우측 아킬레스힘줄을 치료대상으로 하였고 치료하지 않은 좌측 아킬레스힘줄을 정상대조로 이용하였다.

제 1군 : 즉시 치료군

- 제 1 A 소군 : 수술 소군
- 제 1 B 소군 : 비수술 소군

제 2 군 : 1주일 지연 치료군

- 제 2 A 소군 : 수술 소군
- 제 2 B 소군 : 비수술 소군

제 3 군 : 2주일 지연 치료군

- 제 3 A 소군 : 수술 소군
- 제 3 B 소군 : 비수술 소군

2. 방법

가. 치료 방법

실험 동물은 Pentobarbital Sodium(Entobar®)을 체중 kilogram당 약 20mg씩 정맥 주사하여 마취시킨 후 일반적인 수술시의 처치와 조작하에 우측

하퇴부 후측을 삭모하고, 아킬레스힘줄 종지부의 근위 5cm에서 종지부까지 힘줄 주행을 따라 피부와 힘줄집(tendon sheath)에 종절개를 시행하고 아킬레스힘줄을 노출하였다. 아킬레스힘줄 종지부의 약 2cm 근위부에서 아킬레스힘줄을 예리하게 완전 횡절단 하였다.

즉시 치료군(1군)의 수술 치료소군(1A소군)에서는 절단후 바로 우측 아킬레스힘줄을 3-0 nylon을 이용하여 1개의 Kessler변법(modified Kessler method)과 2개의 단순 연봉합(simple marginal suture)을 병합한 힘줄봉합술을 시행한후 힘줄집을 3-0 chromic catgut, 피부를 5-0 nylon으로 봉합하였으며, 비수술 치료소군(1B소군)의 우측 아킬레스 힘줄은 힘줄 봉합을 하지 않았으며 힘줄집은 3-0 chromic catgut으로 봉합하고 5-0 nylon으로 피부를 봉합한 후, 각 토끼의 우측 뒷다리를 슬관절은 90° 굴곡, 족관절은 완전 족저 굴곡시킨후 서혜부에서 족지까지 섬유유리재질 캐스트(fiberglass cast; 상품명 Delta-Lite)를 시행하였다.

힘줄 절단후 1주일 지연 치료군(2군)에서는 힘줄 절단후 즉시 1B소군과 같이 힘줄집과 피부를 봉합하였고, 수술후 6일까지 우리(cage)내에서 자유 활동을 시켰으며 7일째에 2A소군의 우측 아킬레스힘줄은 같은 방법의 마취하에 육아조직을 제거하고 1A소군에서와 같은 방법으로 힘줄을 단단봉합, 힘줄집 봉합과 피부봉합후 캐스트를 시행하였고, 2B소군의 우측 아킬레스힘줄은 처치없이 우측 뒷다리를 1군에서와 같이 캐스트를 시행하였다.

힘줄 절단후 2주일 지연 치료군(3군)에서도 2군에서와 같이 즉시 힘줄집과 피부를 봉합하였고, 수술후 13일까지 우리내에서 자유활동을 시킨후, 2주째에 3A소군의 우측 아킬레스힘줄은 같은 방법의 마취하에 육아조직을 제거하고 힘줄을 단단봉합, 힘줄집봉합과 피부봉합후 캐스트를 시행하였고, 3B소군의 우측 아킬레스힘줄은 아무런 처치 없이 1군과 같이 캐스트를 시행하였다.

수술후 세균 감염을 방지하기 위하여 수술중에 항생제(cephazolin)를 토끼에게 200mg씩 근육 주사하였다.

나. 육안 관찰

각 소군에서 Microfil 관류를 이용한 미세혈관 관

찰을 위하여 임의로 2마리씩 제외하고 나머지 10마리씩의 실험동물을 캐스트 시행 4주후 희생시켰다. 희생후 아킬레스힘줄 주변의 힘줄주위 조직을 주의깊게 박리하여 양측 아킬레스힘줄 복합체를 절제한 후 우측 아킬레스힘줄을 육안으로 관찰하였다. 아킬레스힘줄의 근위 및 원위 절단부 사이의 길이 즉, 치유 조직의 길이를 촉감 및 육안으로 확인한 후 캘레퍼스자(calipers rule)로 정밀하게 측정하였다. 측정치는 비모수 통계 검정 방법인 Mann-Whitney U-test를 사용하여 동일군에서 소군간 및 동일 소군에서 각 군간의 통계적 차이를 알아보았다.

다. 생역학적 검사

육안 검사를 한 우측 아킬레스힘줄 복합체와 정상대조를 위한 각군의 좌측 아킬레스힘줄 복합체를 식염수를 적신 거즈로 싸서 공기가 통하지 않는 비닐 주머니에 넣은 후 2시간내에 생역학적 검사를 시행하였다. 생역학적 검사는 Instron Materials Testing Machine(Model 6022, Instron Co, Buckinghamshire, England)을 이용하여 0.85cm/sec 속도로 단축장력하중(uniaxial tensile loading)을 걸어 최대하중(maximal load), 흡수에너지(absorption energy), 강성(stiffness)을 Instron에 연결된 개인용 컴퓨터에 의하여 측정하였다³⁶⁾. 인장 검사는 동일한 환경에서 시행하였으며, 상부 고정장치에 먼저 시편(specimen)을 고정하고 꼬이거나 느슨하지 않게 자연스러운 위치에서 하부 고정장치에 고정하였으며¹⁷⁾, 고정장치간의 간격은 3cm로 일정하게 하였고 실험 도중 검사표본이 마르지 않게 하였다. 실험으로 얻어진 최대하중, 흡수에너지 및 강성의 계측치는 비모수 통계 검정 방법인 Mann-Whitney U-test를 사용하여 동일군에서 소군간 및 동일소군에서 각군간의 통계적 차이를 알아 보았다.

라. 조직학적 검사

생역학적 검사를 마친 힘줄 절단후 치유된 조직 절편을 통상의 방법에 따라 10% 중성 포르말린 용액에 고정, 수세, 파라핀 포매과정을 거쳐서 5 μ m 두께로 박질하여 일반적인 조직학적 변화를 보기위한 hematoxylin-eosin(H-E) 염색, 힘줄 치유과정에서의 신생혈관 생성 및 교원질 생성정도를 보기 위한 Masson-trichrome 염색을 시행하였다. 광학현미경으로 실험소군간 치유조직의 성숙정도를 비교해

보았다.

마. Microfil 관류를 이용한 미세혈관 관찰

각 소군에서 Microfil 관류검사를 위하여 제외된 2마리씩 총 12마리를 캐스트 시행 4주후 동일한 마취 방법으로 마취시킨후, 양측 대퇴동맥내로 Microfil (Canton Bio-Medical Products Inc, Boulder, COLO, U.S.A.)을 5ml씩 주입한 다음 바로 희생시켰다.

아킬레스힘줄 주변의 힘줄주위 조직을 주의깊게 박리하여 양측 아킬레스힘줄 복합체를 절제하여 10% 포르말린에 14일간 고정하고, Schaper 방법³⁹⁾에 의해 조직 투명화(tissue clearing)를 시행하여, 투과조명 및 축조명하에서 미세혈관의 평면 및 입체적 변화를 관찰하였으며, 각 실험소군간의 신생 혈관 생성 정도를 비교하였다.

결 과

1. 육안 소견

1군에서는 절단부위를 찾기 어려울 정도로 정상 아킬레스힘줄에 가깝게 치유되는 것을 볼 수 있었으며 치유부위는 1A소군이 1B소군보다 짧은 경우가 많았다(Fig. 1, 2). 2군에서는 절단부위의 구분이 1군과 3군의 중간 정도로 되었으며 치유부위는 2A소군이 2B소군보다 짧은 경우가 많았다. 3군에서는 1, 2군에 비해서 절단부위를 가장 쉽게 찾을 수 있었으며 치유 부위의 굵기는 3A소군이 3B소군보다 짧은 경우가 많았다.

치유조직의 길이는 1A소군에서 평균 3.2mm로 가장 짧았고, 3B소군에서 평균 13.9mm로 가장 길었다. 동일 군내에서는 모든 경우 A소군이 B소군보다 통계적으로 유의한 차이($P < 0.01$)를 보이는 낮은 수치를 보였다. 동일 치료소군에서 보면 지연 치료일수록 높은 수치를 보였으며 각 치료소군에서 모든 군간에 통계적으로 유의한 차이($P < 0.05$)를 볼 수 있었다(Table 1).

2. 생역학적 소견

가. 최대하중

각 군 정상대조군의 최대하중간에는 Table 2에서와 같이 통계적 차이가 없었으며($P > 0.05$) 모든 소군

에서 정상대조군에 비해 최고 80.9% (1A소군)부터 최소 56.6%(3B소군)로 낮은 수치를 볼 수 있었으며 통계적으로 유의한 차이가 있었다($P<0.05$). 치료 방법에 무관하게 1군에서 3군으로 갈수록 최대하중이 낮아졌으며 그 중 1A소군과 3A소군, 2A소군과 3A소군 및 1B소군과 3B소군간에는 통계적으로 유의한 차이를 볼 수 있었다($P<0.01$). 그러나 각 군에서 A,B 소군의 수치는 모든 군에서 A소군이 B소군보다 높았지만 통계적으로 차이는 없었다($P>0.05$).

Fig. 1. Gross finding of the Achilles tendon which was operated immediately after the tenotomy and then casted for 4 weeks. The healing tissue marked by the arrows is short and similar to normal tissue in the width.

나. 흡수에너지

Table 3에서 나타난 바와 같이 흡수에너지는 각 정상대조군간의 통계적 차이가 없었다($P>0.05$).

최대하중의 결과와 비슷하게 모든 소군에서 정상대조군에 비해 80.4%(1A소군) - 53.3%(3B소군)로 낮은 수치를 볼 수 있었으며 통계적으로 유의한 차이가 있었다($P<0.05$). 모든 군에서 A소군 값이 B소군 값보다 높았지만 통계적 차이는 없었으며($P>0.05$), 어느 치료방법에서나 1군에서 3군으로 갈수록 흡수에너지가 낮아졌고 1A소군과 3A소군간에는 통계적으로 유의한 차이를 볼 수 있었다($P<0.05$).

다. 강성

Table 4에서 나타난 바와 같이 각 정상대조군간의 통계적 차이는 없었다($P>0.05$). 모든 소군에서 정상대조군에 비해 최대하중과 흡수에너지의 결과보다 낮은 71.2%(1A소군) - 50.6%(2B소군)로 통계적으로 유의한 차이가 있었다($P<0.01$). 모든 군에서 A소군 값이 B소군 값보다 높지만 통계적 차이는 없

Fig. 2. Gross finding of the Achilles tendon which was treated with cast immediately after the tenotomy for 4 weeks. The healing tissue marked by the arrows is longer and thinner than that of the operation.

Table 1. Lengths of the healed tissue of Achilles tendons according to the time of the initiation of treatment and the method of treatment.

Group\subgroup	Operation subgroup*(A)	Nonoperation subgroup*(B)
Immediate Tx Group(1)	3.2±1.1 †, ‡	4.9±1.6 ‡
1 week delayed Tx Group(2)	5.0±0.9 †, -	10.2±4.2-
2 weeks delayed Tx Group(3)	7.5±2.1 †	13.9±4.4

* : Mean and standard deviation.

Values given as the millimeter.

† : Significantly different than the nonoperation subgroup of the same group($p<0.01$).

‡ : Significantly different than the 1 week delayed group and 2 weeks delayed group of the same subgroup ($p<0.05$).

- : Significantly different than the 2 weeks delayed group of the same subgroup($p<0.05$).

었으며 ($P>0.05$), A소군에서는 1군에서 3군으로 갈 수록 강성이 낮아지며 B소군에서는 3B소군이 2B소군보다 높은 수치를 보였지만 모두 통계적인 차이는 없었다 ($P>0.05$).

3. 조직학적 소견

전 실험군에서 절단된 힘줄의 치유조직은 정도의 차이는 있으나 현미경적으로 힘줄 교원섬유의 연속성과 규칙적 배열을 보여 수복되었음을 암시하였으며 정상대조군에 비해 단위면적당 섬유모세포의 수가 많고 신생모세혈관의 증식이 뚜렷하였다 (Fig. 3).

치유조직이 미성숙할수록 섬유모세포의 핵이 다소 커지며, 수가 많고, 세포간 교원섬유의 성숙도도 떨어지는 것이 Trichrome 염색에서 분명하였다. 아울

러 신생모세혈관이 많으며 일부에서는 모세혈관 주위에 염증세포 침윤도 남아 있었다.

수술소군과 비수술소군간의 치유조직 성숙정도는 평균적으로 수술소군에서 낮았으며, 수술소군의 성숙정도는 치료가 지연될수록 낮아졌고 비수술소군의 성숙정도는 세 소군에서 비슷하였다. 모든 소군간의 성숙정도는 2주일 지연 수술소군에서 가장 낮았고, 1주일 지연 수술소군, 즉시 수술소군, 비수술소군 순으로 낮았다 (Fig. 4).

4. Microfil관류를 이용한 미세혈관 소견

정상대조군에서는 미세혈관의 직경 및 분지 형태가 일정하고 규칙적이며, 굵은 혈관으로부터 보다 가는 혈관이 일정한 간격을 두고 분지하는 것이 분

Table 2. Maximal loads of the Achilles tendons according to the time of the initiation of treatment and the method of treatment.

Group/subgroup	Normal control*	Operation subgroup*(A)	Nonoperation subgroup*(B)
Immediate Tx Group(1)	154.80 ± 24.68	125.28 ± 24.46+	105.53 ± 11.80+
1 week delayed Tx Group(2)	160.93 ± 19.31	112.28 ± 14.73+	98.30 ± 20.18
2 weeks delayed Tx Group(3)	146.79 ± 26.12	86.15 ± 17.19	83.02 ± 16.88

* : Mean and standard deviation.

Values given as the Newton.

+ : Significantly different than the 2 weeks delayed group of the same subgroup ($p<0.01$).

Table 3. Absorption energies of the Achilles tendons according to the time of the initiation of treatment and the method of treatment.

Group/subgroup	Normal control*	Operation subgroup*(A)	Nonoperation subgroup*(B)
Immediate Tx Group(1)	0.46 ± 0.06	0.37 ± 0.08+	0.31 ± 0.08
1 week delayed Tx Group(2)	0.46 ± 0.07	0.35 ± 0.10	0.30 ± 0.10
2 weeks delayed Tx Group(3)	0.45 ± 0.08	0.27 ± 0.09	0.24 ± 0.06

* : Mean and standard deviation.

Values given as the Joule.

+ : Significantly different than the 2 weeks delayed group of the same subgroup ($p<0.05$).

Table 4. Stiffnesses of the Achilles tendons according to the time of the initiation of treatment and the method of treatment.

Group/subgroup	Normal control*	Operation subgroup*(A)	Nonoperation subgroup*(B)
Immediate Tx Group(1)	31.58 ± 6.55	22.47 ± 5.01	19.30 ± 3.25
1 week delayed Tx Group(2)	32.49 ± 5.79	20.35 ± 4.16	16.43 ± 2.75
2 weeks delayed Tx Group(3)	32.56 ± 6.99	18.35 ± 3.22	17.51 ± 2.88

* : Mean and standard deviation.

Values given as the Newton/millimeter

명하였다. 또 분지된 혈관간 상호연결은 거의 없었으며 주행방향은 대부분 직선으로 일정하였다(Fig. 5).

모든 실험소군의 치유조직에서는 신생혈관의 불규칙한 배열 및 염전이 두드러져 혈관의 굵기 차이가 심하고 서로 많은 부위에서 연결되어 그물같은 구조

를 취하였다. 이와 같은 혈관의 불규칙한 모양, 배열 및 주행은 즉시 수술과 비수술 소군 보다 지연 수술 소군에서 좀 더 심한 경향을 보였다(Fig. 6).

고 찰

아킬레스힘줄 파열은 흔히 종골 중지부의 2-6cm 상방에서 일어나는데, 그 이유는 이부분이 상대적인 저혈지역으로서 미세한 손상이 반복되어 퇴행성 변화가 일어나며, 노화로 인한 교원질 교차결합(cross-linking)의 변화로 힘줄의 점탄성(viscoelasticity)이 감소하여 응력(stress)에 견디지 못하기 때문이라고 설명하고 있다. 또한 동일한 응력에서 사람에 따라 아킬레스힘줄 파열여부의 차이가 있는 것은 계속적인 운동으로 인한 효과적인 교원질 교차결합 유지, 혈액공급, 유전적 소인, 성장인자 등이 관여하기 때문이라고 한다^{3,18,30}.

아킬레스힘줄 파열의 진단은 파열부 촉진, 장단지 압박검사, 주사침 검사, 혈압계검사, 발끝으로 설 수 있는 능력 검사 및 연부조직 방사선 촬영 등의 여러 가지 검사방법이 있지만 검사 시기가 지연된 경우에는 육아조직이 파열간격에 차서 파열이 없는 것으로 잘못 판단될 수 있다. 또한 초기에도 비골근과 장족지굴근의 작용으로 족저굴곡이 가능하므로 진단을 잘못하는 수가 적지 않으며 오진율은 18%-25%에 이른다고 한다^{5,14,34}.

Fig. 3. Hematoxylin-eosin stainings ($\times 100$) of the normal tendon(A) and the healed tendon of the immediately non-operation subgroup(B).

(A) Fibroblasts are distributed evenly and the orientation of collagen fibers is wavy and unidirectional.

(B) There are increased numbers of fibroblast and capillaries.

Fig. 4. Hematoxylin-eosin stainings ($\times 100$) of the healed tendons of the 1 week delayed operation subgroup(A) and the 2 weeks delayed operation subgroup(B).

(A) There are increased numbers of fibroblast and relative immature collagen formation.

(B) There are prominent fibroblasts and inflammatory cells, and decreased collagen formation.

Fig. 5. Microvessels of the normal tendon by Microfil perfusion(A: Transillumination $\times 40$, B: Epi-illumination $\times 40$).

Regular tapering and straight direction of microvessels are noted.

Fig. 6. Microvessels of the healed tendon of the 2 weeks delayed operation subgroup by Microfil perfusion(A: Transillumination $\times 40$, B: Epi-illumination $\times 40$).

Irregular, tortuous microvessels with many connections make a net-like appearance.

동물에서 아킬레스힘줄의 자연 치유잠재력은 Lipscomb과 Wakim^{20,21)}이 쥐에서, Conway 등⁶⁾이 토끼에서 시행한 실험에서 아킬레스힘줄을 절제했을 때 조직학적으로 거의 정상에 가까운 성숙된 교원질 조직이 재형성되는 것을 보고함으로써 증명되었다. Reynolds 등³¹⁾은 정상 성숙 닭의 심부 굴곡힘줄을 부분파열시킨후 봉합 및 비봉합 두 방법으로 치료한 결과 비봉합군의 강도가 봉합군의 강도보다 현저히 높음을 보고하면서 힘줄 봉합이 생물학적 정상치유 과정을 지연시킨다고 주장하였으며, Lea와 Smith¹⁹⁾도 사람의 아킬레스힘줄 부분 파열에서 보존 치료가 더 좋다고 주장하였다. Savill³³⁾은 아킬레스힘줄과 피부의 완전파사가 일어난 환자에서 12주간의 석고붕대 고정후 힘줄 재생이 이루어 졌다고 보고하였다. 이와같은 임상경험과 동물실험을 기초로 아킬레스힘줄 파열 환자에서 비수술 방법을 사용하기 시작하였고, Lea와 Smith¹⁹⁾의 발표후 비수술 치료가 보편화 되었다. 비수술 방법의 옹호론자들은 통원치료가 가능하고, 수술 및 마취등의 합병증과 외관상 반흔 형성을 피할 수 있으며, 경제적이고 치료결과도 만족스럽기 때문에 수술 방법보다 좋다고 주장하지만, 수술 방법의 옹호론자들은 비수술 방법의 단점으로 재파열율이 높고 족저굴곡력이 약화되는 것을 들고 있으며, 수술후 합병증도 최근 보고에서는 감소하고 있고²³⁾, 또한 수술과 비수술 치료의

장점만을 취합하여 외고정기구²⁶⁾나 섬유소 접착제¹⁾를 이용한 치료를 소개하고 있으며, 동물실험으로 수술 후 조기에 고정을 제거하면 초기 장력이 증가되고 근섬유 위축도 빨리 회복된다고 보고하고 있다^{8,22)}.

1980년까지 보고된 재파열율을 종합하여 보면 수술 치료시 2-3%, 비수술 치료시 10-30%로 비수술 치료에서 훨씬 높지만, Nistor²⁸⁾에 의하면 수술 치료에서 4.4%, 비수술 치료에서 8.3%의 재파열율로 차이가 감소되었으며 비수술 치료의 재파열율을 낮추기 위해서는 석고붕대로 6주간 고정하고 그후에는 보조기를 착용하여 약한 힘줄을 보호하여야 한다고 주장하였다. Carden 등⁵⁾에 의하면 48시간 이내의 조기치료의 경우 수술치료에서 3.9%, 비수술 치료에서 1.3%, 48시간 이후의 지연치료의 경우 수술 치료에서 0%, 비수술 치료에서 7.1%의 재파열율을 보고하면서 치료시점의 중요성을 강조하였다.

이번 연구에서 동일한 치료시기에 수술 치료와 비수술 치료 결과를 비교하면, 치유조직 길이는 비수술 치료한 경우에서 수술한 경우보다 통계적으로 유의하게 길었다. 최대하중, 흡수에너지 및 강성은 수술 치료가 비수술 치료보다 약간 높은 수치를 보였지만 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 치유조직의 조직학적 성숙정도는 전체적으로 비수술 치료에서 수술 치료보다 높았다. 즉 2주까지 치료가 지연되어도 동일한 시점에 치료한다면, 비수술 치료결과가 수술 치료에 비해 치유 조직은 평균 1.7-6.4mm 길어 지지만, 생역학적 인장 특성은 차이가 없을 것으로 생각된다.

족저 굴곡력에 대한 수술과 비수술 비교 보고를 보면 수술이 정상의 75%-101%이며 비수술은 정상의 65%-73%이므로 수술이 좋다는 보고^{14,15,37)}와 수술이 정상의 83%-94%, 비수술은 정상의 79%-80%이므로 비수술이 수술에 비해서 나쁘지 않다는 보고^{12,28)}로 나뉘어 있다. 또한 비복삼두근의 중요성에 대한 보고도 기능저하가 경미한 장애를 초래한다는 보고^{4,25)}와 비복삼두근은 슬관절 및 족관절의 안정성을 유지하고, 입각기(stance phase)에 거골에 대한 경골의 전방 회전을 막아 주고 보행시 에너지를 절약하여 보행에 중요한 기능을 하고 있다는 보고³⁵⁾로 서로 다르다. 이 연구에서도 치유조직의 길이가 치료방법에 상관없이 시간이 지연될수록, 또한 동일한 치료시기에는 비수술치료 방법에서 더욱 길어지

므로, 이차적으로 비복삼두근육의 수축이 오고, 만약 휴지기의 근섬유 길이보다 짧게 수축되면 근육의 장력이 감소하여 족저 굴곡력의 감소를 초래할 것으로 추정되지만, 어느 정도이상 치유조직의 길이가 늘어나면 족저 굴곡력의 감소가 오는지 알수 없었다.

Mortensen 등²⁴⁾의 보고에 의하면 아킬레스힘줄 파열 환자에서 수술후 고정에도 불구하고 7주후 봉합부가 평균 10.5mm 늘어나며, 봉합부의 늘어난 정도와 족관절 운동범위, 족저 굴곡력 사이에 의미있는 상관관계가 없다고 하였는데, 이번 연구의 수술 소견들은 4주후 봉합부가 평균 3.2-7.5mm 늘어나 낮은 수치를 보였지만, 이것은 토끼와 사람의 차이와 기간의 차이 때문으로 생각된다.

힘줄은 장력에 대하여 점성체와 탄성체의 성질을 모두 갖는 점탄성 물체(viscoelastic material)이므로 시편의 길이나 신장속도의 변화에 의해 최대하중, 흡수에너지, 강성 등의 생역학적 변수가 변할 수 있다. 시편의 길이가 짧을수록 최대하중이 증가하고¹³⁾, 또한 신장속도가 2.5-25% strain/min 이상에서는 속도 의존적 성질의 변화가 상한점에 도달하여 생역학적 변수의 변화가 없으므로²⁾ 이 연구에서는 시편의 길이는 3cm, 신장속도는 0.85cm/sec(28% strain/sec)로 일정하게 하였다.

토끼 아킬레스힘줄의 혈관은 힘줄외막(epitenon)에 분포하는 힘줄외 혈관계와 힘줄내 혈관계로 나뉘며 이들 간에는 서로 연결이 있으며²⁷⁾, 힘줄 치유조직의 섬유모세포는 절단 힘줄 자체보다는 주로 힘줄 주위 조직에서 기원한다고 하고⁷⁾, 힘줄 치유조직의 혈관이 생기는 과정은 손상후 2-3주 사이에 주로 힘줄외 혈관계가 담당하여 일어나고, 시간이 지날수록 미세혈관이 증가한다고 한다^{10,11)}. 이 연구에서 수술로 치료하였을때 치료까지의 시간이 지연될수록 치유조직 길이는 길어지며, 인장 특성 검사에서도 강도가 떨어지고, 조직학적 검사에서 성숙정도가 낮아졌다. Microfil검사에서도 치료가 지연될수록 상대적으로 가는 혈관보다 굵은 신생혈관이 불규칙하게 많음을 관찰할 수 있었다. 즉 지연수술의 경우 절단 부위가 육아조직으로 차서 늘어난 상태로 치유되고, 주위 조직과 유착되어 있으며 비복삼두근이 수축되어 있으므로, 단단 봉합을 위하여서는 육아조직 절제 및 광범위한 유착 유리술이 필요하다. 또한 지연

수술의 경우 힘줄집 봉합도 용이하지 않기 때문에 생역학적 검사상 최대하중, 흡수에너지 및 강성의 계측치가 낮으며 조직학적 및 Microfil 검사에서 상대적으로 미숙한 조직이 많은 것으로 추정된다.

실험적으로 힘줄의 파열 강도를 가장 잘 대표할 수 있는 최대 하중의 결과를 수술소견에서 보면, 즉시 수술소견에서 125.28N, 1주일 지연 수술소견에서 112.28N, 2주일 지연 수술소견에서 86.15N으로 치료 시기의 지연에 따라 최대하중이 감소하였고, 즉시 수술소견과 1주일 지연 수술소견간에는 최대하중이 13N 차이가 나지만 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 1주일 지연 수술소견과 2주일 지연 수술소견간에는 최대하중이 26.13N 차이가 나며 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 즉 수술한 아킬레스힘줄의 파열 강도가 즉시 수술에 비해 의미있게 떨어지는 지연 치료시기는 1주와 2주 사이의 어느 시점으로 사료된다.

이 연구에서 비수술 치료 결과도 치료시기가 지연될수록 치유조직 길이가 길어지며 인장 특성 검사에서도 강도가 떨어지지만, 조직학적 검사에서는 수술결과와 다르게 각 소견간 치유조직의 성숙정도가 비슷하였는데 그 이유는 지연 비수술소견의 경우 치유조직이 길지만 절단 수술후 시간이 경과하여 치유과정이 더욱 진행하였기 때문으로 추정된다.

비수술 소견에서 최대하중의 결과를 보면 즉시 비수술소견에서 105.53N, 1주일 지연 비수술소견에서 98.30N, 2주일 지연 비수술소견에서 83.02N으로 수술소견에서와 마찬가지로 치료 시기의 지연에 따라 최대하중이 감소하였고, 즉시 비수술과 1주일 지연 비수술간에는 7.23N, 1주일 지연 비수술과 2주일 지연 비수술간에는 15.28N의 최대하중 감소가 있었지만 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 그러나 즉시 비수술과 2주일 지연 비수술간에는 최대하중이 22.51N 감소하였고 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 즉 비수술 치료한 아킬레스힘줄의 파열 강도가 즉시 비수술에 비해 의미있게 떨어지는 지연 치료시점은 수술의 경우와 같이 1주와 2주 사이로 생각된다.

아킬레스힘줄 파열시 1주일 이후에 치료가 시작되면 일반적인 단순봉합이나 보존 치료로는 즉시 치료에 비해 힘줄의 파열 강도가 낮을 것으로 사료되며, 이런 경우 수술시 재건술을 추가하든지, 보존 치료

시 기간 연장을 하면 힘줄의 파열 강도가 어떻게 증가하는지 추가연구가 필요할 것으로 생각된다.

요약 및 결론

토끼의 아킬레스힘줄 절단후 각 시기별로 수술과 비수술 치료를 하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 육안 검사상 치유 조직의 길이는 동일한 치료 시기에는 모든 수술소군이 비수술 소군보다, 또한 동일치료 방법의 경우 조기치료가 지연치료보다 치유 조직의 길이가 짧았다.

2. 생역학적 검사상 최대하중은 동일한 치료방법으로 치료한 경우에는 치료가 지연될수록 낮아졌으며 즉시 수술소군과 2주일 지연 수술소군, 1주일 지연 수술소군과 2주일 지연 수술소군, 그리고 즉시 비수술소군과 2주일 지연 비수술소군간에 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 동일한 치료시기의 경우 최대하중은 수술소군과 비수술소군간에 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 흡수 에너지와 강성도 최대하중과 비슷한 결과를 볼 수 있었다.

3. 조직학적 검사상 치유조직의 성숙정도는 평균적으로 2주일 지연 수술소군에서 가장 낮았고, 1주일 지연 수술소군, 즉시 수술소군, 모든 비수술소군 순으로 낮았다.

4. Microfil 관류를 이용한 미세혈관 검사상 모든 실험소군의 치유조직에서는 신생혈관의 배열이 불규칙하고 굵기 차이가 심하며 서로 많은 부위에서 연결되어 그물같은 구조를 보였다. 혈관의 불규칙한 모양, 배열 및 주행은 즉시 수술과 비수술 소군보다 지연 수술소군에서 더 심한 경향을 보였다.

이상의 결과로 미루어 아킬레스힘줄 파열시 치료 방법에 상관없이 1주일 이내의 조기에 치료를 시작하여야 우수한 힘줄의 인장 강도를 얻을 수 있고, 재파열의 관점에서 보면 치료가 2주일 이내에 이루어진다면 비수술 치료와 수술 치료가 비슷한 결과를 가져 올 수 있을 것으로 생각된다.

REFERENCES

- 1) 이윤태 : 섬유소 접착제가 토끼의 손상된 아킬레스건 치유에 미치는 영향. 연세의대학위논문집, 1992-2:259-274, 1992.
- 2) 정문상, 이영인, 윤강섭 : 신장 속도에 의한 건의 생역학적 변화. 대한정형외과학회지, 26-6:1872-1879, 1991.
- 3) Arner O, Lindholm A and Orell SR : Histologic changes in subcutaneous rupture of the Achilles tendon. A study of 74 cases. *Acta Chir Scand*, 116:484-490, 1958.
- 4) Boyd Am, Ratcliffe AH, Jepson RP and James GWH : Intermittent claudication. A clinical study. *J Bone Joint Surg*, 31-B:325-355, 1949.
- 5) Carden DG, Noble J, Chalmers J, Lunn P and Ellis J : Rupture of the calcaneal tendon. *J Bone Joint Surg*, 69-B:416-420, 1987.
- 6) Conway AM, Dorner RW and Zuckner J : Regeneration of resected calcaneal tendon of the rabbit. *Anat Rec*, 158:43-49, 1967.
- 7) Eiken O, Lundborg G and Rank F : The role of the digital synovial sheath in tendon grafting. *Scand J Plast Reconst Surg*, 9:182-189, 1975.
- 8) Enwemeka CS : Functional loading augments the initial tensile strength and energy absorption capacity of regenerating rabbit Achilles tendons. *Am J Phys Med Rehabil*, 71:31-38, 1992.
- 9) Factor SM, Minase T, Cho Sh, Dominite R and Sonnenblick EH : Microvascular spasm in the cardiomyopathic Syrian hamster. A preventable cause of focal myocardial necrosis. *Circulation*, 66:342-354, 1982.
- 10) Gelberman RH, Chu CR, Williams CS, Seiler JG and Amiel D : Angiogenesis in healing autogenous flexor-tendon grafts. *J Bone Joint Surg*, 74-A:1207-1216, 1992.
- 11) Gelberman RH, Khabie V and Cahill CJ : The revascularization of healing flexor tendons in the digital sheath. *J Bone Joint Surg*, 73-A:868-880, 1991.
- 12) Gillies H and Chalmers J : The management of fresh rupture of the tendo Achillis. *J Bone Joint Surg*, 52-A:337-343, 1970.
- 13) Haut RC : The influence of specimen length on the tensile failure properties of tendon collagen. *J Biomechanics*, 19-11:951-955, 1986.
- 14) Inglis AE, Scott WN, Sculco TP and Patterson AH : Rupture of the tendo Achillis. An objective assessment of surgical and non-surgical treatment. *J Bone Joint Surg*, 58-A:990-993, 1976.
- 15) Jacobs D, Martens M, Van Audekercke R, Mulier JC and Mulier F : Comparison of conservative and operative treatment of Achilles tendon

- rupture. *Am J Sports Med*, 6:107-111, 1978.
- 16) **Kennedy JC, Hawkins RJ, Willis RB and Danylchuk KD** : Tension studies of human knee ligaments. *J Bone Joint Surg*, 58-A:350-355, 1976.
 - 17) **Kuschner SH, Orlando CA, McKellop HA and Sarmiento A** : A comparison of the healing properties of rabbit Achilles tendon injuries at different levels. *Clin Orthop*, 272:268-273, 1991.
 - 18) **Lagergren C and Lindholm A** : Vascular distribution in the Achilles tendon. An angiographic and microangiographic study. *Acta Clin Scand*, 116:491-495, 1959.
 - 19) **Lea RB and Smith L** : Non-surgical treatment of tendo Achillis rupture. *J Bone Joint Surg*, 54-A: 1398-1407, 1972.
 - 20) **Lipscomb PR and Wakim KG** : Regeneration of severed tendons. An experimental study. *Proc Mayo Clin*, 36:271-276, 1961a.
 - 21) **Lipscomb PR and Wakim KG** : Further observations in the healing of severed tendons. An experimental study. *Proc Mayo Clin*, 36:277-282, 1961b.
 - 22) **Maxwell LC, Mooky MR and Enwemeka CS** : Muscle atrophy continues after early cast removal following tendon repair. *Ana Rec*, 233:376-386, 1992.
 - 23) **Mortensen NH and Pedersen B** : Wound complication after suturing of Achilles tendon ruptures. *Ugeskr-Laeger*, 152:3248-3250, 1990.
 - 24) **Mortensen NH, Saether J, Steinke MS, Staehr H and Mikkelsen SS** : Separation of tendon ends after Achilles tendon repair. *Orthopaedics*, 15:899-903, 1992.
 - 25) **Murray MP, Guten GN, Sepic SB, Gardner GM and Baldwin JM** : Function of the triceps surae during gait. Compensatory mechanism for unilateral loss. *J Bone Joint Surg*, 60-A:473-476, 1978.
 - 26) **Nada A** : Rupture of the calcaneal tendon. Treatment by external fixation. *J Bone Joint Surg*, 67-B:449-453, 1985.
 - 27) **Nisber NW** : Anatomy of the calcaneal tendon of the rabbit. *J Bone Joint Surg*, 42-B:360-366, 1960.
 - 28) **Nistor L** : Surgical and non-surgical treatment of Achilles tendon rupture. A prospective randomized study. *J Bone Joint Surg*, 63-A:394-399, 1981.
 - 29) **Quenu J and Stoianovitch(1929)** : Quoted from Carden DG ed. Rupture of the calcaneal tendon. *J Bone Joint Surg*, 69-B:416-420, 1987.
 - 30) **Raunest J, Burrig KF and Derra E** : Pathogenesis of Achilles tendon rupture. *Chirurg*, 61:815-819, 1990.
 - 31) **Reynolds B, Wray RC and Weeks PM** : Should be incompletely severed tendon be sutured? *Plast Reconstr Surg*, 57:36-45, 1976.
 - 32) **Saunders DE, Hochberg J and Wittenborn W** : Treatment of total loss of the achilles tendon by skin flap cover without repair. *Plast Reconstr Surg*, 62:708-712, 1978.
 - 33) **Savill L(1961)** : Quoted from Gillies H and Chalmers J. The management of fresh rupture of the tendo Achillis. *J Bone Joint Surg*, 52-A:337-343, 1970.
 - 34) **Scheller AD, Kasser JR and Quigley TB** : Tendon injuries about the ankle. *Orth Clin North Am*, 11: 801-811, 1980.
 - 35) **Sutherland DH, Cooper L and Daniel D** : The role of ankle plantar flexors in normal walking. *J Bone Joint Surg*, 62-A:354-363, 1980.
 - 36) **Thomas J, Taylor D, Crowell R and Assor D** : The effect of indomethacin on Achilles tendon healing in rabbits. *Clin Orthop*, 272:308-311, 1991.
 - 37) **Washburn SD, Caiozzo VJ, Wills CA, Hunt BJ and Prietto CA** : Alterations in the in vivo torque-velocity relationship after Achilles tendon rupture. *Clin Orthop*, 279:237-245, 1992.
 - 38) **Wills CA, Washburn S, Caiozzo V and Prietto CA** : Achilles tendon rupture. A review of the literature comparing surgical versus nonsurgical treatment. *Clin Orthop*, 207:156-163, 1986.
 - 39) **Winckler S, Neumann H and Reder U** : Long-term results after operation of Achilles tendon rupture. *Aktuel Traumatol*, 21:64-69, 1991.