

사체 아킬레스건 동종이식법을 이용한 후방십자인대 재건술용 고정장치의 인장-인장 반복하중 거동

Tension-Tension Cyclic Loading by the Fixation Devices of PCL Reconstruction Using Cadaveric Achilles Tendon

* #김철웅¹, 배지훈², 오동준³

*#Cheol-Woong Kim(woong25@korea.ac.kr)¹, Ji-Hoon Bae², Dong-Joon Oh³

¹고려대학교 공학기술연구소/(주)트리플씨메디칼, ²고려대학교 의과대학 정형외과, ³안동대학교 기계교육과

Key words : Posterior Cruciate Ligament, Cadaveric Achilles Tendon, Transtibial Tunnel, Interference Screw, Double Cross-Pin

1. 서론

1990년대 초반까지는 후방십자인대(이하, PCL)에 비해 상대적으로 관찰과 진단이 쉽고 접근이 용이한 전방십자인대(이하, ACL) 재건술 연구가 주류를 이루어왔다. 그러나 MRI, 관절경 등의 진단 기기가 발전하면서 PCL 손상 발견은 급격히 확대되었고, 슬관절의 해부학적 거동에 대한 연구가 심화되면서 그 중요성은 더욱 부각되었다.⁽¹⁾ 현재 ACL 재건술은 과거의 많은 이견들이 정립되는 단계에 있으나 PCL 재건술의 경우에는 아직도 논란의 여지가 많다.⁽²⁾ PCL은 후방중심부에 위치하기 때문에 경골의 후방전위를 막아주고, 슬관절의 신전시 매우 중요한 역할을 한다. 따라서 PCL이 손상되었을 경우 회전 불안정성은 급격히 증가한다. 또한, PCL이 제거된 슬관절에서는 슬개대퇴 및 경대퇴 관절에 지속적인 압력이 가해져 슬관절염이 진행될 수 있다. 그러나 불행하게 최근까지도 PCL 재건술은 이식건, 경골부고정방법, 고정장치, 대퇴터널의 위치, 이식건 다발수 등에서 다양한 술기가 난립하며 정상 관절의 안정성에 근접하기 위한 재건술은 계속되고 있다. 따라서 본 연구에서는 현재 수술실에서 적용되고 있는 다양한 PCL 재건술 중 사체 아킬레스건을 이용한 경골관통터널(transtibial tunnel) 수술법을 적용하여 인장-인장의 반복하중 하에서 아킬레스건의 고정장치 및 고정위치에 따른 아킬레스건의 초기연신 거동을 파악하였다. 또한 아킬레스건의 종골부 고정방식과 연부조직 고정방식에 따른 미끄럼(이하 활주, slippage)거동과 연신율(lengthening ratio)과 활주율(slippage ratio)의 관계에 대해 규명해 보았다.

2. 후방십자인대 재건술용 사체 시험편 제작

신선동결사체 4구에서 경골시험편을 채취하였다. 경골터널 제작을 위해 측외부에서 슬와부의 반양막건을 따라 절개하여 내외측의 비복근 중앙부를 박리하고 슬와부의 신경 및 혈관을 제거한 후 관절막을 수직으로 절개하였다. 이후 경골평탄부에서 경골원위 방향 200mm 지점에서 경골을 절단하여 총 8개의 근위경골 시험편을 채취하였다. 또한, 종골편이 부착된 아킬레스건을 PCL 경골부 착부에 경사각 55도로 경골의 전내측에서 PCL 부착부위까지 관통하는 직경 12mm의 경골관통터널을 제작하였다. 이후 Fig. 1과

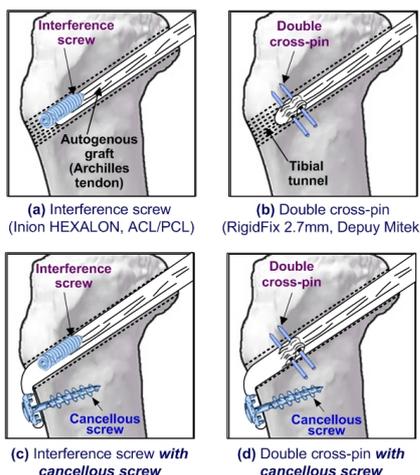
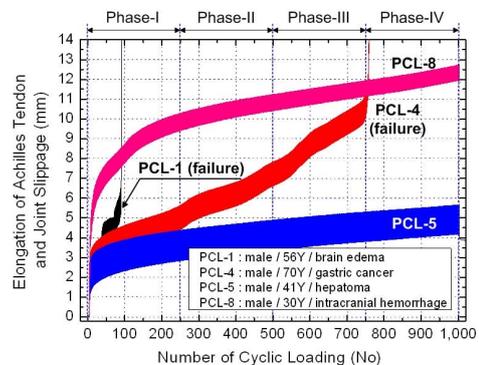


Fig. 1 Four different fixation device in the transtibial one-tunnel

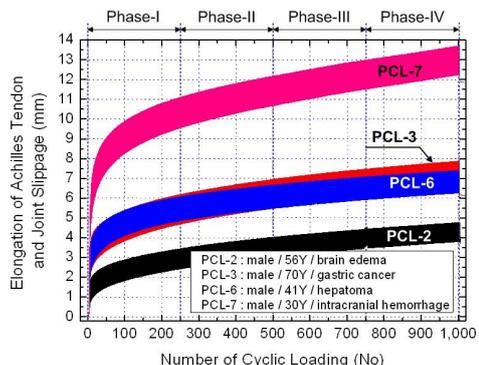
같은 네 가지 결합방식으로 PCL 재건술용 시험편을 제작하였다. 반복하중시험은 Instron 8511을 이용하였다. killer turn의 영향을 고려하기 위해 근위경골의 경사각을 실제 수술과 동일한 55°로 고정하였고 반복하중시 발생할 수 있는 경사각의 변화를 미연에 방지하였다. 본 연구에서는 최대인장강도(P_{max})=250N, 최소인장강도(P_{min})=50N의 하중조건에서 1Hz의 정현파로 1,000cycles까지 반복하중을 가하여 아킬레스건의 고정장치(간섭나사 vs. 이중고정핀) 및 아킬레스건의 고정위치(종골 vs. 연부조직)에 따른 초기연신 및 활주율에 대해 평가해 보았다.

3. 인장-인장 반복하중하의 초기연신율

Fig. 2(a)는 간섭나사를 이용한 아킬레스건 고정법이고, Fig. 2(b)는 이중고정핀을 이용한 아킬레스건 고정법이다. Fig. 2(a)에서 PCL-1, PCL-4, PCL-5는 Fig. 1(a)와 같이 아킬레스건 종골부에 간섭나사를 고정한 것이고, PCL-8은 Fig. 1(c)와 같이 아킬레스건 종골부를 경골터널의 근위조면에서 원위방향으로 노출시켜 해면나사를 고정하고 간섭나사는 Fig. 1(a)와 동일하게 위치하되 아킬



(a) Interference screw (Inion HEXALON) of PCL-1, -4, -5, and interference screw with cancellous screw of PCL-8
* PCL-1, -4, -5 : bone plug fixation in Achilles tendon
* PCL-8 : soft tissue fixation in Achilles tendon



(b) Double cross-pin (2.7mm BTB RigidFix) of PCL-2, -3, -6, and double cross-pin with cancellous screw of PCL-7
* PCL-2, -3, -6 : bone plug fixation in Achilles tendon
* PCL-7 : soft tissue fixation in Achilles tendon

Fig. 2 Relationship between elongation and slippage versus number of cyclic loading after posterior cruciate ligament reconstruction

Table 1 Definition of slippage ratio in the case of *interference screw fixation with cancellous screw at the soft tissue*

Phase	Lengthening ^(A) (mm); (PCL-5)	Lengthening with slippage ^(B) (mm); (PCL-8)	Lengthening ratio ^(C) (%); (A/B)	Slippage ratio (%); (100-C)
I	4.3	10.3	41.7	58.3
II	4.9	11.2	43.8	56.2
III	5.3	11.9	44.5	55.5
IV	5.7	12.8	44.5	55.5

Table 2 Definition of slippage ratio in the case of *double cross-pin fixation with cancellous screw at the soft tissue*

Phase	Lengthening ^(A) (mm); (PCL-6)	Lengthening with slippage ^(B) (mm); (PCL-7)	Lengthening ratio ^(C) (%); (A/B)	Slippage ratio (%); (100-C)
I	6.1	11.1	55.0	45.0
II	6.7	12.2	54.9	45.1
III	7.1	13.0	54.6	45.4
IV	7.4	13.7	54.0	46.0

레스건의 연부조직을 고정시킨 이중고정방식이다(이하, 간섭나사의 연부조직 고정법). 또한 Fig. 2(b)에서 PCL-2, PCL-3, PCL-6은 Fig. 1(b)와 같이 아킬레스건 종골부에 이중고정핀을 삽입한 것이고, PCL-7은 Fig. 1(d)와 같이 아킬레스건의 연부조직에 이중고정핀을 삽입하고 근위조면 원위방향에 해면나사를 고정한 이중고정방식이다(이하, 이중고정핀의 연부조직 고정법). Fig. 2(a),(b)에서 PCL-1,-2 / PCL-3,-4 / PCL-5,-6 / PCL-7,-8은 각각 동일 사체의 좌우측 슬관절이다. 본 연구에서는 총 1,000cycles 중에서 1/4에 해당하는 250cycle을 초기연신으로 결정하였고, 그 구간을 "Phase-I"이라고 정의하였다. Fig. 2(a)를 살펴보면, PCL-1, PCL-4, PCL-5 중에서 PCL-5만이 1,000cycles에 도달하였음을 알 수 있다. PCL-1의 경우, 간섭나사의 갑작스런 이탈에 의해 94cycle에서 부하가 중단되었고, PCL-4의 경우, 서서히 진행된 활주에 의해 760cycle에서 간섭나사의 이탈이 발생하였다. 이상 Fig. 2(a) 그래프를 정리하면, 1) $P_{min}=50N$, $P_{max}=250N$ 의 부하조건에서 경골터널 내 간섭나사의 이탈율은 60% 이상이었다. 2) 간섭나사가 이탈된 PCL-1, PCL-4를 제외하고 PCL-5만을 고려했을 때 아킬레스건의 총연신량은 5.7mm이다. 3) 간섭나사와 해면나사를 이용한 이중고정방식(PCL-8)일 때, 간섭나사의 이탈은 발생하지 않은 반면 총연신량은 12.8mm로 측정되었다. 간섭나사만 고정한 경우(PCL-5)에 비해 무려 2.25배 증가한 것이다. 4) 간섭나사의 이탈이 발생하지 않은 PCL-5 및 PCL-8을 비교해 보았을 때, PCL-5는 초기연신량이 총연신량의 75%(4.3mm)를 차지하였다. 또한, PCL-8의 경우, 초기연신량이 총연신량의 80%(10.3mm)를 차지하였다. 한편, Fig. 2(b) 그래프를 살펴보면, 1) 이중고정핀의 연부조직 고정법(PCL-7)일 때, 연신량은 13.7mm로 이중고정핀의 종골 고정법(PCL-6)에 비해 1.8배 증가하였다. 2) 이중고정핀 종골 고정법 중에서도 PCL-3, PCL-6은 유사한 반면 PCL-2는 1.7배 정도의 편차가 발생하였고, 이는 아킬레스건의 고유물성이 사체마다 편차가 있기 때문이라고 생각한다. 그럼에도 불구하고 총연신량에 대한 초기연신량(Phase-I)의 비율은 상기 4가지 고정방식에 영향받지 않고, 71~82% 범위의 일정비율을 나타냈다. 따라서 고정방식이 아킬레스건의 초기연신율을 좌우하지는 않는다고 판단된다.

4. 인장-인장 반복하중하의 활주를 제안 및 평가

간섭나사 및 이중고정핀을 이용한 아킬레스건 종골부 고정방식이나 연부조직 고정방식에 상관없이 초기연신율은 총연신율의 약 77%를 차지함을 알 수 있었다. 그러나 Phase-I부터 Phase-IV에 이를 때까지 아킬레스건의 연신과 동반하여 발생하는 활주가 고정방식에 따라 단계적으로 어떻게 변화하는지 파악해야 한다. 따라서 고정장치를 연부조직에 결합한 PCL-7, PCL-8에서 총연신율에 포함된 활주율을 단계적으로 평가해보았고 그 내용을 정리하면 Table 1 및 Table 2와 같다. Table 1은 간섭나사의 연부조직 고정법에서의 활주율이고 Table 2는 이중고정핀의 연부조직 고정법에서의

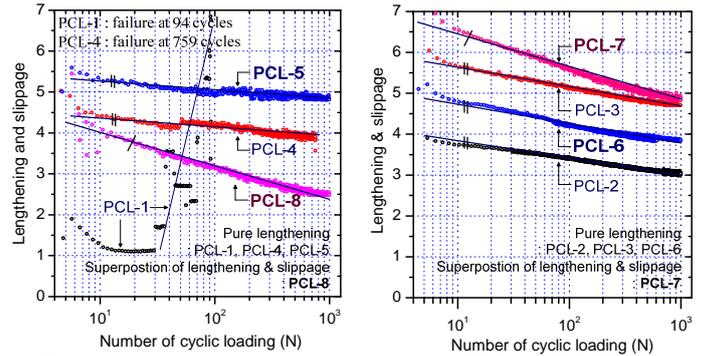


Fig. 3 Relationship between lengthening and slippage of Achilles tendon and number of cyclic loading under tension-tension at $P_{max}=250N$ and $P_{min}=50N$

활주율이다. 간섭나사의 경우, 총연신량 중 활주가 차지하는 비율은 초기연신일 때 58.3%, 이후 감소하여 Phase-IV일 때 55.5%까지 감소하였고 총 2.8%의 감소율이 발생하였다. 이중고정핀의 경우, 총연신량 중 활주가 차지하는 비율은 초기연신(Phase-I)일 때 45.0%, 이후 증가하여 Phase-IV일 때 46.0%까지 증가하였고, 총 1.0% 증가율이 발생하였다. 이상의 결과를 분석하기 위해 Fig. 3과 같은 일차곡선으로 재구성하였다. Fig. 3(a),(b)를 분석해보면, 1) 간섭나사의 연부조직 고정법(PCL-8)과 이중고정핀의 연부조직 고정법(PCL-7)은 고정장치가 상이함에도 불구하고 동일한 기울기를 갖는다. 그러나 종골부 고정법보다 기울기가 증가하였다. Fig. 3에서 일차곡선의 기울기가 크다는 것은 아킬레스건의 초기연신과 후기연신의 차이가 크다는 의미이다. 그러나 PCL-8과 PCL-7은 활주가 동반되었기 때문에 과대평가되거나 과소평가된 결과라고 생각된다. 왜냐하면 아킬레스건을 누적중첩손상의 관점으로 보았을 때, 부하 중에 발생하는 활주가 아킬레스건의 순수연신을 저해하고 반복하중의 일부가 활주에 소모되는 기전으로 발전되었기 때문이다. 결과적으로 연부조직 고정법을 종골부 고정법과 비교했을 때 부하후반으로 갈수록 일차곡선의 기울기 차가 더 커졌다는 의미는 연부조직 고정장치가 더욱 불안정해졌음을 의미한다. 따라서 Fig. 3의 결과로 미루어보아 간섭나사의 연부조직 고정법(PCL-8)이 이중고정핀의 연부조직 고정법(PCL-7)보다 더 불안정한 고정장치라고 설명할 수 있다.

5. 결론

연부조직 고정법은 초기연신과 후기연신의 차가 크게 나타났다. 왜냐하면 누적중첩손상에 의해 부하 중에 발생하는 활주가 아킬레스건의 순수연신을 저해하고 반복하중의 일부가 활주에 소모되는 기전으로 발전되었기 때문이다. 또한, 간섭나사 연부조직 고정법에서 연신이 43.6%를 차지하였고, 활주가 56.4%를 차지하였다. 반대로 이중고정핀 연부조직 고정법에서는 연신이 54.6%를 차지하고, 활주가 45.4%를 차지하였다.

후기

이 논문은 2008년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음 (KRF-2008-314-D00007)

참고문헌

1. B. K. Lee, I. H. Seong, Y. H. Jang, and S. J. Baek, "Clinical Study After Reconstruction of the Posterior Cruciate Ligament -Factors on Posterior Stability-," *Journal of Korean Arthroscopy Society*, Vol. 11, No. 6, pp. 62-68, 1999.
2. H. C. Lim, J. C. Yoo, and S. H. Han, "Anatomic Double-Bundle Posterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Achilles Allograft -Preliminary Report-," *Journal of Korean Arthroscopy Society*, Vol. 6, No. 1, pp. 7-13, 2002.