

후방 십자 인대 재건술에서 동종 이식건의 역할

원광대학교 의과대학 정형외과학교실

전 철 홍

서 론

동종 이식건은 슬관절의 십자인대손상의 재건술시 많이 사용되어지며, 1990년대부터 골-슬개건-골, 아킬레스건, 대퇴근막(fascia lata) 및 전·후방경골근(ant. & post. tibialis), 등이 주로 사용되어지고 있다. 특히 전방십자인대에서의 동종 이식건의 임상 결과는 많이 보고되고 있지만, 후방십자인대에서의 동종 이식건은 아직 임상 결과 등의 보고가 미흡하다. Bullis와 Paulos³⁾는 동종의 아킬레스건을 이용한 후방십자인대 재건술후 약 75%에서 가벼운 운동을 할 수 있었다고 보고하고 있으며, Noyes와 Barber-Westin²⁰⁾도 골-슬개건-골과 아킬레스건의 동종 이식건을 이용한 후방십자인대 재건술은 조기 슬관절 운동을 시킬 수 있어 좋은 결과를 얻을 수 있다고 이야기하고 있다.

일반적으로 동종 이식건의 사용에는 여러 가지 고려사항이 있게 되는데, 생체역학적 특성이 십자인대와 비슷하여야 하며, regeneration property, 병의 전이성, 면역학적 특성, 보존과 살균 소독 방법, 그리고 수술적 기술이 고려되어야 한다(Table 1).

따라서 저자는 후방십자인대 재건술에 사용되는 동종 이식건의 생역학적 특성과 임상에서의 사용 조건들, 수술기법 및 임상적 결과를 살펴보고자 한다.

Table 1. Desirable Characteristics for Allografts in Cruciate Ligament Reconstructions

| |
|---|
| Biomechanical properties approximating those of the normal x-lig. |
| Disease-free and nonimmunogenic |
| Adequate strength for immediate mobility |
| Capability for initial fixation of adequate strength for immediate mobility |
| Sufficient availability |
| Capability for long-term storage |
| Technically practical, reproducible implant techniques |

* 교신저자 :

* 통신저자 : 전 철 홍

원광대학교 의과대학 정형외과학교실

본 론

1. 동종 이식건의 처리과정과 살균 소독 (Allograft Processing & Sterilization)

동종 이식건의 처리과정으로는 deep freezing(-70°C), freeze drying(lyophilization)과 cryopreservation(cryoprotectant plus controlled-rate freezing)의 3가지 방법이 사용되어 진다.

a. Cryopreservation : 연골조직들은 유지하고 세포들을 보존하는 방법이지만, Zukor 등³³⁾에 의하면 50%에 서만이 세포는 보존되고 또한 대사작용의 기능은 상실되어 진다고 보고하고 있다.

b. Deep freezing without cryopreservation : 이식건 구조의 상호 연결을 유지하면서 항원을 소멸시키는데는 좋은 방법이다. 그러나 사용할 때까지 계속 냉동 보관해야 한다는 단점이 있다.

c. Freeze drying(lyophilization) : 생체적 물질인 물대신 알코올로 대체시키는 것으로, 알코올은 vacuum 과정에서 이식건을 탈수시키고 딱딱하게 만들며, 비활성 상태로 유지 한다는 단점이 있다.

d. Freeze dried : 수년간 상온으로 보관이 가능하며 사용시 재수화(rehydration)시켜 사용한다. 일반적으로 큰 건 및 인대의 이식은 최소 24시간 정도 재수화시켜야 된다는 단점이 있다²⁾.

따라서 deep frozen 시킨 동종 이식건을 사용하는 것이 보편화되어 가고 있다.

동종 이식건의 살균 소독은 박테리아, 곰팡이균 및 바이러스 등의 미생물이 고려되어야 한다. 특히 donor 생체에서 감지되지 않은 감염을 통한 바이러스 감염에 유의해야 하며, 이식건의 살균 소독은 2가지 과정이 사용되어지고 있다.

a. Ethylene oxide : nonporous 표면의 박테리아, 곰팡이 및 바이러스에 효과적이지만 Withrow 등³¹⁾에 의하면 HIV analog system인 feline leukemia 바이러스에는 효과가 없는 것으로 이야기 하고 있다. 부작용으로는 조직의 dissolution에 의한 높은 실패율, 골 터널의 낭성 변화, 그리고 주위조직내에 "applesauelike" effect 형성 및 ethylene chlorohydrin 이란 독성물질의 유리 등이

발생되고, Silvaggio 등²⁹⁾에 의하면 활막세포에서 interkloukin-1의 과잉 생산으로 이런 부작용이 일어난다고 설명하고 있다. 또한 Jackson 등³³⁾, Robert 등²⁴⁾에 의하면 ethylene oxide로 살균 소독된 전방십자인대 동종 이식건은 수술후 활액막과 골성의 변화가 온다고 보고하고 있어, biologic tissue의 바이러스 살균 소독에는 사용해서는 안된다고 하였다.

b. Gamma radiation : 박테리아, 곰팡이 등은 살균 소독이 되지만, 이식건의 기계적 특성의 변화 없이 HIV와 간염 바이러스에 대한 감마 방사선 조사의 살균 소독은 조사량의 결정이 어렵다고 알려져 있다. 그러나 Darmady 등⁷⁾, Gibbs 등⁸⁾, 그리고 Koh 등¹⁴⁾에 의하면 1Mrad 감마 방사선 조사는 대부분의 미생물을 비활성화시킨다고 이야기하고 있으며, Conway 등⁶⁾에 의하면 3.6Mrad 사이는 백만분의 1에서 HIV에 감염된 골성 세포가 발견 될 수 있다고 하여, Strong 등³⁰⁾, 이나 Lord 등¹⁷⁾은 이 기준의 2배정도의 방사선 조사를 이식건의 살균 소독으로 권유하고 있다. 따라서 freeze-drying과 함께 높은 양의 방사선 조사(3Mrads)는 이식건의 콜라겐 섬유를 약화시켜 과도한 crimping을 초래하여 강도에 영향을 초래하게 된다. 즉 강도의 감소없이 최소한의 방사선 조사에 의한 살균 소독을 실시하는 것이 중요하다고 하겠다.

그러나 Deep-freezing, cold ethylene 가스 소독과 소량의 방사선 조사(2Mrad)는 Haut와 Powlison¹⁰⁾, Woo 등³²⁾에 의하면 이식건의 기계적 특성에는 크게 영향을 미치지 않을 것이라고 하여 이의 살균 소독법이 사용되어지고 있다.

2. 동종 이식건의 살균 소독과 보관에 따른 기계적 구조적 변화
(Mechanical & structural changes after preservation & sterilization on Allograft)

일반적으로 Noyes와 Good²²⁾, Pelker 등²³⁾, 그리고 Woo 등³²⁾에 의하면 냉동 단독으로 처리할 경우에는 반복된 냉동 처리 과정을 피하면 동종 이식건의 기계적 특성은 크게 영향을 미치지 않는다고 하였다. 그러나 Bright와 Burchardt³⁾, Haut와 Powlison⁹⁾, Sabiston 등³⁶⁾은 냉동 건조의 경우에는 동종 이식건의 생역학적 특성은 어느 정도 변화가 오기 때문에 수술전 충분한 재수화가 필요하다고 하였다. Noyes 등²¹⁾은 3Mrad 방사선 조사시 maximum failure force의 기계적 특성은 27% 정도가 감소된다고 하였고, Haut와 Powlison⁹⁾은 2Mrad와 냉동 건조를 동시에 사용했을 경우 냉동 건조의 단독 사용때 보다는 골-슬개건-골 동종 이식건의 기계적 특성이 감소한다고 하였다. Nikolaou 등¹³⁾에 의하면 개의 실험에서 fresh-frozen

전방십자인대 동종 이식건은 수술후 36주에, 정상 전방십자인대의 90% 정도의 강도를 얻을 수 있었다고 하지만, Jackson 등¹²⁾은 freeze-dried 골-전방십자인대-골은 1년이 지나서도 25% 정도의 강도를 사용된 동종 이식건 종류와 보관 및 살균 소독에 따라 강도는 많은 차이가 있음을 알 수 있다.

3. 동종 이식건의 생학적 치유
(Allograft Biolo-gical healing)

Shino 등^{27,28)}은 동종 이식건의 경우는 조직학적으로 혈관재형성이 술후 6주째에 나타나고, 육안적이나 조직학적으로 정상 십자인대와 유사한 것은 약 12개월로 자가 이식건에 비해 오히려 혈관 재형성면에서 더 나은 결과를 보인다고 하였다. Jackson 등¹²⁾은 freeze dried 골-전방십자인대-골을, Nikolaou 등⁹⁾은 슬개건을 이용하여 동종 이식건의 수술을 시행한 바, 동종 이식건은 첫 수술후 6-8주간은 저혈성 괴사가 발생되어, 강도가 약화되었다가 혈관재형성과 증식 및 재형성 과정을 거쳐 1년동안 서서히 강도가 증가한다고 하였다. 또한 Clancy 등⁴⁾은 자가 이식건에서 보다 동종 이식건에서 혈관재형성이 좀더 일찍 시작된다고 하였지만, Hortsman 등¹¹⁾은 대퇴근막을 이용한 재건술의 조직학적 결과에서 1년 6개월 추시관찰상 여전히 성숙되지 않은 상태로 있다고 보고하고 있다

즉 Amiel과 Kuiper¹⁾에 의하면 생체적 재형성(Biological remodelling)은 조직괴사(tissue ischemia), 세포사멸(cell death), 재관류(revascularization) 그리고 세포증식(cellular proliferation)과 최종적인 조직 재형성(remodelling)의 단계가 수술후 6개월에 걸쳐 발생되어지며, 술후 6주-12주째가 제일 약한 경향을 보인다고 보고하고 있어 슬관절 인대 재건술 후 이 기간에는 적절한 보조 장치나 보조기의 착용이 필요할 것으로 사료된다.

4. 동종 이식건의 고정(Allograft fixation)

동종 이식건의 고정은 슬관절의 재건술시 초기 술후 슬관절 운동을 실시하는데 중요한 역할을 하게 된다. 고정에 사용되는 물질로는 여러 가지가 있지만 대표적으로는 간섭나사못, 스테이플(staple), 그리고 단추(Button)와 금속나사못과 washer 등이 많이 사용된다.

Kurosaka 등¹⁵⁾에 의하면 골-슬개건-골의 고정력 검사에서 간섭 나사못의 인장 강도가 475.8N으로 가장 좋았고 스테이플은 128.5N으로 가장 낮은 것으로 보고하고 있으며(Table 2), Robertson 등²⁵⁾은 연부 조직을 골에 고정하는데 있어서 금속나사못과 washer가 14 lb로 가장 좋은 인장 강도를, barbed 스테이플은 11 lb를, 그리고 금속나사못과 금속판은 5 lb로 가장 낮은 인장 강도를 보인다고 하였다(Table 3).

Table 2. Strength After Bone-Patellar Tendon-Bone Fixation

| Device | Maximum Tensile Strength(N) |
|----------------------|-----------------------------|
| Kurosaka 9.0 screw | 475.8 |
| AO 6.5 screw | 241.8 |
| Sutures over Buttons | 248.2 |
| Staples | 128.5 |

Table 3. Strength After Soft-Tissue Fixation to Bone

| Device | Maximum Tensile Strength(1b) |
|-------------------|------------------------------|
| Screw with Washer | 14 |
| Barbed staple | 11 |
| Stone staple | 8 |
| Screw with plate | 5 |

Noyes 등²¹⁾에 의하면 중앙 1/3 골-슬개건-골은 13.8mm의 넓이에서 2900N의 최대 부하(maximal load)를, 그리고 전방십자인대 보다는 168%의 강도 즉 1725N을 지녔으며, 반건양근과 박근은 1216N의 최대부하와 838N을 지닌다 하였다. Cooper⁵⁾에 의하면 골-슬개건-골의 10mm 넓이에서는 3000N의 ultimatic 인장 강도를 지닌다고 하였다. 최근에는 아킬레스건의 동종 이식건을 사용하는데, 이에 대한 실험 결과는 없지만 골-슬개건-골 보다는 높은 강도를 지닐 것이라고 생각하고 있다.

결론적으로 후방십자인대 동종 이식건들 중에는 골-슬개건-골의 이식건은 충분한 강도와 길이 및 견고한 고정 그리고 임상결과 등으로 많이 사용되어지고 있다. 하지만 최근에는 아킬레스건은 원하는 만큼의 넓이 및 두께와 길이를 얻을 수 있고, 한 쪽 이식건은 간섭 나사못 고정을 그리고 다른 쪽 이식건은 금속나사못과 washer나 barbed 스테이플로 고정할 수 있어 점차 그 사용이 증가되는 경향이다¹⁵⁾.

**5. 수술 기법 및 임상적 결과
(Sugical Technique & Clinical Results)**

동종 이식건을 이용한 후방십자인대 재건술의 수술을 1987년 Noyes와 Barber-Westin²⁰⁾이 처음 Arthroscopscally Assisted 후방십자인대 재건술을 실시하였는데, 피부 절개술을 내측 대퇴골 부위에서 내측 경골 부위까지 실시하고, 관절경의 도움하에 아킬레스 이식건을 사용하였으며 동종 이식건의 골부위는 경골부위에 간섭 나사못

고정을 그리고 대퇴골 부위에는 스테이플을 사용하여 고정하였다. 1998년 ICL에서 Noyes 등은 관절경하에 후방십자인대 재건술에서 역시 아킬레스 이식건을 이용, 후방십자인대의 해부학적 footprint를 교원조직으로 가득 채우고, 후방십자인대 이식건의 대부분을 굴곡 상태에서 tension을 가함으로써 후방 경골 아탈구를 조절할 수 있도록 후내측 부위에 절개를 가하여, 이식건의 교원조직 부위를 두 가닥으로 나누어 90° 굴곡하에, 그리고 다른 이식건은 10° 굴곡하에 tension을 가하고 고정하는 방법을 소개하였다.

Miller와 Harner¹⁸⁾, Bullis와 Paulos³⁾는 20명 환자에서 아킬레스 동종 이식건을 이용, 후방십자인대 재건술후 12개월 추시결과상 75%에서만이 가벼운 운동을, 그리고 60%에서 후방 전위 검사상 5mm 이하의 동요를 보인다고 보고하고 있으며, Noyes와 Barber-Westin²⁰⁾은 10명 환자의 진구성 후방십자인대 손상에서 4환자는 아킬레스 동종 이식건을, 6환자는 골-슬개건-골 동종 이식건을 사용하고 45개월 추시 결과상, 20° 굴곡상태에서는 60%에서 3mm 이하의 동요를 보였으나, 70° 이상의 굴곡에서는 63%에서 6mm 이상의 동요를 보인 바, low functional knee flexion angle에서는 좋은 결과를 가져오나, higher flexion angle에서는 그렇지 못한 결과를 가져온다고 보고하고 있다.

결 론

후방십자인대 재건술에서 사용되는 동종 이식건은 골-슬개건-골 및 아킬레스건이 가장 많이 사용되어지고 있다. 그러나 이식건의 길이와 두께 및 폭은 원하는 만큼 조절할 수 있다는 장점이 있으나, 이식건의 정확한 처리 과정, 살균 소독 및 transmissible disease에는 아직도 해결해야 할 문제점들이 많이 있다. 따라서 적당한 자가 이식건을 얻지 못한 경우, 실패한 후방십자인대 재건술 및 슬관절 탈구 등에 의한 전·후방십자인대의 동시 재건술 등의 경우에서 사용되어지는 것이 좋을 것으로 생각되며, 후방십자인대 재건술에서 동종 이식건의 사용은 앞으로도 장기간의 임상적 결과와 동종 이식건의 생물학적, 생역학적 및 조직학적 조사가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

REFERENCES

1. Amiel D and Kuiper S : Experimental studies on anterior cruciate ligament grafts: Histology and biochemistry, in Daniel DM, Akeson WH, O'Connor J(eds): *Knee Ligaments: Structure, Function, Injury, and Repair*. New York: Raven Press, pp 379-388, 1990.

2. Bright RW and Burchardt H : The biomechanical properties of preserved bone grafts, in Friedlaender GE, Mankin HJ, Sell KW(eds): *Osteochondral Allograft: Biology, Banking, and Clinical Application*. Boston, MA, Little Brown and Company, pp 241-247, 1983.
3. Bullis DW and Paulos LE : Reconstruction of the posterior cruciate ligament with allograft. *Clin Sports Med*, 13:581-597, 1994.
4. Clancy WG, Narechania R, Rosenberg TD, Gmeiner JG, Wisnefske DD and Lange TA : Anterior and posterior cruciate ligament reconstruction in Rhesus Monkeys. A histological, microangiographic, and biomechanical analysis. *J Bone Joint Surg*, 63-A: 1270-1284, 1981.
5. Cooper DE : Tests for posterolateral instability of the knee in normal subjects. *J Bone Joint Surg*, 73-A:30-36, 1991.
6. Conway B, Tomford WW and Mankin HJ, et al : Radiosensitivity of HIV-1: Potential application to sterilization of bone allografts. *AIDS*, 5:608-609, 1991.
7. Darmady EM, Hughes KE and Burt MM, et al : Radiation sterilization. *J Clin Pathol*, 14:55-58, 1961.
8. Gibbs CJ Jr, Gajdusek DC and Latarjet R : Unusual resistance to ionizing radiation of the viruses of kuru, Creutzfeldt-Jakob disease, and scrapie. *Proc Natl Acad Sci USA*, 75:6268-6270, 1978.
9. Haut RC and Powlison AC : Order of irradiation and lyophilization on the strength of patellar tendon allografts. *Trans Orthop Res Soc*, 14:514, 1989.
10. Haut RC and Powlison AC : The effects of test environment and cyclic stretching on the failure properties of human patellar tendons. *J Orthop Res*, 8:532-540, 1990.
11. Horstman JK, Suka FA and Norrdin RW : Anterior cruciate ligament fascia lata allograft reconstruction: Progressive histologic changes toward maturity. *Arthroscopy*, 9(5):509-518, 1993.
12. Jackson DW, Arnoczky SP, Grood ES, Zernicke RF and Hefzy MS : Freeze-dried anterior cruciate ligament allografts: preliminary studies in a goat model. *Am J Sports Med*, 15:295, 1987.
13. Jackson DW, Windler GE and Simon TM : Intraarticular reaction associated with the use of freeze-dried ethylene oxide-sterilized bone-patella tendon-bone allografts in the reconstruction of the anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med*, 18:1-10, 1990.
14. Koh WY, Morehouse CT and Chandler VL : Relative resistances of microorganisms to cathode rays: I. Non spore forming bacteria. *Appl Microbiol*, 4:143-146, 1956.
15. Kurosaka M, Yoshiya S and Andrish JT : A biomechanical comparison of different surgical techniques of graft fixation in anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*, 15:225-229, 1987.
16. Linn RM, Fischer DA and Smith JP, et al : Achilles tendon allograft reconstruction of the anterior cruciate ligament-deficient knee. *Am J Sports Med*, 21:825-831, 1993.
17. Lord CF, Gebhardt MC, Tomford WW and Mankin HJ, et al : Infection in bone allografts: Incidence, nature and treatment. *J Bone Joint Surg*, 70-A:369-376, 1988.
18. Miller MD and Harner CD : The anatomic and surgical considerations for posterior cruciate ligament reconstruction, in Jackson DW(ed): *Instructional Course Lectures 44*. Rosemont, IL, American Academy of Orthopaedic Surgeons, pp 431-440, 1984.
19. Nikolaou PK, Seaber AV and Glisson RR, et al : Anterior cruciate ligament allograft transplantation. *Am J Sports Med*, 14:348, 1986.
20. Noyes FR and Barber-Westin SD : Posterior cruciate ligament allograft reconstruction with and without a ligament augmentation device. *Arthroscopy*, 10(14):371-382, 1994.
21. Noyes FR, Butler DL, Grood ES, Zernicke RF and Hefzy MS : Biomechanical analysis of human ligament grafts used in knee ligament repairs and reconstructions. *J Bone Joint Surg*, 66-A:344-352, 1984.
22. Noyes FR and Grood ES : The strength of the anterior cruciate ligament in humans and Rhesus monkeys: Age-related and species-related changes. *J Bone Joint Surg*, 58-A:1074-1082, 1976.
23. Pelker RR, Friedlaender GE and Markham TC, et al : Effects of freezing and freeze-drying on the biomechanical properties of rat bone. *J Orthop Res*, 1:405-411, 1984.
24. Roberts TS, Drez D Jr and McCarthy W, et al : Anterior cruciate ligament reconstruction using freeze-dried, ethylene oxide-sterilized, bone-patel-

- lar tendon-bone allografts: Two year results in thirty-six patients. *Am J Sports Med*, 19:35-41, 1991.
25. Robertson DB, Daniel DM and Biden E : Soft tissue fixation to bone. *Am J Sports Med*, 14:398-403, 1986.
26. Sabiston P, Frank C and Lam T, et al : Transplantation of rabbit medial collateral ligament: II. Biomechanical evaluation of frozen/thawed allograft. *J Orthop Res*, 8:46-56, 1990.
27. Shino K, Inoue M, Horibe S, Nagano J and Ono K : Maturation of allograft tendons transplanted into the knee: An arthroscopic and histological study. *J Bone Joint Surg*, 70-B:556-560, 1988.
28. Shino K, Kawasaki T, Hirose H, Gotoh I, Inoue M and Ono K : Replacement of the anterior cruciate ligament by an allogenic tendon graft. An experimental study in the dog. *J Bone Joint Surg*, 66-B:672-681, 1984.
29. Silvaggio VJ, Fu FH and Georgescu HI, et al : The induction of IL-1 by freeze dried ethylene oxide-treated bone-patellar tendon-bone allograft wear particles: An in vitro study: *Trans Orthop Res Soc*, 16:207, 1991.
30. Strong DM, Sayers MH and Conrad EU III : Screening tissue donors for infectious markers, in Friedlaender GE, Goldberg VM(eds): *Bone and Cartilage Allografts: Biology and Clinical Applications*. Park Ridge, IL, American Academy of Orthopaedic Surgeons, pp193-209, 1991.
31. Withrow SJ, Oulton SA and Suto TL, et al : Evaluation of the antiretroviral effect of various methods of sterilizing/preserving corticocancellous bone. *Orthop Trans*, 15:226, 1990.
32. Woo SL-Y, Orlando CA and Camp JF, et al : Effects of postmortem storage by freezing on ligament tensile behavior. *J Biomech*, 19:399-404, 1986.
33. Zukor DJ, Cameron JC and Brooks PJ, et al : The fate of human meniscal allografts, in Ewing JW(ed): *Articular Cartilage and knee joint function: Basic Science and Arthroscopy*. New York, NY, Raven press, pp 147-152, 1990.

The Role of Allograft for Posterior Cruciate Ligament Reconstruction

Churl Hong Chun, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Won-Kwang University Hospital,
Iksan, Korea

ABSTRACT : The use of autogenous tissues is preferred for knee ligament reconstruction. However allografts play a role in major ligament reconstructive procedures in which multiple substitutions or revisions are required. In the dislocated knee, allografts may offer an advantage in reconstructing the PCL. But allografts in knee ligament surgery must be considered in terms of biomechanical and regenerative properties, disease transmission and immunogenicity, and methods of preservation and sterilization. Also only a few authors have described the use of allograft for reconstruction of a ruptured PCL, either a single procedure, or in combination with ACL repair following knee dislocation. Furthermore, the problems that the clinician faces with use of allografts is the necessity for supervision to ensure that the grafts are correctly processed, secondarily sterilized, and free of transmissible diseases.

For these reasons, the routine use of allograft materials in the treatment of ligament deficiencies should be avoid and provide with meaningful outcome studies, including longterm follow-up.

Key Words : PCL, Reconstruction, Allografts
