

전방 십자 인대 재건술 후 재활 (Rehabilitation after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction)

가천의과학대학교 길병원 정형외과학교실

이 범 구

서 론

전방 십자 인대 재건술 후 재활의 목적은 부종을 감소시키고, 관절의 운동 범위를 회복하고, 근력과 안정성을 회복하고, 고유 감각 기능을 회복하여 빨리 기능 복귀를 시키는 것이다. 전방 십자 인대 재건술시 수술도 중요하지만 수술 후 재활도 매우 중요하다. 전방 십자 인대 재건술 후 고정된 이식건의 보호를 위해 장기간 고정을 하면 슬관절 강직, 전방부 동통 대퇴 근육 위축에 의한 합병증이 많이 발생한다. 기능면으로 볼 때 강직은 불안정성보다 나쁘며, 특히 신전 구축은 기능 장애를 많이 초래하게 된다¹⁾. Shelbourne 등²⁾은 가속 재활(accelerated rehabilitation) 후 이러한 합병증을 거의 없앨 수 있다고 보고하여, 최근에는 대부분의 정형외과 의사들이 전방 십자 인대 재건술 후 가속 재활을 하고 있는 추세이다^{3,21,24-28)}.

가속 재활의 정의

가속 재활에 대한 정의는 문헌에서 이견이 많다. Shelbourne 등²⁾의 가속 재활과 같이 초기에 과신전을 하고, 2주부터 슬관절의 능동적 신전을 하고, 3주부터 Closed kinetic chain 운동 위주로 적극적인 운동을 하여, 5주부터도 근력이 충분하면 좌우로 뛰는 운동, 줄넘기 운동 등 특이적 활동을 하고, 재활 정도에 따라 경쟁적인 운동도 가능한 첨단 가속 재활도 있다. 그러나 대개는 초기에 4주에서 8주까지는 보조 보행 시기로 목발 보행을 하고 4~8주에서 12~16주까지 초기 강화 운동, 12~16주에서 24~52주까지 심화된 강화 운동을 하여 이 시기 후 운동 복귀하는 재활을 가속 재활로 많은 저자들이 생각하고 있다^{3,8)}.

가속 재활의 안정성

가속 재활시 이식건에 스트레스가 많이 가기 때문에 이식건의 인대화 과정에서 초기에 약한 인대가 늘어나 안정성에 지장을 줄 수 있다고 생각할 수 있으나, Barber-Westin 등³⁾은 전방 십자 인대 재건술 후 이상 전이가 일어나는 시기를 분석한 결과 초기 강화 시기에 약 1/3, 심화된 강화 시기에 1/3, 1/3은 운동 복귀 후에 발생하여 가속 재활이 안정성에 영향을 주지 않는다고 하였다. 실제로 shelbourne 등²⁾은 가속 재활 후 1.9 ± 1.2 mm로 우수한 안정성을, Barber-Westin 등³⁾은 85%에서 3 mm 이내의 정상 안정성을 보고하고 있으며, Roe 등²⁴⁾도 슬근건을 이용한 전방 십자 인대 재건술 후 가속 재활을 하여도 슬개건을 이용한 것과 같은 안정성을 얻을 수 있다고 하였다. Bennyon 등⁸⁾은 재활시 환자의 순응도 (compliance)를 비교하여 가속 재활과 비가속 재활의 차이가 없다고 하였으며, 관절염의 연골 세포의 퇴행성 지표인 CP II, COL2-3/4C Longmono, aggrecan turnover marker의 차이가 없음을 보고하였고, 환자의 만족도나 객관적 안정도도 차이가 없음을 보고하고 있어 가속 재활은 안정성에 나쁜 영향을 주지 않음이 증명되었다.

초기에 할 수 있는 운동과 생역학적 근거

전방 십자 인대 재건술 후 이식건은 인대화 과정을 거치고 수술 후 3~6주까지는 교원질(collagen)의 배열도 불규칙하고, 인장력(tensile strength)도 원래의 6.8% 밖에 안 되며, 견인시 3~5 mm 더 늘어나기 때문에 술 후 6주까지는 이식건에 지나친 스트레스가 안가도록 조심을 하며 운동을 하여야 한다^{13,34)}. Closed kinetic chain 운동은 운동시 발이 지면에 부착된 상태로 운동하는 것으로 대퇴 사두근과 슬근이 동시에 수축하므로 대퇴 사두근의 단독 수축시 올 수 있는 전방 전위를 최소화할 수 있는 운동으로 실제 대퇴 사두근과 슬근이 동시에 수축되는 것이 근전도상 증명이 되었다²⁹⁾. Bennyon 등⁵⁾은 Hall effect transducer를 이용하여 생체에서 전방 십자 인대로 가는 긴장을 측정하였고, 슬관절 15도 굴곡 상태에

* Address reprint request to
Beom-Koo Lee, M.D.
Department of Orthopaedic Surgery, Gil Medical Center,
Gachon University, 1198 Kuwol-dong, Namdong-gu, Incheon, Korea
Tel: 82-32-460-3384, Fax: 82-32-468-5437
E-mail: bklee@gilhospital.com

서 대퇴 사두근 단독 수축시는 전방 십자 인대에 4.4%의 긴장이, 대퇴 사두근과 슬근을 동시에 수축하면 긴장이 2.8%로 감소됨을 보고하였다. Bynum 등⁹⁾은 임상적으로도 Closed kinetic chain 운동이 Open kinetic chain 운동보다 안정성의 우월함을 보고하였고, 이는 Closed kinetic chain 운동을 전방 십자 인대 재건술 후 비교적 안전하게 사용할 수 있을 것으로 사료된다. 체중 부하는 Hall effect transducer로 측정하면 20도 굴곡 상태에서 2.1%의 긴장을⁷⁾, Electromagnetic position sensing system을 이용하여 측정하면 전방 십자 인대가 정상일 때는 1.3 mm, 전방 십자 인대 부전일 때는 4.6 mm 전방 전이가 있다고 보고되고 있으며⁸⁾, 실제로 임상적으로는 차이가 없다고 보고되고 있으나^{17,33)}, 이식건의 고정이 약하거나 연부 조직을 사용할 때는 초기에 다소 조심해야 할 것으로 사료된다. 그 외에 60~90도 사이의 능동적 신전이나, 수동적 관절 운동은 이식건의 긴장이 거의 없어 안전하게 쓸 수 있고 자전거는 1.7%의 긴장이 되어 매우 낮은 긴장이므로 안전하게 쓸 수 있다. 그러나 15도 굴곡 상태에서 능동적 신전은 이식건에 4.4%의 긴장이 되고⁵⁾, 50 N 이상의 힘이 주어지므로¹⁹⁾, 초기에는 피해야 한다. 보조기는 Electromagnetic position sensing system을 이용하여 측정시 약 3~4 mm의 전방 전이를 막아주므로 초기에는 도움이 된다⁴⁾.

왜 슬근건을 이용한 전방 십자 인대 재건술에서는 더 조심스럽게 재활을 하나?

Roe 등²⁴⁾은 슬근건을 이용한 전방 십자 인대 재건술 후 가속 재활을 하여도 슬개건 이용한 것 과 같은 안정성을 얻을 수 있다고 하였으나, 많은 저자들이 슬근건을 이용하여 전방 십자 인대 재건술 후 초기 재활시 슬개건을 이용할 때보다는 천천히 하기를 권한다^{6,13,14,22,32)}. 그 이유는 슬 후 3주에 이식건의 강도는 슬근건, 슬개건 다 약하지만, 특히 슬근건은 슬개건의 45% 밖에 안 되며, 터널에서의 치유가 슬개건은 3주에 이루어지는데 비해 슬근건은 12주가 걸리고³²⁾, 슬근건은 초기에 관절 운동으로 터널 확장이 일어나며¹⁴⁾, 현재의 슬근건을 이용한 전방 십자 인대 재건술에 쓰이는 간섭 나사, RigidFix, EndoButton, RCI screw가 100 cycle에서 3.7 mm 이상의 전이가 일어나고¹⁸⁾, RigidFix의 경우 슬 후 38.7%에서 부러짐 및 불안정성이 관찰되기 때문이다¹⁰⁾. 따라서 슬근건을 사용하고 가속 재활을 하려면 대퇴에서는 경과(transcondylar) 고정이 좋고^{22,35)}, 간섭 나사의 경우 EndoPearl을 같이 사용하는 것이 좋고¹⁾, Ligament plate도 대안이 될 수 있으며³⁰⁾, 경골에서는 보조적 고정을 같이 하는 것이 좋겠다¹⁶⁾.

Agility training

어느 정도 인대가 안정이 되면 Agility training이 중요한데 Agility training을 하는 경우 정상보다 시상면 이완

(sagittal laxity)이 있어도 정상적인 자세 조절이 되기 때문이다³⁵⁾. 또한 Agility training이 이식건의 안정성에도 영향을 주지 않기 때문이다²⁵⁾.

Electric stimulation

전방 십자 인대 재건술 후 초기에 전기 자극을 써서 재활하면 보다 정상적인 보행을 할 수 있고, 신전 근력 회복이 잘 된다고 보고도 있다^{12,31)}.

Cold therapy

슬 후 냉동 요법은 혈관절증(hemarthrosis)을 감소시키고 동통을 줄여 굴곡 운동을 빨리할 수 있으나²⁾, 지나치면 동상으로 인해 피부 괴사가 일어날 수 있으므로 조심하여야 한다²⁰⁾.

전방 십자 인대 재건술 후 Criteria-Based 재활

Paulos 등²³⁾은 슬개건과 슬근건이 치유 과정이 다르고, 또 사람에 따라 치유 과정이 다르므로 전신적으로 인대가 이완된 사람과 상처 형성이 잘되는 사람(scar former)을 나누어 재활을 달리해야 한다고 하였다. 즉 슬개건과 슬근건을 재활을 다르게 하여 슬개건은 빠른 치유 프로토콜(protocol)을 적용하여 3~4주에 제 2 단계로 가고, 슬근건은 이보다 늦은 6 주 후에 제 2 단계로 전환해야 한다고 하였다. 또한 환자의 치유 과정을 나누어 전신적으로 인대가 이완된 사람은 늦은 치유 군으로 재활시 보호를 해야 하며, 상처 형성이 잘되는 사람은 강직의 위험이 많으므로 빠르고 보다 공격적인 노력이 필요하고, 환자 각각에 따라 변형을 주며 재활시 어느 기준이 도 달되면 상위의 재활로 가는 것이 좋다고 하였다.

제 1 단계는 초기로 슬개골 움직임, 대퇴 사두근 강화 운동, 하지 직거상 운동, 40~90도에서 대퇴 운동, 수동적 관절 운동, 반대편 다리를 이용하여 다리 올리기, 간단한 고유 감각(proprioception) 운동이다. 슬관절 굴곡이 110도 이상 되고 대퇴 사두근 지연(quadriceps lag)이 없고, 수동적으로 완전한 신전이 되고, 부종이 없고, 슬개골의 운동성이 좋으면 제 2 단계로 가서 목발을 놓고, 저항 없이 자전거를 타며, Leg press 운동, 0~30도에서 신전 운동, 굴곡 증진을 시행하며 보조기 착용을 하지 않는다. 정상적인 관절 운동 범위가 도달되고, 부종이 없으며, 신전시 동통이 없고, 슬개골 활주가 정상이면 제 3 단계로 가서 슬근건 및 신전근의 Open kinetic chain 운동을 하고, Stair stepper를 하고, 골프도 할 수 있으며, 땅에서의 Plyometric 운동을 한다. 대퇴 사두근력이 75%이고, 16주가 되면 제 4 단계로 가서 Weight lifting program과 진보된 균형 운동을 하고, 점차 달리는 운동을 한다. 대퇴 사두근 및 슬근의 힘이 90% 이상이고, 활동시 부종

이 없고, 기능적 검사를 통과하면 스포츠 복귀를 한다. 이때도 KT2000상 3 mm 이상의 불안정성이 있거나, 대퇴 사두근 및 슬근의 힘이 90% 미만이거나, 접촉성 운동을 할 때는 보조기를 착용할 수도 있다.

결 론

전방 십자 인대 재건술 후 재활은 가속 재활을 하는 것이 빠른 기능적 회복을 위해 좋으나, 이식건, 고정 기구, 각 개인의 성향에 따라 안정성이 다르므로 개개인 별로 맞추어 재활을 해야 한다.

REFERENCES

- 1) **Arneja S, Froese W and MacDonald P:** Augmentation of femoral fixation in hamstring anterior cruciate ligament reconstruction with a bioabsorbable bead: a prospective single-blind randomized clinical trial. *Am J Sports Med*, 32:159-163, 2004.
- 2) **Barber FA:** A comparison of crushed ice and continuous flow cold therapy. *Am J Knee Surg*, 13:97-101, 2000.
- 3) **Barber-Westin SD, Noyes FR, Heckmann TP and Shaffer BL:** The effect of exercise and rehabilitation on anterior-posterior knee displacements after anterior cruciate ligament autograft reconstruction. *Am J Sports Med*, 27:84-93, 1999.
- 4) **Beynon BD, Fleming BC, Churchill DL and Brown D:** The effect of anterior cruciate ligament deficiency and functional bracing on translation of the tibia relative to the femur during nonweightbearing and weightbearing. *Am J Sports Med*, 31:99-105, 2003.
- 5) **Beynon BD, Fleming BC, Johnson RJ, Nichols CE, Renström PA and Pope MH:** Anterior cruciate ligament strain behavior during rehabilitation exercises in vivo. *Am J Sports Med*, 23:24-34, 1995.
- 6) **Beynon BD, Johnson RJ, Abate JA, Fleming BC and Nichols CE:** Treatment of anterior cruciate ligament injuries, part 2. *Am J Sports Med*, 33:1751-1767, 2005.
- 7) **Beynon BD, Johnson RJ, Fleming BC:** The science of anterior cruciate ligament rehabilitation. *Clin Orthop*, 402:9-20, 2002.
- 8) **Beynon BD, Uh BS, Johnson RJ, et al:** Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: A prospective, randomized, double-blind comparison of programs administered over 2 different time intervals. *Am J Sports Med*, 33:347-359, 2005.
- 9) **Bynum EB, Barrack RL and Alexander AH:** Open versus closed chain kinetic exercises after anterior cruciate ligament reconstruction. A prospective randomized study. *Am J Sports Med*, 23:401-406, 1995.
- 10) **Choi NH, Lee JH and Victoroff BN:** Do broken cross-pins compromise stability after anterior cruciate ligament reconstructions with hamstring tendons? *Arthroscopy*, 23:1334-1340, 2007.
- 11) **DeHaven KE, Cosgarea AJ, Sebastianelli WJ:** Arthrofibrosis of the Knee Following Ligament Surgery. *Instr Course Lect*, 52:369-381, 2003.
- 12) **Eriksson E and Häggmark T:** Comparison of isometric muscle training and electrical stimulation supplementing isometric muscle training in the recovery after major knee ligament surgery: A preliminary report. *Am J Sports Med*, 7:169-171, 1979.
- 13) **Goradia VK, Rochat MC, Kida M and Grana WA:** Natural history of a hamstring tendon autograft used for anterior cruciate ligament reconstruction in a sheep model. *Am J Sports Med*, 28:40-46, 2000.
- 14) **Hantes ME, Mastrokalos DS, Yu J and Paessler HH:** The effect of early motion on tibial tunnel widening after anterior cruciate ligament replacement using hamstring tendon grafts. *Arthroscopy*, 20:572-580, 2004.
- 15) **Henriksson M, Ledin T and Good L:** Postural control after anterior cruciate ligament reconstruction and functional rehabilitation. *Am J Sports Med*, 29:359-366, 2001.
- 16) **Hill PF, Russell VJ, Salmon LJ and Pinczewski LA:** The influence of supplementary tibial fixation on laxity measurements after anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring tendons in female patients. *Am J Sports Med*, 33:94-101, 2005.
- 17) **Jorgensen U, Jensen CM, Scavenius M, et al:** Rehabilitation with or without initial weightbearing: randomized study. *Sports medicine* 2000: June 6-8, 1995
- 18) **Kousa P, Järvinen TL, Vihavainen M, Kannus P and Järvinen M:** The fixation strength of six hamstring tendon graft fixation devices in anterior cruciate ligament reconstruction. Part I: femoral site. *Am J Sports Med*, 31:174-181, 2003.
- 19) **Markolf KL, Gorek JF, Kabo JM and Shapiro MS:** Direct measurement of resultant forces in the anterior cruciate ligament. An in vitro study performed with a new experimental technique. *J Bone Joint Surg Am*, 72:557-567, 1990.
- 20) **McGuire DA and Hendricks SD:** Incidences of frostbite in arthroscopic knee surgery postoperative cryotherapy rehabilitation. *Arthroscopy*, 22:1141.e1-6, 2006.
- 21) **Mikkelsen C, Werner S and Eriksson E:** Closed kinetic chain alone compared to combined open and closed kinetic chain exercises for quadriceps strengthening after anterior cruciate ligament reconstruction with respect to return to sports: a prospective matched follow-up study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 8:337-342, 2000.
- 22) **Milano G, Mulas PD, Ziranu F, Piras S, Manunta A**

- and Fabbriciani C:** Comparison between different femoral fixation devices for ACL reconstruction with doubled hamstring tendon graft: a biomechanical analysis. *Arthroscopy*, 22:660-668, 2006.
- 23) **Paulos LE, Karistinos A and Walker JA:** "Criteria"-based rehabilitation of surgically reconstructed and non-surgically treated anterior cruciate ligament injuries. *Insall & Scott Surgery of the knee*, 4th ed. Philadelphia:693-714, 2006.
- 24) **Roe J, Pinczewski LA, Russell VJ, Salmon LJ, Kawamata T and Chew M:** A 7-year follow-up of patellar tendon and hamstring tendon grafts for arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: Differences and similarities. *Am J Sports Med*, 33:1337-1345, 2005.
- 25) **Shelbourne KD and Davis TJ:** Evaluation of knee stability before and after participation in a functional sports agility program during rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*, 27:156-161, 1999.
- 26) **Shelbourne KD and Nitz P:** Accelerated rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am. J. Sports Med*, 18:292-299, 1990.
- 27) **Shelbourne KD and Patel DV:** Rehabilitation after autogenous bone-patellar tendon-bone ACL reconstruction. *Instr Course Lect*, 45:263-273, 1996.
- 28) **Shelbourne KD and Patel DV:** Prevention of complications after autogenous bone-patellar tendon-bone ACL reconstruction. *Instr Course Lect*, 45:253-262, 1996.
- 29) **Shields RK, Madhavan S, Gregg E, et al:** Neuromuscular control of the knee during a resisted single-limb squat exercise. *Am J Sports Med*, 33:1520-1526, 2005.
- 30) **Sim JA, Lee BK, Kwak JH and Lee KC:** A short term follow-up of anterior cruciate ligament reconstruction using hamstring tendon grafts fixed with ligament plate. *J of Korean Knee Soc*, 19:237-243, 2007.
- 31) **Snyder-Mackler L, Ladin Z, Schepsis AA and Young JC:** Electrical stimulation of the thigh muscles after reconstruction of the anterior cruciate ligament. Effects of electrically elicited contraction of the quadriceps femoris and hamstring muscles on gait and on strength of the thigh muscles. *J Bone Joint Surg Am*, 73:1025-1036, 1991.
- 32) **Tomita F, Yasuda K, Mikami S, Sakai T, Yamazaki S and Tohyama H:** Comparisons of intraosseous graft healing between the doubled flexor tendon graft and the bone?patellar tendon?bone graft in anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*, 17:461-476, 2001.
- 33) **Tyler TF, McHugh MP, Gleim GW and Nicholas SJ:** The effect of immediate weightbearing after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Orthop*, 357:141-148, 1998.
- 34) **Weiler A, Peine R, Pashmineh-Azar A, Abel C, S?dkamp NP and Hoffmann RF:** Tendon healing in a bone tunnel. Part I: Biomechanical results after biodegradable interference fit fixation in a model of anterior cruciate ligament reconstruction in sheep. *Arthroscopy*, 18:113-123, 2002.
- 35) **Zantop T, Weimann A, Wolle K, Musahl V, Langer M and Petersen W:** Initial and 6 weeks postoperative structural properties of soft tissue anterior cruciate ligament reconstructions with cross-pin or interference screw fixation: an in vivo study in sheep. *Arthroscopy*, 23:14-20, 2007.