

전방십자인대 재건술의 수술 시기

경희대학교 의과대학 정형외과학교실

윤경호

최근 전방십자인대에 대한 해부학적, 생역학적 연구 결과가 다양하게 소개 되고 있고 전방십자인대 재건술 시 이식 건의 선택, 골 터널의 위치와 방향, 고정 방법 및 재할 등에 있어 많은 발전이 이루어졌다. 이에 따라 전방십자인대를 원래의 해부학적 모양으로 재건하기 위하여 단일 다발 재건술 이외에 근래에는 단일 다발 보강술 및 이중 다발 재건술이 시행되고 있다.

현재까지 단일 다발 재건술 후 80~90%에서 좋은 임상적 결과가 보고되고 있으나 여전히 13~15%의 환자는 회전 불안정 때문에 불만족스러운 결과를 나타내는 것으로 알려져 있다. 단일 다발 재건술 후 회전 불안정성을 해결하기 위한 방안으로 해부학적인 전내측 다발(anteromedial bundle)과 후외측 다발(posterolateral bundle)의 이중 다발(2 bundle) 재건술이 대두되고 있으며, 또한 전방십자인대 부분 파열인 환자에서 잔여 조직을 보존하는 전방십자인대 보강술(anterior cruciate ligament augmentation)이 보고되고 있다.

전방십자인대 보강술 (anterior cruciate ligament augmentation)

전방십자인대의 부분 손상 시 비수술적 치료는 결과가 좋지 못하며, 부분 손상의 경우에도 인대 조직 혈류의 손상과 이로 인한 잔여 조직의 추가 괴사로 완전 손상으로 진행될 수 있어서, 전방십자인대의 부분 손상 시에도 전방십자인대의 잔여 조직을 제거하고 전내측 다발(anteromedial bundle)을 재건하는 단일 다발 재건술이 시행되어 왔다. 하지만 전방십자인대 재건술시 손상 받은 잔여 조직은 고유 감각 기능의 역할을 할 뿐만 아니라 경골의 전방 전위에 대항하는 생역학적 기능을 갖는 것으로 알려져 있다. 이러한 관점에서 전방십자

인대의 잔여 조직을 보존하는 경우 기계적 수용체(mechanoreceptor)를 보존하여 술 후 슬관절 위치 감각에 도움이 될 수 있고 이식건의 신경 지배(reinnervation)에도 장점이 있을 것으로 보이며, 또한 잔여 조직에 남아 있는 혈관 분포를 상하게 하지 않음으로써 이식건의 혈관화를 촉진하여 이식 건이 빠른 시일 안에 전방십자인대화 될 수 있고, 수술 직후의 기계적 안정성을 향상시켜 더 빠른 재활 치료가 가능할 것이라는 연구 결과가 보고 되고 있다.

이중 다발로 구성된 전방십자인대를 해부학적으로 유사하게 만들기 위하여 전내측 다발(anteromedial bundle) 손상 시에는 전내측 다발 보강술을, 후외측 다발(posterolateral bundle) 손상 시에는 후외측 다발 보강술을 시행하는 것이 추천된다. 수술 시 주의사항으로는 잔여 조직이 남아 있는 상태에서 수술을 시행함으로써 시야가 나쁠 수 있고, 특히 경골 터널의 정확한 위치를 확보하는 것이 어려울 수 있기 때문에 정확한 해부학적인 지식 및 숙련된 경험이 필요할 것으로 생각된다.

전방십자인대 이중 다발 재건술 (double bundle reconstruction)

경골에 전방력이 작용할 때 후외측 다발에 발생하는 in situ force는 슬관절 0~30° 굴곡 자세에서 높게 발생하며 전내측 섬유다발은 60° 굴곡 자세에서 최대에 이르는 것으로 알려져 있다. 따라서 전방십자인대의 단일 다발 재건술은 슬관절의 굴곡 각도에 따라 전후방 불안정성을 보일 수 있고 회전 불안정성을 완전히 회복시키지 못하는 것으로 보고되고 있어 보다 해부학적인 이중 다발 재건술이 고려되고 있다.

초기의 연구에서는 이중 다발과 단일 다발 재건술 사이의 임상적 결과에 차이가 없는 것으로 나타났으나 최근 이중 다발 재건술의 좋은 결과가 보고되고 있다. 초기의 이중 다발 재건술은 하나의 경골 터널과 두 개의 대퇴골 터널을 이용하였으나 최근의 술기는 경골과 대퇴골에 두 개의 터널을 이용하고 대퇴골의 후외측 다발의 터널 위치도 최근의 해부학적 연구를 바탕으로 하여 제조정 함으로써 전후방 안정성과 회전

* Address reprint request to
Kyoung Ho Yoon, M.D.
Department of Orthopaedic Surgery,
School of Medicine, Kyung Hee University,
1 Hoegi-dong, Dongdaemoon-gu, Seoul, Korea
Tel: 82-2-958-8350. Fax: 82-2-964-3865
E-mail: Kyoungho@khmc.or.kr

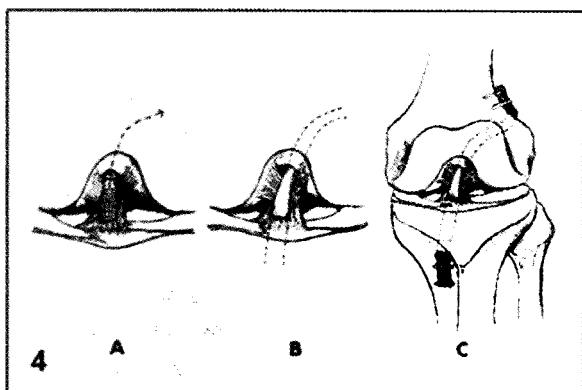
Table 1. Graft tension

	AM graft	PL graft
Muneta (Arthroscopy, 1999)	30 degrees flexion with maximum manual tension	30 degrees flexion with maximum manual tension
Yasuda (Arthroscopy, 2006)	20 degrees flexion with 40N	20 degrees flexion with 40N
Aglietti (Clin Orthop, 2007)	45 degrees flexion with 20N	10 degrees flexion with 20N
Pederzini (Arthroscopy, 2000)	40 degrees flexion	Full extension
Jarvela (Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2007)	30 degrees flexion	Full extension

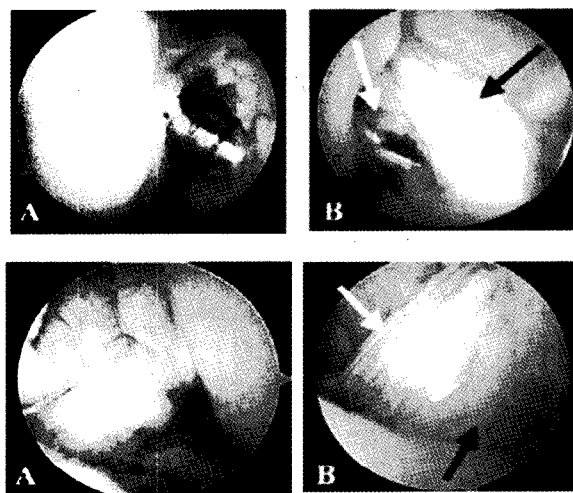
Table 2. Rehabilitation (Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 15:946-964, 2007)

Report	Rehabilitation protocol
Muneta et al.	Jogging at 3 months with 65% knee extensor strength, sports at 8 months with 80%
Hamada et al.	Same as for SB technique, jogging at 4 months, sports at 8-9 months
Toritsuka et al.	Same rehabilitation program for SB and DB groups
Shino et al.	Splinted with Cryocuff in 10° flexion for 1 week. Partial weightbearing at 3 weeks, full weightbearing at 5 weeks (and full extension permitted). Jogging at 3 months, return to strenuous activity no earlier than 6 months.
Adachi et al.	Jogging at 3 months and return to sports at 9 months post-surgery
Zhao et al.	Braced at 0° flexion for 2 weeks, with isometric exercise and patellar mobilization. Flexion and proprioception exercise at 3 weeks. Patients initiated running and mobility training at 12 weeks
Bellier et al.	Jogging at 3 months, return to sports at 6 months
Cha et al.	Irrgang protocol
Takeuchi et al.	Jogging at 3 months, return to sports at 8 months
Caborn and Chang	Immediate CPM 0°-45°, advanced to 90° as tolerated. Full weight bearing with hinged knee brace locked at 0° knee flexion, weaned from crutches by 1 week, uses rehabilitation program based on Gary Gray Chain-Reaction Matrix Therapeutic Exercise Progression, functional evaluation at 12 weeks, released to full competition by 4-6 months
Fu et al and Vidal et al.	Full weight bearing with hinged knee brace locked at 0° flexion. CPM used immediately between 0° and 45° knee flexion and increased by 10°/day. Brace unlocked at 1 week, crutches used until quadriceps control is re-established (4-6 weeks). Accelerated rehabilitation protocol by Irrgang is used

SB single bundle, DB double bundle



Adachi N, Ochi M, Uchio Y and Sumen Y: Anterior cruciate ligament augmentation under arthroscopy: A minimum 2-year follow-up in 40 patients. *Arch Orthop Trauma Surg*, 120:128-133, 2000.



Ochi M, Adachi N, Deie M and Kanaya A: Anterior cruciate ligament augmentation procedure with I-incision technique: Anteromedial bundle or posterolateral bundle reconstruction. *Arthroscopy*, 22:463.e1-5, 2006

Fig. 1. 전방십자인대 보강술

안정성의 향상이 보고 되고 있다. 이중 다발 재건술 후 이차 관절경에서 대퇴골 터널에서 windshield wiper effect 또는 bungee cord effect 등으로 인한 후외측 다발의 손상에 대한 보고가 있으나 초기 재활에서 충분한 보호를 통해 후외측 다발에서도 전내측 다발과 비슷한 활액막의 재형성과 강도를 얻을 수 있다는 보고도 있다.

이중 다발 재건술의 터널의 위치는 보고마다 차이가 있으나 경골 터널의 경우 잔여 인대를 이용하여 전내측 다발과 후

외측 다발의 위치를 정하고 대퇴골에서 전내측 다발의 위치는 10시에서 10시 30분(또는 1시30분에서 2시), 대퇴 절흔의 후방 피질골에서 5~6 mm 전방에 위치하고 후외측 다발은 슬관절 90도 굴곡위에서 경골과 만나는 수직선과 대퇴 부착부의 축의 연장선과 만나는 지점(관절 연골의 5~8 mm 전방)에 위치하게 된다. 다른 방법으로 lateral intercondylar ridge와 bifurcate ridge를 경계로 bifurcate ridge의 원위부에 후외측 다발이 위치하고 근위부에 전내측 다발이 위치

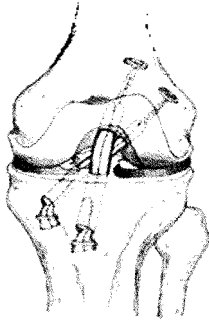


Fig. 4. Two femoral, two tibial tunnel technique. Double bundle ACL reconstruction with two tunnels. Femoral, tibial and tibial tunnels.

Fu FH, Zelle BA, Beasley LS: The double-bundle technique: the restoration of normal kinematics. *Proceedings of Arthroscopy Association of North America 2005 Specialty Day, Washington, DC, February 26, pp 284-289, 2005.*

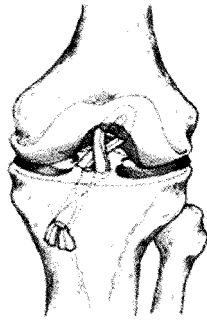


Fig. 7. Two femoral socket, one tibial tunnel technique. Double bundle ACL reconstruction with fibular tendon at the femoral socket.

Caborn DN, Chang HC: Single femoral socket double bundle anterior cruciate ligament reconstruction using tibialis anterior tendon: description of a new technique. *Arthroscopy, 21:1274.e1-8, 2005.*

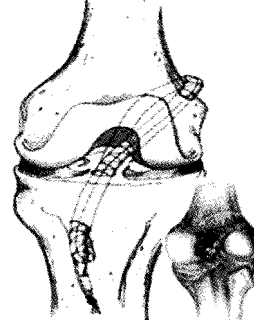


Fig. 8. Two femoral, two tibial tunnel, double bundle ACL reconstruction with hamstring graft.

Marcacci M, Molgora AP, Zaffagnini S et al: Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction with hamstrings. *Arthroscopy, 19:540-546, 2003.*

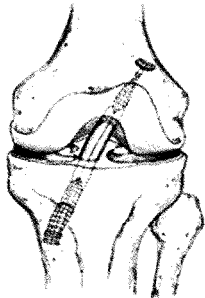


Fig. 5. Two femoral, one tibial tunnel technique. Double bundle ACL reconstruction with anterior, deep, posterior, and bifurcate femoral tunnels, single tibial tunnel.

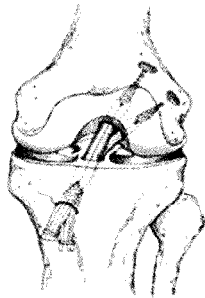


Fig. 6. Two femoral, one tibial tunnel, separate double bundle ACL reconstruction with anterior, deep, posterior, and bifurcate femoral tunnels, single tibial tunnel.

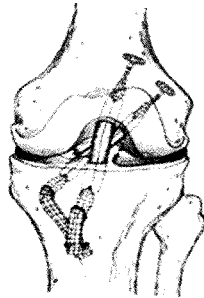


Fig. 9. Two femoral, two tibial tunnel technique. Double bundle ACL reconstruction with anterior, deep, posterior, and bifurcate femoral tunnels, single tibial tunnel.

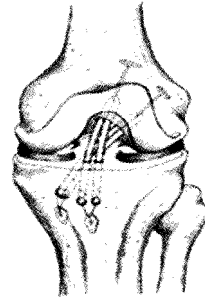
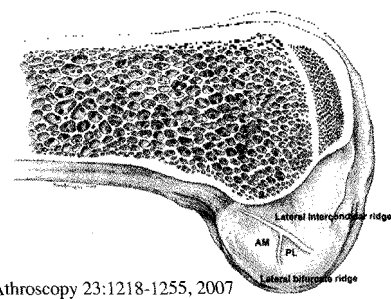
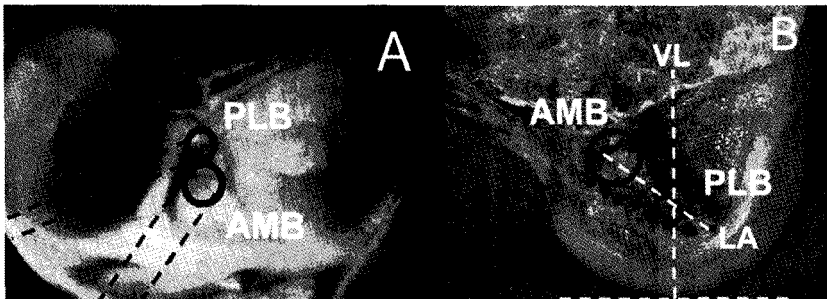


Fig. 10. Two femoral, two tibial tunnel technique. Double bundle ACL reconstruction with anterior, deep, posterior, and bifurcate femoral tunnels, single tibial tunnel.

Yasuda K, Kondo E, Ichiyama H, Tanabe Y, Tohyama H: Clinical evaluation of anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction procedure using hamstring tendon grafts: comparisons among three different procedures. *Arthroscopy, 22:240-251, 2006.*

Shino K, Nakata K, Nakamura N et al: Anatomic anterior cruciate ligament reconstruction using two double-looped hamstring tendon grafts via twin femoral and triple tibial tunnels. *Oper Tech Orthop, 15:130-134, 2005.*



Athroscopy 23:1218-1255, 2007

Fig. 2. 전방십자인대 이중 다발 재건술

하게 된다. 이외에도 이중 다발 재건술을 위한 터널의 위치와 개수 대하여 여러 보고들이 있으며 아직 명확한 결론은 얻지 못한 상태이다.

이중 다발 재건술에서 터널의 위치 뿐만 아니라 어떤 이식건을 이용할 것인지 또 어떻게 고정할 것인지도 고려해야 한다. 이중 다발 재건술에 사용되는 이식건은 술자들마다 다양하며 어떤 이식건이 가장 적합한지에 대한 결론은 없는 상태이다. 또한 이식건의 고정 방법을 선택하는 데 있어서도 이중 다발 재건술이나 좀더 낮은 대퇴골 터널을 이요할 경우 cross pin 등을 이용한 고정에 한계가 있고 endobutton 또는 staple 을 이용하게 되는데 이때에도 고정물의 개수, 재질 (metal, synthetic, bioabsorbable) 등을 고려하여야 하고 bugee cord effect나 windshield wiper effect가 생기지 않도록 주의를 해야 한다.

이중 다발 재건술 시 각 다발의 고정 각도 역시 같은 각도에서 두 다발 모두 고정하는 경우도 있으나 전내측과 후외측 다발을 다른 각도에서 고정하는 등 저자들마다 다양하다 (Table 1).

또한 이중 다발 재건술을 시행하였을 경우 수술 후 재활을 어떻게 할 것인지도 고려해야 할 문제이다. 이중 다발 재건술로 회전 안정성이 향상 되어 재활 더 빨리 시행할 것인지 아니면 더 많은 터널과 고정기구가 삽입 되었기 때문에 초기 보호를 더 강화 할 것인지에 대해서도 아직 결론이 없이 저자들마다 다양한 재활 프로그램을 사용하고 있다 (Table 2).

이중 다발 재건술이 생역학적으로 회전 안정성에 유리한 것으로 생각 되지만 실제 스포츠 활동에서 얼마나 회전 안정성을 확보 할 수 있는지에 대한 임상적 증거는 아직 부족하며 실제 환자의 만족도나 관절의 퇴행성 변화에 대해 단일 다발 재건술과의 비교에 대한 연구도 부족한 상태이다. 또한 두꺼운 이식건으로 인한 이식건 간의 충돌이나 터널 사이의 골교의 골절, 수술의 기술적 어려움과 더 긴 수술 시간, 많은 터널로 인한 재수술의 어려움 등의 잠재된 합병증도 해결되어야 할 과제이다.

하지만 이중 다발 재건술은 이러한 문제점들을 극복하고 임상적 결과에 대한 연구들이 축적 된다면 생역학적으로 슬관절의 전후방 안정성과 회전 안정성에 유리한 점 때문에 더 좋은 임상적 결과를 예상할 수 있어 전방 십자 손상에 대한 치료에 나아가야 할 방향으로 생각된다. 또한 전방 십자 인대 보강술도 잔여 인대가 50% 이상이고 5 mm 이하의 이완을 보일 경우에 치료의 한 방법이 될 것으로 생각된다 (Fig. 1, 2)

REFERENCES

1) **Ahn JH and Choi HJ:** Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction using bone-patellar tendon-bone autograft 13 to 26-month follow-up evaluation. *J Korean orthop assoc*, 35: 375-380, 2000.

2) **Yoon KH, Park SY, Lee JH, Bae DK, Song SJ and Kim JW:** Clinical results after arthroscopic ACL reconstruction and augmentation using hamstring tendon autograft. *The Korean Journal of Sports Medicine*, 26-1;13-18, 2008

3) **Adachi N, Ochi M, Uchio Y, Iwasa J, Kuriwaka M and Ito Y:** Reconstruction of the anterior cruciate ligament. Single- versus double-bundle multi-stranded hamstring tendons. *J Bone Joint Surg Br*, 86: 515-520, 2004.

4) **Adachi N, Ochi M, Uchio Y, Iwasa J, Ryoike K and Kuriwaka M:** Mechanoreceptors in the anterior cruciate ligament contribute to the joint position sense. *Acta Orthop Scand*, 73;330-334, 2002.

5) **Aglietti P, Giron F, Buzzi R, Biddau F and Sasso F:** Anterior cruciate ligament reconstruction: bone-patellar tendon-bone compared with double semitendinosus and gracilis tendon grafts. A prospective, randomized clinical trial. *J Bone Joint Surg Am*, 86: 2143-2155, 2004.

6) **Aglietti P, Giron F, Cuomo P, Losco M and Mondanelli N:** Single-and double-incision double-bundle ACL reconstruction. *Clin Orthop*, 454: 108-113, 2007.

7) **Buda R, Ferruzzi A, Vannini F, Zambelli L and Di Caprio F:** Augmentation technique with semitendinosus and gracilis tendon in chronic partial lesions of the ACL: Clinical and arthrometric analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 14: 1101-1107, 2006

8) **Danylchuk KD, Finlay JB and Kreck JP:** Microstructural organization of human and bovine cruciate ligaments. *Clin Orthop*, 131: 294-298, 1978.

9) **Denti M, Monteleone M, Berardi A and Panni AS:** Anterior cruciate ligament mechanoreceptors. Histologic studies on lesions and reconstruction. *Clin Orthop*, 308: 29-32, 1994.

10) **Freedman KB, D'Amato MJ, Nedeff DD, Kaz A and Bach BR, Jr.:** Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: a metaanalysis comparing patellar tendon and hamstring tendon autografts. *Am J Sports Med*, 31: 2-11, 2003.

11) **Girgis FG, Marshall JL and Monajem A:** The cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis. *Clin Orthop*, 106: 216-231, 1975.

12) **Giron F, Cuomo P, Edwards A, Bull AM, Amis AA and Aglietti P:** Double-bundle "anatomic" anterior cruciate ligament reconstruction: a cadaveric study of tunnel positioning with a transtibial technique. *Arthroscopy*, 23: 7-13, 2007.

13) **Graf Bk, Vanderby R Jr, Ulm MJ, Rogalski RP and Thielke RJ:** Effect of preconditioning on the viscoelastic response of primate patellar tendon. *Arthroscopy*, 10: 90-96, 1994.

14) **Hamada M, Shino K, Horibe S, et al.:** Single- versus bi-socket anterior cruciate ligament reconstruction using

- autogenous multiple-stranded hamstring tendons with endoButton femoral fixation: A prospective study. *Arthroscopy*, 17: 801-807, 2001.
- 15) **Jarvela T**: Double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized clinical study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 15: 500-507, 2007.
 - 16) **Krueger-Franke M, Siebert CH and Schupp A**: Refixation of femoral anterior cruciate ligament tears combined with a semitendinosus tendon augmentation. Technique and results. *Arch Orthop Trauma Surg*, 117: 68-72, 1998.
 - 17) **Muneta T, Koga H, Mochizuki T, et al.**: A prospective randomized study of 4-strand semitendinosus tendon anterior cruciate ligament reconstruction comparing single-bundle and double-bundle techniques. *Arthroscopy*, 23: 618-628, 2007.
 - 18) **Mac T, Shino K, Matsumoto N, Nakata K, Nakamura N and Iwahashi T**: Force sharing between two grafts in the anatomical two-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 14: 505-509, 2006.
 - 19) **Mae T, Shino K, Miyama T, et al.**: Single- versus two-femoral socket anterior cruciate ligament reconstruction technique: Biomechanical analysis using a robotic simulator. *Arthroscopy*, 17: 708-716, 2001.
 - 20) **Noyes FR, Moar PA, Matthews DS and Butler DL**: The symptomatic anterior cruciate-deficient knee. Part I. The long-term functional disability in athletically active individuals. *J Bone Joint Surg Am*, 65: 154-162, 1983.
 - 21) **Otsubo H, Shino K, Nakamura N, Nakata K, Nakagawa S, Koyanagi M.**: Arthroscopic evaluation of ACL grafts reconstructed with the anatomical two-bundle technique using hamstring tendon autograft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 15: 720-8, 2007.
 - 22) **Ochi M, Adachi N, Deie M and Kanaya A**: Anterior cruciate ligament augmentation procedure with a 1-incision technique: Anteromedial bundle or posterolateral bundle reconstruction. *Arthroscopy*, 22: 463.e1-5, 2006.
 - 23) **Petersen W, Tretow H, Weimann A, et al.**: Biomechanical evaluation of two techniques for double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: one tibial tunnel versus two tibial tunnels. *Am J Sports Med*, 35: 228-234, 2007.
 - 24) **Steckel H, Starman JS, Baums MH, Klinger HM, Schultz W and Fu FH**: Anatomy of the anterior cruciate ligament double bundle structure: a macroscopic evaluation. *Scand J Med Sci Sports*, 17: 387-392, 2007.
 - 25) **Tashman S, Collon D, Anderson K, Kolowich P and Anderst W**: Abnormal rotational knee motion during running after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*, 32: 975-983, 2004.
 - 26) **Woo SL, Wu C, Dede O, Vercillo F and Noorani S**: Biomechanics and anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Surg*, 1: 2, 2006.
 - 27) **Yagi M, Kuroda R, Nagamune K, Yoshiya S and Kurosaka M**: Double-bundle ACL reconstruction can improve rotational stability. *Clin Orthop*, 454: 100-107, 2007.
 - 28) **Yagi M, Wong EK, Kanamori A, Debski RE, Fu FH and WooSL**: Biomechanical analysis of an anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*, 30: 660-666, 2002.
 - 29) **Yamamoto Y, Hsu WH, Woo SL, Van Scyoc AH, Takakura Y and Debski RE**: Knee stability and graft function after anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison of a lateral and an anatomical femoral tunnel placement. *Am J Sports Med*, 32: 1825-1832, 2004.
 - 30) **Yasuda K, Kondo E, Ichiyama H, Tanabe Y and Tohyama H**: Clinical evaluation of anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction procedure using hamstring tendon grafts: comparisons among 3 different procedures. *Arthroscopy*, 22: 240-251, 2006.