



Ön çapraz bağ rekonstrüksiyonunda tendon greftinin yumuşak doku interferans vidası ile tibial tünelde öne veya arkaya tespitinin biyomekanik etkisi

The effect of anterior or posterior tibial tunnel placement of a soft tissue graft with a soft tissue interference screw on fixation biomechanics

Yavuz KOCABEY,¹ Ömer TAŞER,² Mahmut Nedim DORAL,³ Mehmet DEMİRHAN,² Erdem Uğur İŞIKAN,⁴ John NYLAND,⁵ Sezgin SARBAN,⁴ Ergun BOZDAĞ,⁶ Emin SÜNBULOĞLU,⁶ David CABORN⁵

¹Besni Devlet Hastanesi Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği; ²İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı; ³Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı; ⁴Harran Üniversitesi Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı; ⁵Louisville Üniversitesi Ortopedik Cerrahi, Spor Tıbbı Bölümü, Louisville, ABD; ⁶İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi

Amaç: Ön çapraz bağ (ÖÇB) rekonstrüksiyonunda kullanılan yumuşak doku tendon greftinin tibial tünelde, yumuşak doku interferans vidası ile öne veya arkaya tespitinin biyomekanik etkileri araştırıldı.

Çalışma planı: On iki adet dana tibiası ve dana ekstansör digitorum süperfisialis tendonu, yumuşak dokulardan temizlenerek altışarlı homojen iki gruba ayrıldı. Hazırlanan tendonlar, tibialarda açılan tünellere 9x30 mm'lik yumuşak doku interferans vidası ile tespit edildi. Tibial tüneldeki tespit, greftin anatomik olmayan (eklemden uzak) pozisyonda önüne (n=6, grup I) veya arkasına (n=6, grup II) uygulandı. Tüm örneklerle, Servo-Hidrolik makinede önce 500 defa 50-250 N arasında değişen sinüzoidal kuvvetle 1 Hz frekansta tekrarlı yük verildi, sonra en yüksek dayanma kuvvetinin (load to failure) belirlenmesi için 20 mm/dak hızla gerilme testi uygulandı.

Sonuçlar: Ortalama vida ilerleme torku I. ve II. grupta sırasıyla 8.2±2.4 Nm ve 8.4±2.8 Nm bulundu (p=0.88). Tekrarlayıcı yüklenme testi uygulandıktan sonra, iki grup arasında greftlerde yer değiştirme (1.9±0.8 mm ve 2.3±0.4 mm; p=0.38) ve sertlik (132.7±10.9 N/mm ve 126.4±8.5 N/mm, p=0.98) açısından anlamlı farklılık görülmedi.

Çıkarımlar: Ön çapraz bağ rekonstrüksiyonunda kullanılan yumuşak doku tendon greftinin interferans vidası ile tibial tünelde öne veya arkaya tespitinin biyomekanik açıdan farklı olmadığı sonucuna varıldı.

Anahtar sözcükler: Ön çapraz bağ/yaralanma/cerrahi; biyomekanik; kemik yoğunluğu; kemik vidası; dana; tendon/transplantasyon; tibia/cerrahi.

Objectives: We investigated the biomechanical characteristics of anterior or posterior tibial tunnel placement of the soft tissue graft with a soft tissue interference screw in anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction.

Methods: Twelve bovine tibiae and digital extensor tendons were divided into two homogeneously equal groups after they were stripped of all soft tissues. Tibial tunnels were prepared and digital extensor tendons were fixed at nonanatomic (apart from the joint) anterior (n=6, group I) or posterior (n=6, group II) tibial tunnel positions with a soft tissue metal interference screw, 9x30 mm in size. All the specimens were cycled 500 times from 50 to 250 N at 1 Hz frequency in a servo hydraulic test device, after which ultimate load-at-failure testing was performed at a rate of 20 mm/min.

Results: The mean screw insertion torque values were 8.2±2.4 Nm and 8.4±2.8 Nm in groups I and II, respectively (p=0.88). No significant differences were found between the two groups with respect to graft displacement (1.9±0.8 mm vs 2.3±0.4 mm; p=0.38) and stiffness (132.7±10.9 N/mm vs 126.4±8.5 N/mm, p=0.98) at the end of cyclic loading.

Conclusion: Our results show that the site of nonanatomic soft tissue graft fixation in the tibial tunnel (anterior or posterior) with a soft tissue interference screw do not affect the biomechanical parameters in ACL reconstruction.

Key words: Anterior cruciate ligament/injuries/surgery; biomechanics; bone density; bone screws; cattle; tendons/transplantation; tibia/surgery.

Ön çapraz bağ (ÖÇB) rekonstrüksiyonu ameliyatlarında greftin en uygun pozisyonda, yeterli gerginlik ve sağlamlıkta tespiti önemlidir. Kemik blok içermemesi nedeniyle, yumuşak doku tendon greftinin özellikle tibial tünele yeterli sağlamlıkta tespiti her zaman mümkün olmayabilir. Hamstring tendonu kullanılarak yapılan ÖÇB ameliyatlarında vida-greft tespit kuvvetinin, tibia proksimali kemik mineral yoğunluğu ve vida ilerleme torku ile doğrudan ilişkili olduğu bildirilmiştir.^[1] Tibial proksimal metafizdeki kemik mineral yoğunluğunun femoral kondile göre düşük olmasından dolayı, tibial tüneldeki tespit femoral tüneldekine göre zayıftır.^[1,2] Tibial tünelde yapılan tespitin kuvvetini artırmak için birçok yöntem denenmiş; ancak, ideal yönteme henüz ulaşılamamıştır.^[3-5]

Bu çalışmada, tibial tünel tespitinde vidayı greftin önüne veya arkasına koyarak, bunun biyomekanik parametrelere olan etkisini karşılaştırmayı amaçladık. Hipotezimiz, greftin arkasına konan vida ile tespit kuvvetinin artırılabilceği yönündeydi.

Gereç ve yöntem

Çalışmada, insan tibiası ve semitendinoz-grasilis tendonlarına benzer biyomekanik özellikleri olan dana tibiası ve ekstansör digitorum süperfisialis (EDS) tendonları kullanıldı. On iki adet dondurulmuş dana dizi altışarlı olarak iki gruba ayrıldı. Sağlıklı hayvanlardan alınarak plastik torbalara konulan bütün tibia örnekleri bir saat içinde donduruculara yerleştirildi. Tibialar, alındığı süreden itibaren bir hafta içerisinde kullanıldı. Örneklerin, çalışma yapılmadan 24 saat önce oda sıcaklığında (24 °C) çözülme bırakılmasına dikkat edildi.

Proksimal tibial metafizde grupların eşit kemik yoğunluğuna sahip örneklerden oluşmasını sağlamak için, yumuşak dokulardan temizlendikten sonra, DEXA tarama sistemiyle (Hologic QDR-4500, Hologic Inc., Waltham, MA, ABD) örneklerin kemik mineral yoğunlukları ölçüldü. Ölçümler süresince tibialar, içinde serum fizyolojik bulunan 15x25 cm'lik plastik kutularda tutuldu. On iki adet çift bacaklı dana EDS grefti (uzunluk 70 mm, çap 8 mm) yumuşak dokulardan temizlenerek 2 numara Ethibond (Ethicon) "interlocking whipstitch" yöntemiyle hazırlandı (Şekil 1). Hazırlama sırasında ve daha sonra greftleri çift bacaklı yapmak ve tespitten önce germek için greft masası kullanıldı. Greftlere, yer değiştirme ve sertlik üzerine etkiyi azaltmak için, tespit öncesinde greft masasında

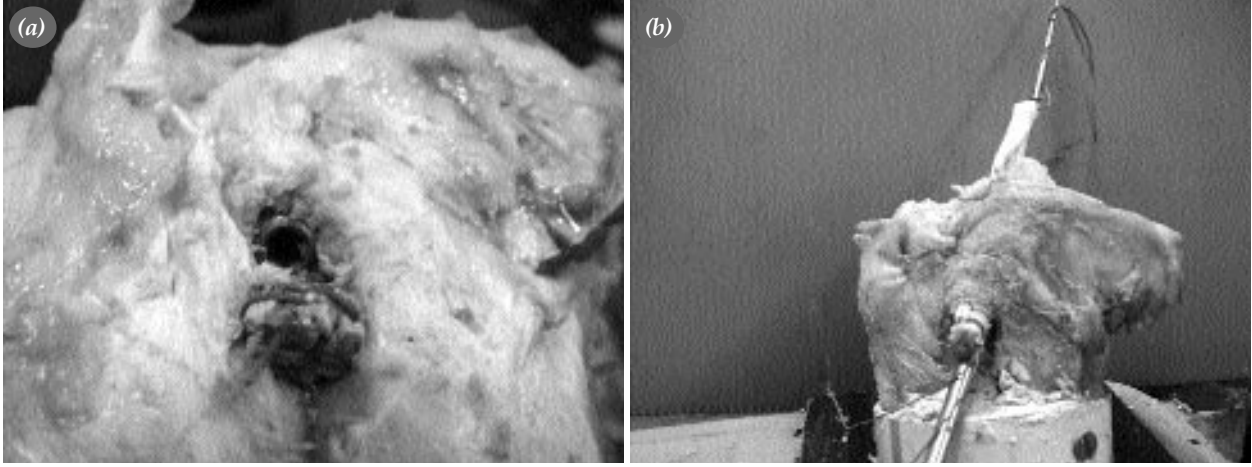
15 dakika süresince 3 kg'lık yük uygulandı. Daha sonra, tibial tünel Howell ve ark.nın^[6] belirttiği şekilde 7 mm çapında delindi ve 7.5, 8, 8.5, 9 mm'lik tünel genişleticilerle genişletildi.

Tünelin hazırlanmasını takiben, greftler tünel içine yerleştirildi ve yumuşak doku interferans vidası (9x30 mm) ile tespit yapıldı. Vida grup I'de greftin ön kısmına (n=6, Şekil 2a), grup II'de arkasına (n=6, Şekil 2b) kondu. Bu sırada, tork ölçer ile vida ilerleme torku ölçüldü (P3 Strain Indicator, 4 Channel, Vishay-Measurements Group, ABD). Tespitten sonra, aynı uzunlukta kesilen dana tibiaları polyester çelik macun içerisine gömüldü; açılı bir mengeneye 45 derece açıyla tespit tablasına konumlandırıldı ve germe yükü doğrudan tibial tünele gelecek şekilde en kötü olgu senaryosu oluşturuldu (Şekil 3). Hazırlanan örnekler özel tasarım ile imal edilmiş, Servo-Hidrolik Üniversal test makinesine (İTÜ Mühendislik Fakültesi Makine Bölümü-2003, 200 Psi.) uygun şekilde yerleştirildi ve çekme işlemine hazırlandı. Kemiğe sabitlenmiş greftler, serbest uçlarının iki bacağı arasından çelik iğne geçirilerek Servo-Hidrolik test makinesine sabitleştirilen yük hücresine (ESIT, SPA 300kg, S/N 223) bağlandı. Greftlere 500 defa 50-250 N arasında değişen sinüzoidal kuvvetle, 1 Hz frekansta tekrarlı yük verilerek dinamik zorlanma uygulandı.

Her bir örneğe statik olarak ve 0 N'den başlanarak, hasar gerçekleşene kadar 20 mm/dak hızla gerilme testi uygulandı. Bu işlemler sırasında, greftin boy değişimleri eşzamanlı ve dinamik olarak "potentiometric displacement transducer" (Micro-Epsilon WDS 300 P60 CR P, S/N 4600) yardımıyla ölçülerek bilgisayara aktarıldı. Veriler saniyede 100 Hz ile "ESAM Traveller" veri toplama sistemiyle (Type 1032-S, S/N 0060502, ESA Messtechnik GmbH, Almanya) doğrudan bilgisayara kaydedildi. Biyomekanik parametrelerden vida ilerleme torku (screw insertion torque – vidanın tünel içinde ilerlerken karşılaştığı kuvvet), sertlik (stiffness – greftin birim uzunluğunun deforme edici kuvvete gösterdiği direnç), greft



Şekil 1. Greftin hazırlanması.



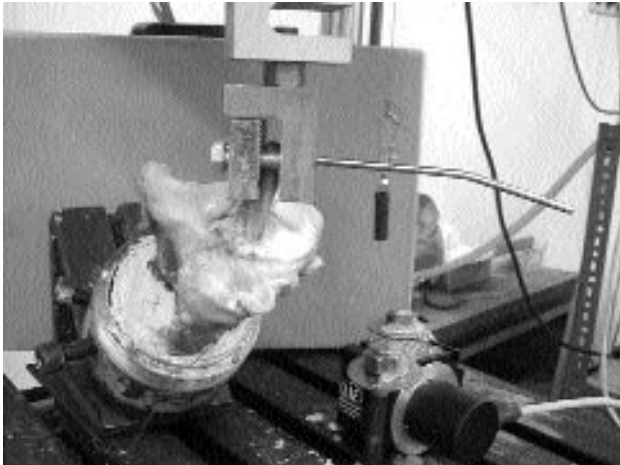
Şekil 2. Yumuşak doku interferans vidasının greftin (a) önüne ve (b) arka bölümüne konması.

yer değiştirmesi (graft displacement – greftin dinamik zorlanma sonrası milimetre olarak katettiği mesafe) ve en yüksek dayanma gücü (load to failure – uygulanan kuvvete karşı tespit bölgesinde oluşan hasardan hemen önceki dayanma kuvveti) incelendi.

İstatistiksel analizler Mann-Whitney U-testiyle, SPSS for Windows, version 11.0 programı kullanılarak yapıldı. $P < 0.05$ değerleri anlamlı kabul edildi.

Sonuçlar

İki grubun ortalama kemik mineral yoğunlukları benzer bulundu (grup I: 0.90 ± 0.22 g/cm² ve grup II: 0.88 ± 0.20 gr/cm²; $p=0.94$). Vida ilerleme torku grup I'de 8.2 ± 2.4 Nm, grup II'de 8.4 ± 2.8 Nm idi ($p=0.88$). Tekrarlayıcı yüklenme testinde hiçbir örnekte hasarlanma görülmedi. Tekrarlayıcı yüklenme sonunda ortalama greft yer değiştirmesi grup I'de 1.9 ± 0.8 mm, grup II'de 2.3 ± 0.4 mm bulundu



Şekil 3. Servo-Hidrolik makinede yüklenme testi.

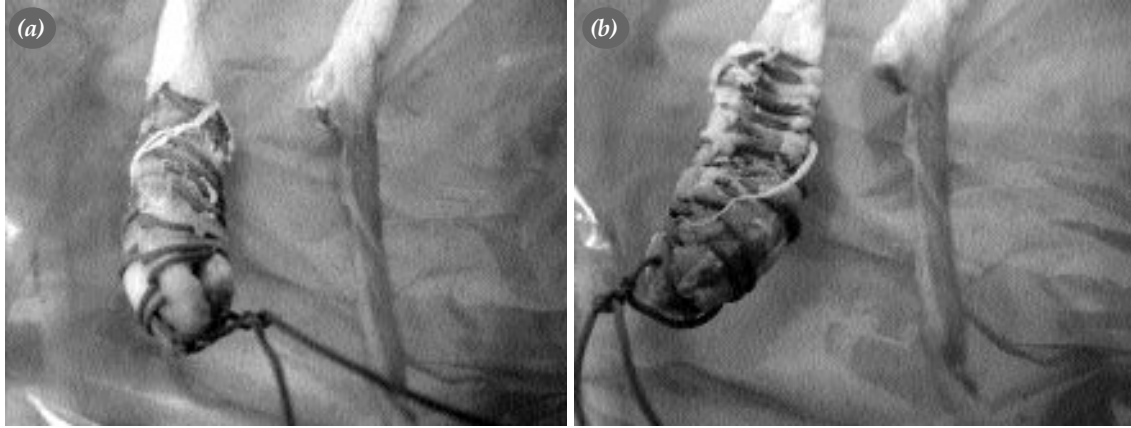
($p=0.38$). Sertlik yönünden de grup I ile grup II ortalama değerleri birbirine yakın bulundu (sırasıyla 132.7 ± 10.9 N/mm ve 126.4 ± 8.5 N/mm, $p=0.98$). Grup I'den iki greft (450 N ve 375 N), grup II'den ise bir greft (310 N) vidayı tünel içinde terk ederek en yüksek dayanma kuvvetine ulaştılar. Diğer bütün örneklerde yumuşak doku interferans vidasının grefti kesmesi sonucu en yüksek dayanma kuvvetine ulaşıldı. Bu nedenle greft-vida-tünel kompleks tespit kuvveti ölçülemedi (Tablo 1).

Tartışma

Ameliyattan sonraki ilk üç ayda diz stabilitesini sağlamak ve greft kaymasını engellemek için, ÖÇB ameliyatında kullanılan tespitin yeterli derecede sert ve kuvvetli olması gerekmektedir.^[7] Ameliyattan sonra yapılacak erken ilerleyici rehabilitasyonun cerrahi kadar önemi vardır. Ön çapraz bağ rekonstrüksiyonu sonrasında tespit yetersiz ise, cerrah rehabilitasyon süresince hastanın erken hareketini ve ağırlık vermesini engelleyebilir; bu da proksimal tibial metafizde kemik mineral yoğunluğunda azalma-

Tablo 1. Örneklerin tekrarlayıcı yüklenme testi sonunda ölçülen en yüksek dayanma kuvveti (load to failure) değerleri (N)

Örnekler	Grup I	Grup II
1	450	800
2	725	760
3	645	630
4	375	310
5	790	725
6	740	680



Şekil 4. (a, b) Greftin yumuşak doku interferans vidası tarafından kesilmiş hali.

ya, trabeküler ve kortikal kemik kaybına neden olur. Bu azalma, özellikle greft tespiti yapılan tibial tünel ve yakınında olmaktadır.^[8,9] Ön çapraz bağ rekonstrüksiyonu üzerine olumsuz etkisi olan bu iki faktörün birbirini tetikleme özelliği nedeniyle, greft tespit kuvvetini artırarak hastayı ilerleyici erken rehabilitasyon programına almak temel hedef olmalıdır.

Weiler ve ark.^[10] dana tibiası üzerinde yaptıkları çalışmada, proksimal tibiada aynı seviyeden alınan örneklerde kemik mineral yoğunluğunun kortikal kemikten merkeze doğru azaldığını saptamışlardır. Bu sonuca göre, vidanın temas edeceği tibial tünelin ön ve arka duvarında kemik mineral yoğunluğu farklıdır. Vidanın greftin arkasına konması durumunda greft, mineral yoğunluğun daha fazla olduğu ön duvar ile temas halinde olurken, vida yivleri spongiöz kemiğe daha kolay oturacak ve tespit kuvveti artacak yönünde olan hipotezimiz, yumuşak doku interferans vidasının grefti kesmesi nedeniyle bu çalışmada kanıtlanamamıştır. Literatürde, vidanın greft önüne veya arkasına konularak, tekrarlayıcı yüklenme ve germe testlerindeki sabitleştirme davranışını inceleyen bir çalışmaya rastlayamadık.

Biyomekanik olarak insan tibiasına çok benzerliği^[11] ve daha kolay bulunabilmesi nedeniyle çalışmamızda dana dizi kullanıldı.^[12,13] Yine, kolay bulunabilmesi, insan semitendinoz ve grasilis tendonlarına uygulanan yüksek kuvvete karşı, sertlik ve viskoelastik davranış yönünden benzemesi nedeniyle greft olarak dana EDS tendonu kullanıldı. Greft uzunluğu tibianın tespit seviyesinden sonra 40 mm olacak şekilde ayarlandı. Bunun nedeni, ÖÇB rekonstrüksiyonu ameliyatlarında her iki tespit seviye-

si arasında kalan serbest greft uzunluğunun yaklaşık 40 mm civarı olmasıdır. Böylece, ek değişkenlerin sonuç üzerine etkisini azaltarak çalışmayı daha fazla standart hale getirmeye çalıştık.

Bu çalışmada, yivleri keskin olmasa da, yumuşak doku interferans vidasının yumuşak doku tendon greftini kesebildiğini gözlemledik. Greft kesilmesi olan bütün örneklerde vida, grefti uç kısmına temas eden bölgeden kesmişti (Şekil 4a, b). Greftin kesildiği bölge iki mekanizmayı akla getirmekteydi. Bunlardan biri, kemik ve yumuşak doku interferans vidasının sıkı temas halinde olduğu vida ucunun incelmeden önceki son kısmında, aşırı yüklenme sonucunda greftin zayıflayarak kesilmesiydi. Diğeri ise, çalışma sırasında çekme kuvvetinin tam olarak tünele paralel olmayıp, en kötü olgu senaryosunun tam olarak uygulanamamasıydı. Bu durumda vida ile greft paralel olması gerekirken, birbirlerini çaprazlıyordu. Biz her iki mekanizmanın da kesilmede etkili olabileceğini; ancak, çaprazlamanın ilk mekanizmayı alevlendirdiğini düşünüyoruz.

Sonuç olarak çalışmamızda, vidanın greft önüne veya arkasına konmasının, tekrarlayıcı yüklenme testi sonrasında biyomekanik parametreler üzerine etkisi olmadığı görüldü. Kullandığımız tekrarlayıcı yüklenme testinin, normal ÖÇB rekonstrüksiyonu sonrasında rehabilitasyon programı süresince uygulanan yüklenmeye benzemesi nedeniyle, vidanın her iki bölgeye konarak yapılacak rekonstrüksiyon sonrasında aynı rehabilitasyon protokolünün kullanılabilirliğini düşünüyoruz. Bu da cerraha ameliyat sırasında alışmış olduğu tekniği kullanma olanağı sağlayacaktır.

Teşekkür

Bu çalışmanın yürütülebilmesi için destek ve yardımlarını esirgemeyen Besni Kaymakamı (Adıyaman) Mahmut Hersanlıoğlu'na teşekkür ederiz.

Kaynaklar

1. Brand JC Jr, Pienkowski D, Steenlage E, Hamilton D, Johnson DL, Caborn DN. Interference screw fixation strength of a quadrupled hamstring tendon graft is directly related to bone mineral density and insertion torque. *Am J Sports Med* 2000; 28:705-10.
2. Kurosaka M, Yoshiya S, Andrich JT. A biomechanical comparison of different surgical techniques of graft fixation in anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 1987;15:225-9.
3. Magen HE, Howell SM, Hull ML. Structural properties of six tibial fixation methods for anterior cruciate ligament soft tissue grafts. *Am J Sports Med* 1999;27:35-43.
4. Marder RA, Raskind JR, Carroll M. Prospective evaluation of arthroscopically assisted anterior cruciate ligament reconstruction. Patellar tendon versus semitendinosus and gracilis tendons. *Am J Sports Med* 1991;19:478-84.
5. Selby JB, Johnson DL, Hester P, Caborn DN. Effect of screw length on bioabsorbable interference screw fixation in a tibial bone tunnel. *Am J Sports Med* 2001;29:614-9.
6. Howell SM, Wallace MP, Hull ML, Deutsch ML. Evaluation of the single-incision arthroscopic technique for anterior cruciate ligament replacement. A study of tibial tunnel placement, intraoperative graft tension, and stability. *Am J Sports Med* 1999;27:284-93.
7. Rodeo SA, Arnoczky SP, Torzilli PA, Hidaka C, Warren RF. Tendon-healing in a bone tunnel. A biomechanical and histological study in the dog. *J Bone Joint Surg [Am]* 1993;75: 1795-803.
8. Jozsa L, Thoring J, Jarvinen M, Kannus P, Lehto M, Kvist M. Quantitative alterations in intramuscular connective tissue following immobilization: an experimental study in the rat calf muscles. *Exp Mol Pathol* 1988;49:267-78.
9. Wronski TJ, Morey ER. Inhibition of cortical and trabecular bone formation in the long bones of immobilized monkeys. *Clin Orthop Relat Res* 1983;(181):269-76.
10. Weiler A, Windhagen HJ, Raschke MJ, Laumeier A, Hoffmann RF. Biodegradable interference screw fixation exhibits pull-out force and stiffness similar to titanium screws. *Am J Sports Med* 1998;26:119-26.
11. Shapiro JD, Jackson DW, Aberman HM, Lee TQ, Simon TM. Comparison of pullout strength for seven- and nine-millimeter diameter interference screw size as used in anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 1995; 11:596-9.
12. Giurea M, Zorilla P, Amis AA, Aichroth P. Comparative pull-out and cyclic-loading strength tests of anchorage of hamstring tendon grafts in anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 1999;27:621-5.
13. Weiler A, Hoffmann RF, Stahelin AC, Bail HJ, Siepe CJ, Sudkamp NP. Hamstring tendon fixation using interference screws: a biomechanical study in calf tibial bone. *Arthroscopy* 1998;14:29-37.