



Eksternal fiksasyonda stoplu K-teli ile birlikte cerrahi pul kullanımının kemik yüzey kinetikleri üzerine etkisi: Biyomekanik çalışma

The effect of surgical washers used with olive K-wires on bone surface kinetics in external fixation: a biomechanical study

Mehmet KOCAOĞLU,¹ Levent ERALP,¹ Kerem BILSEL,¹ Ergun BOZDAĞ,² Emin SÜNBÜLOĞLU²

¹İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı;

²İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi

Amaç: Eksternal fiksasyonda K-tellerinin tipi ve konfigürasyonunun fiksasyon stabilitesi üzerinde önemli etkisi vardır. Osteoporotik hastalardaki çeşitli kas-iskelet patolojilerinin tedavisinde eksternal fiksator uygulama endikasyonları artmıştır. Bu biyomekanik çalışmada, stoplu K-teli ile birlikte cerrahi pul kullanımının kortikal kemik arasındaki yüzey kinetiği üzerine etkisi incelendi.

Çalışma planı: Çalışmada, bir yaşındaki koyunlardan çıkartılmış 32 adet tibia kemiği kullanıldı. Tibiaların proksimal kısımlarından sekizerli dört grup halinde deney piyesleri oluşturuldu. Tibiaların proksimal metafizer bölgelerine 1.8 mm'lik stoplu (olive) K-telleri gönderildi. Kontrol grubu dışındaki gruplarda stoplu K-teli ile birlikte sırasıyla 5 mm, 7 mm, 10 mm çaplarında cerrahi pul kullanıldı. Örnekler, özel tasarım ile imal edilmiş servo-hidrolik universal test makinesinde, kırılma noktasına kadar 10 mm/dk ile statik çekme kuvveti uygulandı.

Sonuçlar: Ortalama kırılma kuvveti kontrol grubunda 806.9 N bulunurken, stoplu K-teli ile birlikte 5 mm, 7 mm, 10 mm çapında cerrahi pul kullanılan gruplarda sırasıyla 1285.9 N, 1317.9 N ve 1345.9 N bulundu. İstatistiksel karşılaştırmada, kontrol grubu ile diğer üç grup arasındaki fark anlamlı iken ($p < 0.0001$), cerrahi pul kullanılan gruplar arasında anlamlı fark saptanmadı ($p = 0.574$).

Çıkarımlar: Stabilitiyi artırmak ve yüzey basıncını azaltmak amacıyla stoplu K-telleriyle birlikte cerrahi pul kullanımını belirgin bir avantaj sağlamaktadır. Osteoporotik kemik segmentlerinde ve osteoporotik hastalarda eksternal fiksasyon cerrahisi için cerrahi pul kullanımını öneriyoruz.

Anahtar sözcükler: Biyomekanik; kemik teli; ekipman tasarımı; kırık tespiti/enstrümantasyon; eksternal fiksator; osteoporoz/komplikasyon; koyun.

Objectives: In external fixation, the type and configuration of K-wires have a considerable effect on fixation stability. Indications for external fixation have recently increased in the treatment of various musculoskeletal pathologies in osteoporotic patients. This biomechanical study was designed to determine the effect of surgical washers used with olive wires on surface kinetics of the cortical bone.

Methods: The study included 32 tibiae obtained from one-year-old sheep. Samples were prepared from the proximal parts of the tibiae which were then divided into four groups equal in number. A 1.8-mm olive K-wire was inserted into the proximal metaphyseal regions of the tibiae. Except for the control group, surgical washers were used with olive K-wires in the three study groups, with diameters of 5 mm, 7 mm, and 10 mm, respectively. The samples were then placed in a specially designed servo-hydraulic universal testing machine for static tensile test at 10 mm/min.

Results: The mean failure load was 806.9 N in the control group, compared to 1285.9 N, 1317.9 N, and 1345.9 N in the three groups in which 5-mm, 7-mm, and 10-mm surgical washers were used, respectively. While there were significant differences between the control and study groups ($p < 0.0001$), failure loads did not differ significantly between the three study groups ($p = 0.574$).

Conclusion: The use of surgical washers in combination with olive K-wires offers a significant advantage to increase stability and to decrease surface pressure. We recommend utilization of washers for external fixation surgery in osteoporotic patients and osteoporotic bone segments.

Key words: Biomechanics; bone wires; equipment design; external fixators; fracture fixation/instrumentation; osteoporosis/complications; sheep.

Çeşitli mekanik ve biyolojik faktörlerin distraksiyon osteogenezi üzerindeki etkileri bilinmektedir. İyi ve sağlıklı bir rejenerat kemik dokusunun oluşması için stabil fiksasyon önemli bir mekanik özelliktir.^[1-3] Kirschner tellerinin (K teli) tipi ve konfigurasyonunun fiksasyonun stabilitesi üzerinde önemli bir etkisi vardır.^[2,4] Kirschner telleri arasındaki açı, artmış tel çapı, stoplu tel kullanımının sayısı ve gerginliği çerçevenin stabilitesini yükselten özellikler olarak tanımlanmıştır.^[2,4-6]

Kemik dokunun yapısı ve mimarisindeki değişimler sonucunda osteoporotik kemik oluşur. Yapısal özelliklerdeki değişiklikler ince, zayıf ve kırılğan bir kemik dokusuyla sonuçlanmaktadır.^[7] Osteoporotik hastalardaki çeşitli iskelet kas sistemine ait patolojilerin tedavisinde, yakın zamanda eksternal fiksator kullanımı yaygınlık kazanmıştır.^[8]

Klinik uygulamalarımızda, eksternal fiksator uygulanmış osteoporotik hastaların çoğunda, stoplu K-tellerinde sıyırma ve migrasyon komplikasyonlarıyla karşılaşmaktayız (Şekil 1). Yaşadığımız bu sorunlar bizi, stoplu K-teli-kemik bileşeninin stabilitesini arttırmaya ve yüzey basıncını azaltmaya yönelik mekanik çözümler aramaya itmiştir. Bu biyomekanik çalışmada, cerrahi pul kullanımının, kortikal kemik ve stoplu tel arasındaki yüzey kinetiği üzerine etkisi araştırıldı.

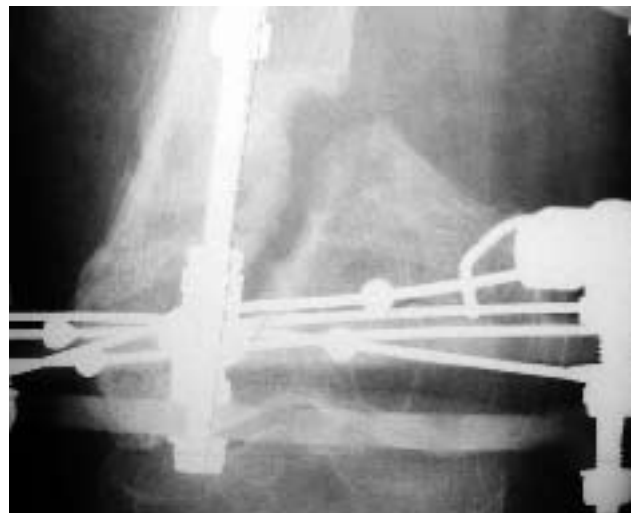
Gereç ve yöntem

Bir yaşındaki kasaplık koyunlardan çıkartılmış 32 adet tibia kemiği, yumuşak doku ve kaslarından arındırılarak, periostları kalacak şekilde hazırlandı. Bütün tibia örnekleri sağlıklı hayvanlardan alındı ve ıslak gazlı bezlere sarılıp plastik torbalara konularak dondurucuya yerleştirildi. Çalışmadan 24 saat önce, örnekler dondurucudan çıkartılarak oda sıcaklığında (23.9 °C) bir gün bekletildi. Daha sonra tibialar proksimaleri korunarak distal 17. cm'den kesilerek deney piyesleri oluşturuldu (Şekil 2a). Hazırlanan preparatların kemik yoğunlukları DEXA (dual energy x-ray absorptiometry) yöntemiyle ölçüldü (Explorer S/N 90140, Hologic Inc., Bedford, MA, ABD). Dört ayrı grupta kullanılacak kemik segmentlerinin yoğunlukları arasında anlamlı fark yoktu (ort. 0.656 g/cm²; dağılım 0.598-0.704 g/cm²). Proksimal ve distal uçlarından birbirine çapraz ikişer adet kısa K-teli geçirilen parçalar, önceden polyester macun ile doldurulmuş plastik kalıplara vertikal planda aynı düzlemde olacak şekilde gömüldü ve örnekler, uygun miktarda

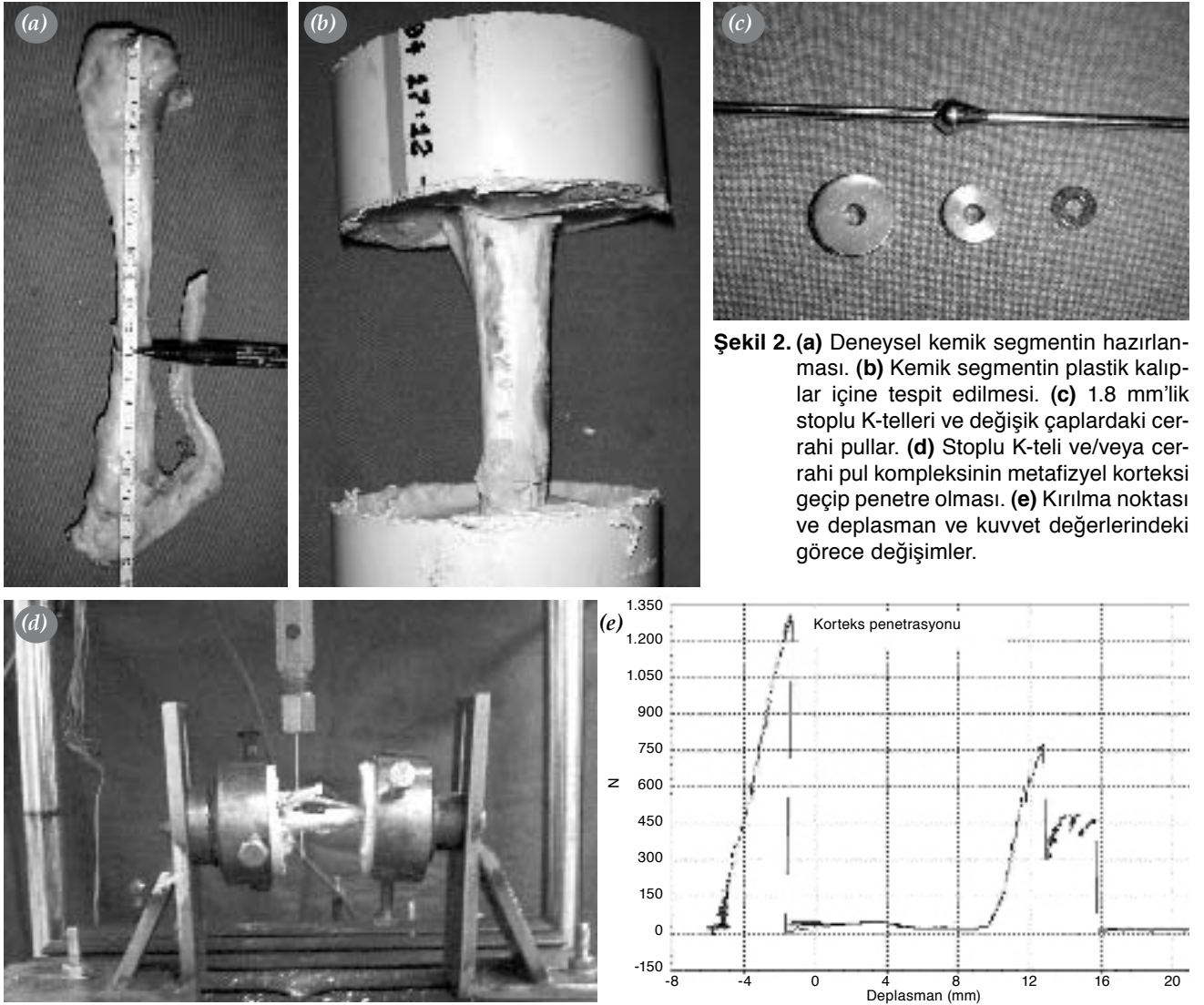
macun katalizörü eklenmesinden sonra donduruldu (Şekil 2b). Deney piyeslerinden, biri kontrol grubu olmak üzere sekizerli dört grup oluşturuldu. Daha sonra, tibiaların proksimal metafizer bölgelerine 2 cm mesafeden işaretlenen noktalarına mediolateral düzlemde, kortekse dayanacak biçimde 1.8 mm'lik stoplu (olive) K telleri (Smith & Nephew, Memphis Tennessee, ABD) gönderildi. Kontrol grubu dışındaki gruplarda stoplu K-teli ile birlikte sırasıyla 5 mm, 7 mm, 10 mm çaplarında cerrahi pul kullanıldı (Şekil 2c).

Hazırlanmış örnekler, özel tasarım ile imal edilmiş servo-hidrolik üniversal test makinesine (İTÜ Makine Fakültesi, 2003, 200 Psi) monte edilmiş ve piyeslerin iki ucundaki plastik kalıpların çaplarına uygun olarak tasarlanmış ve üç ayrı planda vida ile kilitlenebilen çelik silindirik haznelere yerleştirildi. K-tellerinin kemikten çıkan bölümü, çekmenin yapılabacağı düzlemde, traksiyon kuvveti arttıkça teli sıkıp kilitleyebilen bir sistemle tasarlanmış ve yük hücresinin de (load cell) bağlı olduğu bir metal çeneye tespit edildi.

Çekme işlemi sırasında, kalıpların silindirik çelik haznelere, üç ayrı planda, her iki taraftan stabilize edilmesi nedeniyle, K-tellerinin çekme ekseninden sapması ve bir dönme momenti tepkisi oluşması engellenmiş oldu. Her bir deney örneğine, başlangıç kuvveti 0 newton olmak üzere, K-tellerinin pullu veya pulsuz stopları kemiğin metafizer bölgesindeki korteksi geçerek kırılma noktasına kadar 10 mm/dk ile statik çekme kuvveti uygulandı (Şekil 2d).



Şekil 1. Eksternal fiksator uygulaması sonrası stoplu K-telinin osteoporotik femur distal kortekse penetrasyonu.



Şekil 2. (a) Deneysel kemik segmentin hazırlanması. (b) Kemik segmentin plastik kalıplar içine tespit edilmesi. (c) 1.8 mm'lik stoplu K-telleri ve değişik çaplardaki cerrahi pullar. (d) Stoplu K-teli ve/veya cerrahi pul kompleksinin metafizyel korteksi geçip penetre olması. (e) Kırılma noktası ve deplasman ve kuvvet değerlerindeki görece değişimler.

Bu işlemler sırasında eşzamanlı olarak kuvvet değişimi (Load Cell, SPA 300 kg, S/N 223, Esit Elektronik Sistemler İmalat ve Ticaret Ltd. Şti, İstanbul) ve deplasman değerleri potansiyometrik deplasman transduseri (Displacement Transducer, WDS 300 P60 CR P, S/N 4600, Micro-Epsilon, Liverpool, İngiltere) yardımıyla ölçülerek bilgisayara aktarıldı. Veriler saniyede 100 Hz ile ESAM Traveller veri toplama sistemi (Type 1032-S, S/N 0060502, ESA Messtechnik GmbH, Münih, Almanya) ile doğrudan bilgisayara kaydedildi. Kuvvet ve deplasman değerlerinin birbirine göre değişimleri grafikler halinde çizdirildi (Şekil 2e).

Gruplar arasındaki istatistiksel karşılaştırmalar ANOVA testi kullanılarak yapıldı; 0.05 değerinin altındaki değerler anlamlı kabul edildi.

Sonuçlar

Ortalama kırılma kuvveti kontrol grubunda 806.9 N bulunurken, stoplu K-teli ile birlikte 5 mm, 7 mm, 10 mm çapında cerrahi pul kullanılan gruplarda sırasıyla 1285.9 N, 1317.9 N ve 1345.9 N bulundu (Tablo 1). İstatistiksel karşılaştırmada, kontrol grubu ile diğer üç grup arasındaki fark anlamlı iken ($p < 0.0001$), cerrahi pul kullanılan gruplar arasında anlamlı fark saptanmadı ($p = 0.574$).

Tartışma

Eksternal fiksatorler, kemik segmentlerini mobilize ederek uzatma, deformite düzeltme gibi işlemleri gerçekleştirmek için kullanılır. Başarılı bir sonuç için, fiksatorün çok iyi bir stabilizeye ve kemik fragmanlarını doğru ve istenen yönde hareket ettirebilme kontrolüne sahip olması gerekir.

Tablo 1. Gruplara göre çekme testi sonuçları

	Kırılma kuvveti (N)			P ₁	P ₂
	Ortalama±SS	Dağılım	%95 güven aralığı		
Kontrol grubu	806.9±135.6	668 - 1060	671 - 942	<0.0001	
Deney grubu (5 mm pul)	1285.9±279.7	825 - 1720	1051 - 1519		0.574
Deney grubu (7 mm pul)	1317.9±259.9	996 - 1763	1100 - 1535		
Deney grubu (10 mm pul)	1345.9±187.1	1127 - 1654	1189 - 1502		

p₁: Kontrol grubu ile deney grupları arasında; p₂: Deney grupları arasında.

Düşük olan stabilite, sağlam kemik yerine fibroz dokular oluşmasına neden olur.^[9,10] Ilizarov^[11] kemik fragmanları üzerinde yüksek bir stabilite elde etmek için, özellikle metafizer kemik segmentlerinde stoplu K-teli kullanımını önermiştir. Çeşitli biyomekanik çalışmalarda, dört farklı eksternal fiksator konfigürasyonu arasında stoplu K-teli ile tespit edilen konfigürasyonun makaslama kuvvetlerine karşı en rijid ve stabil konfigürasyon olduğu gösterilmiştir.^[1,3,12,13]

Her bir K-telinin rijiditesi çap ve tel ile birlikte kullanılan elastisite modüllerine bağlıdır. Tel çapını artırmak, uygulama sırasında yumuşak dokuların



Şekil 3. Osteoporotik kemik segmentinde cerrahi pul ile stoplu K-telleri kullanımı.

daha fazla hasarlanması ve enfeksiyon gibi çeşitli komplikasyonları da beraberinde getirir.^[11,14] Tel üzerine eklenecek bir stop, kortikal kemik üzerindeki stabiliteyi artıracaktır.

Osteoporotik kemik fiksasyonu için ana prensiplerden biri, destek telleri içeren donanımların kullanımudur.^[7] Osteoporotik kemikler için, normal transosseöz tellerin değişik konfigürasyonlarda bükülmesiyle, geniş yüzey teması olan stoplu teller tasarlanmıştır.^[4,6] Osteoporotik kemiklerdeki stabilitenin artırılması için stoplu tellerinin kullanımı da önerilmiştir (Şekil 3).^[4,14]

Bu deneysel çalışmamız, stoplu K-telleriyle beraber cerrahi pul kullanımının stabiliteyi artırıp, yüzey basıncını da düşürerek belirgin bir avantaj sağladığını göstermiştir.

Kırılma değerleri açısından deney grupları arasında anlamlı fark görülmediğinden, deri ve kemik arasındaki anatomik yapıların hasar görmesini ve enfeksiyon riskini en aza indirecek en düşük çaplı cerrahi pul kullanımının uygun olacağı kanısına vardık.

Fizikte bilinen temel basınç denklemi ile yapılan çözümlenmeye göre, stoplu K-teli ile kortikal kemik arasında artırılan yüzey alanı, K-telindeki gerginliğin artmasını sağlayarak eksternal fiksator stabilitesini artırmış olur. Dolayısıyla, osteoporotik hastalarda cerrahi pul kullanımı ile yüzey temas basıncı azaltılarak ve kemik-tel biriminin stabilitesi artırılarak bu amaca ulaşılır.

Bu çalışma, çapından bağımsız olarak cerrahi pul kullanımının temas basınçları üzerindeki olumlu etkisini ortaya koymuştur. Sonuç olarak, osteoporotik hastalarda, en küçük çaplı (5 mm) cerrahi pul kullanımını önermekteyiz.

Kaynaklar

1. Paley D, Fleming B, Catagni M, Kristiansen T, Pope M. Mechanical evaluation of external fixators used in limb

- lengthening. *Clin Orthop Relat Res* 1990;(250):50-7.
2. Paley D. Operative principles of Ilizarov. In: Bianchi-Maiocchi A, Aronson J, editors. *Biomechanics of the Ilizarov external fixator*. Baltimore: Williams & Wilkins; 1991. p. 33-42.
 3. Voor MJ, Antoci V, Antoci V Jr, Roberts CS. The effect of wire plane tilt and olive wires on proximal tibia fracture fragment stability and fracture site motion. *J Biomech* 2005;38:537-41.
 4. Kocaoglu M, Sar C, Kılıcoglu O, Asık M, Cakmak M. Pre-deformation loading capacity of various stopper types of Kirschner wires. [Article in Turkish] *Acta Orthop Traumatol Turc* 1996;30: 179-82.
 5. Kummer FJ. Biomechanics of the Ilizarov external fixator. *Bull Hosp Jt Dis Orthop Inst* 1989;49:140-7.
 6. Bianchi-Maiocchi A. Instruments and their use. In: Bianchi-Maiocchi A, Aronson J, editors. *Operative principles of Ilizarov*. Baltimore: Williams & Wilkins; 1991. p. 9-32.
 7. An YH, Burgoyne CR, Crum MS, Glaser JA. Current methods and trends in fixation of osteoporotic bone. In: An YH, editor. *Internal fixation in osteoporotic bone*. New York: Thieme Medical Publishers; 2002. p. 73-108.
 8. Goslings JC. External fixation in osteoporotic bone. In: An YH, editor. *Internal fixation in osteoporotic bone*. New York: Thieme Medical Publishers; 2002. p. 186-93.
 9. Chao EY, Aro HT, Lewallen DG, Kelly PJ. The effect of rigidity on fracture healing in external fixation. *Clin Orthop Relat Res* 1989;(241):24-35.
 10. Aronson J, Harrison B, Boyd CM, Cannon DJ, Lubansky HJ. Mechanical induction of osteogenesis: the importance of pin rigidity. *J Pediatr Orthop* 1988;8:396-401.
 11. Ilizarov GA. The apparatus: components and biomechanical principles of application. In: *Transosseous osteosynthesis. Theoretical and clinical aspects of the regeneration and growth of tissue*. Berlin: Springer-Verlag, 1992. p. 63-136.
 12. Antoci V, Roberts CS, Antoci V Jr, Voor MJ. The effect of transfixion wire number and spacing between two levels of fixation on the stiffness of proximal tibial external fixation. *J Orthop Trauma* 2005;19:180-6.
 13. Roberts CS, Antoci V, Antoci V Jr, Voor MJ. The effect of transfixion wire crossing angle on the stiffness of fine wire external fixation: a biomechanical study. *Injury* 2005;36:1107-12.
 14. Fleming B, Paley D, Kristiansen T, Pope M. A biomechanical analysis of the Ilizarov external fixator. *Clin Orthop Relat Res* 1989;(241):95-105.