



Osteoporotik kemikte kilitli plak ve açılı vida kullanımının stabilizasyonun dayanıklılığına katkısı: Deneysel çalışma

The contribution of locked screw-plate fixation with varying angle configurations to stability of osteoporotic fractures: an experimental study

Halil BEKLER,¹ Güven BULUT,² Metin USTA,³ Alper GÖKÇE,¹ Fethi OKYAR,⁴ Tahsin BEYZADEOĞLU¹

Yeditepe Üniversitesi, ¹Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı, ⁴Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü; ²Dr. Lütfi Kırdar Kartal Eğitim ve Araştırma Hastanesi 2. Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği; ³Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Bilimleri ve Mühendisliği Bölümü

Amaç: Bu deneysel çalışmada, konvansiyonel kilitli plak yönteminden farklı olarak, vidaların konfigürasyon ve geometrilerinde yapılan değişikliklerle yaşlı osteoporotik hastalarda stabilizasyonun dayanıklılığını artırmanın yolları arandı.

Çalışma planı: Farklı vidalama açılarında sahip dört plak-kemik konfigürasyonu oluşturuldu. Yüksek kaliteli 40 adet demir plak (100x35x3 mm) dört gruba ayrıldıktan sonra, her birine 15 mm aralıkla ve 3 mm çapında iki adet delik açıldı. Grup A'da delikler vidaların paralel (0°) gönderileceği şekilde, grup B'de vidaların eksenleri bir noktada birleşecek şekilde (konverjan 15°), grup C ve D'de ise vida eksenleri birbirinden uzaklaşacak şekilde (diverjan, sırasıyla 15° ve 30°) açıldı. Vida testi için, modifiye osteoporotik kemik (Osteoporotic Generic Bone, Synbone) modellerine tespit edilmiş plaklar Instron materyal test cihazına yerleştirilerek 0.1 mm/sn hızında aksiyel sıyrılma uygulandı. Her örnek için dayanma gücünü aşan yük seviyeleri yük-yer değiştirme eğrilerinden okundu ve yetersizlik tipi kaydedildi.

Sonuçlar: En yüksek sıyrılma direncini diverjan düzenekler (grup C'de 83.3 N/mm; grup D'de 80.8 N/mm) gösterdi. Ortalama sıyrılma direnci konverjan düzenekte 72 N/mm, klasik paralel düzenekte 66.7 N/mm bulundu. Yetersizlik tipi diverjan düzeneklerde kemik kırılması iken, konverjan ve paralel düzeneklerde vida sıyrılması şeklindeydi.

Çıkarımlar: Osteoporozlu hastalardaki kemik kırıklarının tedavisinde diverjan düzenekler, klasik vida yerleşiminin yerini alabilecek bir seçenek olabilir.

Anahtar sözcükler: Biyomekanik; kemik plağı; kemik vidası; kırık tespiti, internal/yöntem; osteoporoz; protez tasarımı; stres, mekanik.

Objectives: This experimental study was designed to find new ways of improving stabilization of fractures in osteoporotic elderly patients through alterations made in the configuration and geometry of locked screw-plate fixation used in the conventional plate technique.

Methods: Four screw configurations with varying angulations were used for plate-bone construction. Forty iron plates of high quality (100x35x3 mm) were divided into four groups and two screw holes, 3 mm in diameter, were drilled on each plate at a distance of 15 mm. In group A, the holes were drilled so that the screws would be vertically sent to the bone interface. In the remaining groups, the holes were drilled for convergent (group B, 15°) and divergent (group C, 15°; group D, 30°) screw orientation. Screw-plate fixation was tested in a modified osteoporotic bone (Osteoporotic Generic Bone, Synbone) on an Instron materials testing system with an axial pullout force of 0.1 mm/sec. Failure loads were read from load-displacement curves and the type of failure was noted.

Results: Screws placed in divergent orientations showed the highest axial pull-out strength (group C, 83.3 N/mm; group D, 80.8 N/mm), followed by convergent placement (72 N/mm) and vertical placement (66.7 N/mm). The type of failure was breakage of the bone sample in divergent configurations, and screw pull-out in convergent and vertical configurations.

Conclusion: Divergent constructs may be a promising alternative to conventional screw placement in treating osteoporotic fractures.

Key words: Biomechanics; bone plates; bone screws; fracture fixation, internal/methods; osteoporosis; prosthesis design; stress, mechanical.

Yazışma adresi / Correspondence: Dr. Halil Bekler, Yeditepe Üniversitesi Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı, 34752 Kozyatağı, İstanbul. Tel: 0216 - 578 40 00 Faks: 0216 - 359 49 57 e-posta: hbekler@yahoo.com

Başvuru tarihi / Submitted: 30.11.2007 **Kabul tarihi / Accepted:** 18.03.2008

©2008 Türk Ortopedi ve Travmatoloji Derneği / ©2008 Turkish Association of Orthopaedics and Traumatology

Osteoporozla beraber görülen kırıklar sık karşılaşılan ortopedik sorunlar arasındadır. Endüstrileşmesini tamamlamış ülkelerde yaşam sürelerinin uzaması nedeniyle yaşlı nüfus sayısındaki artışa paralel olarak, senil osteoporoz ve osteoporotik kırık içeren acil travmatik yaralanmaların sayısında da artış görülmektedir. Bu hastalarda tedavinin amacı, stabil bir kırık tespiti gerçekleştirerek hastaların hızla mobilize edilmesi ve normal yaşama dönebilmesinin sağlanmasıdır.^[1,2]

Plak ve vidalar, kırıkların tespiti ve kemik transplantlarının stabilizasyonu amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır. Son yıllarda araştırmacılar, farklı vida konfigürasyonları ve geometrileri kullanarak stabilizasyonun dayanıklılığını artırmanın yeni yollarını aramaktadırlar. Yaşlı, osteoporotik hastalarda internal tespit yöntemlerinin başarılı olamamasında ana neden, osteoporotik kemiğin fiksasyon cihazını yeterince destekleyememesidir. Osteoporotik kemikler plak ve vida gibi rijid tespit cihazlarını destekleme gücünden yoksun olabilirler.^[3]

Bu çalışmada, konvansiyonel kilitli plak yönteminden farklı olarak, vidaların konfigürasyon ve geometrilerinde yapılan değişikliklerle yaşlı osteoporotik hastalarda stabilizasyonun dayanıklılığını artırmanın yolları arandı. Kullandığımız yeni teknik, vidaların kemiğe dikey olarak değil, eğik açılardan uygulanmasıyla klasik kilitli plak yönteminden ayrılıyordu.

Gereç ve yöntem

Farklı vidalama açılara sahip dört plak-kemik konfigürasyonu oluşturuldu. Yüksek kaliteli 40 adet demir plak (100x35x3 mm) dört gruba (grup A, B, C, D) ayrıldıktan sonra, her birine 15 mm aralıkla ve 3 mm çapında iki adet delik açıldı.

Grup A'da delikler vidaların paralel (0°) gönderileceği şekilde açılırken, grup B'de vidaların eksenleri bir noktada birleşecek şekilde (konverjan 15°), grup C ve D'de ise vida eksenleri birbirinden uzaklaşacak şekilde (diverjan, sırasıyla 15° ve 30°) açıldı (Tablo 1). Daha sonra deliklere 3.2 mm kılavuz ile yiv açıldı.

Osteoporoz benzeri durumu canlandırabilmek amacıyla, vida testi için kemik olarak modifiye osteoporotik kemik-benzeri poliüretan köpükten yapılmış bikortikal kemik parçaları kullanıldı (Osteoporotic Generic Bone, Nr 0080; Synbone AG, Karlihof, Malans, İsviçre). Osteoporotik kemik-benzeri malzemeye yapılan mekanik testlerde 4.0 mm kansellöz vidanın yetersizlik yükleri şöyle bulunmuştur: Strip-out

tork: 0.293 ± 0.0523 ; strip-out kuvveti: 0.323 ± 0.0225 kN; sıyrılma kuvveti: 0.360 ± 0.0329 kN.^[4]

Kemik örnekleri 80 mm uzunlukta hazırlandı. Bu işlemin ardından her bir plak kemik parçasına Verbrugge kemik klempsi ile tespit edildi. Uygun uzunluk ve kalınlıkta iki kilitli vida, plağın vida deliklerinin açısı yönünde gönderildi. Vidalar kemik ve plağa sıkıcı sabitlendi.

İki vidalı tespit, test edilmesi planlanan konverjan, diverjan ve paralel vida sistemlerinin en basit ve temel modelini oluşturduğundan tercih edildi. Klinik kullanımında olan plak sistemleri arasında iki vidalı bu basit yapılandırmanın tekrarından ibarettir. Altı delikli vidalı bir yapı, üç adet ikili yapı olarak ifade edilebilir.

Kemik modellerine tespit edilmiş plaklar Instron 5596 materyal test cihazına yerleştirilerek aksiyel sıyrılma uygulandı (Şekil 1). Yüklenme 0.1 mm/sn hızında uygulandı. Her örnek için yetersizliğin şekli ile beraber dayanma gücünü aşan yük seviyeleri, yük-yer değiştirme eğrilerinden okundu. Kemik vida



Şekil 1. Synbone osteoporotik kemik modeline iki kilitli vida uygulanmış plakların aksiyel sıyrılması.

Tablo 1. Örneklerdeki vida yerleşimleri ve yüklenme testi sonuçları

Örnek	Vida yerleşimi	Vida yerleşim açısı (°)	Dayanma gücünü aşan yük (N)	Yetersizlik tipi	Ort. sıyırılma direnci (N/mm)
A	Paralel	0	720	Vida sıyırılması	66.7
B	Konverjan	15	380	Vida ve kama şeklinde kemik parçasının sıyırılması	72.0
C	Diverjan	15	550	Kırık kemik	83.3
D	Diverjan	30	540	Kırık kemik	80.5

plak sisteminin kırılarak iflas etmesine yol açan kuvvet kırıcı yük olarak adlandırıldı. Sıyırılma direnci (pull-out strength), vidaların içinde buldukları yapıdan sıyırılmaya karşı gösterdikleri direnç olarak tanımlandı. Ancak, ortalama sıyırılma direnci kıstas olarak alındığında aynı sonuçların çıkmayacağını söyleyebilmek için daha dikkatli bir incelemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, ortalama sıyırılma direnci $k_p = F/\delta$ formülüyle hesaplandı. Bu formülde F yükte meydana gelen değişimi, δ ise yük-yer değiştirme eğrisinde nispeten lineer kalan bir alandaki yer değiştirmeyi ifade etmektedir.

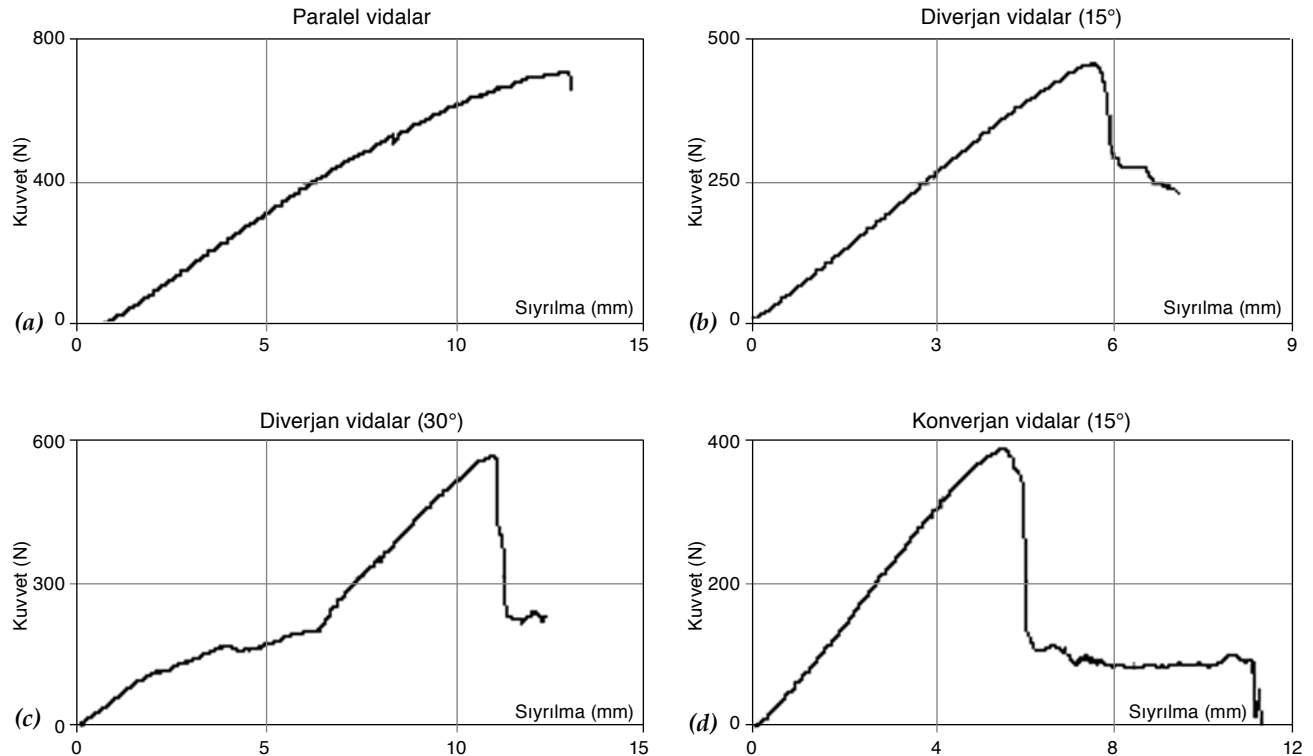
Sonuçlar

Başlangıçta, kırıcı yük açısından en yüksek direnci klasik düzenekteki A örnekleri gösterdi. Bunları

diverjan C (15°) ve D (30°) örnekleri izlemekteydi. En düşük dirence sahip yapının konverjan düzenek (15°) olduğu görüldü (Tablo 1). Klasik düzenek olan A için 2-8 mm aralığında δ değerleri için yük-yer değiştirme eğrisinin lineer nitelikte olduğu gözlemlendi (Şekil 2a). B, C ve D düzenekleri için de lineer δ aralığı sırasıyla 0-5 mm, 0-5 mm ve 6.5-10 mm idi (Şekil 2b-d). Bu değerler temel alınarak hesaplanan ortalama sıyırılma dirençleri Tablo 1'de gösterildi.

Tartışma

Kemik, mineral matriks içerisinde protein matriks-ten meydana gelen bir bileşimdir.^[5] Osteosentezin başarısızlığı aksiyel sıyırılma direnci ile değerlendirilebilen maksimum yükte belirlenmektedir. Sıyırılma direncinin osteoporotik kemiklerde hayati önemi vardır.^[6]



Şekil 2. Sıyırılma yük-yer değiştirme eğrileri: (a) Paralel vidalar, (b) 15° diverjan vidalar, (c) 30° diverjan vidalar, (d) 15° konverjan vidalar.

Açık redüksiyon sonrası kırıkların internal tespiti için çeşitli plaklama yöntemleri kullanılır. Klasik plak osteosentezinde, kırık fiksasyonunun stabilitesi kemik yüzeyi ile plak arasında vidaların tutunması ile meydana gelen sürtünmeyle doğrudan ilişkilidir. Stabilite, vidaların kortikal kemikte tutunabilme direncine bağlıdır.^[5] Vidaların bükülme direnci ve plakla vidalar arasındaki sürtünme, hareketi engeller görünmektedir. Deneyler, klasik plaklar kullanıldığında hareketin sürtünme sonucu engellendiğini ve bu durumun plağı kemiğe doğru sıkıştırmanın aksiyel kuvvetine bağlı olarak gerçekleştiğini göstermektedir.^[7,8]

Osteoporotik kemiğin kaliteli olarak tespit edilmemesi bazı sıkıntılara yol açabilir.^[9] Vidanın tutunma gücü kemik mineral yoğunluğu ile doğru orantılıdır.^[10] Osteoporotik kemik yaklaşık olarak 3 Nm vida torkuna izin verir.^[11] Deneysel olarak, 3 Nm vida torku plak ve kemiğin 500 N yük altında hareketine imkan tanır.^[7,8] Bu çeşit bir hareket primer ya da sekonder kemik iyileşme sınırlarını aşan aşırı zorlanmalara neden olur.

Yeni kilitli plaklar, aksiyel hareketi kontrol ederek tek eksenli bir vida-plak-kemik düzeneği sunar.^[11] Tek eksenli vida-plak-kemik düzeneği (single beam construct) yükü paylaşan standart düzeneklerden dört kat daha dayanıklıdır. Kilitli plaklarda, fiksasyonun gücü tüm vida-kemik ara yüzeylerinin toplamına eşittir. Ancak, bu güçlü fiksasyon modelinde dahi, sistemin dayanıklılığı doğrudan vidanın sıyrılmaya direncine bağlıdır.

Sentetik kemiklerin daha az özellikli varyasyonlarının ve daha uyumlu test sonuçlarının olması, daha kolay temin edilebilmeleri ve çekme ile itme testlerinin daha kolay gerçekleştirilebilmesi gibi avantajları vardır.^[12-14] Klinik deneyimler sonrasında, zayıf metafizer ve osteoporotik kemiklerde fiksasyonun kalitesi kilitli plaklar gibi yeni tespit teknikleriyle yükseltilmiştir.^[15,16] Birçok çalışmada, osteoporotik kırıklarda kilitli plakların daha dayanıklı olduğu bildirilmiştir.^[16-19]

“Vida kilitleme” yönteminde vidalar plağa kilitlenir. Yeni plak teknolojisi, vidaları plağa çeşitli açılarda kilitlemeyi mümkün kılmak suretiyle kemik üzerinde daha sağlam bir fiksasyon gerçekleştirme imkanı sağlar. Kilitleme mekanizması diverjan bir dil kısmının konverjan bir yuvaya yerleştirilmesi kadar basit olabilir. Bu yöntem eski Mısır’dan beri bilin-

mekte olup, çalışma prensibi mimarideki kemerlere ya da marangozluktaki yuvalara benzer.

Bu çalışmada, en yüksek direnci sergileyen örneklerin sırasıyla diverjan düzenekler (grup C ve D) olduğunu belirledik; bunları konverjan düzenek (B) ve grup A izlemekteydi. Ayrıca, grup D’de (30° diverjan vidalar), eğri sonradan lineer bir şekil almasına karşın, yük-yer değiştirme eğrisinin başlangıç kısmı yüksek derecede non-linear idi. Grup D ve C’de lineer bölgelerdeki dirençlerin benzer olduğu görüldü.

Otuz derece diverjan vidaların eğrilerindeki başlangıç deviyasyonu, yük uygulandıkça dizilim açısı azalırken vidaların kendilerini ayarlama hareketi sergilemesi ile açıklanabilir. Açık grup C’dekine yaklaştıkça ve eğri lineer nitelik kazandıkça, grup D’nin meydana getirdiği direnç grup C’ninkine yaklaşıyor.

Ek olarak, yetersizlik tipi de değerlendirilmelidir. C ve D örneklerinde kemikte kırık noktaları oluşması, plaktan kemiğe oldukça yüksek düzeyde bir yük transferi ile açıklanabilir. Oldukça yüksek düzeyde yük transferinin anlamı, kemiğin plağa bağlanmasının diğer düzeneklere (klasik ve konverjan) göre, bu düzenekte (diverjan) daha güçlü olmasıdır. Ayrıca, vidanın daha fazla sıyrılmaya dayalı yetersizlik (klasik düzenekte olduğu gibi), bilhassa kemiğin adezyon özelliğinin çoğunu kaybetmiş olduğu osteoporoz olgularında, bağlanmanın stabilitesi açısından bir dezavantaj olarak kabul edilmelidir. Osteoporozda implant fiksasyonunu güçlendirmek için polimetilmetakrilat (PMMA), kalsiyum fosfat çimentosu, kalsiyum fosfat ya da hidroksiapatit kaplı implantlar gibi pek çok yöntem tanımlanmıştır.^[20,21]

Kaab ve ark.’na^[22] göre, stabil bir fiksasyon sağlamak için vidanın uygun şekilde kilitlenmesi şarttır. Bu araştırmacıların yaptığı deneysel çalışmada, 5° ve 10° açıyla yerleştirilen vidalarda bükücü yük altında daha fazla eğilme gözlenmiştir. Ancak, anılan çalışmada vidalama ve plak deliklerinin yönü tamamen farklıydı ve sorun vidaların diverjansında değil, plak ve vidaların kilit mekanizmalarındaydı. Kearny ve ark.^[23] diverjan vida yerleştirilmesi üzerine gerçekleştirdikleri bir çalışmada, vida açısının değiştirilmesinin sıyrılmaya direncini azalttığını, ancak plağın kemiğe fiksasyonunun dayanıklılığını artırdığını göstermişlerdir. Çalışmamızda, vida açısının 90 dereceden farklı olması halinde fonksiyonel yiv sayısının düştüğünü ve bunun da plak-vida kilit kapasitesinde azalmaya yol açabileceğini gözlemledik. Bu sorunun

vida deliği etrafındaki plak konfigürasyonunun değiştirilmesiyle çözülebileceğini düşünüyoruz.

Sonuç olarak, osteoporozlu hastalardaki kemik kırıklarının tedavisinde diverjan düzenekler, klasik vida yerleşiminin yerini alabilecek bir seçenek olabilir. Ancak, diverjan düzenekte en uygun vida yerleştirme açısı, vida sayısı ve vidalar arasındaki mesafenin belirlenmesi için daha ileri çalışmalara ihtiyaç vardır.

Kaynaklar

- Cornell CN. Internal fracture fixation in patients with osteoporosis. *J Am Acad Orthop Surg* 2003;11:109-19.
- Lucas TS, Einhorn TA. Osteoporosis: The role of the orthopaedist. *J Am Acad Orthop Surg* 1993;1:48-56.
- Einhorn TA. Orthopedic complications of osteoporosis. In: Favus MJ, editor. *Primer on the metabolic bone diseases and disorders of mineral metabolism*. 3rd ed. Philadelphia: Lippincott-Raven; 1996. p. 293-9.
- Linke B. Mechanical testing report. Project: MT_2004_EXT_01. AO Foundation. AO Research Institute. Available from: http://www.synbone.ch/global/pdf/product_services/ARI_Mechanical_Testing_Report_0080.pdf.
- Einhorn TA. The structural properties of normal and osteoporotic bone. *Instr Course Lect* 2003;52:533-9.
- Battula S, Schoenfeld A, Vrabec G, Njus GO. Experimental evaluation of the holding power/stiffness of the self-tapping bone screws in normal and osteoporotic bone material. *Clin Biomech* 2006;21:533-7.
- Borgeaud M, Cordey J, Leyvraz PE, Perren SM. Mechanical analysis of the bone to plate interface of the LC-DCP and of the PC-FIX on human femora. *Injury* 2000;31 Suppl 3:C29-36.
- Cordey J, Borgeaud M, Perren SM. Force transfer between the plate and the bone: relative importance of the bending stiffness of the screws friction between plate and bone. *Injury* 2000;31 Suppl 3:C21-8.
- Goldhahn J, Seebeck J, Frei R, Frenz B, Antoniadis I, Schneider E. New implant designs for fracture fixation in osteoporotic bone. *Osteoporos Int* 2005;16 Suppl 2:S112-9.
- Hausman M, Panozzo A. Treatment of distal humerus fractures in the elderly. *Clin Orthop Relat Res* 2004;(425):55-63.
- Egol KA, Kubiak EN, Fulkerson E, Kummer FJ, Koval KJ. Biomechanics of locked plates and screws. *J Orthop Trauma* 2004;18:488-93.
- Hou SM, Hsu CC, Wang JL, Chao CK, Lin J. Mechanical tests and finite element models for bone holding power of tibial locking screws. *Clin Biomech* 2004;19:738-45.
- Lin J, Lin SJ, Chiang H, Hou SM. Bending strength and holding power of tibial locking screws. *Clin Orthop Relat Res* 2001;(385):199-206.
- Asnis SE, Ernberg JJ, Bostrom MP, Wright TM, Harrington RM, Tencer A, et al. Cancellous bone screw thread design and holding power. *J Orthop Trauma* 1996;10:462-9.
- Ring D, Kloen P, Kadzielski J, Helfet D, Jupiter JB. Locking compression plates for osteoporotic nonunions of the diaphyseal humerus. *Clin Orthop Relat Res* 2004;(425):50-4.
- Schutz M, Sudkamp NP. Revolution in plate osteosynthesis: new internal fixator systems. *J Orthop Sci* 2003;8:252-8.
- Stromsoe K. Fracture fixation problems in osteoporosis. *Injury* 2004;35:107-13.
- Weinstein DM, Bratton DR, Ciccone WJ 2nd, Elias JJ. Locking plates improve torsional resistance in the stabilization of three-part proximal humeral fractures. *J Shoulder Elbow Surg* 2006;15:239-43.
- Cantu RV, Koval KJ. The use of locking plates in fracture care. *J Am Acad Orthop Surg* 2006;14:183-90.
- Moroni A, Faldini C, Pegreff F, Giannini S. HA-coated screws decrease the incidence of fixation failure in osteoporotic trochanteric fractures. *Clin Orthop Relat Res* 2004;(425):87-92.
- Moroni A, Hoang-Kim A, Lio V, Giannini S. Current augmentation fixation techniques for the osteoporotic patient. *Scand J Surg* 2006;95:103-9.
- Kaab MJ, Frenk A, Schmeling A, Schaser K, Schutz M, Haas NP. Locked internal fixator: sensitivity of screw/plate stability to the correct insertion angle of the screw. *J Orthop Trauma* 2004;18:483-7.
- Kearny KR 3rd, Chandler R, Baratta RV, Thomas KA, Harris MB. The effect of divergent screw placement on the initial strength of plate-to-bone fixation. *J Trauma* 2003;55:1139-44.