



Medial açıklığı olan proksimal humerus kırıklarında kilitli plak tespiti üzerinde medial kortikal ve medial vida desteklerinin biyomekanik etkisi: Sonlu elemanlar yöntemi

Pan YANG^{1,2}, Ying ZHANG¹, Jian LIU¹, Jin XIAO¹, Li Min MA¹, Chang Rong ZHU¹

¹Ortopedik Hastane, Guangzhou General Hastanesi, Guangzhou Askeri Komuta, Guangzhou, Çin;

²Guangzhou Çin Tıp Üniversitesi, Yüksek Lisans Okulu, Guangzhou, Çin

Amaç: Bu sonlu elemanlar yöntemi, medial açıklığı olan proksimal humerus kırıklarının implant-kemik ara yüzündeki yüklerde medial kortikal ve medial vida desteklerinin etkisini araştırmayı amaçladı.

Çalışma planı: Sağlıklı bir gönüllüden alınan sağlam humerus 3 boyutlu (3D) bilgisayar-destekli tasarım (BDT) modelinde kaynak olarak kullanıldı. Kilitli plak sisteminin 3D BDT modeli, üretici firmanın kılavuzundaki bilgiler üzerine kuruldu. Humerusun proksimal kısmı, standart üç-parça kırıkları yaratmak için osteotomize edildi ve sonra -MKD grubu (medial kortikal desteği eksik ve bu eksiklik kırıklarda 5 mm'lik medial kemik açıklığı kaynaklı) ve +MKD grubu (medial kortikal destek mevcut ve bu destek kırıklarda kortikalden kortikale medial temas kaynaklı) olarak ikiye ayrıldı. Her iki kırık grubu ya +MVD (ki burada medial vida desteği kilitli plak sistemine ilave iki kalker vidası eklentisi ile sağlandı) ya da -MVD (ki burada medial vida desteği eksikliği kilitli plak sistemine ilave iki kalker vidası eklenmemesi ile sağlandı) ile sırasıyla onarıldı. Bütün modelleme 90°'lik kol abduksiyonunu yansıtmak için yürütüldü.

Bulgular: Vida-kemik ara yüzeyinde medial vida desteği ve medial kortikal destek maksimum kayma gerilimini sırasıyla %17 ve %23 oranında azalttı. Kilitli plak üzerinde, medial vida desteği ve medial kortikal destek maksimum von Mises gerilimini sırasıyla %11 ve %22 oranında azalttı. Ancak, bu ikisinin kombinasyonunun vida-kemik ara yüzeyi için maksimum kayma gerilimini %56 oranında ve kilitli plak için maksimum von Mises gerilimini %54 oranında azalttığı görüldü.

Çıkarımlar: Medial açıklığı olan proksimal humerus kırıklarının kilitli plak tespiti sırasında varusta iyi medial kortikal temas ile bileşik kalker vida yerleştirilmesi tespit için optimal stabilite sağlayabilir.

Anahtar sözcükler: Biyomekanik; sonlu elemanlar yöntemi; kilitli plak; omuz kırıkları.

Yazışma adresi: Dr. Jian Liu, Orthopaedic Hospital, Guangzhou General Hospital of Guangzhou Military Command, Guangzhou, China.

Tel: +86 02088653998 e-posta: gzyyp@qq.com

Başvuru tarihi: 08.06.2014 **Kabul tarihi:** 02.09.2014

©2015 Türk Ortopedi ve Travmatoloji Derneği

Bu yazının çevrimiçi İngilizce versiyonu

www.aott.org.tr adresinde

doi: 10.3944/AOTT.2015.14.0204

Karekod (Quick Response Code)



Proksimal humerus kırık, bütün kırıkların %10'unu oluşturmaktadır^[1] ve görülme oranı her yıl %15 oranında artmaktadır.^[2] Yaşlı nüfus arasındaki üçüncü en yaygın kırık olmakla birlikte ağrı ve sakatlığın temel sebeplerindendir.^[3] Olguların %80'inde konservatif tedavi ile tatmin edici sonuçlar alınsa da konservatif tedavinin kaynamama oranı (%5-%23) yüksek olduğu için özellikle parçalanmış kırıklar ve osteoporotik olgular gibi bazı instabil kırıklarda cerrahi müdahale kabul edilmektedir.^[5] Kilitli tespit yönteminin gelmesiyle birlikte dikkat, bu yöntemin proksimal humerus kırıklarının onarımında kullanılmasına kaydı.^[6] Konvansiyonel plaklama,^[7] bıçak ağız plaklama^[8] veya intramedüller humeral çivi^[9] ile karşılaştırıldığında kilitli plaklar yeterli mekanik destek sağlamaktadır ve hastalarda diğer tespit yöntemlerine karşın üstün sonuçlar göstermiştir.^[10-12]

Ancak, medial korteks kominasyonu ile proksimal humerus kırıkları için kilitli plaklar ile tedavi edilen hastaların sonuçlarını değerlendiren klinik çalışmalar %28.9'luk hata oranları göstermiştir^[13-15] ve bu hata türlerinden biri eklem içi vida penetrasyonu ile kırığın varus içine çökmesidir.^[16,17] Medial destek eksikliği bunun muhtemel sebeplerinden biri olabilir.^[18,19] Aslında, medial destek varlığı ya da yokluğu plak tespiti kaybının anlamlı bir ön göstergesi olarak betimlenmiştir.^[20,21] Bu sorunun iki çözümü vardır. Biri, medial kortikalden kortikale ve böylelikle, medial kortikal destek sağlanması için cerrah kontrolü altında parçaların varus malredüksiyonda operatif olarak tespit edilmesidir.^[22,23] İkincisi ise, medial vida destek sağlanması için humerus cerrahi boynun medial eğriliğine teğet geçecek şekilde yaygın olarak kalkar vidaları olarak anılan bir ya da iki vidanın eklenmesidir.^[24] Ancak, ilave kalkar vidaları kullanımıyla bile vida penetrasyonu oranları %6-%8 arasında dağılım göstermektedir.^[25]

Bugüne kadar, bu iki çeşit medial desteğin medial açıklığı olan proksimal humerus kırıklarında kilitli plak tespitinde optimal nasıl stabilize sağlayabileceği üzerine birkaç biyomekanik çalışma yapılmıştır. Bu sonlu elemanlar yöntemi, medial açıklığı olan proksimal humerus kırıklarının implant-kemik ara yüzündeki yüklerde medial kortikal ve medial vida desteklerinin etkisini araştırmayı amaçladı.

Gereç ve yöntem

Sonlu Elemanlar Yöntemi

Bilgisayar-destekli tasarım (BDT) modelleri- 66 yaşında ve 61 kilo ağırlığında olan sağlıklı bir gönüllünün sağlam humerusu Siemens iki kaynaklı 64-kesitli BT ile tamamen tarandı. Kesitsel görüntüler 0.699 mm'de yürütüldü, DICOM formatında kaydedildi ve sonrasında

3-boyutlu (3D) modelin oluşturulması için Mimics Medical Imaging Software (The Materialise Group, Leuven, Belgium) programına aktarıldı. Aynı anda, kilitli plak sisteminin (PHILOS, Synthes, Oberdorf, Switzerland) 3D BDT modeli SolidWork 2013 (SolidWorks Corp., Dassault Systemes, Concord, MA, USA) kullanılarak modellendi.

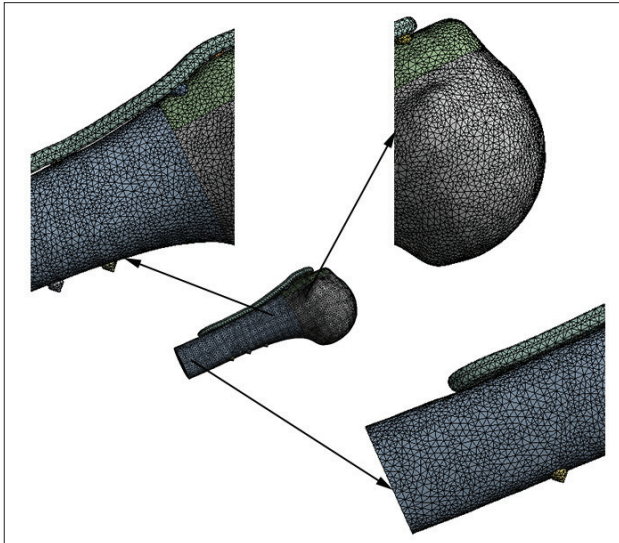
Bileşen parçaların birleştirilmesi- Sağlam humerusun 3D BDT modeli, SolidWorks BDT yazılımına aktarıldı ve humerusun proksimal parçası cerrahi boyun ve büyük tüberoziteyi içeren üç-parçalı kırığı oluşturmak için osteotomize edildi. Medial açıklığı olan proksimal humerus kırıklarında kilitli plak fiksasyonu üzerinde medial kortikal desteğinin varlığı ve yokluğunun biyomekanik etkisini açıklamak için^[23] bu üç-parçalı humerus kırığın 3D modelini -MKD grubu (medial kortikal desteği eksik ve bu eksiklik kırıklarda 5 mm'lik medial kemik açıklığı kaynaklı) ve +MKD grubu (medial kortikal destek mevcut ve bu destek kırıklarda kortikalden kortikale medial temas kaynaklı) olarak tekrar modelledik. Yukarıda tarif edilen her bir yapıda kırık onarımı dokuz vidalı kilitli plak kullanılarak uygulandı (altı proksimal vida humerus başına tespit edildi ve üç distal vida). Sonrasında plak tespiti aşağıda belirtildiği gibi iki farklı yapıya ayrıldı: 1) +medial vida desteği (+MVD) yapı: burada kilitli plak tespitinde iki ilave kalkar vida kullanıldı ve 2) -medial vida desteği (-MVD) yapı: burada sadece kilitli plak desteği mevcuttu. Bu çalışma için vidalar 3.5 mm çapında düzgün, konik uçlu olacak şekilde modellendi. Optimal cerrahi tespit sağlanması ve humerus başı yüzeyinin içinde vida ucunun tam olarak 2 mm'ye yerleşmesi için vida uzunluğu ayrı ayrı düzeltilti. Çözüm süresini iyileştirmek için distal süngerimsi kemik ve kortikal kemik çıkarıldı. Dört farklı tespit modelin bir örnekleme Şekil 1'de gösterilmektedir. Bütün dört model, sonlu elemanlar çözümlemesi için ANSYS Workbench 14.0'a (ANSYS, Inc., Canonsburg, PA, USA) yüklendi.

Ayrıklaştırma ve madde özellikleri- Bir araya getirilen bütün tespit modelleri ANSYS yazılımının Solid 187 elemanı kullanılarak birleştirildi. 10-nodlu dört yüzlü Solid 187 elemanı, karmaşık şekillerin 3D geometrilerini modellemede hatasız olduğu gösterildi. Bir araya getirilmiş modellerin ağ sensitivitesini ölçmek için bir test, aynı yük altında artarak küçülen ağ serilerinin yanıtını inceleyerek uygulandı. Küçültme, ANSYS Workbench'teki 'geçerlilik' programının kullanılmasıyla uygulandı. Ağ geçerlilik değerleri %0 (yüzeysel ağ) ve %100 (çok iyi ağ) arasında dağılım göstermektedir. %1'in altındaki gerilim ve gerginlik değerlerinde marjinal değişiklikler sağladığı için %95'lik geçerliliği olan bir ağ optimal olarak seçildi. Bu çalışma, ağ planlama eleman



Şekil 1. Dört farklı onarım modlarının 3D bilgisayarlı modeli: **(a)** Hem medial kortikal destek (–MKD) hem de medial vida desteği olmayan (–MVD) kırık onarım modu. **(b)** Medial vida desteği olan (+MVD) ama medial kortikal desteği olmayan (–MKD) kırık onarım modeli. **(c)** Medial kortikal desteği (+MKD) olan ama medial vida desteği olmayan (–MVD) kırık onarım modeli. **(d)** Hem medial kortikal destek (+MKD) hem de medial vida desteği olan (+MVD) kırık onarım modeli. [Bu şekil, derginin www.aott.org.tr adresindeki çevrimiçi versiyonunda renkli görülebilir.]

boyutu olarak 1 mm'yi seçti (Şekil 2). Toplam nod ve elemanlar şunlardı: 392071 ve 235483 (model A), 418020 ve 246599 (model B), 406455 ve 244122 (model C) ve



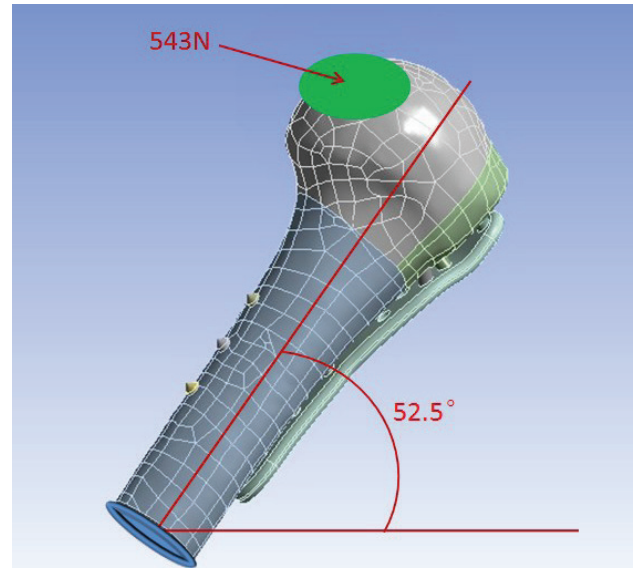
Şekil 2. Solid 187 elemanı ile ağ sonrası analiz modelin örnekleme. [Bu şekil, derginin www.aott.org.tr adresindeki çevrimiçi versiyonunda renkli görülebilir.]

426825 ve 255872 (model D). Humerus izotropik, doğrusal olarak elastik, kortikal kemik ($E=12$ GPa, $\nu=0.3$) ve süngerimsi kemik ($E=0.8$ GPa, $\nu=0.3$) için maddesel özellikleriyle heterojen bir madde olarak modellendi.^[26] Kilitli plak sistemi titanyum alaşımdan yapıldı ($E=110$ GPa, $\nu=0.3$).

SEY sınır koşulları- Humerus shaft ile büyük tüberozite parça, humerus shaft ile eklem parçası ve büyük tüberozite parçası ile eklem parçası arasındaki temas etkileşimi friksiyon katsayısı 0.3 olan yüzeyden-yüzeğe sonlu kayar kullanılarak tanımlandı.^[27] Ticari açıdan tasarlanmış 'kilitli plak'ı taklit etmek için temas etkileşimleri aşağıdaki şekilde tanımlandı: vida ve çevreleyen kemiğin; vida ve plağın; kortikal kemik ve süngerimsi kemiğin ara yüzeyleri boyunca hareketlilik olmaması.

Her tespit modelinin sınır koşulları, humerusun distal ucunun kesit yüzeylerindeki bütün nodları tanımlamak ve distal ucun tespit edildiği varsayımı ile birlikte bütün serbestlik derecelerini sıfıra sabitlemek içindi. Bütün modeller, dikeye 52.5° eğildi ve 543 N'lik dağılmış yük eklem yüzeyine uygulandı (Şekil 3). Bu sınır koşulları, 90° 'lik abduksiyonda proksimal humerustaki fizyolojik yükleri kopya etti.^[28] Yukarıda tarif edilen analiz modeli çözümlendikten sonra kemik ve vidadaki gerilimin eksiksiz tarifini sağlamak için kayma gerilimi dikkate alındı. Vida-kemik ara yüzeyleri boyunca maksimum kayma gerilimi muhtemel vida çekilmesini işaret etmektedir. Ayrıca, tepe gerilim dağılımını karşılamak için plaktaki von Misses gerilimi de dikkate alındı.

Özetle, kilitli plak osteosentezini takiben medial açıklığı olan üç parçalı kırık sonrasında biz, 90° 'lik kol



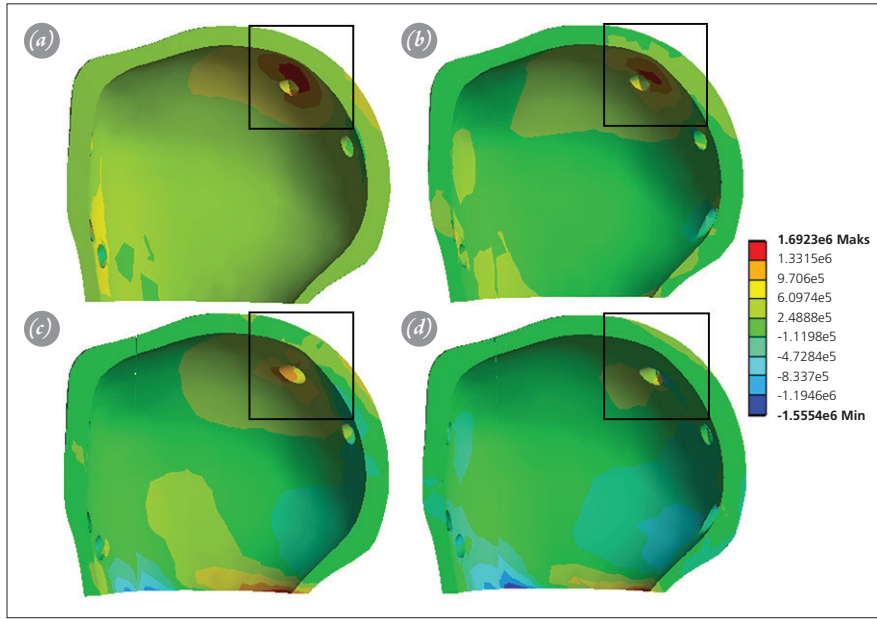
Şekil 3. Kırık tespiti ve yük. [Bu şekil, derginin www.aott.org.tr adresindeki çevrimiçi versiyonunda renkli görülebilir.]

abdüksiyonu yükleme şartında iki tür medial kırık parçası tespit modunu (medial korteksten kortekse temas olarak ya da olmaksızın) ve iki tür kalkar vida tespit modunu (humeral cerrahi boyunun medial eğriliğine teğet geçen kalkar vidaların eklemesi olarak ya da olmaksızın) araştırdık.

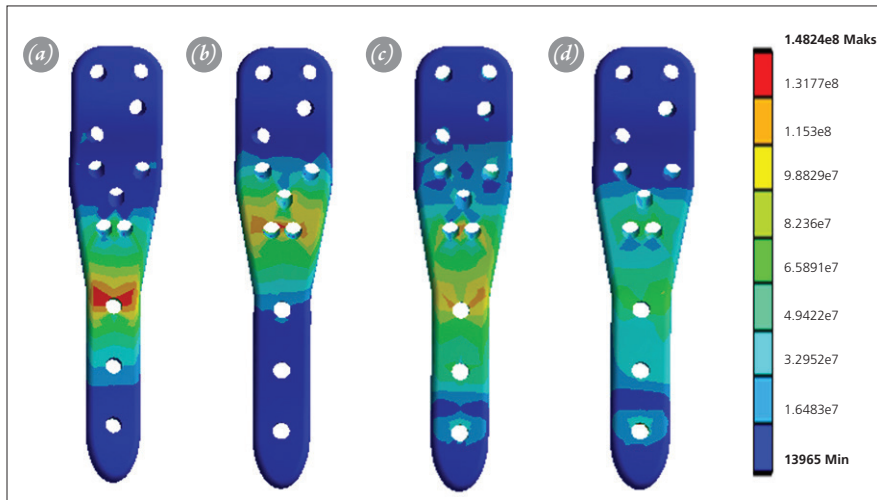
Bulgular

Vida-kemik ara yüzünün maksimum kayma gerilimi- Dört modeldeki vida-kemik ara yüzeyi kayma

gerilimi Şekil 4'te gösterilmiştir. Temel model (medial kortikal destek ve medial vida desteği olmaksızın) 1.69 MPa'lık maksimum kayma gerilimi gösterdi (Şekil 4a). Medial vida desteği varlığında medial kırık parçasındaki vida deliklerinin çevresinde maksimum kayma gerilimi %17'lik oranla 1.69 MPa'dan 1.41 MPa'ya düştü (Şekil 4b). Medial kortikal destek varlığında eklem parçasındaki vida deliği çevresinde maksimum kayma gerilimi %23'lük oranla 1.69 MPa'dan 1.29 MPa'ya düştü (Şekil 4c). Her iki destek mevcut iken, medial kırık parça-



Şekil 4. Vida-kemik ara yüzünün maksimum kayma gerilimi: **(a)** Model A; 1.69 MPa, **(b)** Model B; 1.41 MPa, **(c)** Model C; 1.29 MPa, and **(d)** Model D; 0.75 MPa. [Bu şekil, derginin www.aott.org.tr adresindeki çevrimiçi versiyonunda renkli görülebilir.]



Şekil 5. Kilitli plağın maksimum von Mises gerilimi: **(a)** Model A; 148.24 MPa, **(b)** Model B; 132.01 MPa, **(c)** Model C; 116.83 MPa, and **(d)** Model D; 68.58 MPa. [Bu şekil, derginin www.aott.org.tr adresindeki çevrimiçi versiyonunda renkli görülebilir.]

sındaki maksimum kayma gerilimi %56'lık oranla 1.69 MPa'dan 0.75 MPa'ya düştü (Şekil 4d).

Kilitli plak üzerindeki maksimum von Mises gerilimi- Kilitli plaklar üzerindeki maksimum von Mises gerilimi Şekil 5'te gösterilmiştir. Gerilim dağılımı ilk distal vida deliğinde olan temel model A'da maksimum von Mises gerilimi 148.24 MPa olarak görülmektedir (Şekil 5a). Medial vida desteği varlığında maksimum von Mises gerilimi %11'lik oranla 148.24 MPa'dan 132.01 MPa'ya düştü ve iki kalkar vida deliği arasında görüldü (Şekil 5b). Medial kortikal destek varlığında maksimum von Mises gerilimi %22'lik oranla 148.24 MPa'dan 116.83 MPa'ya düştü ve iki kalkar vida deliği arasında ilk distal vida delik çevresinde oluştu (Şekil 5c). Her iki destek mevcut iken, ilk distal vida deliği ve iki kalkar vida deliği arasındaki maksimum von Mises gerilimi %54'lük oranla 148.24 MPa'dan 68.58 MPa'ya düştü (Şekil 5d).

Tartışma

İlk kez olarak bu çalışma, vida-kemik ara yüzeyindeki maksimum kayma gerilimi ile 90°'lik kol abdüksiyonunda kilitli plak üzerindeki maksimum von Mises gerilimine odaklanarak medial açıklığı olan proksimal humerus kırıkları için medial kortikal ve medial vida desteklerinin kilitli plak osteosentezinin mekanik davranışı üzerindeki etkinin bilgisayarlı bir ölçümünü sağlamaktadır. Medial vida desteği elde etmek için ilave kalkar vidalar (model B), vida-kemik ara yüzeyindeki maksimum kayma geriliminde %17'lik bir azalma ve kilitli plak üzerindeki maksimum von Mises geriliminde %11'lik bir azalma ile sonuçlandı. Medial kortikal desteği elde eden medial kortikal temas (model C), vida-kemik ara yüzeyindeki maksimum kayma geriliminde %23'lük bir azalma ve kilitli plak üzerindeki maksimum von Mises geriliminde %22'lik bir azalma ile sonuçlandı. Bu iki medial desteğin kombinasyonu (model D), vida-kemik ara yüzeyindeki maksimum kayma geriliminde %56'lık bir azalma ve kilitli plak üzerindeki maksimum von Mises geriliminde %54'lük bir azalma ile sonuçlandı. Bu gerilim yoğunlaşma alanlarındaki gerilimde herhangi bir azalma tespit hatası olasılığını azaltacaktır.

Klinik olarak tespit hatası, proksimal humerus kırıklarının kilitli plak tespitinde medial desteğin yokluğu ile eşleştirilmiştir.^[18,19,29] Rotator kılıfın devamlı varus gerilimi, humerus başının varus kayması ve kırık, medial kortikal temas sağlamakta başarısız olduğunda rehabilitasyonun erken döneminde eklem yüzeyinin çökmesi ile sonuçlanabilir. Vida perforasyonunun yüksek görülme oranı, medial yetersiz destek ile implant rijiditesi kombinasyonuna sekonder görülebilir.^[21,25] Bu çalışmada, medial destek yokluğu (model A), vida deliğini çevreleyen

aşırı derecede yüksek kortikal kemik gerilimi ile sonuçlandı. Medial destek yokluğu ayrıca, kilitli plak kırılması için yüksek bir potansiyele işaret ederek ilk distal vida deliği çevresinde aşırı derecede yüksek kilitli plak gerilimi ile sonuçlandı. Bu, bu cihazlar için bildirilmiş klinik hata modudur.^[30]

Stabil medial destek implant-ilişkili tespit hatası ihtimalini düşürebilir ve proksimal humerus kırıklarında mükemmel klinik sonuçlar elde edebilir. Diğer bir taraftan, geç kaynama ve aksiller sinirde yüksek lezyon riski dolayısıyla bazı cerrahlar, özellikle minimal invaziv plaklamada peruktan olarak yapıldığında kalkar vida yerleştirilmesinden kaçınmaya eğilimlidirler.^[31] Kalkar vidaların, osteosentetik yapının sertleşmesi yüzünden vida çekilme riskini artırmasına rağmen^[32] yeni klinik veriler vida çekilmesi için artan bir riskin gözlemlenmediğini öne sürmüştür.^[24] Bir biyomekanik kadavra çalışması, medial ve inferior bölgenin subkondral kemiğinin altına yerleştirilen vidanın kavrama kuvvetinin humerus başının ortasına ya da lateral ve superior bölgeye yerleştirilen vidanınkinden daha güçlü olduğunu bulmuştur.^[33] Biz, medial vida desteğinin vida-kemik ara yüzeyindeki maksimum kayma geriliminde %11'lik bir azalma sağladığını bulduk ama vida uçlarını çevreleyen kayma gerilim yoğunlaşmasının hala periyodik günlük aktivite yükü altında potansiyel vida çekilmesine işaret ettiğini fark ettik. Diğer bir taraftan, sentetik iki-parçalı model kullanan biyomekanik bir çalışma medial kortikal desteğin sadece stabilitesini ölçtü ve medial kortikal temas yapısının, medial korteksin çıkarıldığı medial destek kaybı ile oluşturan bir yapıdan kayma ve aksiyal sertlik bakımından daha iyi biyomekanik stabilite elde edileceğini ortaya koydu.^[23] Bu, bizim çalışmalarımızın bulgularıyla aynı olmakla birlikte biz, vidayı çevreleyen kortikal kemik alanlarında ve ilk distal vida deliği çevresindeki kilitli plak alanlarında gerilim yoğunlaşmasının baş gösterdiğini bulduk.

Medial açıklığı olan proksimal humerus kırıklarının kilitli plak tespitinde optimal stabilite sunmak için varusta iyi medial kortikal temas ile birlikte proksimal humerus parçanın inferomedial bölgesine kalkar vida yerleştirilmesinin de temas hatası ihtimalini düşürmek için dikkate alınması gerektiği ileri sürülmektedir. Bu çalışmada medial kalkar vidalar ile birlikte medial korteksten kortekse temas, vida-kemik ara yüzeyinde ve kilitli plak üzerindeki maksimum kayma geriliminde büyük bir reduksiyona sebep oldu ve gerilim yoğunlaşma bölgelerini de dağıttı. Bizim çalışmamız, üç ve dört parçalı kırıklarda ilave medial destek vidalarının eklenmesinin mekanik stabiliteyi sürdürmeye ve fonksiyonel sonuçları geliştirmeye yardım edebileceğini gösteren kırık parça-

larının anatomik redüksiyonunu temel alan diğer klinik çalışmalar ile desteklenmektedir.^[34,35]

Bu çalışmanın birçok limitasyonu vardır. İlk olarak, herhangi bir kas simülasyonu olmadan proksimal humerus üzerinde 90°'lik kol abduksiyonunda güçleri kopyalamak için sadeleştirilmiş yük kullanımı bildirilmiştir.^[27,28] Ancak, bir omuz eklemi için yapılan sonlu elemanlar yöntemi çözümlenmesi, 90°'lik kol abduksiyonu açısında en yüksek gerilimin ortaya çıktığını bildirmiştir.^[36] ve bu yüzden, biz sadece 90°'lik kol abduksiyonu yük koşulunda iki medial desteğin stabilitesini değerlendirdik. İkinci olarak, biz sadece 0°'lik varus mal-redüksiyonunda proksimal humerus kırık tespitinin stabilitesi üzerinde durduk ve diğer varus mal-redüksiyon derecelerini görmezden geldik. Ancak, medial kortikal teması sahip farklı dereceli varus mal-redüksiyon modelleri, iki parçalı kırıklarda sadece düşük sertlik farklılıkları üretmiştir.^[23] Üçüncü olarak, proksimal humerus kırık osteosentezinin biyomedikal özellikleri üzerinde kemik mineral yoğunluğu (KMY) etkisi bu çalışmada dikkate alınmadı. Dördüncü olarak, bu SEY modeli kemiğin doğrusal, izotropik ve elastik mekanik davranışlarına sahip olduğunu varsaydı ve bu da analizin önemli ölçüde sadeleşmesine sebep oldu. Son olarak, vida sayısı ve pozisyonunun medial açıklığı olan proksimal humerus kırıklarının kilitli plak tespitinin stabilitesi üzerindeki etkisi dikkate alınmadı. Bu limitasyonlar ileriki çalışmalarda simüle edilecektir.

Medial açıklığı olan proksimal humerus kırıklarının kilitli plak tespitinde medial kortikal ve medial vida destekleri etkisinin bu SEY çalışması, sadece kalkar vida yerleşimi ile elde edilen medial desteğin veya sadece iyi medial kortikal temasın kemik-vida ara yüzeyinde ve kilitli plakta gerilim gradyanlarını azaltabileceğini ileri sürdü. Ancak, gerilim yoğunlaşması hala implant-kemik ara yüzeyinde görülmektedir. Daha önemlisi, medial kırık açıklığı olduğunda varusta iyi medial kortikal temas ile birlikte kalkar vidalarının yerleştirilmesi gerilim gradyanlarında büyük ölçüde redüksiyona sebep oldu, tespit hatası ihtimalini önemli ölçüde azalttı ve tespit için optimal stabilite sağladı.

Çıkar örtüşmesi: Çıkar örtüşmesi bulunmadığı belirtilmiştir.

Kaynaklar

- Baron JA, Karagas M, Barrett J, Kniffin W, Malenka D, Mayor M, et al. Basic epidemiology of fractures of the upper and lower limb among Americans over 65 years of age. *Epidemiology* 1996;7:612–8.
- Roux A, Decroocq L, El Batti S, Bonneville N, Moineau G, Trojani C, et al. Epidemiology of proximal humerus fractures managed in a trauma center. *Orthop Traumatol Surg Res* 2012;98:715–9.
- Calvo E, Morcillo D, Foruria AM, Redondo-Santamaría E, Osorio-Picorne F, Caeiro JR; GEIOS-SECOT Outpatient Osteoporotic Fracture Study Group. Nondisplaced proximal humeral fractures: high incidence among outpatient-treated osteoporotic fractures and severe impact on upper extremity function and patient subjective health perception. *J Shoulder Elbow Surg* 2011;20:795–801.
- Iannotti JP, Ramsey ML, Williams GR Jr, Warner JJ. Non-prosthetic management of proximal humeral fractures. *Instr Course Lect* 2004;53:403–16.
- Volgas DA, Stannard JP, Alonso JE. Nonunions of the humerus. *Clin Orthop Relat Res* 2004;419:46–50.
- Röderer G, Gebhard F, Krischak G, Wilke HJ, Claes L. Biomechanical in vitro assessment of fixed angle plating using a new concept of locking for the treatment of osteoporotic proximal humerus fractures. *Int Orthop* 2011;35:535–41.
- Seide K, Triebe J, Faschingbauer M, Schulz AP, Püschel K, Mehrtens G, et al. Locked vs. unlocked plate osteosynthesis of the proximal humerus - a biomechanical study. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2007;22:176–82.
- Siffri PC, Peindl RD, Coley ER, Norton J, Connor PM, Kellam JF. Biomechanical analysis of blade plate versus locking plate fixation for a proximal humerus fracture: comparison using cadaveric and synthetic humeri. *J Orthop Trauma* 2006;20:547–54.
- Foruria AM, Carrascal MT, Revilla C, Munuera L, Sanchez-Sotelo J. Proximal humerus fracture rotational stability after fixation using a locking plate or a fixed-angle locked nail: the role of implant stiffness. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2010;25:307–11.
- Barlow JD, Sanchez-Sotelo J, Torchia M. Proximal humerus fractures in the elderly can be reliably fixed with a "hybrid" locked-plating technique. *Clin Orthop Relat Res* 2011;469:3281–91.
- Leonard M, Mokotedi L, Alao U, Glynn A, Dolan M, Fleming P. The use of locking plates in proximal humeral fractures: Comparison of outcome by patient age and fracture pattern. *Int J Shoulder Surg* 2009;3:85–9.
- Olerud P, Ahrengart L, Söderqvist A, Saving J, Tidermark J. Quality of life and functional outcome after a 2-part proximal humeral fracture: a prospective cohort study on 50 patients treated with a locking plate. *J Shoulder Elbow Surg* 2010;19:814–22.
- Acklin YP, Stoffel K, Sommer C. A prospective analysis of the functional and radiological outcomes of minimally invasive plating in proximal humerus fractures. *Injury* 2013;44:456–60.
- Osterhoff G, Hoch A, Wanner GA, Simmen HP, Werner CM. Calcar comminution as prognostic factor of clinical outcome after locking plate fixation of proximal humeral fractures. *Injury* 2012;43:1651–6.

15. Solberg BD, Moon CN, Franco DP, Paiement GD. Surgical treatment of three and four-part proximal humeral fractures. *J Bone Joint Surg Am* 2009;91:1689–97.
16. Jost B, Spross C, Grehn H, Gerber C. Locking plate fixation of fractures of the proximal humerus: analysis of complications, revision strategies and outcome. *J Shoulder Elbow Surg* 2013;22:542–9.
17. Badman B, Frankle M, Keating C, Henderson L, Brooks J, Mighell M. Results of proximal humeral locked plating with supplemental suture fixation of rotator cuff. *J Shoulder Elbow Surg* 2011;20:616–24.
18. Pak P, Eng K, Page RS. Fixed-angle locking proximal humerus plate: an evaluation of functional results and implant-related outcomes. *ANZ J Surg* 2013;83:878–82.
19. Thanasas C, Kontakis G, Angoules A, Limb D, Gianoudis P. Treatment of proximal humerus fractures with locking plates: a systematic review. *J Shoulder Elbow Surg* 2009;18:837–44.
20. Königshausen M, Kübler L, Godry H, Citak M, Schildhauer TA, Seybold D. Clinical outcome and complications using a polyaxial locking plate in the treatment of displaced proximal humerus fractures. A reliable system? *Injury* 2012;43:223–31.
21. Jung SW. Indirect reduction maneuver and minimally invasive approach for displaced proximal humerus fractures in elderly patients. *Clin Orthop Surg* 2013;5:66–73.
22. Cofield RH. Comminuted fractures of the proximal humerus. *Clin Orthop Relat Res* 1988;230:49–57.
23. Lescheid J, Zdero R, Shah S, Kuzyk PR, Schemitsch EH. The biomechanics of locked plating for repairing proximal humerus fractures with or without medial cortical support. *J Trauma* 2010;69:1235–42.
24. Osterhoff G, Ossendorf C, Wanner GA, Simmen HP, Werner CM. The calcar screw in angular stable plate fixation of proximal humeral fractures—a case study. *J Orthop Surg Res* 2011;6:50.
25. Gardner MJ, Weil Y, Barker JU, Kelly BT, Helfet DL, Lorich DG. The importance of medial support in locked plating of proximal humerus fractures. *J Orthop Trauma* 2007;21:185–91.
26. Rho JY, Ashman RB, Turner CH. Young's modulus of trabecular and cortical bone material: ultrasonic and micro-tensile measurements. *J Biomech* 1993;26:111–9.
27. Feerick EM, Kennedy J, Mullett H, FitzPatrick D, McGarry P. Investigation of metallic and carbon fibre PEEK fracture fixation devices for three-part proximal humeral fractures. *Med Eng Phys* 2013;35:712–22.
28. Poppen NK, Walker PS. Forces at the glenohumeral joint in abduction. *Clin Orthop Relat Res* 1978;135:165–70.
29. Maier D, Jäger M, Strohm PC, Südkamp NP. Treatment of proximal humeral fractures - a review of current concepts enlightened by basic principles. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech* 2012;79:307–16.
30. Clavert P, Adam P, Bevort A, Bonnomet F, Kempf JF. Pitfalls and complications with locking plate for proximal humerus fracture. *J Shoulder Elbow Surg* 2010;19:489–94.
31. Greiner S, Kääh MJ, Haas NP, Bail HJ. Humeral head necrosis rate at mid-term follow-up after open reduction and angular stable plate fixation for proximal humeral fractures. *Injury* 2009;40:186–91.
32. Lill H, Hepp P, Korner J, Kassi JP, Verheyden AP, Josten C, et al. Proximal humeral fractures: how stiff should an implant be? A comparative mechanical study with new implants in human specimens. *Arch Orthop Trauma Surg* 2003;123:74–81.
33. Liew AS, Johnson JA, Patterson SD, King GJ, Chess DG. Effect of screw placement on fixation in the humeral head. *J Shoulder Elbow Surg.* 2000;9:423–6.
34. Schulte LM, Matteini LE, Neviasser RJ. Proximal periarticular locking plates in proximal humeral fractures: functional outcomes. *J Shoulder Elbow Surg* 2011;20:1234–40.
35. Zhang L, Zheng J, Wang W, Lin G, Huang Y, Zheng J, et al. The clinical benefit of medial support screws in locking plating of proximal humerus fractures: a prospective randomized study. *Int Orthop* 2011;35:1655–61.
36. Clavert P, Zerah M, Krier J, Mille P, Kempf JF, Kahn JL. Finite element analysis of the strain distribution in the humeral head tubercles during abduction: comparison of young and osteoporotic bone. *Surg Radiol Anat* 2006;28:581–7.