



Medial kelebek fragmanlı humerus cisim kırıklarında farklı internal tespit yöntemlerinin biyomekanik değerlendirmesi

Mehmet Aykut TÜRKEN¹, Mehmet AKDEMİR², Bora UZUN³, Mustafa ÖZKAN⁴

¹Bolu İzzet Baysal Devlet Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, Bolu;

²Turhal Devlet Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, Tokat;

³Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi, Biyomekanik Anabilim Dalı, İzmir;

⁴Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı, İzmir

Amaç: Bu çalışmanın amacı medial kelebek fragmanlı humerus cisim kırıklarında üç biyolojik tespit yönteminin biyomekanik dayanıklılıklarını karşılaştırmaktır.

Çalışma planı: Yirmi bir adet sentetik kortikal *shell* humerusta AO 12B2 kırık şekline benzer biçimde kelebek fragmanlar oluşturuldu. Humeruslara kilitli köprü plaklama, antegrad intramedüller çivileme veya retrograd intramedüller çivileme uygulandı. Rotasyonel ve dört-nokta bükülme testinde elde edilen yer değiştirme eğrisi değerleri kaydedildi.

Bulgular: Burulma testlerinde elde edilen ortalama yer değiştirme değerleri; köprü plaklama grubunda 37.38 (dağılım: 25.75-55.69) mm, antegrad çivileme grubunda 26.55 (dağılım: 21.25-41.81) mm ve retrograd çivileme grubunda 33.23 (dağılım: 27.50-46.45) mm olarak saptandı. Dört nokta bükülme testinde elde edilen ortalama yer değiştirme değerleri; köprü plaklama grubunda 3.27 (dağılım: 2.54-3.73) mm, antegrad çivileme grubunda 3.17 (dağılım: 2.69-3.55) mm ve retrograd çivileme grubunda 3.15 (dağılım: 2.10-4.03) mm idi. Gruplar arasında anlamlı fark saptanmadı ($p>0.05$).

Çıkarımlar: Medial kelebek fragmanlı humerus cisim kırıklarının tespitinde köprü plaklama, antegrad intramedüller çivileme ve retrograd intramedüller çivileme sistemlerinin biyomekanik stabilite açısından birbirlerine üstünlüğü olmadığı saptandı.

Anahtar sözcükler: Antegrad intramedüller çivileme; humerus cisim kırığı; köprü plaklama; medial kelebek fragman; retrograd intramedüller çivileme.

Humerus cisim kırıkları tüm kırıkların %1 ila 3'ünü oluşturmaktadır. Yapılan epidemiyolojik çalışmalar bu kırığın insidansının ilk olarak yaşamın üçüncü dekatında erkeklerde, ikinci olarak ve daha yüksek sıklıkta yedinci dekatta kadınlarda görüldüğünü göstermektedir.^[1,2] Humerus cisim kırıklarının birçoğu konservatif yöntemlerle başarı ile tedavi edilebilmekteyse de, bir takım durum-

larda cerrahi girişim düşünülebilir. Cerrahi tedavi yöntemi olarak plak-vida tespiti, intramedüller çivileme ve eksternal fiksatörler kullanılabilir.^[3-7] Bununla birlikte, biyomekanik, cerrahi planlama ve komplikasyonlar açısından optimal seçimin ne olduğu tartışma konusudur.^[6]

Kırıkların internal tespitinin biyomekanik özellikleri son yıllarda önem kazanmıştır. Daha esnek tespitler da-

Yazışma adresi: Dr. Mehmet Aykut Türken. İzmir Üniversitesi Medical Park İzmir Hastanesi, Yeni Girne Blv. 1825 Sk., No: 12, Karşıyaka, İzmir, Turkey.

Tel: 0533 - 644 88 66 e-posta: turken.aykut@gmail.com

Başvuru tarihi: 29.06.2011 **Kabul tarihi:** 17.01.2012

©2013 Türk Ortopedi ve Travmatoloji Derneği

Bu yazının çevrimiçi İngilizce versiyonu
www.aott.org.tr adresinde
doi:10.3944/AOTT.2013.2701
Karekod (Quick Response Code):



ha fazla kallus oluşumu ile ikincil kemik oluşumuna imkan sağlamaktadır. Dolaylı redüksiyon cerrahi travmayı azaltmıştır. Kilitli plakalarla yapılan köprü plaklama kemik dolaşımı için daha iyi bir koruma sağlar.^[1] Bütün yaralarda olduğu gibi kemikte de iyileşme kanlanmaya bağlıdır. Besleyici arterin ilk travma ya da cerrahi sırasında hasara uğraması kırığın iyileşmesinde sorun yaratabilir.^[4]

Bu çalışmada amaç, sentetik humerus cismi materyali üzerinde oluşturulan medial kelebek fragmanlı kırıklarda köprü plaklama, antegrad ve retrograd intramedüllerler çivileme ile tespit yöntemlerinin mekanik özelliklerini araştırmaktır.

Gereç ve Yöntem

Çalışmamızda 21 adet plastik kortikal *shell* humerus (Sawbones® model no: 1006; Sawbones AG, Malmö, İsveç) kullanıldı. Humeruslara, AO 12B2 kırık şekline benzer biçimde tabanı 40 mm olacak şekilde kelebek fragmanlar medial korteksten kesilerek çıkarıldı. Ana kırık fragmanları ile kemiğin teması yoktu. Humeruslar 7'şerli 3 gruba ayrılarak, köprü plaklama, antegrad intramedüller çivileme ve retrograd intramedüller çivileme ile tespit uygulandı (Şekil 1).

Çivilemelerde 9x280 mm'lik çivi distalde ve proksimalde 2'şer vida ile kilitlendi (Şekil 2a ve b). Köprü plaklamada 10 delikli, 178 mm uzunluğunda 4.5 mm'lik uzun humerus LC-DCP plağı (Synthes), kelebek fragman bölgesini köprüleyecek biçimde, 20 mm'lik sekiz adet kilitli vida ile humerusa tespit edildi (Şekil 2c).

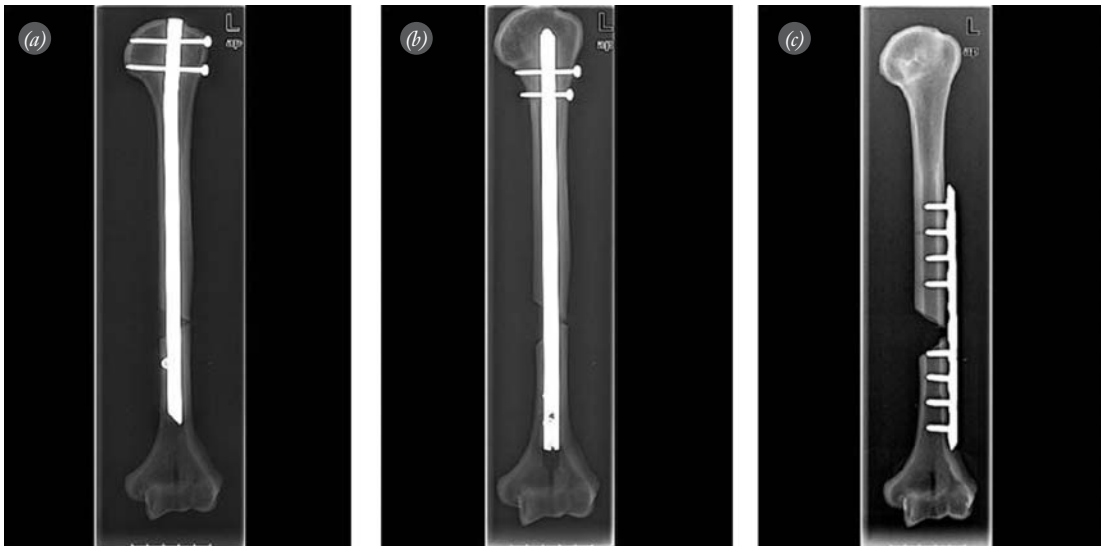
Deneyde basma aleti olarak SHIMADZU Autograph AG-5kNG universal test cihazı (Shimadzu Corp.,



Şekil 1. Çalışmada kullanılan *sawbonelar* ve osteotomilerin şekli. [Bu şekil, derginin www.aott.org.tr adresindeki çevrimiçi versiyonunda renkli görülebilir]

Tokyo, Japonya) kullanıldı. Test sırasında sürtünmeyi azaltmak amacı ile basma aleti, iki adet 180x15 mm'lik rulman ile boyu ayarlanabilen ve taban plakası 1000x600x12 mm olan tespit cihazında kullanıldı (Şekil 3). Rulmanlardan oluşan kısım makara sistemi ile basma aletine bağlandı; karşı taraf ise sabit tutuldu. Kemiği sabitlemek için 100x80 mm'lik, çevresine dört adet 8x1.5 mm'lik paso yerleştirilmiş bir yuva kullanıldı.

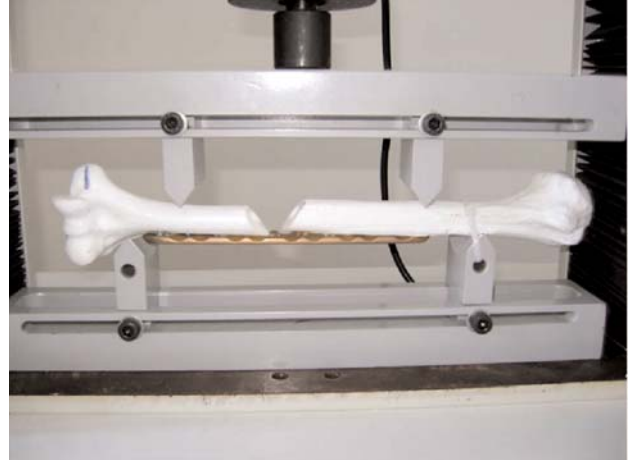
Deneklere yük verilmeden önce basma aleti her deney için kalibre edildi. Burulma aparatı çelik bir tel ile yere sabitlendi. Burulma aparatının makara sistemi, basma aletine çelik tel ile bağlanarak yer çekimi doğrultusu-



Şekil 2. *Sawbonelar* üzerindeki internal tespit yöntemlerinin radyografi görüntüleri: (a) Antegrad intramedüller, (b) retrograd intramedüller ve (c) kilitli plak tespiti.



Şekil 3. Shimadzu test cihazına bağlanan aparat. [Bu şekil, derginin www.aott.org.tr adresindeki çevrimiçi versiyonunda renkli görülebilir]



Şekil 4. Dört nokta bükülme testi için kullanılan cihaz. [Bu şekil, derginin www.aott.org.tr adresindeki çevrimiçi versiyonunda renkli görülebilir]

na ters yüklenme oluşturuldu. Deneklerin burulma aletinin döndürme eksenine aynı yönde yerleştirilmesine dikkat edildi. Basma aleti ile basma hızı 5 mm/dak. olacak şekilde 320 Newton'a kadar sürekli artan yüklenme uygulandı.

Dört nokta bükülme testi için 450 mm'lik iki parçadan oluşan, denegin üzerine uzanabileceği, iki adet kama şeklinde uzantıları olan alt destek noktası ve yine iki adet keskin yüzeyli uzantılı üst destek noktası olan ve basma aletine takılan bir cihaz tasarlandı (Şekil 4). Denekler, üst destek noktaları arasında 150 mm, alt destek noktaları arasında 220 mm mesafe bulunacak şekilde düzeneğe yerleştirildi. Böylece, her iki tarafta üst ve alt destek noktaları arasındaki mesafe 35 mm olacak şekilde sabitlendi.^[8] Destek noktalarının deneklere eşit düzlemde temasına özen gösterildi. Deneklere, basma aleti ile, mediolateral doğrultuda 500 N'a kadar ve hızı 5 mm/dak olacak şekilde aksiyel yönde dört nokta bükülme uygulandı. Böylece, 500 N yükü yük (N) ve yer değiştirme (mm) eğrileri elde edildi.

Verilerin istatistiksel analizi SPSS for Windows v.11 (SPSS Inc., Chicago, IL, ABD) programı kullanılarak yapıldı. Grupların bükülme ve burulma ölçüm değerleri ortalamaları \pm standart sapma değerleri hesaplandı. Grupların arası karşılaştırma için Kruskal-Wallis varyans analizi uygulandı. Anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ olarak belirlendi.

Bulgular

Bükülme testlerinde yük-yer değiştirme eğrileri elde edildi. 360 N yük altında elde edilen yer değiştirme miktarları SPSS programına aktarılarak, testten elde edilen verilerin minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri belirlendi. Tablo 1'de görüldüğü gibi köprü plaklama uygulanan grupta ortalama yer değiştirme 37.38 (dağılım: 25.75-55.68) mm, antegrad çivileme uygulanan grupta ortalama deplasman 26.55 (dağılım: 21.25-41.81) mm, retrograd çivileme uygulanan grupta ise ortalama deplasman 33.23 (dağılım: 27.50-46.45) mm olarak bulundu. Bu sonuçlar altında deneklere uygulanan 360 N burulma kuvvetinin yer değiştirme miktarları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır ($p=0.068$).

Dört nokta bükülme testlerinde yük-yer değiştirme (mm) eğrileri elde edildi. 500 N yük altındaki bükülme testlerinde elde edilen yer değiştirme miktarları SPSS programına aktarılarak minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri elde edildi. Tablo 2'de görüldüğü gibi köprü plaklama uygulanan grupta ortalama yer değiştirme 3.27 (dağılım: 2.54-3.73) mm, antegrad çivileme uygulanan grupta ortalama deplasman 3.17 (dağılım: 2.69-3.55) mm, retrograd çivileme uygulanan grupta ise ortalama deplasman 3.15 (dağılım: 2.10-4.03) mm olarak saptandı. Dört nokta bükülme testinde üç

Tablo 1. Grupların burulma testi sonuçlarının minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri.

	n	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart sapma	
Plak	7	25.7500	55.6875	37.376071	12.1467339	$\chi^2=5.565$ $p=0.068$
Antegrad	7	21.2500	41.8125	26.553571	7.3078180	
Retrograd	7	27.5000	46.4520	33.234214	6.5613844	

Tablo 2. Grupların dört nokta bükülme testi sonuçlarının minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri.

	n	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart sapma	
Plak	7	2.5400	3.7280	3.269429	0.4040585	$\chi^2=0.208$ $p=0.901$
Antegrad	7	2.6880	3.5470	3.174143	0.32558443	
Retrograd	7	2.1010	4.0260	3.152143	0.7309048	

farklı tespit grubu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmadı ($p=0.901$).

Tartışma

Humerus kırıkları tüm kırıkların %1 ila 3'ünü oluşturmaktadır.^[1,2] Bu kırıklarda kaynamama oranları ise literatürde %10 ila 15 arasında değişmektedir.^[4,8,9] Son yıllarda, uzun kemik kırıklarının internal tespitinde, rijit tespit yerine biyolojik tespit metotlarının kaynama yönünden daha iyi sonuçlar verdiği bildirilmektedir.^[9] Bu çalışmamızda, medial kelebek fragmanlı AO sınıflamasına göre 12B2 humerus kırık tipinde minimal invaziv yöntemle uygulanan internal tespit metotlarının dayanıklılıklarını araştırdık.

Humerusta primer besleyici arterler cismin orta noktasının hemen altında, medial sınırdan girer. Carroll'un yaptığı çalışmada 71 erişkin humerusun 57'sinde sadece tek bir besleyici arter bulunduğu gösterilmiştir.^[10] Çalışmamızda da bu anatomik bulgular göz önüne alınarak, kelebek segmentler besleyici arterin girdiği bölgenin uzatılmasından çıkarıldı. Humerus orta distal bileşkesindeki kırıklarda iyileşme sorunu ile karşılaşılmasının nedenlerinden biri, kırığın oluşumunda ya da cerrahi sırasında bu bölgedeki besleyici arterin hasara uğraması olabilir. Bu kelebek segmentin kan akışının bozulması sonucu kırığın bir ya da her iki tarafta kaynamamasına yol açabilir.^[4,10]

Biyomekanik testlerde günlük hareketler sırasındaki yüklenmeler taklit edilerek farklı tespit yöntemlerinin stabilitesinin saptanması ve karşılaştırılması amaçlanır. Bu deneylerde insan kadavra kemikleri ve kemiğin mekanik özelliklerini taklit eden homojen kemik analogları kullanılabilir. İnsan kadavra kemiği kullanılan testlerde kemik mineral yoğunluğundaki farklılıklar sonuçlarda değişkenlik oluşturabilir. Lin ve ark., yaptıkları çalışmada, tespit yetersizliğinin osteoporotik olgularda, düşük yüklerde bozulma eğiliminin kemiğin kendisinden, osteoporotik olmayan deneklerde, yüksek yüklerde ise bozulma eğiliminin implanttan kaynaklandığını göstermişlerdir.^[11] Bizim çalışmamızda, gruplar arasında standartizasyon sağlamak amacı ile kemik analogu kullanımı uygun görülmüştür.

Humerusla ilgili implant yetmezliği oluşturan deneysel çalışmalarda farklı yüklenmelerin verildiği göze çarpmaktadır.^[12] Blum ve ark., humerus cisim kırıklarının

da retrograd intramedüller çivilerin biyomekanik özelliklerini değerlendirdiği çalışmalarında bükülme testinde 450 N'lik yüklenme, burulma yüklenmelerinde 8 Nm'lik tork uygulamışlardır.^[13] Biz de çalışmamızda, dört nokta bükülme testinde 500 N, burulma testinde 9.6 Nm tork oluşturacak şekilde yüklenme uyguladık. Biz implant yetmezliği oluşturmayacağımız için kemik implant yapısını bozmamak amacı ile bu fizyolojik yüklerde deneyimizi uyguladık.

İnternal tespit son yıllardaki gelişimi sonrası yumuşak doku hasarında azalma görülmektedir. Biyolojik internal fiksasyonun amacı, özellikle segmenter kırıklarda dolaylı redüksiyonla yumuşak dokuda en az hasar oluşturarak tespiti sağlamaktır.^[14] Çalışmamızda kelebek fragman tespit edilmeyip, kemik-implant yapısından uzaklaştırılmıştır.

Minimal invaziv plak tespit yöntemleri, ilk olarak subtrokanterik ve distal femur kırıkları için tanımlanmış olsa da, humerus kırıkları için de bu yöntemin kullanılabilirliği literatürde tanımlanmıştır.^[15-17] Humerus, proksimalde aksiller sinir, distal kısımda radial sinir komşuluğundan dolayı bu yöntemi uygulamak teknik olarak zordur. Bu teknik proksimal ve distalde en azından üç vida tespitine izin veren deltoid insersiyosunun 6 cm altı ile, troklear çukurun üzerindeki kırıklarda uygulanabilir. Bu tip plaklamada anterior yaklaşım önerilmektedir.^[15-17] Uzun plaklarla kırık bölgesi köprülenerek, her iki uçta kısa tespitlerle, bükülme stresleri plağın gövdesinde dağıtılır.^[18]

Perren'in^[14] çalışmasında, minimal invaziv plak osteosentezinde kullanılan kilitli plakların, eksternal fiksatör uygulamalarına benzer biçimde, kemik yüzeyinde minimal temas alanı sağlayarak kemik kanlanmasını koruduğu bildirilmektedir. Kilitli plakların kemik yüzey eğimine tam oturması gerekmez. Bu teknik kullanım kolaylığı sağlasa da, gerekli vida boylarını belirlemeye izin vermez. Bu yüzden bu plaklar, uç kısımları medüller kanalda kalacak şekilde tek korteksi tutan vidalarla tutturulur. Çalışmamızda da tek korteksi tutan vidalarla tespit uyguladık.

Livani ve Belangero,^[15] humerus cisim kırıklı 15 hastada minimal invaziv teknikte köprü plaklama uygulamıştır. Bu hastalardan beşi AO Tip A, yedisi Tip B, dördü Tip C kırıklı hastalardır. Komplikasyon oranlarının düşük olması ve elde edilen iyi sonuçlar, bu yaklaşımın

humerus cisim kırıklarının cerrahi tedavisinde kullanılabileceğini göstermektedir. Bu tekniğin erken eklem hareketlerine izin verecek stabiliteyi sağlaması ve minimal cerrahi hasar oluşturması en önemli avantajıdır. Radial sinir lezyonlu kırıklarda sinir eksplorasyonu gerektiği için bu tedavi şekli önerilmez.

Humerusun proksimal ve distal uçtan kilitlenebilir olması, farklı çivileme yöntemlerinin biyomekanik olarak değerlendirilebilmesi için iyi bir örnek oluşturur. Biz, daha önce Blum ve ark.'nın^[13] çalışmasında kullandıkları çividen farklı bir çivi kullandık. Bizim kullandığımız humerus expert çivi sisteminin en önemli farkı, distal kilitleme vidalarının 22.5 derecelik açılanmalarla farklı doğrultularda kilitlenebilir olmasıdır. Bu farklı açılanma anterolateral, anteromedial ve anteroposterior doğrultuda kilitlemeye izin verir. Böylece, distal kilitleme vidaları lateral suprakondiler bölgede daha iyi bir tespite olanak sağlar.

Chapman ve ark.,^[19] yaptıkları randomize, prospektif çalışmada humerus cisim kırıklarında intramedüller çivileme ile plakların klinik sonuçlarını kıyaslamışlar, her iki tespit yöntemi arasında iyileşme açısından anlamlı fark bulamamışlardır. Çivi ile tedavi edilen hastalarda omuz ağrısı ve sertliği, plak ile tedavi edilenlerde ise dirsek sertliği ve ağrısı saptanmıştır.

Lin ve ark.'nın^[11] yaptıkları çalışmada humerus cisim kırıklarında, retrograd ve antegrad çivileri biyomekanik olarak kıyaslanmıştır. Sonuçta, kırığın kısa segmentinden uzun segmentine yapılan çivilemenin mekanik bir avantaj sağladığı belirtilmiştir. Bu avantajı sağlayan en önemli etken çivi-kemik tutunmasıdır. Aynı çalışmada olekranon çukuru 10 cm üzerinden osteotomi yapılan kırık modellerinde, antegrad ve retrograd yönde yapılan çivilemeler arasında farklı yüklenmelerde anlamlı bir fark saptanmamıştır. Antegrad çivilemede distal fragmanda, retrograd çivilemede proksimal fragmanda 5 cm'lik kemik çivi tutunmasının yeterli tespit sağlayacağı söylenebilir. Çalışmamızda, farklı yüklenmelerde antegrad ve retrograd çivileme grupları arasında bir fark saptamadık.

Zimmerman ve ark.,^[20] humerus cisim ortasındaki transvers kırık modelinde, dört farklı tespit yöntemini biyomekanik olarak kıyaslamıştır. Plaklanan deneklerin burulma özellikleri elastik çivilerden, çivilerin burulma özellikleri ise plaklara göre daha üstündür. Çalışmalarında kullandıkları plaklar nötral özellikte olup altı adet vida ile kemiğe tespit edilmiştir. Bizim çalışmamızda ise kırık fragmanların her iki ucunda dörder tane plağa kilitlenebilen vida kullanılmıştır. Bu durum, bükülme ve burulma testlerinde çiviler arasında anlamlı fark oluşmasını açıklayabilir.

Gardner ve ark.^[21] ise, yaptıkları osteoporotik humerus kırık modelinde kilitli ve kilitli vidalar kullanarak, tes-

pit stabilitesini burulma yüklenmesi altında değerlendirilmiştir. Osteoporotik, stabil olmayan diyafizer kırık modellerinde kilitli plaklar kilitli plak-vida yapılarına göre burulma testlerinde daha üstün bulunmuştur. Tek bir kompresyon vidası kullanımı ile hibrid yapılan sistemin ek bir stabilite sağlamadığı, bununla birlikte, tümü kilitli sistemlerle kıyaslandığında stabilite açısından anlamlı bir farkın olmadığı bulunmuştur. Kilitli vidalar kilitli vidalara göre daha pahalıdır. Hibrid yapıların burulma özellikleri tümü kilitli vida-plak kombinasyonuna göre benzer biyomekanik özellik göstermektedir. Kilitli plakların kilitli ve kilitli vidalarla hibrid kombinasyonun düşük kemik kalitesindeki hastaların kırık tedavisinde kullanılabileceği söylenebilir. Çalışmamızda da burulma yüklenmelerinde, kilitli vidalarla tespit edilen plaklar ve kilitli intramedüller çiviler arasında benzer yer değiştirme miktarları saptanması, plaklarda kilitli vidaların kullanılması nedeniyle olabilir.

Chen ve ark.,^[22] biyomekanik çalışmalarında, humerus cisminde 1.5 cm'lik boşluk oluşturmuşlar ve bu model üzerinde plak ve intramedüller çivi metotları üzerinde aksiyel yüklenmeleri karşılaştırmışlardır. Fizyolojik yüklenmelerde her iki tespit yöntemi arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Kemik implant yapısı intramedüller çivi uygulanan grupta daha hızlı değerlerde bozulmuştur. Bu durumun parsiyel yüklenme gerektiren çoklu travmalı hastaların operasyon sonrası rehabilitasyonunda avantaj sağlayabileceği bildirilmiştir.

Çalışmamızda burulma ve mediolateral dört nokta bükülme testleri uygulayarak günlük kullanımda humerusun sıklıkla bu iki yönlü kuvvete maruz kalmasını simüle etmeyi amaçladık. Literatürde farklı biyomekanik çalışmalarda farklı yüklenme özellikleri tartışılmıştır.^[8,12,16,23] Hem burulma hem de bükülme testlerini farklı tespit yöntemlerine uygulayarak humerusun doğal yüklenimi oluşturulmaya ve uygun tespit yöntemini saptanmaya çalışıldı.

Sonuç olarak, AO sınıflamasına göre 12B2 humerus cisim kırıklarının tespitinde intramedüller çivileme ve plaklama yöntemleri arasında biyomekanik açıdan anlamlı bir fark saptanmamıştır. Cerrahin deneyimi, hastanın genel durumu ve kırığın tipi uygulanacak metodu belirleyecektir.

Çıkar Örtüşmesi: Çıkar örtüşmesi bulunmadığı belirtilmiştir.

Kaynaklar

1. Ekholm R, Adami J, Tidermark J, Hansson K, Törnkvist H, Ponzer S. Fractures of the shaft of the humerus. An epidemiological study of 401 fractures. J Bone Joint Surg Br 2006;88:1469-73.
2. Tytherleigh-Strong G, Walls N, McQueen MM. The epidemiology of humeral shaft fractures. J Bone Joint Surg Br 1998;80:249-53.

3. Castellá FB, Garcia FB, Berry EM, Perelló EB, Sánchez-Alepuz E, Gabarda R. Nonunion of the humeral shaft: long lateral butterfly fracture – a nonunion predictive pattern? *Clin Orthop Relat Res* 2004;(424):227-30.
4. Jupiter JB, von Deck M. Ununited humeral diaphyses. *J Shoulder Elbow Surg* 1998;7:644-53.
5. Klenerman L. Fractures of the shaft of the humerus. *J Bone Joint Surg Br* 1966;48:105-11.
6. Modabber MR, Jupiter JB. Operative management of diaphyseal fractures of the humerus. Plate versus nail. *Clin Orthop Relat Res* 1998;(347):93-104.
7. Zagorski JB, Latta LL, Zych GA, Finnieston AR. Diaphyseal fractures of the humerus. Treatment with prefabricated braces. *J Bone Joint Surg Am* 1988;70:607-10.
8. Blum J, Karagül G, Sternstein W, Rommens PM. Bending and torsional stiffness in cadaver humeri fixed with a self-locking expandable or interlocking nail system: a mechanical study. *J Orthop Trauma* 2005;19:535-42.
9. Corley FG, Williams GR, Pearce JC, Rockwood CA Jr. The management of nonunions of the humerus. *Instr Course Lect* 1990;39:277-88.
10. Carroll SE. A study of the nutrient foramina of the humeral diaphysis. *J Bone Joint Surg Br* 1963;45-B:176-81.
11. Lin J, Inoue N, Valdevit A, Hang YS, Hou SM, Chao EY. Biomechanical comparison of antegrade and retrograde nailing of humeral shaft fracture. *Clin Orthop Relat Res* 1998;(351):203-13.
12. Ulian V, Mazzer N, Barbieri CH, Moro CA. Primary stabilization of humeral shaft fractures: an experimental study of different osteosynthesis methods. *Acta Ortop Bras* 2008;16:8-12.
13. Blum J, Machemer H, Baumgart F, Schlegel U, Wahl D, Rommens PM. Biomechanical comparison of bending and torsional properties in retrograde intramedullary nailing of humeral shaft fractures. *J Orthop Trauma* 1999;13:344-50.
14. Perren SM. Evolution of the internal fixation of long bone fractures. The scientific basis of biological internal fixation: choosing a new balance between stability and biology. *J Bone Joint Surg Br* 2002;84:1093-110.
15. Livani B, Belangero WD. Bridging plate osteosynthesis of humeral shaft fractures. *Injury* 2004;35:587-95.
16. O'Toole RV, Andersen RC, Vesnovsky O, Alexander M, Topoleski LD, Nascone JW, et al. Are locking screws advantageous with plate fixation of humeral shaft fractures? A biomechanical analysis of synthetic and cadaveric bone. *J Orthop Trauma* 2008;22:709-15.
17. Zhiquan A, Bingfang Z, Yeming W, Chi Z, Peiyan H. Minimally invasive plating osteosynthesis (MIPO) of middle and distal third humeral shaft fractures. *J Orthop Trauma* 2007;21:628-33.
18. Apivatthakakul T, Arpornchayanon O, Bavornratanavech S. Minimally invasive plate osteosynthesis (MIPO) of the humeral shaft fracture. Is it possible? A cadaveric study and preliminary report. *Injury* 2005;36:530-8.
19. Chapman JR, Henley MB, Agel J, Benca PJ. Randomized prospective study of humeral shaft fracture fixation: intramedullary nails versus plates. *J Orthop Trauma* 2000;14:162-6.
20. Zimmerman MC, Waite AM, Deehan M, Tovey J, Oppenheim W. A biomechanical analysis of four humeral fracture fixation systems. *J Orthop Trauma* 1994;8:233-9.
21. Gardner MJ, Griffith MH, Demetrakopoulos D, Brophy RH, Grose A, Helfet DL, et al. Hybrid locked plating of osteoporotic fractures of the humerus. *J Bone Joint Surg Am* 2006;88:1962-7.
22. Chen AL, Joseph TN, Wolinsky PR, Tejwani NC, Kummer FJ, Egol KA, et al. Fixation stability of comminuted humeral shaft fractures: locked intramedullary nailing versus plate fixation. *J Trauma* 2002;53:733-7.
23. Maher SA, Meyers K, Borens O, Suk M, Grose A, Wright TM. Biomechanical evaluation of an expandable nail for the fixation of midshaft fractures. *J Trauma* 2007;63:103-7.