

FEMUR PERİPROSTETİK KIRIK TEDAVİSİNDE YENİ TASARLANMIŞ U ÇİVİLİ PLAĞIN ETKİNLİLİĞİ; KARŞILAŞTIRMALI BİYOMEKANİK ÇALIŞMA

EFFICIENCY OF NEW DESIGNED U-NAIL PLATE FOR FEMUR PERIPROSTHETIC FRACTURE TREATMENT; COMPARATIVE BIOMECHANICAL STUDY

Mehmet Nuri KONYA¹, Recep ALTIN¹, Gökhan MARALCAN¹, Feza KORKUSUZ², Teyfik DEMİR³

¹Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı

²Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi, Spor Hekimliği Anabilim Dalı

³TOBB Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü

ÖZ

AMAÇ: Osteoporozlu kemikte korteks medulla oranı azalmasına bağlı olarak vida ile tespitite yetersizlikler meydana gelmektedir. Periprostetik kırıkların tedavisinde plak-vida uygulamalarında termal nekroz, vida başında soğuk kaynak, gevşeme ve kemikte dolaşım bozukluğu görülebilir. Bu çalışmada yeni tasarladığımız U çivili plağın serklaj sistemleri ile karşılaştırılıp, periprostetik kırık tespitinde güvenle kullanılabileceğini test etmeyi amaçladık.

GEREÇ VE YÖNTEM: Testler laboratuvar koşullarda numunelerin yorulma sınırlarını belirleyerek gerçekleştirilmiştir. U çivili model, kablo serklaj sistemi ve hibrit sistem olarak 3 farklı model grubu test edilmiştir.

BULGULAR: Elde edilen sonuçlara göre 1. gruba yorulma direnci en düşük iken, 2. ve 3. grup arasında anlamlı fark bulunmamıştır. Elde edilen sonuçlar U çivili plak ve serklajla kombinasyonun sadece serklaj sistemine göre daha üstün olduğu görülmüştür.

SONUÇ: Yeni geliştirilen U çivili plak sistemi sadece serklaj uygulanarak kırık fiksasyonundan daha etkili olduğu saptanmıştır. Periprostetik kırıklarda yeni implantın kullanımını biyomekanik olarak güvenlidir ancak uzun dönem klinik çalışmalara ihtiyaç vardır.

ANAHTAR KELİMELE: Periprostetik femur kırığı, U çivisi, Plak, Vida, U çivili plak

ABSTRACT

OBJECTIVE: Due to the decrease in the rate of bone cortex medulla with osteoporosis, insufficiency in screw fixation occurs. In the treatment of periprosthetic fractures, thermal necrosis, cold welding at the head of the screw, loosening and impaired bone circulation circulatory disturbance in the bone can be seen in plate-screw applications. In this study, we aimed to test the newly designed U-studded plate against cerclage systems and use it safely in the detection of periprosthetic fractures.

MATERIAL AND METHODS: The tests were carried out by determining the fatigue limits of the samples in laboratory conditions. Three different model groups were tested as U-pin model, cable cerclage system and hybrid system.

RESULTS: According to the results obtained, while the fatigue resistance was the lowest in the 1st group, there was no significant difference between the 2nd and 3rd groups. The results obtained have shown that the combination with U-pin plate and cerclage is superior to the cerclage system alone.

CONCLUSIONS: The newly developed U-pin plate system was found to be more effective than fracture fixation by applying cerclage only. The use of the new implant is safe in periprosthetic fractures biomechanically whereas long term clinical studies should be necessary.

KEYWORDS: Periprosthetic femur fracture, U nail, plate, screw, U nail plate

Geliş Tarihi / Received: 09.03.2020

Kabul Tarihi / Accepted: 03.04.2020

Yazışma Adresi / Correspondence: Doç.Dr.Mehmet Nuri KONYA

Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı

E-mail: nurikonya@hotmail.com

Orcid No (Sirasıyla): 0000-0002-5877-8347, 0000-0001-6162-0666, 0000-0002-6127-9151, 0000-0001-9486-3541, 0000-0001-6352-8302

GİRİŞ

Mevcut plak ve vida sistemleri kırık tedavisinde uzun süredir kullanılan implantlardır. Günümüzde uzun kemik kırıklarının cerrahi tedavisinde plak ve vida ile osteosentez yaygın olarak kullanılmaktadır. Geçmişten bugüne plak ve vida teknolojisi büyük değişiklikler göstermiştir.

Her yeni teknik avantajlar yanında dezavantajlarda getirmiş olup ideal plak ve vida tasarımına ulaşamamıştır. Konvansiyonel plakların uygulanması sırasında kırık hattında oluşturulan büyük kesiler nedeniyle kabul edilemeyen komplikasyonlar oluşturmaktadır (1). Osteoporotik hastalarda plak ve vidaların kemikten kolaylıkla sıyrıldığı vakalarda literatürde bildirilmiştir (2).

Ayrıca kırık kaynaması sonrasında implant çıkarılması sonrasında yeni kırıkların görülmesi de nadir bir durum değildir (3). Tespiti zor ve tartışmalı durumlardan biri de periprostetik kırıklardır. İntramedüller tespit yapılmış bu hastalarda yeni bir kırık gelişmesi durumunda plak vida ile fiksasyon sırasında serklaj telleri veya küçük vidalarla tek korteksi tespiti tariflenmiştir (4).

İntramedüller tespit yapılmış kemiklerde vida ile tespitite vidanın intramedüller steme teması, karşı korteksi tutamaması instabilite ve yetersizliğe yol açabilmektedir. Bu nedenle geliştirilen yeni plak U çivisi kombinasyonunun çift korteksi tutarak plak stabilitesini artıracağını düşünüyoruz. Bu çalışma ile U çivili plağın; serklaj teli ve serklaj+ U çivili plak kombinasyonunun kırık hattında olan stabilitesini değerlendirmeyi amaçladık. Yapay kemik modellerinde oluşturulacak olan protez çevresi kırıkların tespitinde; kemik dokusunda daha az hasar oluşturan, ısıya bağlı nekrozu azaltan ve uygulaması kolay, üretimi ucuz olan U çivili plak ile periprostetik kırıkların tedavisinde sıklıkla kullanılan kablo serklaj sistemlerini karşılaştırarak yeni dizayn implantın güvenilirliğini araştırmak hedeflendi.

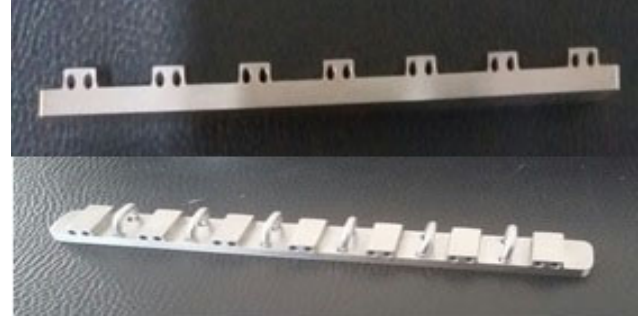
MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada yapay kemik modellerinde oluşturulacak olan protez çevresi kırıkların tespitinde; U çivili plak ile periprostetik kırıkların tedavisinde sıklıkla kullanılan kablo serklaj sistemleri kul-

lanılacaktır. Özel tasarlanan düzeneğe ile aksel basma deneyi ile periprostetik kırık tedavisinin başarısı test edilecektir.

İMLANT DİZAYNI

Bu implant ile U çivilerini vida olarak kullanmayı planladık (**Şekil 1**).



Şekil 1: U çivili plak yandan ve önden görünümü

Her anatomik bölge için özel olarak tasarlamayı planladığımız plakların üzerinde U ve T çivilerinin geçebileceği büyüklükte delikler olması ön hedefimizdir. Örümcek ağı tarzında tasarlanan bu deliklere istenilen açıda çivi gönderimi yapıldı. Plak ortasında kırık hattına kompresyon yapmaya izin veren özel bir tasarım oldu. U çivilerin kemiğe tespit edilmesi için piyasada kullanılan çakma aparatı (Patent no US4414967, US4415111) kullanılmadı, bu implant için özel tasarlanmış bir aparat kullanıldı. Bu aparat eş zamanlı olarak vida boyunu otomatik olarak ölçüp ve ameliyat sırasında zaman kaybını da önledi.

Yaptığımız patent incelemesinde iki farklı çivi plak kombinasyonu tarif edilse de (CN2751754Y ve CN202191351U) bu plaklar femur ve humerus üst uç kırıkları için tasarlanmıştır. Ancak bu ürünlerin klinik kullanımı ile ilgili yeterli veriye ulaşamadı.

Çalışmanın üç grubu;

1. U çivili plak üzerinden kablo, serklaj uygulanan grup
2. U çivili plak üzerinden U çivisi ve serklaj, kablo uygulanan grup (hibrid sistem)
3. U çivili plak üzerinden sadece U çivisi uygulanan grup

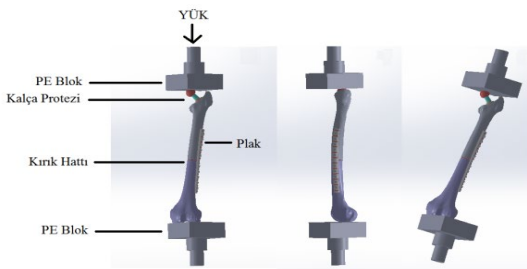
SİSTEMİN MEKANİK OLARAK DÜZENLENMESİ

Fiksasyonu yapılan yapay kemik modellerine biyomekanik karşılaştırma için aksel basma (eğme) deneyi yapıldı.

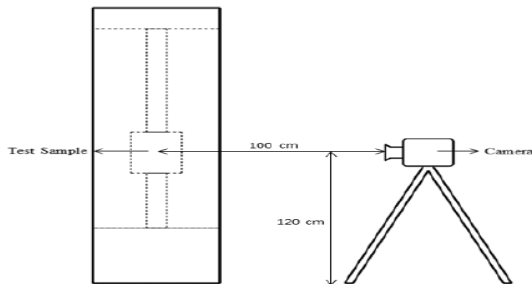
EKSENEL BASMA (EĞME) DENEYİ

Deneylerde kullanılmak üzere proksimal ve distal aparatlar hazırlandı. Femur modellerinin sağlıklı bir şekilde deneye tabi tutulması için, yüksek yoğunluklu polietilen (Ultra High Molecular Weight Polyethylene) (UHMW-PE 1000) malzemesi kullanılarak, femurun proksimal ve distalindeki anatomik geometrilerine tamamen uygun aparatlar imal edildi. Anatomik uygunluğu sağlamak amacıyla, distaldeki aparatın içine plastik çelik macun yerleştirilerek femur modellerinden biri anatomik açıya uygun olarak macuna bastırıldı. Macunun sertleşmesiyle bütün modellerin tam bir uyumla anatomik pozisyonda aparatlara oturması sağlandı. Tespit edilen yapay kemik modellere Instron 3300 (High Wycombe, UK) basma çekme cihazı ile anlık hareket merkezinden 5 mm/dk sabit basma ilerleme ile yük uygulanarak sistemin akma mukavemeti belirlendi (**Şekil 2, 4**). Deney sırasında yük-yer değiştirme değerleri kaydedilerek, bu verilerle modellerin rijitliği hesaplandı. Uygulanan maksimum yük ve yükleme hızı ISO 7206-4 standardına belirlenmiştir.

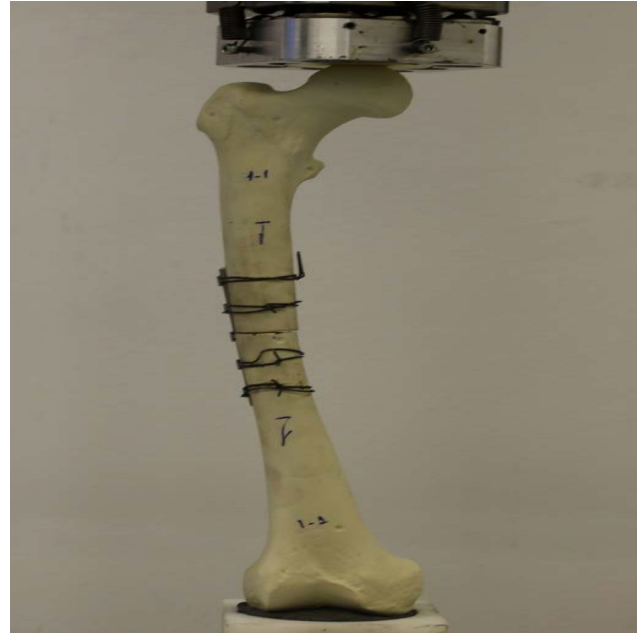
Deneyler esnasında yüksek çözünürlüklü kamera 100 cm uzaklığa yerleştirilerek, yükleme boyunca saniyede bir fotoğraf çekildi. Fotoğraflardan, kalça protezi uygulanan hastalarda görülen periprotetik kırık hattı üzerinde belirlenecek parametrelerin ölçümü yapılacak, yükleme öncesi ve yükleme sonrası kırık hattındaki ölçümler gruplar arasında karşılaştırıldı (**Şekil 3**).



Şekil 2: Deney düzeneği



Şekil 3 : Deney düzeneği ve kamera



Şekil 4: Deney düzeneği maket üzerinde

Bu deney metodu laboratuvara ulaştırılan numunelerin yorulma sınırının belirlenmesini amaçlandı. Deneyler laboratuvar koşullarında gerçekleştirildi. 50% Bağıl Nem ve 25°C Sıcaklıkta 3 farklı model grubu test edilmiştir. Sinuzidal yük altında 10 Hz frekansla hava ortamında deneyler gerçekleştirildi.

Grupların yük ve döngü bakımından aralarında fark olup olmadığının belirlenmesi amacıyla Kruskal-Wallis testinden yararlanıldı.

ETİK KURUL

Bu çalışma Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi yerel etik kurulunun 2019/12 tarih 412 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

BULGULAR

Laboratuvarda incelenen numuneler sistemsel olarak değerlendirildi. 50.000 döngüyü başaran numuneler sağlam olarak kabul edildi. Yük dağılımları 80N'dan başlayarak kademeli olarak 200N'a kadar arttırıldı. 1. grupta 6 adet numune değerlendirildi. 1. grubun yorulma direnç sonuçları görülmektedir (**Tablo 1**). Numunelerden 4 tanesinin testi geçmiş olduğu görüldü. Maksimum yükün 120N seviyesinde kaldığı görüldü. Başarısız numunenin 150N da olduğu görüldü. 2. grupta toplam 3 numune değerlendirildi. 2. grubun yorulma direnç sonuçları görülmektedir (**Tablo 2**). Numunelerden 2 tanesi testi geçmiştir. 200N da başarısız numune olduğu görüldü. 3. grupta toplam 3 numune değerlendirildi.

Tablo 1 : 1. Grubun sonuçları

Numune	Yük [N]	Siklus	Durum	Test Cihazı Seri Numarası
1-1	150	9	Kırıldı	2015EM Y01
1-2	100	50.000	Sağlam	2015EM Y01
1-3	100	23	Kırıldı	2015EM Y01
1-5	80	50.000	Sağlam	2015EM Y01
1-6	100	50.000	Sağlam	2015EM Y01
1-7	120	50.000	Sağlam	2015EM Y01

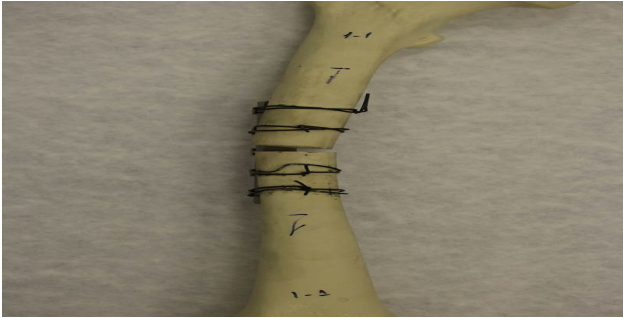
Tablo 2 : 2. Grubun sonuçları

Numune	Yük [N]	Siklus	Durum	Test Cihazı Seri Numarası
2-1	100	50.000	Sağlam	2015EM Y01
2-2	150	50.000	Sağlam	2015EM Y01
2-3	200	1.523	Kırıldı	2015EM Y01

2 numune testi başarılı tamamladı. 1 numune 200N da testte başarısız oldu. 3. grubun yorulma dirençleri görülmektedir (**Tablo 3**) (**Şekil 5**).

Tablo 3 : 3. Grubun sonuçları

Numune	Yük [N]	Siklus	Durum	Test Cihazı Seri Numarası
3-1	100	50.000	Sağlam	2015EMY 01
3-2	150	50.000	Sağlam	2015EMY 01
3-3	200	1.771	Kırıldı	2015EMY 01

**Şekil 5 :** Kırılan 1. grup örneği

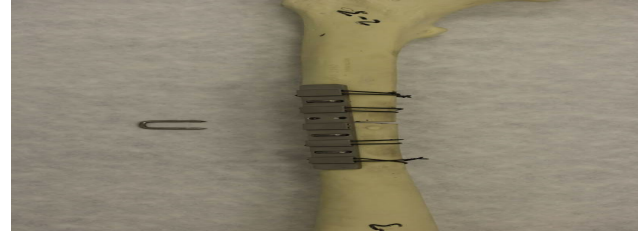
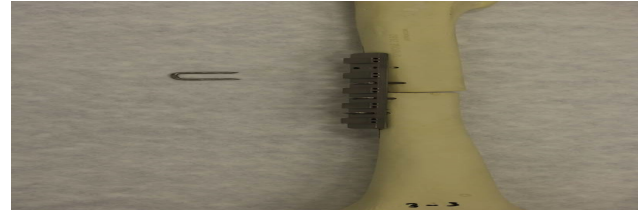
Yapılan test sonucunda her iki değişken bakımından gruplar arasında fark olmadığı belirlendi ($p>0.05$) (**Tablo 4**).

Tablo 4: Kruskal-Wallis testine göre gruplar arası yük-dönü ilişkisi

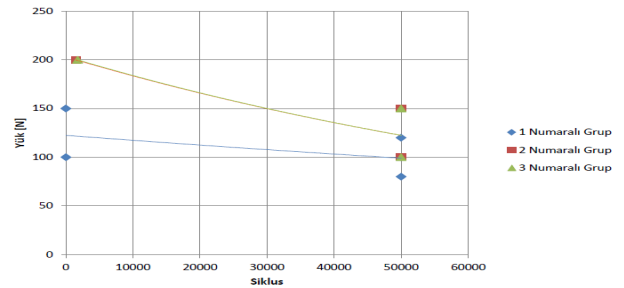
	YÜK	DÖNGÜ
Grup 1	100*(33)	50000(49981)
Grup 2	150(-)	50000(-)
Grup 3	150(-)	50000(-)
p	0,245	0,922

Not:* Mediani göstermektedir. Parantez içindeki değerler ise çeyreklikler arası sapma değerleridir.

Elde edilen sonuçlar gözlem sayısının azlığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Gözlem sayısının artırılması durumunda yük açısından gruplar arasında farklılık olması beklenmektedir. Elde edilen sonuçlara göre U çivili plak üzerinden sadece serklaj uygulanan grupta yorulma direnci en düşük iken, hibrit sistem ve U çivili plak üzerinden sadece U çivisi uygulanan grup arasında anlamlı fark bulunmamıştır (**Şekil 6, 7**).

**Şekil 6 :** Kırılan 2. grup örneği**Şekil 7 :** Kırılan 3. grup örneği

Elde edilen sonuçlar U çivili plak ve serklajla kombinasyonun sadece serklaj sistemine göre daha üstün olduğu görülmüştür (**Şekil 8**).

**Şekil 8 :** Yük döngü diagramı

TARTIŞMA

Periprotetik kırıklar heterojen bir dizi şema ve durumu temsil eder ve ortopedi uzmanının yönetmesi için en zorlu problemlerden biridir (5).

Bu tür yaralanmaların karmaşık komorbiditeleri ve sosyal problemleri olan çok zayıf hastalarda ortaya çıkmasından dolayı, bu hastanın optimum bakımı tüm tıbbi ve rehabilitasyon ihtiyaçlarına katılabilen multidisipliner bir ekip gerektirir. Kalça kırıkları sonrası mortalite önemli bir sorundur (6). Kişinin sadece kırığını değil, ilişkili artroplastiyi, hastanın işleve dönüş beklentilerini ve buna bağlı olarak komplikasyon

riskini en aza indirecek şekilde ele almayı düşünmek gerekir (7).

Total kalça artroplastisi (TKA) stemi ile ilgili femur kırıkları için en büyük zorluk intramedüller femoral stemde stabil diyafizer fiksasyon elde etmektir. TKA'nın femoral komponenti intramedüller kanalı doldurur. Periprostetik kırıklarda plak-vida fiksasyonu intramedüller kanal protez ile doldu olduğundan zordur. TKA'nın stemleri çimentolu veya çimentosuz olabilir ve her biri sabitleme için farklı zorluklar sunar (8). Total diz artroplastisi (TDA) yakınlarında distal femur kırığı için, TDA'nın femoral komponenti, mevcut kemik hacmini azaltarak metafizin bir kısmını dolduran bir sapa (posterior stabilize edilmişse) sahip olabilir. Bu da vida fiksasyonunu zorlaştırır (7).

Kırık fiksasyonu kilitleme plakları, kilitlemesiz plaklar veya her ikisini de kendinde bulunduran hibrit plaklara yanı sıra serklaj kablo uygulanması ile kullanılabilen kablo plaklarıyla, tek başına veya plağa ek olarak kullanılabilen destek greftleriyle gerçekleşir (9).

Optimal periprostetik kırık fiksasyon yöntemi tanımlanmamıştır. Dennis ve ark. beş kırık tespiti yönteminin fiksasyon stabilitesini değerlendirmek için biyomekanik bir model kullanmışlardır. 30 yapay femurda simüle edilerek periprostetik kırıklar oluşturuldu ve kablolar, unicortikal vidalar, bikortikal vidalar veya kablolarla kortikal allogreft grafilerinin çeşitli kombinasyonları ile sabitlendi. Test edildiğinde, proksimal unikortikal vidalı (kablolu veya kablosuz) ve distal bikortikal vidalı yapılar aksenal kompresyon, lateral eğilme ve burulma yüklemesinde, incelenen diğer fiksasyon çalışmalarından anlamlı ölçüde daha stabildi (10). Benzer şekilde Zdero ve ark. sementli steme sahip sentetik bir femurda dört sabitleme kombinasyonunu inceledikleri çalışmada: proksimal unikortikal ve distal bikortikal vidalara sahip bir kilitleme plağı; iki kablo ve proximal iki kilitli unikortikal vida ve distalde kilitli bikortikal vida ile bir kilitleme plağı; iki kablo ve iki proksimal unikortikal vida ve kilitli bikortikal distal vida ile kilitli olmayan plak; ve son olarak bir anterior kortikal strut grefti incelendi.

Son yapı olan (kilitlenmeyen plakla kablolar ve unikortikal proksimal vidalar, distal bikortikal vidalar ve anterior kortikal greft kombinasyonu aksenal kompresyon lateral bükme ve torsiyona en iyi dayanıklılık gösterdiği belirtildi. İki kilitleme plakası yapısı, tüm deney modellerinde en zayıf olanıydı ve lateral bükülmeye direnmede en kötü performansı gösterdi (11). Moazen ve ark. periprostetik kırıklar için fiksasyon sabitleme yöntemlerinin biyomekanik test sonuçlarını özetlemekte olup, sertliğin veya kırılma hareketiyle ölçülen yüksek sertliğin kırık stabilitesini arttırdığını kaydetmektedir. Genel olarak plak sayısı artırılarak sertlik artırılabilir ki vidalar kablolardan daha serttir ve kablolar da tellerden daha serttir. Moazen ve ark bu konu ile ilgili genel sonuçlar çıkarmanın zor olduğunu ve mevcut literatür test prosedürleri ve ölçümleri standardizasyon eksikliğinden muzdariptir.

Daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyan alanlar arasında destek greftlerinin rolü ve kilitlenmeyen plaklara kıyasla kilitlemenin göreceli yararları sayılabilir (12).

Kırık tedavisinde iyilik kriterleri genel olarak makroskopik ve radyolojik görüntülere göre değerlendirilirken, kemiğin mikro mimarisi üzerinde durulmamaktadır (13). Hâlbuki ortopedi ameliyatlarında vida uygulaması için yüksek hızlı matkapla kemikte çok sayıda delik açılması dokunun mikro yapısında geri dönüşümsüz hasarlara yol açabilmektedir. 56 derecenin üzerinde alkalen fosfataz gibi bazı enzimlerin denatüre olduğu ve lokal nekrozun başladığı bildirilmiştir (14). Bu durum iyileşme potansiyelini azaltmaktadır. Bu durumu önlemek için reamer-irrigatör-aspiratör sistemi tarif edilmiş ancak ameliyat maliyetlerini artırması nedeniyle sadece intramedüller uygulamalarda kabul görmüştür. Ekstramedüller uygulamada daha ucuz bir yöntem ise enjektör ile delik delme sırasında izotonik serum fizyolojik sıkılmasıdır. Ancak bu işlemin yüzey sıcaklığını yeterli seviyede azaltmadığını göstermişler (15).

Özellikle periprostetik kırıklarda kullanılmak üzere tasarlanmış ve eksen dışı vida yerleşimini kolaylaştıran yeni plak tasarımları mevcuttur. Tanjensiyel veya eksen dışı vidalar sadece

medüller kanalın merkezinde bir implanttan "kaçınmaya" a izin vermekle kalmaz, aynı zamanda medüller kanalı hedef alan unikortikal bir vidadan daha fazla kortikal kemik ile birleşir ve bu nedenle daha sert olabilir. Bu iki yapının biyomekanik performansı Lewis ve ark. tarafından çimentolu femur stemlerinin 30 sentetik kompozit femur serisinde beş fiksasyon yöntemi şeklinde karşılaştırıldı. Örnekler aksiyel kompresyon veya torsiyonda yetmezliğe kadar yüklenmiştir. Kablo yapısı her iki yükleme modundaki en zayıfıydı, ardından kilitli unikortikal vidalar izlendi. Kilitli unicortikal vida yapısına kabloların eklenmesi önemli ölçüde daha güçlü değildi. Teğetsel ve eksen dışı vidalı iki yapı en güçlü olarak değerlendirildi (16). Ruchholtz ve ark. bu tip bir yapı kullanılarak tedavi edilen 41 hastadan oluşan klinik bir seri rapor ettiler. Hastalar arasında 10 u TKA, 17'si Total Diz Artroplastisi (TDA), 3'ü interprostatik, 11'i intramedüller çivi etrafında kırık olarak bulundu. Plakaların toplam %88'i 24 cm'den uzun ve implantın etrafına ortalama 5.3 vida yerleştirilmiştir. Ameliyattan 6 ay sonra plak kırılmasıyla sonuçlanan iki kaynamama vardı. Yazarlar bu plakların daha az invaziv cerrahiye kolaylaştırdığı sonucuna varmış ve uzun plaklar kullanıldığında komplikasyonların az olmasını vurgulamış.

Diğer cerrahi bölümlerde olduğu gibi, minimal invaziv teknikler kullanarak periprostetik kırıkların stabilize edilmesinde fayda olabilir. Bunu kolaylaştırmak için, minimal invaziv kırık redüksiyonunu kolaylaştıran yöntemler ve araçlar geliştirilmelidir. Bu hastalar daha fazla kırık riski altında ve bir sonraki kırığın nasıl önleneceği her zaman düşünülmelidir. Bu nedenle, bu hastalar için tüm femuru kapsayan ve koruyan ekstra-medüller yapılar gereklidir. Son olarak, bu hastaların tıbbi olarak ne kadar zayıf oldukları göz önüne alındığında, bu hastalarda kırıklara karşı biyolojik cevabı artırmaya yönelik yöntemlerin açık bir yararı olması gerekmektedir.

SONUÇ

Bizim çalışmamızda yeni geliştirilen implant ile termal nekrozun etkilerinin minimale indirilerek önceden belirtilen komplikasyonlarını engellemek ve çok kısa fragmanlarda dahi plak ile tespitin mümkün hale getirilmektedir. U çivili plak ve hibrid sistem; plak-kablo veya plak-serklaj sistemlerinden daha stabildir. U çivili plak

periprostetik kırıkların cerrahi tedavisinde yeni gelişen bir implant olarak yerini almasını umud ediyoruz.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 17.KARİYER.107 sayılı proje no ile AKU BAP Koordinasyon Birimi Araştırma bur-sunca desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Walcher MG, Giesinger K, du Sart R, Day RE, Kuster MS. Plate Positioning in Periprosthetic or Interprosthetic Femur Fractures With Stable Implants-A Biomechanical Study. *J Arthroplasty*. 2016;31(12):2894-9.
2. Siamos G, Winkler S, Boberick KG. Relationship between implant preload and screw loosening on implant-supported prostheses. *J Oral Implantol*. 2002;28(2):67-73.
3. Becker T, Weigl D, Mercado E, Katz K, Bar-On E. Fractures and refractures after femoral locking compression plate fixation in children and adolescents. *J Pediatr Orthop*. 32(7):e40-6.
4. Kim J-W, Park K-C, Oh J-K, Oh C-W, Yoon Y-C, Chang H-W. Percutaneous cerclage wiring followed by intramedullary nailing for subtrochanteric femoral fractures: a technical note with clinical results. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2014 Sep;134(9):1227-35.
5. Altıntaş F. Total kalça artroplastisinde mekanik art sorunlar. *TOTBID Derg*. 2013;12(3):254-67.
6. Mesut T, Özcan C, Bulut T, Zengin EC ve ark. Hemiarthroplasti ile Tedavi Edilmiş 85 Yaş Üstü Hastalardaki Kalça Kırıklarında Mortalite Göstergeleri. *Kocatepe Tıp Derg*. 2017;18:141-5.
7. Aksekili MAE, Uğurlu M. Total diz protezi sonrası diz çevresi periprostetik kırıkları. *TOTBID Derg*. 2015;14(2):132-9.
8. Başal Özgür. Chapter Arthrosis, Arthroplasty and Current Arthrodesis Approaches. *Orthop Sport Med Guid Res*. 2015;479-507.
9. Gürbilek N. Proksimal Femur Periprostetik Kırığına Uygulanan Farklı Tespit Yöntemlerinin Aksiyel Yükleme Altında Değerlendirilmesi. *J Chem Inf Model*. 2013;53(9):1689-99.
10. Dennis MG, Simon JA, Kummer FJ, Koval KJ, DiCesare PE. Fixation of periprosthetic femoral shaft fractures occurring at the tip of the stem: a biomechanical study of 5 techniques. *J Arthroplasty*. 2000 Jun;15(4):523-8.
11. Zdero R, Walker R, Waddell JP, Schemitsch EH. Biomechanical evaluation of periprosthetic femoral fracture fixation. *J Bone Joint Surg Am*. 2008 May;90(5):1068-77.
12. Moazen M, Jones AC, Jin Z, Wilcox RK, Tsiridis E. Periprosthetic fracture fixation of the femur following total hip arthroplasty: A review of biomechanical testing. *Clin Biomech*. 2011;26(1):13-22.

- 13.** Parker MJ, Raghavan R, Gurusamy K. Incidence of fracture-healing complications after femoral neck fractures. *Clin Orthop Relat Res.* 2007 May;458:175–9.
- 14.** Moore J, Berberian WS. Subaquatic reaming during arthrodesis of the first metatarsophalangeal joint to prevent thermal necrosis of bone. *Orthopedics.* 2014 Jun;37(6):389–91.
- 15.** Shakouri E, Sadeghi MH, Karafi MR, Maerefat M, Farzin M. An in vitro study of thermal necrosis in ultrasonic-assisted drilling of bone. *Proc Inst Mech Eng H.* 2015 Feb;229(2):137–49.
- 16.** Lewis GS, Caroom CT, Wee H, Jurgensmeier D, Rothermel SD, Bramer MA, et al. Tangential Bicortical Locked Fixation Improves Stability in Vancouver B1 Periprosthetic Femur Fractures: A Biomechanical Study. *J Orthop Trauma.* 2015 Oct;29(10):e364-70.