

# Kemik defektinin sement ile doldurulmasına Kirschner tellerinin etkisi

## (Biyomekanik bir çalışma)

Cihangir Yurdođlu<sup>(1)</sup>, Selçuk Örsel<sup>(2)</sup>, Mızrap Cambeyaz<sup>(3)</sup>, Özkan Kütük<sup>(4)</sup>, A. Hikmet Üçışık<sup>(5)</sup>

Uzun kemiklerin malign lezyonlarından ortaya çıkan defekt, sement ile kuvvetlendirilmiş internal tespit materyalleri ile giderilirken, benign lezyonlarda küretaj sonrası oluşan defekt genellikle yalnızca sement ile doldurulmaktadır. Sement, mekanik bakımından kortikal kemikten daha zayıf bir malzemedir. Sement içine yerleştirilen iki adet çapraz K telinin mekanik etkisini araştırmak için iki model oluşturuldu. İlk modelde dana femurlarında meydana getirilen defekt bir tarafta K teli ve sement ile doldurulurken, diğer tarafta yalnızca sement kullanılmıştır. Kemiklerde anatomik varyasyonlar göz önüne alınarak ikinci bir modelde, sementten oluşturulmuş blokların yarısının içine K telleri yerleştirilmiştir. Tüm örnekler Instron Universal Test cihazında üç nokta eğme testine tabi tutularak yük-defleksiyon münasebeti ve absorbe edilen toplam enerji tespit edilmiştir. Her iki modelde de K teli ilave edilen grup daha üstün neticeler vermiştir. Klinik olarak yorumlandığında; sementasyon uygulanan vakalarda, çapraz K teli ilavesinin biyomekanik olarak daha uygun olacağı görüşü kuvvet kazanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Defekt, sementasyon, K teli, biyomekanik

### Augmentation of cement by K wires in filling the defect of bone

The defect produced by malignant lesions in the long bones is treated by cement augmented internal fixation, but the defect produced by curettage of benign lesions is usually filled with cement only. Cement is mechanically weaker than cortical bone. Two models have been prepared to investigate the mechanical effect of two K wires embedded within the cement. The first model consisted of defects produced in the femurs of bovin filled with K wire and cement or with cement only. Taking into account the probability of anatomic variations of the bones, another model with two sets of cement blocks was prepared. In one of the sets, K wires were introduced into the cement block. Load for failure and the energy absorbed during failure were determined by three point bending test. The groups with K wires were more resistant in both models. It is concluded that addition of K wires is more convenient biomechanically in cases cementation applied.

**Keywords:** Defect, cementation, K wire, biomechanics

Primer veya metastatik kemik tümörlerinin tedavisinde ortopedist, hastalığın onkolojik tedavisini olduğu kadar lezyon ile birlikte ortaya çıkan defektin de mekanik olarak onarılmasını düşünmek zorundadır. Kemikğin bütünlüğü sağlanmalı ve fonksiyonu mümkün olduğu kadar geri iade edilmelidir. Probleme defekt açısından bakıldığında, öncelikle hangi lezyonların hangi mekanik şartlarda patolojik kırığı mikro ve makro seviyede meydana getireceği hem

biyolojik hem de fizik olarak önem arz eder. Burada defektin geometrisi, anatomik lokalizasyonu, cinsi, hastanın yaşı ve aktivite dolayısıyla yüklenme tarzı ve pek çok faktör etkilidir. Daha sonra ise stabilitenin sağlanması gündeme gelir.

Malign lezyonların yol açabileceği patolojik kırık görülen veya kırık ihtimali bulunan kemiklerin stabilitesi, sement ile kuvvetlendirilmiş çeşitli internal tespit materyalleri ile sağlanır. Benign seyreden lezyonların tedavisinde ise küretajı takiben ortaya çıkan defektin sement ile doldurulması oldukça sık

No	A) K Teli ve Sement		B) Sement	
	Absorbe edilen enerji (Joule)	Kırılma yükü (Kg)	Absorbe edilen enerji (joule)	Kırılma yükü (kg)
1	22.05	890	20.90	860
2	24.18	920	20.08	860
3	17.92	730	18.68	680
4	28.70	1100	21.75	860
5	30.03	1100	18.90	960
6	17.15	800	17.07	890
7	26.01	1000	16.90	740
8	21.12	980	21.53	850
9	30.87	1040	24.62	980
10	26.44	840	21.07	930
Ortalama	24.44	937	20.15	863

Tablo 1: Dana Kemikği modelinde, (a). Defektin K teli ve sement ile, (b). Sadece sement ile doldurulduğu gruplarda absorbe edilen Enerji ve kırılma yükleri

No	A) K Teli ve Sement		B) Sement	
	Absorbe edilen enerji (Joule)	Kırılma yükü (kg)	Absorbe edilen enerji (Joule)	Kırılma yükü (kg)
1	9.40	290	9.20	290
2	10.66	310	8.40	275
3	8.50	275	9.16	285
4	9.70	295	8.30	275
Ortalama	9.56	22.5	8.76	281.2

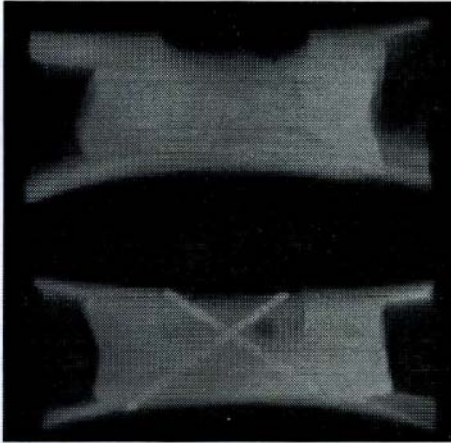
Tablo 2: Sement blok modelinde, (a). K teli ve sement ile, (b). Sadece sement kullanılan gruplarda absorbe edilen enerji ve kırılma güçleri

(1) SSK Okmeydanı Eğitim Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniđi, Uzman Dr.

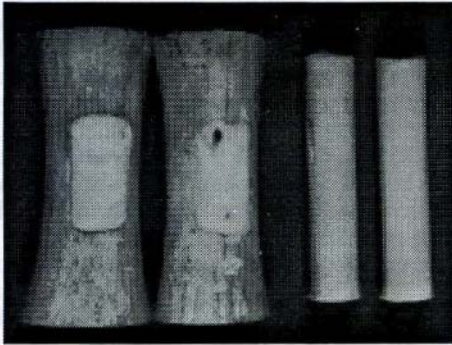
(2) SSK Okmeydanı Eğitim Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniđi, Araştırma Görevlisi

(3) İTÜ Metalürji Mühendisliği Bölümü, Laboratuvar Sorumlusu

(4) BÜ. Biyo-Medikal Mühendisliği Enstitüsü, Yüksek Lisans Öğrencisi,



Şekil 1: Kemik bloklarının radyolojik görünümü

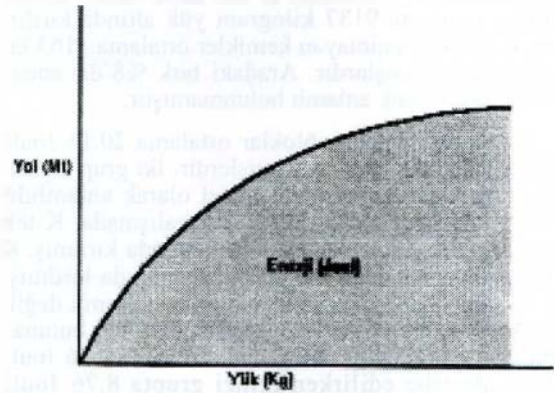


Şekil 2: Kemik ve sement bloklar

olarak kullanılan bir yöntemdir. Wilde ve Greenwald, yaptıkları çalışmada, sementin ortalama makaslama gücünü 40 Mpa, buna karşılık kortikal kemiğin ortalama makaslama gücünü 70 Mpa olarak hesaplamışlardır (22). Sementin yaklaşık çekme mukavemeti 32 Mpa, basma mukavemeti 100 Mpa, ve elastik modülü 2700 Mpa'dır. Bu değerler kortikal kemikle kıyaslandığında çekme mukavemeti %25, basma mukavemeti %50 ve elastik modül %15 daha azdır (6). Ancak mukavemet, çatlak teşekkülü ve ilerlemesi ile ilgili kırılma mekaniği prensipleri ile malzeme yapı ve özelliklerinin de göz önünde bulundurulması gerekir. Sementin mekanik olarak kemiğe göre daha zayıf olduğunu göz önüne alarak, sementin içine yerleştirilen iki adet çapraz Kirschner telinin sementin gücünü ne şekilde etkileyeceğini değerlendirmek için, dana kemiği ve sement bloklardan oluşan iki ayrı modelde mekanik bir çalışma düzenlendi.

## Gereç ve yöntem

10 çift dana femuru sağ ve sol olarak gruplara ayrıldı. Instron cihazında en uygun şartlarda çalışabilmek için, mümkün olduğu kadar uniform şekilli, kemiğin en tübüler olan diafiz bölümü alındı. Bu amaçla femurlar trokanter minörün hemen distalinden ve bunun 11 cm. distalinden osteotomize edilerek çalışma yapılacak kemik blok elde edildi. Kemik iliği tamamen kürete edildikten sonra, bloğun posteriorunda, tam ortada 4x2 cm.'lik dikdörtgen şeklinde



Şekil 3: Eğrinin altında kalan alan absorbe edilen enerjiyi gösteriyor

bir defekt meydana getirildi. Sağ femurdan elde edilen bloklara iki adet 3 mm. kalınlığında K teli, birbirlerini çaprazlayacak ve kemik blokla 45° açı yapacak şekilde, posteriordan anteriora doğru, anterior korteks delinerek defekt bölgesine yerleştirildi. Daha sonra 20'şer gram sement elle karıştırılıp, sağ ve sol femurlardaki defekt sement ile dolduruldu. Böylece on danadan elde edilen defektli on çift blok, sağ taraf çapraz K telleri ve sement ile doldurulurken sol taraf yalnızca sement uygulanarak doldurulmuştur. Defektli bölgede sementin korteks konturunu alması ve basınç altında donması sağlanmıştır (1 ve 2).

Kemiklerdeki anatomik varyasyonlar çalışmayı etkiler mi? düşüncesi ile ikinci bir model geliştirildi ve sementten elde edilmiş bloklarla çalışma düşünüldü. 10 cm. boyunda ve 2 cm. çapında sekiz adet silindirik şekilde sement blokta dördünün içine, sement henüz yumuşakken, iki adet 3 mm. kalınlığında K teli çapraz olarak uzunlamasına yerleştirildi ve sementin basınç altında donması sağlandı. Bu şekilde içinde K teli bulunan ve bulunmayan sement bloklardan oluşan iki grubumuz oldu.

Elde edilen tüm bloklar İTÜ Metalurji Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında Instron Universal Test cihazı vasıtası ile üç nokta eğme testine tabi tutuldu. En uç kısımlarından cihaza oturtulan bloklara tam ortada üçüncü bir noktadan kuvvet uygulandı. Blok kırılıncaya kadar 50 mm/dk çene hızı ile yükleme yapıldı. Her bir blok için, kuvvet-defleksiyon grafikleri elde edildi. İstatistiksel değerlendirmeler SPSS for Windows (V.5 0.01) paket program uygulanarak yapıldı. Gruplar arasındaki karşılaştırmalarda veriler t-testiyle değerlendirildi.

## Sonuçlar

Sonuçlar, grafiklerin yorumlanması ile elde edildi. Buna göre, her bloğun kaç kilogram yüke direnç gösterdiği kaydedildi. Ayrıca her grafikte eğrinin altındaki alan scanner bilgisayar yardımı ile hesaplanarak bloğun kırılıncaya kadar absorbe ettiği enerji "Joule" cinsinden ifade edildi (Şekil 3). Kemik bloklara ait değerler Tablo 1'de, sement bloklara ait değerler

Tablo 2'de gösterilmiştir. K teli ilave edilen kemik bloklar ortalama 9137 kilogram yük altında kırılırken, K teli kullanılmayan kemikler ortalama 8163 kilogramda kırılmışlardır. Aradaki fark %8'dir ancak istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

K teli bulunmayan bloklar ortalama 20.15 Joule (SS=2.35) enerji absorbe etmişlerdir. İki grup arasındaki fark %20'dir ve istatistiksel olarak anlamlıdır (p<0.5). Sement bloklarla yapılan çalışmada, K teli bulunan grup ortalama 292.5 kilogramda kırılmış, K teli bulunmayan grup ise 281.2 kilogramda kırılmıştır. İki grup arasındaki fark %4'dür ve anlamlı değildir. Absorbe edilen enerji açısından da K teli bulunan grup daha dirençlidir. İlk grupta ortalama 9.56 Joule enerji absorbe edilirken ikinci grupta 8.76 Joule enerji absorbe edilmiştir. İki grup arasındaki fark %9'dur ancak istatistiksel anlamı yoktur. Böylece her iki modelde de K teli ilave edilen grup, sadece sement uygulanan gruba göre, üç nokta eğme testinde, daha büyük yüklere karşı direnmiş ve daha fazla enerji absorbe ederek kırılmışlardır.

Dana kemiği modelinde kırık hattı genellikle defektin bir köşesinden geçerken, sement bloklarda kırık, bloğun ortasından, yük aldıkları yerden olmuştur. Yalnız sementten oluşan bloklar iki ayrı parça haline gelirken, K teli bulunan bloklarda, sement telden sınırlarak kırılmış ancak tel nedeniyle dağılma olmamıştır. Bir sement blok diğerlerine göre çok çöbük kırılmış ve içinde hava kabarcığı kaldığı görülerek deney tekrarlanmıştır.

## Tartışma

Kortikal kemiğin bütünlüğünü bozan vida deliği, biyopsi için açılan pencere primer veya metastatik kemik tümörleri, kemik üzerinde stresin konsantre olduğu ve direncin azaldığı yerlerdir. Kemiğin mukavemeti, defektin şekline ve boyutlarına, anatomik lokalizasyonuna, kemiğin geometrisine ve yüklenme tarzına göre değişir. Bu konudaki değişkenleri irdeleyen per çok çalışma yapılmıştır. McBroom ve Hayes farklı defekt boylarının kemik üzerindeki etkisini, köpek femurlarında yaptıkları dört nokta eğme testi ile değerlendirmişlerdir (15). Artan defekt boyu ile birlikte kemiğin gücünün azaldığı görülmüştür. Kemiğin %20'si kadar bir defekt kemiğin gücünü %20 azaltırken, defekt oranı %80 olunca kemiğin gücü %30'a inmektedir.

Edgerton ise koyun femurlarında yaptığı çalışmada, transvers tek korteks defekti yaratmış ve torsiyonel gücün azalmasında defekt boyunun güvenilir bir parametre olduğunu iddia etmiştir (5). Defekt boyu, femur çapının %10'undan az olduğu durumlarda torsiyonel güçteki azalma önemsizdir. Ancak daha büyük oranlarda, defekt boyu ile torsiyonel güç arasında lineer bir ilişki görülmüştür. Çalışmamızda, dikdörtgen şeklinde ve 4x2 cm. boyutlarındaki defekt, kemiğin uzun aksına paralel olarak meydana getirilmiştir. Bu büyüklükteki bir defekt, kemik çapının yaklaşık %20'sini oluşturur. Defektin standardizasyonu ile, defekt geometrisi nedeniyle ortaya çıkabile-

cek değişkenler ekarte edilmiştir.

Hayvan kemikleri ile yapılan bir başka çalışmada Hipp, köpek kemiklerinde reamer ile endosteal defekt meydana getirmiş ve kortikal kemiğin kalınlığı ile kırılma gücü arasında lineer bir ilişki görmüştür (10). Tespit edilen bir başka enteresan sonuç; sentrik yerleştirildiğinde %50 güç kaybına yol açan bir defekt eksantrik yerleştirildiğinde %90 güç kaybına yol açabilmektedir. Kortikal defektin şekli de stres konsantrasyonu ve güç azalmasında önemlidir. Clark, uzunlamasına elips biçimindeki defektleri incelemiş, genişliğin uzunluktan daha fazla güç azalmasına neden olduğunu bildirmiştir (3). Desauza ise, köşeli defektlerdeki torsiyonel güç azalmasını ilçmüş ve hem uzunluğun hem de genişliğin etkili olduğunu yazmıştır (4). Kuo, tübüler torsiyonel kemik modelinde transvers deliklerle yaptığı çalışmada, defekt boyu ile torsiyonel güç azalmasının anlamlı bir ilişkisinin olduğunu belirtmiştir (13). Bizim gözlemlerimize göre de kemikte oluşan kırık hattı genellikle defektin bir köşesinden geçmektedir. Bu da bize defektlerdeki köşelerin stres yükseltici bölgeler olduğunu göstermektedir; bu sebeple biyopsi pencerelerinde köşelerden özellikle kaçınmak gerekir. Cheal da kemikteki defektin etkisini farklı anatomik lokalizasyonlara göre değerlendirmiş ve insan kadavralarından elde edilen proksimal femurda matkap ucu ile açılan konik defektlerin değişik lokalizasyonlarda etkilerini ölçmüştür (2). En büyük güç kaybının inferomedial lezyonlarda, daha sonra anterior lezyonlarda görüldüğünü, bunları superolateral ve posterior lezyonların takip ettiğini bildirmiştir. anatomik lokalizasyondan dolayı ortaya çıkabilecek değişiklikleri engellemek amacıyla, çalışmamızda defektlerin hepsi femurun tam posteriorunda meydana getirilmiştir.

Kemiklerde ortaya çıkan defektlerle ilgili yapılan klinik çalışmaların çoğu uzun kemiklerin metastatik lezyonlarında yapılmıştır. Burada özellikle söz konusu olan hangi lezyonlarda kemiğin kırılma ihtimalinin olduğu ve hangi vakalarda profilaktik olarak internal tespite ihtiyaç olduğunun saptanmasıdır. Parrish ve Murray, kalça çevresindeki patolojik kırıkları tetkik etmişler ve neoplastik lezyonlarda profilaktik tespit için lezyonun kemik çapının 1/3'ünden fazla olması gerektiğini bildirmişlerdir (19). Fidler, 66 hastada görülen 100 uzun kemik metastazını incelemiş ve lezyonun kemik çapının %50'sinden küçük olduğu durumlarda kırığın beklenmediğini (%2.3), %50 destrüksiyonda kırılma ihtimalinin %60 olduğunu ve %75'in üzerindeki bir destrüksiyonda kırılma ihtimalinin %80 olduğunu yazmıştır (7). Özellikle femur için yaygın olarak kullanılan bir diğer kriter, lezyon çapının 2.5 cm.yi geçmesidir: Ancak Hipp 40 kg. olan osteoporotik bir kadındaki 2.5 cm. lezyonun etkisi ile, 80 kg. gelen genç bir erkek hastadaki 2.5 cm. lezyonun etkisinin farklı olacağını söyleyerek bu kriterin güvenilir olmayacağını belirtmiştir (10). Keene, 203 meme kanserli hastanın toplam 516 metastatik lezyonunda yaptığı çalışmada, defekt boyu ile kırılma ihtimali arasında çok net ve düz bir ilişki bulamadıklarını bildirmiştir (12). Bu arada Hipp, bir başka yayınında litik ve blastik lezyonların mekanik davranışlarının farklı olacağına dikkati çekerek, blas-

tik lezyonlarda kemiğin sertliğinin artacağını, gücünün artmayacağını ve kemiğin farklı bir kırılma patterni seyredeceğini yazmıştır (11). Mirels ise, uzun kemiklerin metastatik lezyonlarında yaptığı retrospektif çalışmada bir skor sistemi geliştirmiş ve defektleri lokalizasyon, ağrı, lezyonun tipi ve kemik çapına göre skorlamıştır (18).

1972 yılında, Harrington'ın patolojik kırıklarda sement uygulanması konusundaki başarılı klinik çalışmasından sonra, kırılma ihtimali olan veya patolojik kırık görülen lezyonların tedavisinde internal fiksasyonun sement ile desteklenmesi yaygın olarak kabul görmüştür (9). Mensch, yapmış olduğu biyomekanik çalışmada, kompressif plak ve sement kombinasyonunun, sementin veya plağın tek başına kullanıldığı durumlara göre daha güçlü olduğunu göstermiştir (16). Kortikal kemikle kıyaslandığında, sementin çekme mukavemeti %25, basma mukavemeti %50 ve elastik modülü %15 daha azdır (6). Bu durumda Wilde, sementin tek başına kullanılmamasını önermiştir (22). Daha sonraki çalışmalar, sement ile birlikte hangi tip internal tespit materyalinin kullanılmasının daha uygun olacağı konusunda odaklanmıştır.

Wang, tavşan femurları ile yaptığı biyomekanik çalışmada, sement ile birlikte uygulanan tek ve çift intramedüller rod uygulamasının, torq analizini ve güç değerlendirmesini yapmıştır (21). Sement sayesinde ileri reamerizasyonun gerekmediğini sementin yükü başarıyla proksimalden distale transfer ettiğini belirtmiştir. Çift rodun enerji absorpsiyonunun daha yüksek olduğuna dikkati çekerek, çift ve ince rodların fleksible kemiklerde, tek ve kalın rodun daha sert-stiff-kemiklerde kullanılmasının uygun olacağını yazmıştır. Anderson ise, defekt ile birlikte seyreden patolojik kırıklarda sement ile birlikte kullanılan intramedüller rod ve ikili plak yöntemlerini kıyaslamıştır (1). Torsiyonel yük altında ikili plak 71.2 nw-m'de, intramedüller rod 26.8 nw-m'de kırılmış, eğilme kuvvetlerinde ise ikili plak 8133 nw'de rod 1921 nw'de kırılmıştır. Sement ile birlikte kullanılan ikili plağın mekanik açıdan roda karşı aşık bir üstünlüğü söz konusudur. Pugh, sement içine yerleştirilen yivli ve yivsiz steinman ve rush pin kombinasyonlarını mekanik olarak kıyaslamıştır (20). Metal ve sement arasındaki ilişki fiksasyonun etkisini belirleyen temel etken olarak görülmüştür. Yivli cihazların sement ile daha güçlü bir ilişkisi olduğu için, mekanik olarak daha dayanıklı olduklarını ifade etmiştir. Sement kırılma bile geride kalan materyal katastrofik dağılmayı engeller. Yivli ve mekanik olarak yeterince güçlü ve kalın rodların sement ile birlikte kullanılması durumunda düz ve ince materyallerden çok daha avantajlı olacağını yazmıştır. Pugh'un tespitlerini belirli ölçülerde bizim deney sonuçlarımız da doğrulamıştır. Sement bloklarla yaptığımız çalışmada blok

kırılırken, K tellerinin sementten sıyrılarak kıvrıldığı görüldü. Kullanılan materyal yivli olsaydı bu sıyrılmanın daha güç olacağını ve bloğun daha büyük kuvvetlere karşı mukavemet edebileceğini düşünürüz.

Miller, tüp şeklinde bir rod geliştirerek kapalı fiksasyon ve bu rodun içinden, proksimalden düşük viskoziteli sement uygulamasını önermiştir (17). Bu yolla rod etrafında laminasyon olmaksızın uniform bir sement tabakasının oluşacağını ve sement karışan kanın minimal olacağını belirterek dikkatleri sementasyon tekniğinin sementin mekanik özellikleri üzerindeki etkisine çekmiştir. Gruen, sementin kan ile karışması ile çekme ve makaslama kuvvetlerinde sırasıyla %77 ve %69 azalma tespit etmiştir (8). Sementin hazırlanmasının önemini, yapılandırıcı esnasında çok kolay kırılan bir bloğun içinde hava kabarcığı kaldığını tespit ettiğimizde anladık ve bu deneyi tekrarladık. Sementin %5-10'u hava kabarcıklarından ve mikroporlardan oluşur (6). Bu gözenekler sementin santrifuj veya vakumla karıştırılmasıyla azaltılabilir. Lidgren, elle karıştırılarak hazırlanan sementte oranla santrifuj ve vakum yoluyla hazırlanan sementlerin kompresyon gücü ve elastik modülünde %15-30 artma olduğunu hesap etmiştir (14).

Yapılan çalışmanın klinik yorumuna gelince: Sementasyon, dev hücreli kemik tümörü gibi bazı benign tümörlerin tedavisinde küretajdan sonra yaygın olarak kullanılmaktadır. Bazen büyük hacimlere ulaşan ve kalıcı olan sementin mekanik gücü eklenen çapraz K telleri ile artırılabilir ve bölgeye gelen yüklerin kemikten sementte transferi daha kolaylaşabilir. Netice itibarıyla, sementasyon ili birlikte K teli uygulamasının biyomekanik açıdan faydalı olmaktadır.

## Kaynaklar

1. Anderson JT, Erickson JM, Thomson RC, Chao EY: Pathologic femoral shaft fractures comparing fixation techniques using cement. *Clin Orthop* 131: 273-278, 1978.
2. Cheal EJ, Hipp JA, Hayes WC: Evaluation of finite element analysis for prediction of the strength reduction due to metastatic lesions in the femoral neck. *J Biomech* 3-26: 251-264, 1993.
3. Clark CR, Morgan C, Sonstegard DA, Matthews LS: The effect of biopsy hole shape and size on bone strength. *J Bone Joint Surg* 59 (A): 213-217, 1977.
4. De Sazua ML, AN, KL, Morrey BF, Chao EYS: Strength reduction of rectangular cortical defects in diaphyseal bone. *Trans Orthop Res Soc* 14: 113-119, 1989.
5. Edgerton BC, Morrey BF, An KL: Cortical defects in bone. *J Biomech* 15: 55-59, 1982.
6. Eftekhari NS, Demarest RJ: Acrylic cement. Properties and application. *Total Hip Arthroplasty*. Mosby St. Louis Baltimore Boston Chicago London 1: 175-219, 1993.
7. Fidler M: Incidence of fracture through metastases in long bones. *Acta Orthop Scand* 52: 623-627, 1981.
8. Gruen TA, Markolf KL, Amsutz HC: Effects of laminations and blood entrapment on the strength of acrylic bone cement. *Clin Orthop* 119: 250-258, 1976.

9. Harrington KD, Johnston JO, Tuner RH, Green DL: The use of methylmethacrylate as an adjunct in the internal fixation of malignant neoplastic fractures. *J Bone Joint Surg* 54 (A): 1665-1676, 1972.
10. Hipp JA, Springfield DS, Hayes WJ: Predicting pathologic fracture risk in the management of metastatic bone defects. *Clin Orthop* 312: 120-135, 1995.
11. Hipp JA, Edgerton BC, An, KN, Hayes WC: Structural consequences of transcortical holes in long bones loaded in torsion. *J Biomech* 23: 1261-1268, 1990.
12. Keene JS, Sellinger DS, McBeath AA, Engber WD: Metastatic breast cancer in the femur. *Clin Orthop* 203: 282-288, 1986.
13. Kuo RF, Chao EYS, Rim K, Park JB: The effect of defect size on the stress concentration and fracture characteristics for a tubular torsional model with a transverse hole. *J Biomech* 24: 147-155, 1991.
14. Lindgren L, Dran H, Möller J: Strength of polymethylmethacrylate increased by vacuum mixing. *Acta Orthop Scand* 55: 536-542, 1984.
15. McBroom MJ, Cheal EJ, Hayes WJ: Strength reductions from metastatic cortical defects in long bones. *J Orthop Res* 6: 369-378, 1988.
16. Mensch JS, Markolf KL, Roberts SB, Finerman GM: Experimental stabilization of segmental defects in the human femur. A torsional study. *J Bone Joint Surg* 58 (A): 185-190, 1976.
17. Miller GJ, Griend RA, Blake WP, Springfield D: Performance evaluation of a cement augmented intramedullary fixation system for pathologic lesions of the femoral shaft. *Clin Orthop* 221: 246-254, 1987.
18. Mirels H: Metastatic disease in long bones: A proposed scoring system for diagnosing impending pathologic fractures. *Clin Orthop* 249: 256-264, 1989.
19. Parrish FF, Murray JA: Surgical treatment for secondary neoplastic fractures. *J Bone Joint Surg* 52 (A): 665-686, 1970.
20. Pugh J, Sherry H, Futterman B, Frankel V: Biomechanics of pathologic fractures. *Clin Orthop* 169: 109-114, 1982.
21. Wang GJ, Reger SI, Mafeo C, Stamp WG: The strength of metal reinforced methylmethacrylate fixation of pathologic fractures. *Clin Orthop* 135: 287-290, 1978.
22. Wilde AH, Greenwald AS: Shear strength of self curing acrylic cement. *Clin Orthop* 106: 126-131, 1975.

**Yazışma adresi:**

**Uzman Dr. Cihangir Yurdođlu**  
**SSK Okmeydanı Eğitim Hastanesi**  
**Ortopedi ve Travmatoloji Kliniđi**  
**80434 Şişli İstanbul, Türkiye**