



Kalkar defekti olan femur intertrokanterik kırıklarında diafizler çimento desteğinin femur üst uç yük dağılımına etkisinin sonlu element analizi ile tayini

Determination of the effect on the proximal femoral load distribution of diaphyseal cement support in femoral intertrochanteric fractures with calcar defect by finite element analysis

Dr. Hakan Çift,¹ Dr. Serdar Deniz,² Dr. Fatih Ekşioğlu³

¹Medipol Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

²Tokat Erbaa Devlet Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, Tokat, Türkiye

³Koru Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, Ankara, Türkiye

Amaç: Bu çalışmada, kalkar femoris defektli intertrokanterik kırıklarda kalkar destekli protezlere alternatif olarak diafizler çimento desteği ile kombine yapılan artroplastilerde femur üst ucundaki yük dağılımının sonlu eleman analizi yöntemiyle sanal ortamda, biyomekanik olarak olumlu ve olumsuz yönleri araştırıldı.

Gereç ve yöntemler: ANSYS yöntemi ile üç adet femur modeli oluşturuldu. Bunlar kalkar defeksiz intertrokanterik kırık modeli, kalkar defektli kalın çimento mantolu intertrokanterik kırık modeli ve kalkar defektli ince çimento mantolu intertrokanterik kırık modeli olarak adlandırıldı. Sonlu element analizi ortamında yük dağılımları için iki bölge incelendi. Birincisi tüm femur, diğeri ise trokanter minörden başlayıp distal 5 cm'lik kısma uzanan bölge idi.

Bulgular: Kalkar defeksiz trokanterik kırık modelinde tüm femurda stres değerleri 22.9 MPa, trokanter minörden başlayıp 5 cm'lik bölgede 29.2 MPa olarak bulundu. Stres değerleri, kalkar defektli kalın çimento mantolu intertrokanterik kırık modelinde 23.6-29.9 MPa, kalkar defektli ince çimento mantolu intertrokanterik kırık modelinde ise 24.2-32.1 MPa idi. İstatistiksel analiz t-test ile yapıldı ve tümünde p değeri >0.005 olarak bulundu.

Sonuç: Çalışma bulgularımız, kalkar bölgesi defektli intertrokanterik kırıklarda, bu bölgenin kemik çimentosu ile şekil verilip bir çeşit kalkar oluşturulması ile yapılacak olan hemiarthroplasti ameliyatında çimento/kemik bileşkesinde daha fazla stres oluşturmadığını gösterdi.

Anahtar sözcükler: Çimento; femur intertrokanterik kırık; sonlu element analizi.

Objectives: This study aims to investigate biomechanically positive and negative aspects of arthroplasties in combination with diaphyseal cement support as an alternative to calcar supported prosthesis on the proximal femoral load distribution, using finite element analysis method in a virtual environment in intertrochanteric fractures with calcar femoral defect.

Materials and methods: Three femur models were created using the ANSYS method. These were named as a intertrochanteric fracture model without calcar defect, an intertrochanteric fracture model with thick cement mantle and calcar defect, and an intertrochanteric fracture model with thin cement mantle and calcar defect. In the finite element analysis setting, two regions were analyzed for load distributions. The first one was the whole femur, while the other one was the region starting from trochanter minor and extending distally to the 5 cm area.

Results: In the trochanteric fracture model without calcar defect, the stress value in the whole femur was found to be 22.9 MPa; whereas it was 29.2 MPa in the 5 cm long section starting at the trochanter minor. The stress values were 23.6-29.9 MPa in the intertrochanteric fracture model with thick cement mantle and 24.2-32.1 MPa in the intertrochanteric fracture model with thin cement mantle and calcar defect. The statistical analysis was performed using t-test and a p value of >0.005 was found in all.

Conclusion: Our study results showed that forming a type of calcar to be used in a hemiarthroplasty surgery and shaping of this region with bone cement does not produce further stress on the cement/bone intersection in intertrochanteric fractures with defected calcar region.

Key words: Cement; femur intertrochanteric fracture; finite element analysis.

Femur intertrokanterik bölge kırıkları oldukça sık görülen kırıklardır ve tüm vücut kırıkları içerisinde %10 oranında görülürler. Genellikle 60 yaş üstü ve osteoporozlu hastalarda düşük enerjili travma sonucunda oluşurlar.^[1] İntertrokanterik bölge kırıklarında kanlanmanın iyi olmasından dolayı kaynamama ve avasküler nekroz oranı düşük olduğu için konservatif tedavi ile sonuç almak mümkündür ancak yaşlı hastalarda uzun süre yatağa bağlı kalmanın oluşturacağı komplikasyonlar mortalite ve morbiditenin artmasına neden olmaktadır.^[2]

Cerrahi tedavinin amacı erken mobilizasyon sağlayarak hastayı en kısa sürede kırık öncesi yaşam aktivitelerine geri döndürmektir. Cerrahi tedavi sonuçları yaşlı, osteoporotik hastalarda ve özellikle stabil olmayan intertrokanterik kırıklarda kötü olabilmektedir. Tedavide, hastanın yaşından çok genel durumu, kırık öncesi hareket yeteneği, ikinci bir cerrahi girişimi kaldırıp kaldıramayacağı ve kemik kalitesi gibi diğer ölçütler endikasyon koyarken dikkate alınmalıdır.^[3] Çimentolu artroplastiler sık kullanılan tedavi yöntemidir.^[4]

Bu çalışma, kalkar femoris defektli femur intertrokanterik kırıklarda kalkar destekli protezlere alternatif olarak diyafizer çimento desteği ile kombine yapılan artroplastilerde femur üst ucundaki yük dağılımının "sonlu eleman analizi" yöntemiyle sanal ortamda, biyomekanik olarak olumlu ve olumsuz yönlerini ortaya koymayı amaçlamıştır.

GEREÇ VE YÖNTEMLER

Bu çalışma için üç adet Synbone marka yapay femur modeli kullanıldı. Birinci modelde çimento kalınlığını belirlemek amacıyla intertrokanterik kırık oluşturulup, kullanılacak olan diğer iki model kemiğin medullalarına eşit miktarda ve eşit uzunlukta olması için standart düz saplı (straight system) femoral komponent oyuncusu ile oyuldu. İkinci model kemiğe intertrokanterik kırık oluşturulup, aynı boy oyuncuları kullanılarak oyulduktan sonra düz saplı çimentolu parsiyel kalça

protezi uygulandı. Üçüncü model kemiğe ise kalkar defektli intertrokanterik kırık oluşturulup aynı oyuncuları ile oyulduktan sonra yine aynı çimentolu parsiyel kalça protezi uygulandı. Kalkar defektli bölgeye kemik çimentosu ile destek yapıldı. Parsiyel protez uygulanan model kemiklerden protez çıkartıldı.

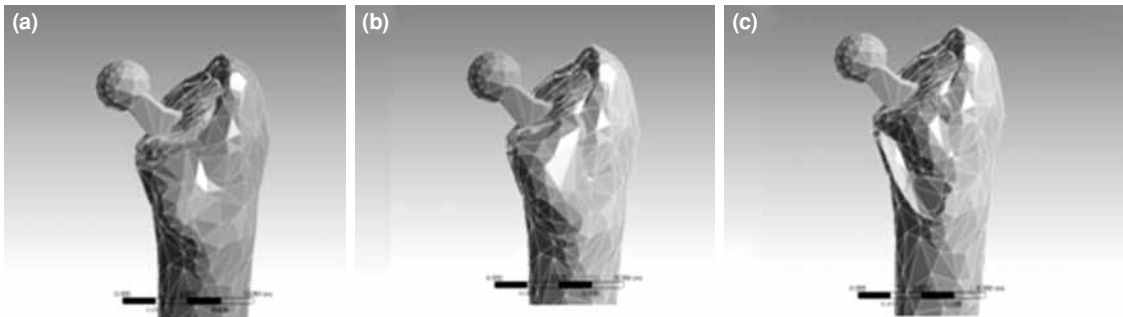
Daha sonra tüm model femurlar, Siemens Somatom Sensation 16 Multi Detector (Siemens AG, Forchheim, Germany) cihazı ile tarandı ve metafizer bölgeden 2-4 mm, diyafizer bölgeden 5-9 mm'lik aralıklarla bilgisayarlı tomografi (BT) kesitleri elde edildi. Bu kesitlerin Voxel boyutları X ve Y koordinatlarında 0.74 ve Z koordinatında ise 0.7 idi. Bilgisayarlı tomografi kesitleri üç boyutlu (3D)-Doctor 3.5.050106 (Able Software, USA) yazılımı ile rekonstrükte edilerek kortikal ve kansellöz kemiğin üç boyutlu katı modeli elde edildi. Böylelikle kemiğin elde edilen katı modeli, ANSYS Workbench 12.1 (ANSYS, Inc., Burlington, MA, USA) yazılımı ile analiz edildi.

Bilgisayar ortamında kalkar defektli modelde kalkar bölgesindeki çimento kalınlığı ölçüldü. Bu bölgede çimento kalınlığı 15-17 mm arasında bulundu. Bu modele kalkar defektli kalın çimento mantolu intertrokanterik kırık modeli adı verildi.

Bilgisayar ortamında bu model üzerinde kalkar bölgedeki çimento kalınlığı 4-5 mm arasında olacak şekilde inceltilti. Bu modele de kalkar defektli ince çimento mantolu intertrokanterik kırık modeli adı verildi.

Böylelikle çalışmada; kalkar defektsiz trokanterik kırık modeli, kalkar defektli kalın çimento mantolu intertrokanterik kırık modeli, kalkar defektli ince çimento mantolu intertrokanterik kırık modeli olarak üç model oluşturuldu (Şekil 1).

Tüm bu analizlerde kemik doku homojen izotropik lineer elastik bir materyal olarak ele alındı. Gerçekte kemik doku, kortikal ve kansellöz yapılarının farklı özelliklerde olması nedeniyle heterojen, lineer olmayan, anizotropik bir özellik gösterir. Ancak bu



Şekil 1. (a) Kalkar defektsiz trokanterik kırık, (b) kalkar defektli kalın çimento mantolu intertrokanterik kırık modeli ve (c) kalkar defektli ince çimento mantolu intertrokanterik kırık modeli görselleri



Şekil 2. (a) Kalkar defeksiz trokanterik kırık modeli, (b) kalkar defekli kalın çimento mantolu intertrokanterik kırık modeli ve (c) kalkar defekli ince çimento mantolu intertrokanterik kırık modelinde, femur üst ucuna etkiyen kuvvetler.

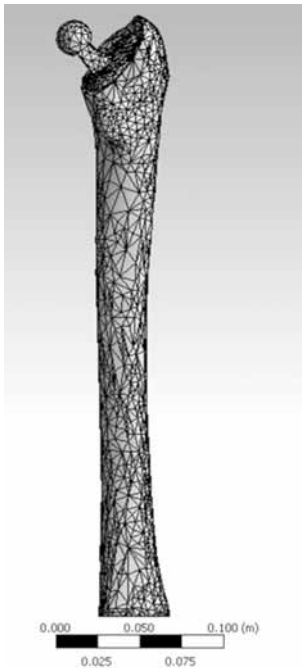
çalışmada amacın biyomekanik özellikleri etkileyen değişkenlerin incelenmesi ve karşılaştırmalı biyomekanik analiz olması nedeniyle kullanılan ortalama özellikler yeterli doğruluktur.

Bu çalışmada daha öncesinde aktif bir kişide ANSYS yöntemi (sonlu element analizi) kullanılarak, agresif bir yürüyüşle yorucu bir yüklenme durumu elde edilen bir model, kullanıldı. Bu durum için (41 Nm) kullanılan kalçalarda ölçülenleri (26-34 Nm) aşan ve aksiyel eğilme momenti oluşturan düzlem dışı bir yüklenme bileşeni vardı. Yedi yüz elli Newton (N)'luk bir vücut ağırlığı düşünülüğünde, vücut ağırlığının 4.54 katı bir femur başı yükü ($x,y,z= 1492 \text{ N}, 915 \text{ N}, -2925 \text{ N}$) ve vücut ağırlığının 3.45 katı bir büyük torakanter yükü

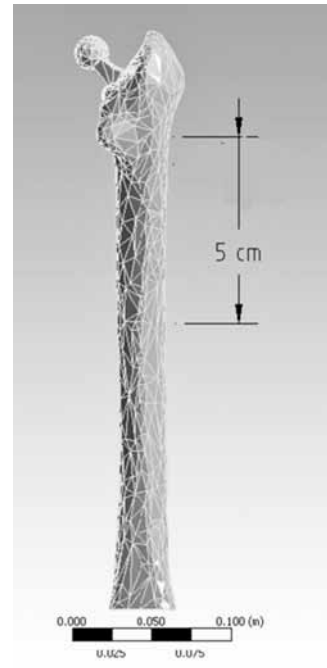
($x,y,z= -1342 \text{ N}, -832 \text{ N}, -2055 \text{ N}$) kullanıldı. X-y ve -z eksenleri sırasıyla yan, arka ve aksiyel (proksimal) yönlerdeydi (Şekil 2).

Oluşturulan bu katı femur modeline yukarıda bahsedilen yüklenme uygulandıktan sonra mesh (örümcek ağı benzeri 3 boyutlu bir geometri) yapısı oluşturuldu. Mesh yapısı, element (eleman) ve nod (düğüm) adı verilen alt birimlerden oluşmaktadır. Bir mesh'in yapısını oluşturan temel yapıtaşları olan element ve nod'ların sayısı o modelin karmaşıklığını göstermektedir. Oluşturulan modellerdeki element ve nod sayıları aşağıda yer alan çizelgede gösterilmiştir (Şekil 3).

Sonlu eleman analizi sonucunda elde edilen stres değerleri Paskal cinsinden olup 'Von Misses stres'



Şekil 3. Femurun sonlu eleman analizinde oluşturulan mesh görüntüsü



Şekil 4. Trokanter minörden başlayıp distale 5 cm'lik kısma uzanan bölge.

TABLO I

Modellerin element ve nod sayıları

Model	Nod	Element
Kalkar defektsiz trokanterik kırık modeli	60303	33355
Kalkar defektli kalın çimento mantolu intertrokanterik kırık modeli	61992	34564
Kalkar defektli ince çimento mantolu intertrokanterik kırık modeli	61325	34041

olarak adlandırılır. Bu stres değerleri renk skalasından makroskopik olarak ve her bir nodda numerik olarak elde edilebilir. İncelenen yapının Von Misses stres değeri yapının akma gücü (yield strength)'nden yüksek ise yapıda yetmezlik gelişmesi beklenmelidir.

Bu çalışmada kalkar bölgesini içine alacak şekilde her iki model kemikte trokanter minörden başlayıp distale 5 cm'lik kısma uzanan bölgenin yük dağılımları incelendi (Şekil 4).

Öncelikle tüm model femurların nod sayıları belirlendi (Tablo I). Daha sonra her üç modeldeki tüm femurun stres ortalamalarına (Tablo II) ve trokanter minör distali 5 cm'lik bölgenin nod sayılarına ve stres ortalamalarına bakıldı (Tablo III).

Her üç modeldeki stres değerleri arasında anlamlı bir fark olup olmadığına bakıldı. İstatistiksel yöntem için t-testi kullanıldı. Karşılaştırılan tüm değerlerde $p>0.005$ olarak bulundu. İstatistiksel açıdan aralarında anlamlı bir fark bulunmadı.

BULGULAR

Çalışmadan elde edilen bulgulara göre kalkar bölgesi parçalı ya da defektli intertrokanterik kırıklarda bu bölgenin kemik çimentosu ile şekil verilip bir çeşit kalkar oluşturulması ile kullanılacak olan bir hemiaroplasti ameliyatında çimento/kemik bileşkesinde daha fazla stres oluşturmadığı saptandı.

TARTIŞMA

Bu çalışmada kalkar femoris defekti olmayan intertrokanterik kırıklarda yapılan hemiaroplastiler

TABLO II

Seçilen bölgedeki stres değerleri

Model	Tüm femurun stres ortalaması
Kalkar defektsiz trokanterik kırık modeli	22.9 MPa
Kalkar defektli kalın çimento mantolu intertrokanterik kırık modeli	23.6 MPa
Kalkar defektli ince çimento mantolu intertrokanterik kırık modeli	24.2 MPa

ile kalkar femoris defektli intertrokanterik kırıklarda diyafizer çimento desteği ile (kalkar bölgesinin çimento ile oluşturulması) yapılan hemiaroplastilerde, femur üst ucundaki yük dağılımının sonlu element analizi ile tayini yapıldı ve aralarında yük dağılımı açısından fark olup olmadığı incelendi. Bu analiz mühendislik mekaniğinde yapıların stres analizinde kullanılmak üzere geliştirilmiş bir programdır. Analizin en büyük faydası uzun süre ve yüksek maliyet gerektiren deneysel çalışmaların bilgisayar ortamında düşük maliyet ve kısa zamanda yapılabilmesidir.

Çimentolu kalça artroplastilerinde protez/tespit kombinasyonunun primer görevi eklem yükünü protez yolu ile kemiğe taşımak ve bu yük taşınması ile beraber olan streslerin uzun dönemde yetmezlik oluşturmamasını sağlamaktır. Bunun anahtarı ise implant-kemik arası mesafedir. Oluşan stresler dört ana unsura bağlıdır; (i) Yükün büyüklüğü ve kaynağı, (ii) protezin geometrisi, (iii) protezin mekanik özellikleri ve (iv) protez-kemik ara yüzünün durumu.^[5,6]

Normal femurun sonlu eleman analizi incelendiğinde en büyük stresin arka-iç kortekste olduğu gözlemlendi. Posteromedial korteksin kalın kortikal yapısı göz önüne alındığında bu bölgenin yük iletiminde önemli bir rol üstlendiği açıkça görülmektedir. Oluşan streslerin vektöriyel incelemesinde literatürle uyumlu olarak femurun iç korteksi boyunca kompresyon, dış korteksi boyunca da tansiyon stresleri oluşmaktadır. Diyafize doğru inildiğinde ön-dış kortekste stres yoğunluğu oluşmaktadır. Bu bölgedeki stres artışının nedeni ise femurun mekanik aksı boyunca yük iletimi olması ve anterolateral kortekste oluşan gerilimdir.^[7-9] Bu çalışmada her üç modelde tüm femurun stres değerleri 22.9-24.2 MPa arasında değişirken, trokanter minör distalindeki 5 cm'lik bölgede streslerin artmasına bağlı olarak bu değerlerin 29.2-32.1 MPa arasında olduğu saptandı. Bu değerler literatürde elde edilen sonuçlarla uyumludur.

Çimento kalça artroplastilerinde femurda yük stem proksimalinden distaline doğru taşınarak kemiğe

TABLO III

Seçilen bölgenin stres ortalama değerleri

Model	Trokanter minör distali 5 cm'lik bölgedeki nodların stres ortalamaları
Kalkar defektsiz trokanterik kırık modeli	29.2 MPa
Kalkar defektli kalın çimento mantolu intertrokanterik kırık modeli	29.9 MPa
Kalkar defektli ince çimento mantolu intertrokanterik kırık modeli	32.1 MPa

ulaşır. Protezin proksimal ve distal bölgelerinde yük transferi yoğunluğu çimento ve çimento-kemik bileşkesinde stres pikleri yapar. Stem ve kemik arasında yük paylaşımı sonucu kemikte stress shielding etki ortaya çıkar. Stem proksimalinde yük daha fazla oranda kemik tarafından taşınır ve böylece stress shielding oluşur. Bu etki özellikle femur proksimalinde kemikte resorbsiyon ve osteopeni oluşturur. Stress shielding miktarı esas olarak implant sertliğine bağlı olmakla birlikte çimento kalınlığı ile de ilişkilidir. Stress shielding sonucu kalkar resorbsiyonu oluştuğunda stemdeki ve proksimal çimento ve protez-kemik ara yüzünün stresleri artar.

Bocco ve ark.^[10] lateralize yerleşmiş femoral komponent ve proksimal medial bölgedeki çimento kalınlığının 10 mm'den fazla olmasının en iyi radyografik sonuçlara neden olduğunu bildirmişlerdir. Aynı yazarlar kalkar bölgedeki çimentonun kırık insidansını azaltmak için proksimal medial bölgede kalın bir çimento tabakası kullanımını önermişlerdir. Bu yazarlar ince bir proksimal medial çimento mantosunun veya proksimal medial kansellöz kemiğin çıkarılmamasının, femoral komponentin medial yerleşimine neden olduğu şeklinde yorum yapmışlardır.

Ebramzadeh ve ark.^[11] 836 çimentolu total kalça replasmanının 21 yıllık izleminde; en iyi radyografik sonuçları, kalkar bölgede proksimal medial kansellöz kemiğin 2 mm'den az olduğu hastalarda gözlemişlerdir. Proksimal medial çimento 2 mm'den daha az kalınlıkta olduğunda, hastalarda çimento manto kırık riskinde artış vardı. Ebramzadeh ve ark.^[11] proksimal medial kansellöz kemiğin femoral komponentin çimentolanması öncesinde cerrahi olarak çıkarılmasını önermişlerdir. Emboli riski ve derin ven trombozu (DVT) çimentolama esnasında da korkulan bir sorundur. Aslan ve ark.^[12] yaptıkları çalışmada çimentolu-çimentosuz kalça artroplastilerinde ve çimentolu-çimentosuz diz artroplastilerinde DVT sıklığı bakımından anlamlı fark saptamamışlardır.

Bu çalışmada kalkar bölgesinin kalın veya ince bir çimento mantosu ile kaplanmasının her üç modelde tüm femurun stres ortalaması üzerine bir etki yapmadığı görüldü. Ancak kalkar bölgesinin distalindeki streslerin incelenmesinde kalkar defektsiz trokanterik kırık modeli ile kalkar defekli kalın çimento mantolu intertrokanterik kırık modeli değerleri arasında fark bulunmazken, kalkar defekli ince çimento mantolu intertrokanterik kırık modelindeki streslerin istatistiksel olarak anlamlı olmasa da diğer gruplara göre arttığı saptandı. Bu veriler ışığında kalkar bölgenin ince bir çimento mantosu ile desteklenmesinin kalın bir çimento mantosu ile desteklenmesine göre proksimalde daha fazla stress shielding oluşturma

ihtimali olabileceği ve bu durumun sonuçta protezde yetmezliğe neden olabileceği öngörülebilir.

Çalışmamızdan elde edilen çıkarımları üç şekilde özetleyebiliriz;

1. Her üç modelde elde edilen sonuçlarda sonlu eleman analizi ile her üç modelde elde edilen sonuçlarda trokanter minör distali 5 cm'lik bölgedeki streslerin, femurun stres değerlerine göre daha fazla olduğu saptandı. Bu değerler literatürde elde edilen sonuçlarla uyumludur.

2. Kalkar bölgesinin kalın bir çimento mantosu ile desteklenmesinin, ince bir çimento mantosu ile desteklenmesine göre proksimalde daha az stress shielding oluşma ihtimalini ve sonuçta da protezin daha uzun ömürlü olabileceği öngörülebilir.

3. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre kalkar bölgesi parçalı ya da defekli intertrokanterik kırıklarda bu bölgenin kemik çimentosu ile şekil verilip bir çeşit kalkar oluşturulması ile kullanılacak olan bir hemiarthroplasti ameliyatında çimento-kemik bileşkesinde daha fazla stres oluşturmadığı söylenebilir.

Bu tür kırıkları olan yaşlı hastalarda bu yöntemin, gerek maliyetinin daha uygun olması, gerekse ameliyat sırası süreçte ek bir girişime gereksinim göstermemesi nedeni ile kalkar destekli bir hemiarthroplastiye ideal bir alternatif olması öngörülebilir.

Çıkar çakışması beyanı

Yazarlar bu yazının hazırlanması ve yayınlanması aşamasında herhangi bir çıkar çakışması olmadığını beyan etmişlerdir.

Finansman

Çalışmanın biyomekanik laboratuvarındaki giderleri Sanofi Aventis firması tarafından karşılanmıştır. Çalışma sponsorunun; çalışma dizaynında, derleminde, analizinde ve verilerin yorumlanmasında, yazının yazılması ve metnin yayınlanma aşamalarında herhangi bir rolü olmamıştır.

KAYNAKLAR

1. Kaufer H. Mechanics of the treatment of hip injuries. Clin Orthop Relat Res 1980;146:53-61.
2. Singh AK, Thong G, Laloo N, Singh AM, Singh SN. Management of trochanteric fractures. Indian Journal of Orthopaedics. 2006;40:100-2.
3. Rodop O, Mahiroğullari M, Tirmik U, Keklikçi K, Sen H. The increasing incidence of interthrocanteric fractures synchronous with older age. [Article in Turkish] Eklem Hastalik Cerrahisi 2009;20:131-5.
4. Atik OS. What is the best choice for displaced femoral neck fractures in the elderly? Internal fixation or total/hemiarthroplasty. Eklem Hastalik Cerrahisi 2012;23:121.

5. Harkess JW, Crockarell JR. Hip arthroplasty. In: Canale ST, Beaty JH, editors. Campbell's operative orthopaedics. Chapter 7. 11th ed. Philadelphia: Mosby Elsevier; 2008. p. 315-8.
6. Huiskes R. Comparative stress patterns in cemented total hip arthroplasty. *Ortop. Rel Sci* 1990;1:93-108.
7. Rybicki EF, Simonen FA, Weis EB Jr. On the mathematical analysis of stress in the human femur. *J Biomech* 1972;5:203-15.
8. Keyak JH, Meagher JM, Skinner HB, Mote CD Jr. Automated three-dimensional finite element modelling of bone: a new method. *J Biomed Eng* 1990;12:389-97.
9. Seral B, García JM, Cegoñino J, Doblare M, Seral F. Finite element study of intramedullary osteosynthesis in the treatment of trochanteric fractures of the hip: Gamma and PFN. *Injury* 2004;35:130-5.
10. Bocco F, Langan P, Charnley J. Changes in the calcar femoris in relation to cement technology in total hip replacement. *Orthop Relat Res* 1977;128:287-95.
11. Ebramzadeh E, Sarmiento A, McKellop HA, Llinas A, Gogan W. The cement mantle in total hip arthroplasty. Analysis of long-term radiographic results. *J Bone Joint Surg Am* 1994;76:77-87.
12. Aslan A, Açar E, Aydoğan NH, Atay T, Baydar ML, Kırdemir V, Özden A. Effect of bone cement application on the incidence of deep vein thrombosis in major joint arthroplasties. [Article in Turkish] *Eklem Hastalık Cerrahisi* 2011;22:149-54.