



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Geleneksel total kalça protezine alternatif epifiz protezinin mekanik değerlendirmesi

Mechanical evaluation of epiphyseal prosthesis as an alternative to conventional total hip replacement

Yazar(lar) (Author(s)): İbrahim MUTLU¹, Ayberk DİZDAR²

ORCID¹: 0000-0003-3864-3725

ORCID²: 0000-0002-7835-0831

To cite to this article: Mutlu İ. ve Dizdar A., “Geleneksel total kalça protezine alternatif epifiz protezinin mekanik değerlendirmesi”, *Journal of Polytechnic*, 26(1): 73-79, (2023).

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Mutlu İ. ve Dizdar A., “Geleneksel total kalça protezine alternatif epifiz protezinin mekanik değerlendirmesi”, *Politeknik Dergisi*, 26(1): 73-79, (2023).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.950183

Geleneksel Total Kalça Protezine Alternatif Epifiz Protezinin Mekanik Değerlendirmesi

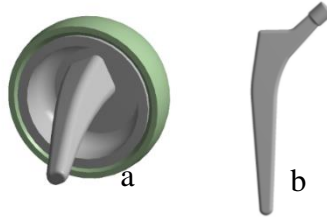
Mechanical Evaluation Of Epiphyseal Prosthesis As An Alternative To Conventional Total Hip Replacement

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Total kalça protezi, epifiz protezi ve çimento tasarımları yapılmıştır. Femur kemiği modellenmiştir. / Total hip prosthesis, epiphyseal prosthesis and cement designs were made. Modeled the femur bone.
- ❖ Analiz sonuçlarına göre epifiz protezinin hasar oluşumu bakımından geleneksel total kalça protezlerinin yerini alma potansiyeli olduğu tespit edilmiştir. / According to the results of the analysis, it was found that the epiphyseal prosthesis has potential to replace the traditional total hip prosthesis

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada geleneksel uzun saplı kalça protezi ve epifiz protezlerinin sonlu elemanlar analizi ile mekanik yönden karşılaştırılmıştır. / In this study, traditional long-stem hip and epiphyseal prostheses were compared mechanically with finite element analysis.



Şekil . a) Epifiz protezi ve b) kalça protezi sapı (Epiphyseal prosthesis and b) hip prosthesis stem)

Amaç (Aim)

Epifiz protezinin kullanılabilirliğinin potansiyelini bulmak. / Finding the potential for usability of the epiphyseal prosthesis.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Protez ve çimento modelleri SolidWorks'de yapılmıştır. Kemik MIMICS 12'de modellenmiştir. Analizler ANSYS'de sonlu elemanlar modeline kas ve vücut ağırlığından kaynaklanan yükler uygulanarak yapılmıştır. / Prosthesis and cement models were made in SolidWorks. Bone is modeled in MIMICS 12. The analyzes were made by applying loads originating from muscle and body weight to the finite element model in ANSYS.

Özgünlük (Originality)

Epifiz protezi ve geleneksel kalça protez için mekanik açıdan karşılaştırılmalı bir analiz yapılmıştır. / A mechanical comparative analysis was performed for epiphyseal prosthesis and conventional hip prosthesis.

Bulgular (Findings)

Epifiz protezi komponentlerinde oluşan eş değer gerilme değerleri, uzun saplı protez komponentlerinde oluşandan daha düşük bulunmuştur. / Equivalent stress values in epiphyseal prosthesis components were found to be lower than those in long-stem prosthesis components.

Sonuç (Conclusion)

Epifiz protezi mekanik açıdan başarılı bulunmuştur. The epiphyseal prosthesis was found to be successful mechanically.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Geleneksel Total Kalça Protezine Alternatif Epifiz Protezinin Mekanik Değerlendirmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

İbrahim MUTLU*, Ayberk DİZDAR

Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 10.06.2021 ; Kabul/Accepted : 08.07.2021 ; Erken Görünüm/Early View : 17.09.2021)

ÖZ

Bu çalışmada kısa saplı ve uzun saplı kalça protezleri mekanik açıdan karşılaştırılmıştır. Protez ve kemikler bilgisayar ortamında modellenmiş ve protezlerin mekanik performansını incelemek amacıyla birleştirilmiştir. Sonuçların değerlendirilmesi için protez komponentleri ve çimentoda oluşan eş değer gerilme (von Mises) değerleri dikkate alınmıştır. Sonuç olarak, total kalça ameliyatlarında kısa saplı protez kullanımının implant hasar açısından daha avantajlı olduğu ve tasarımsal iyileştirmeler yaparak uzun saplı kalça protezinin yerini alma potansiyeline sahip olabileceği öngörülmüştür.

Anahtar kelimeler: Epifiz protezi, Kalça protezi, sonlu elemanlar analizi.

Mechanical Evaluation of Epiphyseal Prosthesis As An Alternative to Conventional Total Hip Replacement

ABSTRACT

In this study, short-stem and long-stem hip prostheses were compared mechanically. The prosthesis and bones are computer modeled and combined to examine the mechanical performance of prosthesis. For the evaluation of the results, the equivalent stress values in the prosthetic components and cement were taken into account. As a result, it has been predicted that the use of a short stem is more advantageous in terms of implant damage and may have the potential to replace long stem hip prosthesis by making design improvements in the total hip surgical operations.

Keywords: Epiphyseal prosthesis, Hip prosthesis, finite element analysis.

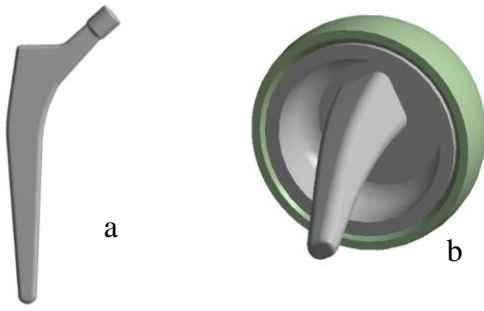
1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde total kalça protezleri için kullanılan implantlar tasarım ve yapı olarak birbirlerine benzemektedirler. Temel bir tasarımın alternatifleri şeklinde piyasa da birçok kalça protezi olmasına rağmen şekil ve geometrileri benzer yapıdadır. Kalça protezlerinde tarihsel süreç içerisinde kısa saplı protezlerden başlanarak uzun saplı protez tasarımına geçiş yapılmıştır [1]. Uzun saplı protezler tasarım ya da klinik değerlendirmeler gibi birçok yönden değerlendirilerek temel bir tasarım şeklini almış ve bu temel yapı üzerinden halen kullanılmaktadır. Şu anki tasarımın, gerilme yığılması, gerilme kalkımı ve stabilizasyon vb. gibi birçok değerlendirme kriterinden geçmesi şu an için onu üstün kılmaktadır.

Uzun saplı protezlerin trabeküler kemiğin içine geçen ve neredeyse diyafizin orta kısmına kadar uzanan uzun bir sap kısmı bulunmaktadır (Şekil 1a) Sap kısmının konik boynuna ise küresel, metal veya seramik femoral baş gelmektedir. Bu tip protezlerde büyük ölçekte kemik çıkarımı ve uzun sapın yerleştirilmesi esnasında ise operasyon zorluğu yaşanmaktadır [2]. Bu nedenle tarihsel süreçte ilk deneyimlerden olan daha küçük ebatla ve daha az kemik ziyarı gerçekleştirecek kalça implantı tasarımları günümüz teknikleri ile irdelenebilir. Şayet

başarılı olması durumunda alternatif bir tasarımın yeniden ortaya çıkmasını ya da revizyonunu sağlayabilir. Bu çalışma, kalça protezinin ilk tasarımlarından olan kalça yüzey yenileme implantı olarak da bilinen revize edilmiş epifizyal protezin (Şekil 1b) klasik olarak niteleyebileceğimiz uzun saplı total kalça protezi ile karşılaştırma çalışmasıdır [3]. Literatürde bir alt çeşidi olan Birmingham kalça yüzey yenileme sistemi de sıklıkla bahsedilmektedir ve bu protez bazı kliniklerde halen kullanılmaktadır [4]. Bu iki protez arasında sap kısımlarının tasarımında küçük bir nüans farkı bulunmaktadır. Epifizyal protezin sap kısmı ön düzleme doğru kavilidir ve küresel femur başının altında dayandığı bir düzlemsel yapı mevcuttur. Birmingham kalça yüzey yenileme protezinin ise sapı silindirik yapıda fakat doğrusaldır. Son yüzyılın ortalarında tasarımsal olarak imal edilen bu protez tipi yüksek oranda başarısız ameliyat ve ürün ile yerini günümüzde fazlaca kullanılan uzun saplı klasik protezlere bırakmıştır [5]. Bunun sebepleri arasında ilk tasarımın yapıldığı zamanlarda üretim teknolojilerinde yaşanan sıkıntı ve teknik kısıtlılıklar olabilir [6]. Mekanik ve malzeme alanındaki gelişmeler bu protezin tekrar kullanılmasında bir potansiyel oluşturduğu görüşü ile günümüzde çalışmalar devam etmektedir [7-8]. Hem deneysel hem de teorik olarak yapılan çalışmalarda olumlu sonuçlar alınmıştır.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : ibrahim.mutlu@kocaeli.edu.tr



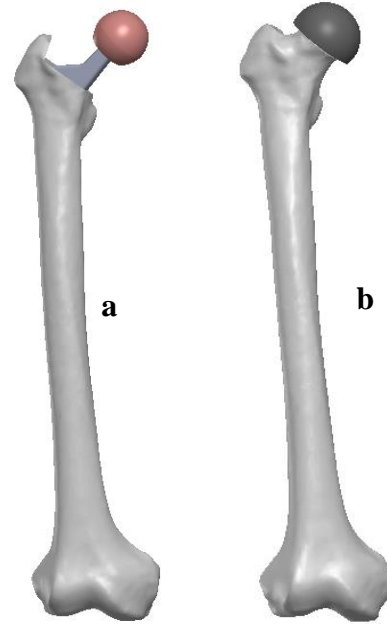
Şekil 1. a) Epifiz protezi ve b) kalça protezi sapı (Epiphyseal prosthesis and b) hip prosthesis stem)

Yapılan deneysel çalışmalarda Birmingham kalça yüzey yenileme protezinin femur kemiğinde oluşan gerinim değerlerini değiştirdiği ve bazı bölgelerde yüksek gerinim değerleri elde edildiği belirtilmiştir [8]. Epifizyal protezin kemik kırık riskini arttırmadığı, gerilme yoğunluğu ile ilişkili kırık risklerinin üstesinden gelebilecek bir protez olduğu vurgulanmıştır [9]. Epifiz protezleri ile ilgili deneysel çalışmalara nazaran sonlu elemanlara dayanan bilgisayarlı analiz çalışmalarının fazla olduğu görülmektedir. Birmingham kalça yüzey yenileme protezinin sonlu elemanlar modelinde femurda oluşan gerilme ve gerinim değerlerinin fizyolojik olmadığı ve kemiğin yeniden modellenmesinin epifizyal protezlerin revizyonu sonrasında olası görülmüştür [3]. Birmingham kalça yüzey protezinin özellikle sap kısmına yakın bölgede gerinim artışına sebep olduğu ve protezin femur boynunda oluşan gerinimler üzerinde etkisi olduğu bildirilmiştir [3]. Epifizyal protezde tüm başarısızlık senaryoları değerlendirilerek her koşulda oluşabilecek başarısızlıkların düşük riskli olarak tespit edilmiştir [12]. Revize edilmiş bir epifizyal protez tasarımının kemik ve çimentoda başarısızlık riskini azalttığı tespit edilmiştir [7]. Bir epifizyal protezin femur boyun mukavemetini arttırdığını, sap kısmı için kırık ve gevşeme riskinin az olduğunu belirtmiştir [11]. Bu yapılan çalışmalar ışığında epifizyal protezin kullanımı güncellenebilir ve kullanılabilir bir potansiyeli olduğu anlaşılmaktadır. Bu çalışmada şu an mevcut kullanımda olan total kalça protezlerine alternatif olarak görülen epifizyal protezin klasik protezler ile karşılaştırması yapılarak protez komponentlerinin tasarımlarının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bir femurun bir epifizyal protezle montajlı 3 boyutlu sonlu elemanlar modeli ile implantlarda oluşan gerilmelerin etkisi incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Bir hastanın üç boyutlu bilgisayarlı tomografi (BT) tarayıcı aleti ile taranan resimlerinden ham data üç boyutlu görüntü işleme yazılımı MIMICS 12 ye aktarıldı

[13]. Böylece femur modeli oluşturuldu. Hastanın herhangi bir şekil bozukluğu ya da rahatsızlığı bulunmamaktadır. Femur modeli MIMICS yazılımında düzenlemelerin ardından, protez Şekil 1b'de görüldüğü gibi Solidwork programında Cristofolini et al'nın çalışmasında revize edilmiş ikinci tasarım olarak geçen protezin ölçekli resmi ve ölçü oranlarına, birde oluşturulan femur modeline göre çizildi [8]. Uzun saplı total kalça protezinin sap kısmı ise Depuy syntes firmasının Corail marka protezinin kataloğundan ölçüleri alınarak modellenmiştir [15]. Daha sonra bu çizimlere kemik çimentosu eklenmiştir. Uzun saplı protez için çimento kalınlığı 1 mm olarak modellenmiştir. Epifiz protezinin çimentosu var olan modelin ağırlık merkezine göre 1,3 kat büyütülmesi ile oluşan dışarıya doğru çıkıntı yerler çimento olarak kaydedilmiştir. Buna göre çimento kalınlığı 2,4 mm ile 1,2 mm arasında değişmektedir. Femur modeli de Solidwoks yazılımına dahil edilerek implantlar gibi ile cerrahi uygulamaya göre şekil 2'de görüldüğü gibi montajlar gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. a) Uzun saplı kalça protezi- femur modeli, b) Epifiz protezi- femur modeli (a) Long-stem hip prosthesis-femur model, b) Epiphyseal prosthesis-femur model)

Tüm modeller elastik, izotropik ve lineer olarak ele alındı. Montajlı modeller malzeme atanması için BoneMat yazılımına aktarılmıştır [16]. Bu yazılımda kemik için CT taramasındaki voksellerin gri değerlerine dayalı malzeme atanması yapılmaktadır. Yazılımda literatüre belirtilen aşağıdaki formüllere göre malzeme atanması yapılmıştır [14]. Malzemelerin mekanik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir

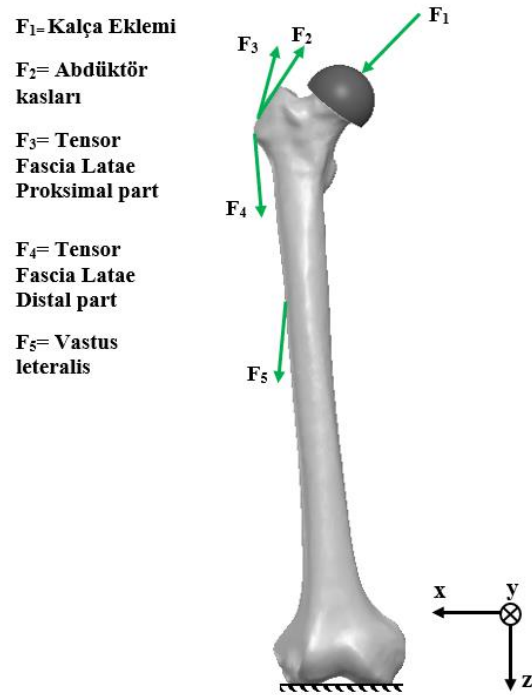
Çizelge 1. Modellerin malzeme özellikleri (Material properties of models)

Model	Malzeme	Yoğunluk (g/cm^3)	Elastikyet Modülü (MPa)	Poisson Oranı
Femur	Kemik	$\varphi = 1,67 \times HU$	$0,004 \times \varphi^{2,01}$	0,3
Protez	Ti6Al4V	4,4	113000	0,33
Kemik çimentosu	PMMA	1,18	2130	0,3

φ =yoğunluk(g/cm^3), HU= hounsfield birimi

Kemik-çimento ara yüzünde tam bir osteointegrasyon olduğu kabulü ile yapışık, implant parçaları arasında, çimento-implant ve kemik-implant arayüzlerinde sürtünmeli temas tanımlanmıştır. Sürtünme katsayıları sırasıyla 0,3, 1 ve 0,2 olarak tanımlanmıştır [13,17,18]. Sonlu elemanlar modeli oluşturulurken tetrahedron ağ örgü yapısı tercih edilmiştir. Eleman boyutu, femur için 4 mm, epifiz protezi için 0.75 mm, uzun saplı kalça protezi için 1 mm ve çimento modelleri için 0.5 mm olarak belirlenmiştir. Ağ boyutları yapılan femur çalışması dayanak alınarak belirlenmiştir [30] Ayrıca temas bölgelerinde ağ örgü yapısında iyileştirmeler yapılmıştır.

Kemiğin distal (uzak) tarafından hareketi altı serbestlik derecesinde kısıtlanmıştır. İmplanttan vücut ağırlığı ve kemik üzerinden ise kas kuvvetleri uygulanmıştır. Vücut ağırlığı yaklaşık 700 N olarak elde edilmiş ve yürüme esnasında oluşan yüklere göre kuvvet uygulanmıştır [19]. Kas kuvvetleri de literatürden elde edilmiştir ve şekil 3'deki gibi uygulanmıştır [20]. Femur implant modellerine uygulanan kuvvet değerleri Çizelge 2'de gösterilmiştir

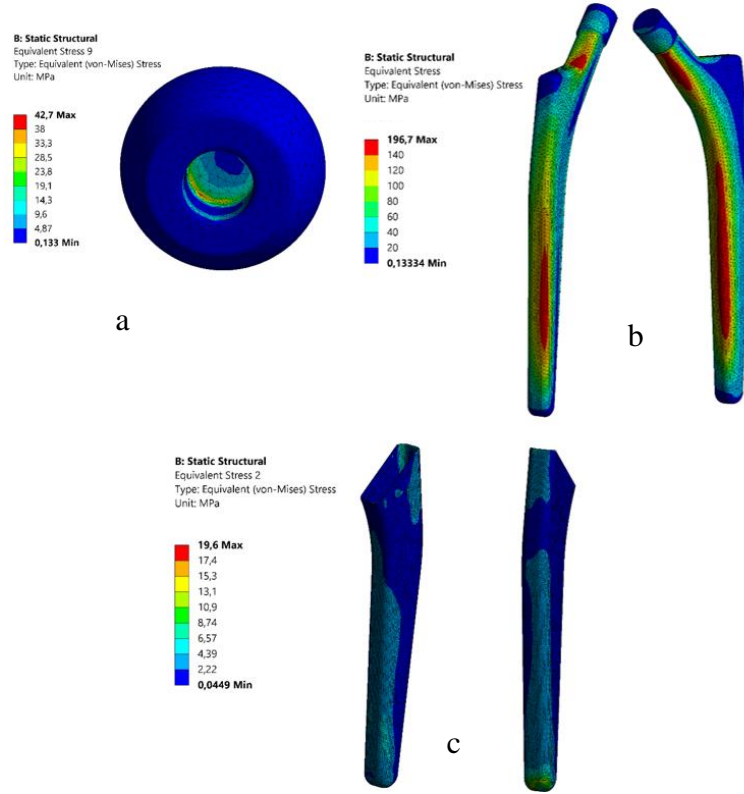
**Şekil 3.** Analiz için oluşturulan sınır koşulları (Boundary conditions of the analysis)**Çizelge 2.** Sonlu elemanlar modellerine uygulanan kuvvet değerleri (Force values applied to finite element models)

Kuvvetler (N)	x	y	z	Bileşke
Kalça Eklemi	378	230	230	1603
Abdüktör kasları	-406	-30,1	-605,5	729,7
Tensor Fascia Latae Proksimal part	-50,4	-81,2	-92,4	132,9
Tensor Fascia Latae Distal part	3,5	4,9	133	133,2
Vastus lateralis	6,3	129,5	650,3	663,1

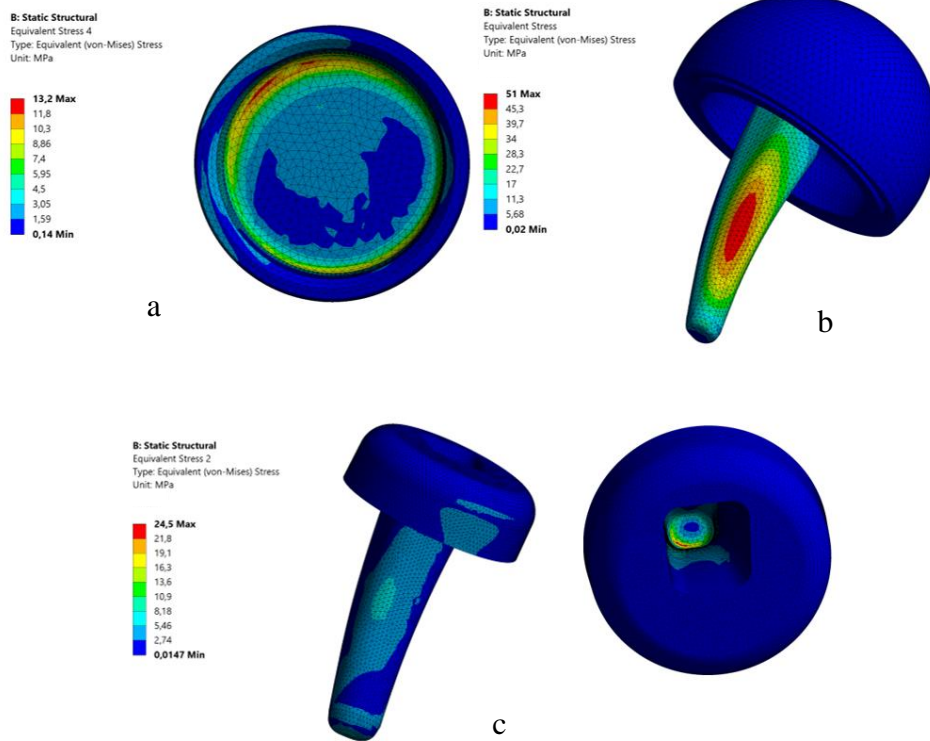
3. SONUÇLAR (RESULTS)

Sonlu elemanlar analizinden elde edilen sayısal verileri değerlendirmek için sünek malzemeler için geçerli maksimum bozulma kriteri yani eş değer gerilme (von Mises) sonuçları seçilmiştir. Uzun saplı total kalça protezinde en yüksek eş değer gerilmesi protez gövdesi boyun üzerinde yaklaşık 196 MPa, femur başında ise 43 MPa gerilme bulunmuştur (Şekil 4). Protez üzerindeki çimentoda ise en yüksek gerilme iç kısımda ve yaklaşık 20 MPa bulunmuştur. Kemik üzerinde en yüksek eş değer gerilmeler sabitlenen yerlerde oluşmuştur. Bu gerilme değerleri diğer sistem elemanları ile karşılaştırıldığında önemsenmeyecek derecede az olduğu

görülmüştür. Epifiz protezinde ise en büyük gerilme epifiz protezi sap kısmında 51 MPa olarak bulunmuştur. Metal yapay femur başında ise 13 MPa, gövdeyi saran çimentoda ise 24 MPa eş değer gerilme hesaplanmıştır (Şekil 5). Uzun saplı sistemle benzer şekilde kemik üzerinde oluşan gerilmeler daha düşük çıkmıştır.



Şekil 4. a) Femoral baş, b) sap ve c) çimento modellerinde oluşan eş değer gerilme değerleri (Equivalent stress values in a) femoral head, b) stem and c) cement models)



Şekil 5. a) Femoral baş, b) sap ve c) çimento modellerinde oluşan eş değer gerilme değerleri (Equivalent stress values in a) femoral head, b) stem and c) cement models)

4. TARTIŞMA (DISCUSSION)

Gerilmeler implantlar üzerinde oluşabilecek olası hasara göre yorumlanmıştır. Ti-6Al-4V implantların akma mukavemetinin 800 MPa, kemik çimentosu PMMA'nın akma mukavemetinin de minimum 48 MPa olduğu göz önüne alınarak değerlendirmeler yapılır [31]. Gerilme değeri üzerinden statik bir durum değerlendirilebilir. Ancak gerilme oluşumu ya da yoğunluğu başka olası hatalarında potansiyelini de işaret edebilir. Bunlar gerilme kalkanı, yorulma hasarı, aseptik gevşeme, aşınma ve korozyon gibi implantları hataya uğramasına sebep veren olaylardır [32].

Birmingham kalça protezi ile epifiz protezi şekil açısından benzer olduğundan hesaplanan sonuçlar ile literatürde belirtilen Birmingham kalça protezi için bulunan sonuçlar kıyaslanmıştır. Bu kıyaslama sayesinde çıkarımlar yapılmıştır.

Statik bir durumda hiçbir nokta da olası hasar açısından sıkıntılı bir durum göze çarpmamaktadır. Ancak gerilmenin en yüksek olduğu yeri dikkate almak gerekir. Total kalça protezinde boyun ve sap kısmında, epifiz protezinde ise sap kısmının yüzeyinde en yüksek gerilme değerleri tespit edilmiştir. Bazı yüklem konfigürasyonları için Birmingham kalça protezinde baş-boyun bölgesinin ön ve arka taraflarında belirgin bir gerilme konsantrasyonu gözlenmiştir [10]. Birmingham sistemi olsa da kısa saplı kalça protezinde en büyük gerilme 50-60 MPa aralığında ve bölge olarak metal sap kısmında çıkmaktadır. Bu durum bir in-vitro test ile de doğrulanmıştır [10]. Gerilmeler literatürle karşılaştırıldığında bu çalışmada da benzer şekilde gerilmelerin çıktığı ve bölge olarak da yakın yerlerde gerilme yüksekliğinin olduğu görülmektedir. Bu analiz sonuçları analizin doğruluğunu teyit edilmesi açısından da önemlidir. Analizin yüksek bir oranda doğru olduğu kabulü yapılarak diğer sistemle karşılaştırma yapılmalıdır.

Epifiz protezinin bahsi geçen en yüksek gerilme değerleri ile beraber diğer sistemle karşılaştırıldığında en yüksek gerilmenin ortaya çıktığı yer femur boynunda ve sap bölgesidir. Bu bölge her iki protez için hasarın olmayacağı dikkate alındığında bölgeler üzerinde incelenmelidir. Özellikle sap kısmında oluşan gerilmeler her iki protez için birbirini andırmaktadır ve bu noktalar kemik dayanak noktasıdır. Bu noktada gerilme kalkanı durumu oluşabilir. Gerilme kalkanı durumu iki kalça protezinde olası gözlemlenebilir bir durumdur. Bu durum olası bir başarısızlık durum potansiyeline sahiptir. Sonuçlar irdelendiğinde her iki kalça protezinin gerilme kalkanı adı verilen durum potansiyeline sahip olduğu düşünülebilir. Literatürde klasik kalça protezlerinin gerilme kalkanı durum oluşumu bilinmektedir [25] ancak yapılan çalışmalar ile epifiz implantında da gerilme kalkanı durumunun önemli olduğu rapor edilmiştir [8].

Metal-metal etkileşimlerde aşınma oluşumu vardır ve başka bir hasar sebebidir. Aşınma özellikle metal-metal temasında olası bir etkidir [26]. Sistemler karşılaştırıldığında her iki alt yüzeyde femur başının alt

yüzeyi olan temas bölgesinde gerilmelerin yüksek çıktığı Şekil 4 ve Şekil 5'ten görülebilir. Gerilme değerleri akma mukavemetine göre yüksek olmasa da statik durumu harici dinamik bir durumda aşınma potansiyelini akla getirmektedir. Klasik kalça protezlerinde aşınma özellikle konik bağlantı noktasında olduğu bilinmektedir [26]. Epifiz protezinde kıyasla gerilmelerin düşük olduğu görülmüştür. Bu nedenle epifiz protezinde aşınma potansiyelinin minimum seviyede olabileceği düşünülebilir.

Diğer bir başarısızlık potansiyeli de aseptik gevşeme olayından kaynaklanmaktadır. Kemik çimentosunda oluşan gerilmeler incelendiğinde sonuçların birbiri ile yakın olması ve akma mukavemetinden düşük olması nedeniyle olası literatürle de örtüşerek bir hasarın oluşmayacağı tahmini yapılabilir [11]. Buna göre her iki sistemde gerilmelerin akma mukavemetine göre düşük kalsa da çimentoların özellikle dip kısımlarında gerilme yığılması olduğu görülmüştür. Statik durum için kaynaklanmasa da tekrarlı yüklemelerin sonucu olası gevşeme durum potansiyeli, protez sapının dip kısmındaki çimento için öngörülebilir. Her iki sistemimiz çimentolu olduğu için kemik-çimento ara yüzünde oluşacak çimento üzerinde gerilme artışının tekrarlı yüklemeler sonucu gevşemeye sebep olabileceği öngörülebilir.

Öngörüler statik bir analiz sonucu ortaya çıkan sonuçlar üzerinden yapılmaktadır. Statik bir analiz bizlere yukarıda da anlatıldığı gibi bir hayli fikir verebilir olsa da korozyon ya da yorulma gibi etkenleri değerlendirmek için uzun dönemli klinik sonuçlarında incelenmesi gerekir. Kısa ve orta dönem sonuçlarına göre Birmingham kalça protezinin özellikle genç hastalarda başarı oranının yüksek olduğu rapor edilmiştir [27,28]. Benzer şekilde uzun dönemli Birmingham kalça protezinin sonuçlarında birçok olası başarısızlık durumu gözlene de sonuçların iyi olduğu rapor edilmiştir. [29]. Epifiz sonuçlarında ise bu konuya ait bilgi literatürde bulunmamaktadır. Gerilme kıyaslamalarına göre oluşan sorunlar dikkate alındığında hastalarda hem kısa hem de uzun vadeli iyi sonuçlar vereceği tahmin edilebilir.

Genç hastalar için tavsiye edilen kısa saplı protezlerin, ileri yaşta hastalarda kullanılma tavsiyesini sağlamak için tasarım etkenlerine bağlı olarak karşılaştırmalı bir analizin de protezlerin gelişimi açısından fayda sağlayacaktır. Bu nedenle farklı yaştaki hastalar için analizin yapılması gelecek çalışmalar için tavsiye edilebilir.

Bu protezin diğer bir avantajı da nekroz oluşumunun önüne geçilme potansiyelidir. Kemikten rezeksiyon sonucu az ziyan edilen parça kan kaybının az olmasından dolayı nekroz oluşum potansiyelinin düşük olmasını anlamına gelir [21]. Ancak ziyanın az olması başarısızlık potansiyelini özellikle kemik kalitesine bağlı kılmaktadır. Bu epifiz protezlerinde dayanağın çoğunun kemik tarafından karşılandığı görülmektedir. Bu durum kemiğin mukavemetini önemli hale getirmektedir. Şayet

kemik kalitesi düşük olursa sorun teşkil edebilir. Literatürde BHR veya benzer bir protez ile yeniden yüzeye yüzeye çıkan düşük yoğunluklu femurlar, daha düşük in vitro başarısızlık yüklerine sahip olduğu gösterilmiştir [22-24].

Olası başarısızlık tahminleri çalışmanın kısıtlılıklarındandır. Herhangi bir varsayım yapmamız tespit edilmemiş başarısızlık senaryolarının oluşmasını elbette sağlamaz. Ayrıca çalışmanın kısıtlılıklarından birisi sonlu elemanlar yönteminde uygulanan basitleştirilmiş sınır koşullarıdır. Tahmin edileceği üzere birçok etken ilave olarak sisteme etkimekte ve sonuçları değiştirebilecek potansiyele sahiptir. Ayrıca tasarımlar temel düzeyde yapılmış ve uygulanmıştır. Bu durum çalışmayı kısıtlayacak bir etkidir. Bunun yanında çalışmada kalça protez elemanları açısından inceleme yapılmıştır. Kemik üzerinde oluşan gerilmeler, kemik-komponent mikrohareketi, kemik oluşumu için kemik gerinimleri incelenmemiştir. Bu konular makalenin geliştirilebilir taraflarıdır.

Çalışmanın çıkarımı olarak epifiz protezlerinin klasik protezlere göre avantajlı olduğu görülmektedir. Tasarım değerlendirmesine göre dayanak noktasında kesit alanının genişletilmesi ve sap ile gövde bağlantılarında yumuşak geçişler ile epifiz protezinin tasarımının iyileştirilmesi gerçekleştirilebilir. Bu iyileştirmeler ile epifiz protezlerinin klasik kalça protezlerinin yerini alma potansiyeli ortaya çıkarılmış olur.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

İbrahim MUTLU: Sonuçların analizi ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir. / Analysed the results and wrote the manuscript

Ayberk DİZDAR: Analizlerin gerçekleştirilmesi ve sonuçların analizini yapmıştır. / Performed the analysis and analysed the results

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur. / There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Pruitt Lisa A., Ayyana M. Chakravartula. "Mechanics of biomaterials: fundamental principles for implant design." *MRS Bulletin*, 37(7): 698, (2012).
- [2] Scott R.D., Turner R.H.. " Avoiding complications with long-stem total hip-replacement arthroplasty." *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 57(5): 722, (1975):
- [3] Ong K. L., Kurtz S. M., Manley M. T. Rushton, N., Mohammed N. A., Field, R. E " Biomechanics of the Birmingham hip resurfacing arthroplasty." *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, 88 (8): 1110-1115, (2006).
- [4] Field R. E., and Rushton N. " Proximal femoral surface strain gauge analysis of a new epiphyseal prosthesis. " *Journal of biomedical engineering*, 11(2): 123-129, (2019).
- [5] Amstutz H. C Grigoris P , Dorey FJ. " Evolution and future of surface replacement of the hip. " *Orthop Sci*, 3(3): 169-186, (1998).
- [6] M. O'Neill and P. E. Beaulé, "Metal-on-Metal Hip Resurfacing Arthroplasty", *Surgical Treatment of Hip Arthritis*, **W.B. Saunders**, Philadelphia, (2009)
- [7] Martelli S., Taddei F., Cristofolini L., Schileo E., Rushton N., and Viceconti M. " A new hip epiphyseal prosthesis: Design revision driven by a validated numerical procedure." *Medical Engineering & Physics Bulletin*, 33(10): 1203-1211, (2011).
- [8] Cristofolini L., Juszczak, M. Taddei, F. Field, R. E. Rushton, N., and Viceconti, M " Stress shielding and stress concentration of contemporary epiphyseal hip prostheses." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medic*, 223(1): 27-44, (2009).
- [9] Cristofolini, L. Juszczak, M. Taddei, F. Field, R. E. Rushton N., and Viceconti M. "Assessment of femoral neck fracture risk for a novel proximal epiphyseal hip prosthesis", *Clinical Biomechanics*, 26(6): 585-591, (2011).
- [10] Taddei, F. Martelli, S. Gill, H. S. Cristofolini, L., and Viceconti, M "Finite Element Modeling of Resurfacing Hip Prosthesis: Estimation of Accuracy Through Experimental Validation", *Journal of Biomechanical Engineering*, 13(2) (2012).
- [11] Martelli, S. Taddei, F. Schileo, E. Cristofolini, L., Rushton N., and Viceconti M "Biomechanical robustness of a new proximal epiphyseal hip replacement to patient variability and surgical uncertainties: A FE study", *MRS Bull*, 34(2): 161-171, (2012).
- [12] Martelli S., Taddei F., Cristofolini L., Gill H. S., and Viceconti M "Extensive Risk Analysis of Mechanical Failure for an Epiphyseal Hip Prosthesis: A Combined Numerical-Experimental Approach", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, 225(2): 126-140, (2010).
- [13] Çelik T., Mutlu İ., Özkan A., and Kişioğlu Y "The effect of cement on hip stem fixation: a biomechanical study", *Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine*, 40(2): 698, (2017).
- [14] Rh, J. Y. Hobatho, M. C., and Ashman, R. B." Relations of mechanical properties to density and CT numbers in human bone.", *Medical engineering & physics*, 37(7): 698-698, (1995)
- [15] www.jnjmedicaldevices.com, "corail-pinnacle", (2021).
- [16] Taddei F, N. Schileo E Helgason B, Cristofolini L, Viceconti, M. "The material mapping strategy influences the accuracy of CT-based finite element models of bones: an evaluation against experimental measurements.", *Med Eng Phys*, 29(9): 973-979 , (2007).

- [17] Ramaniraka N. A. Rakotomanana, L. R. Leyvraz P. F. "The fixation of the cemented femoral component. Effects of stem stiffness, cement thickness and roughness of the cement-bone surface", *J Bone Joint Surg Br*, 82(2): 297-303, (2000).
- [18] Norman T. L., Shultz T., Noble, G. Gruen, T. A. and Blaha, J. D. "Bone creep and short and long term subsidence after cemented stem total hip arthroplasty (THA)", *Journal of Biomechanics*, 46(5): 946-955, (2012).
- [19] Bergmann G, Deuretzbacher G, Heller M, Graichen F, Rohlmann A, Strauss J, Duda " Hip contact forces and gait patterns from routine activities", *J. Biomech*, 34: 859–871, (2001).
- [20] Duda GN, Schneider E, Chao E.Y.S. "Internal forces and moments in the femur during walking", *J. Biomech*, 30: 933–941, (1997).
- [21] Steffen R. T., Smith S. R., Urban J. P., McLardySmith, P., Beard D. J., Gill H. S., and Murray, D. W "The effect of hip resurfacing on oxygen concentration in the femoral head", *J. Bone Jt Surg. Br*, 87(11): 1468–1474, (2005).
- [22] McMinn D., Daniel J. "History and modern concepts in surface replacement", *Proc Instn Mech Engrs H J Eng Medicine*, 220(2): 239-251, (2006).
- [23] Schnurr C., Nessler J., Meyer, C. Schild, H.H. Koebke, J. Konig, D.P. "Is a valgus position of the femoral component in hip resurfacing protective against spontaneous fracture of the femoral neck?: a biomechanical study", *J Bone Joint Surg Br*, 91: 545–551, (2009).
- [24] Davis E.T., Olsen, M. Zdero, R. Waddell, J.P. Schemitsch, E.H. "Predictors of femoral neck fracture following hip resurfacing: a cadaveric study", *IMEchE Conference: Engineers & Surgeons: Joined at the Hip*, "MRS Bulletin, London, 241–243, (2007).
- [25] Bugbee WD, Culpepper WJ 2nd, Engh CA Jr, Engh CA Sr. "Long-term clinical consequences of stress-shielding after total hip arthroplasty without cement", *J Bone Joint Surg Am*, 79(7): 1007-1012, (1997).
- [26] Hu C.Y., Yoon, T.R "Recent updates for biomaterials used in total hip arthroplastyRecent updates for biomaterials used in total hip arthroplasty", *Biomater Res*, 22(1): 33, (2018).
- [27] Pérez-Moro, Olga S.Fernández-Cuadros, Marcos E.Neira-Borrajo, InmaculadaAranda-Izquierdo, EduvigisAlbaladejo-Florin, María J.Llopis-Miró, Rafael "Short and mid-term outcomes and functional results in metal-on-metal hip resurfacing arthroplasty at 5 years follow-up: the Spanish experience", *BMC Musculoskelet Disord*, 20: 20, s. 20, (2019).
- [28] Ford M.C, Hellman M., Kazarian G.S., Clohisy J.C., Nunley R.M., Barrack R.L. "Five to Ten-Year Results of the Birmingham Hip Resurfacing Implant in the U.S.: A Single Institution's Experience", *J Bone Joint Surg Am*, 100(21): 1879-1887, (2018).
- [29] Uemura K., Takao M., Hamada H., Sakai T., Ohzono K, Sugano N. "Long-term results of Birmingham hip resurfacing arthroplasty in Asian patients", *J Artif Organs*, 21(1): 117-123, (2018).
- [30] Çelik, T., Kişioğlu, Y. "Evaluation of new hip prosthesis design with finite element analysis", *Australasian physical & engineering sciences in medicine*, 42(4), 1033-1038. (2019).
- [31] A. Z. Senalp, O. Kayabasi, ve H. Kurtaran, "Static, dynamic and fatigue behavior of newly designed stem shapes for hip prosthesis using finite element analysis," *Mater. Des.*, 28(5), 1577–1583, (2007).
- [32] Bahraminasab, M., & Jahan, A. "Material selection for femoral component of total knee replacement using comprehensive VIKOR" *Materials & Design*, 32(8-9), 4471-4477, (2011).