




Comparison of biomechanical properties of implant systems used in treatment of proximal femur fractures

Mehmet Fatih Aycan 

Department of Mechanical Engineering, Gazi University, Ankara, 06570, Turkey

Highlights:

- Biomechanical comparison of various implant systems
- Comparison of intramedullary and extramedullary systems
- Determining of optimum implant system for intertrochanteric fractures

Keywords:

- Proximal femur fracture
- Intramedullary screw systems
- Compression test
- Biomechanical properties

Graphical/Tabular Abstract

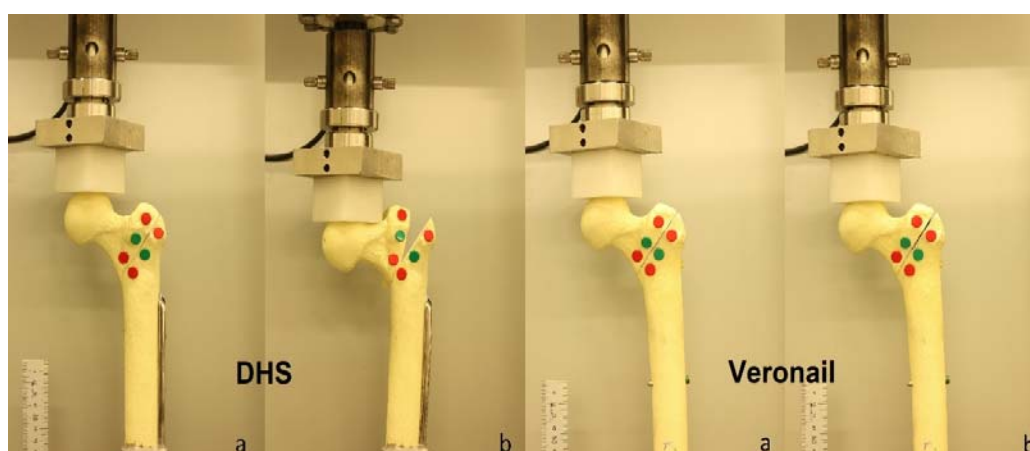


Figure A. The DHS and Veronail implant systems; before (a) and after (b) compression test

Article Info:

Research Article
Received: 27.02.2018
Accepted: 21.03.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.416539

Acknowledgement:

TOBB University of
Economics and Technology

Correspondence:

Author: Mehmet Fatih
Aycan
e-mail:
mfaycan@gazi.edu.tr
phone: 0312 223 75 70

Purpose: To compare the biomechanical performance of implant systems (DHS, PFNA, Talon and Veronail) used for treatment of intertrochanteric femur fractures under compression loading.

Theory and Methods:

The intertrochanteric fractures which prepared over fourth generation synthetic femur models were fixed with implant systems of DHS, PFNA, Talon and Veronail. The models were positioned normally as in vivo by using polyurethane foam dying process. Test samples were subjected to the compression loading with crosshead speed controlled. The loads and displacements corresponding to the loads were recorded during the test and the graphs of displacements versus loads were obtained after test completed. In order to determine that whether the displacement values were statistically significant or not, Student T tests were performed. The physical changing in test samples were observed simultaneously by taking snapshot photo during the test.

Results:

Whereas the DHS which is one of the extramedullary screw systems in this study had the lowest load, it had the highest displacement values. The Talon implant system had the highest biomechanical properties, the PFNA and Veronail systems followed this system. The displacement values of one lag screwed PFNA and two lags screwed Veronail are statistically insignificant and the changing in fracture lines verified this phenomenon.

Conclusion:

It is concluded that the Talon and PFNA implant systems would be used in treatment of intertrochanteric fractures successfully due to their higher biomechanical properties and clinical findings.



Proksimal femur kırıklarının tedavisinde kullanılan implant sistemlerinin biyomekanik özelliklerinin karşılaştırması

Mehmet Fatih Aycan*^{ID}

Gazi Üniversitesi, Rektörlük, Ankara, 06500, Türkiye

ÖNEÇIKANLAR

- Farklı implant sistemlerin biyomekanik karşılaştırması
- Intramedüller ve ekstramedüller sistemlerin karşılaştırması
- İntertrokanterik kırıklar için ideal implant sistemin belirlenmesi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 27.02.2018

Kabul: 21.03.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.416539

Anahtar Kelimeler:

Proksimal femur kırıkları,
intramedüller vida sistemleri,
basma deneyi,
biyomekanik özellikler

ÖZET

Bu çalışmada proksimal femur kırıklarının tedavisinde kullanılan farklı implant sistemlerinin biyomekanik özelliklerinin karşılaştırılmıştır. Dördüncü nesil sentetik femur modellerde oluşturulan intertrokanterik kırıklar DHS, PFNA, Talon ve Veronail implant sistemleri ile sabitlenmiştir. Poliüretan köpük kullanılarak gerçekleştirilen döküm işlemi ile modellerin vücut içerisinde olduğu gibi normal pozisyonunda durması sağlanmıştır. Deney cihazına bağlanan numuneler hız kontrollü olarak basma yüküne maruz bırakılmıştır. Deney süresince uygulanan yük ve bu yüke karşılık gelen yer değiştirme miktarları kaydedilmiş ve deney sonunda yük yer değiştirme eğrileri elde edilmiştir. Yer değiştirme değerlerinin birbirine göre istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığının belirlenmesi için Student T analizleri gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda deney süresince gerçekleştirilen ardıl foto çekimleri ile numunelerdeki fiziksel değişim anlık olarak takip edilmiştir. Deney sonunda tek ekstramedüller vida sistemi olan DHS sistemi en düşük yük değerine rağmen en yüksek yer değiştirme miktarı ile en başarısız implant sistemi olarak belirlenmiştir. Talon implant sisteminin en iyi biyomekanik özelliklere sahip olduğu görülürken, bu sistemi PFNA ve Veronail sistemlerinin izlediği tespit edilmiştir. Tek lag vidalı PFNA ve iki lag vidalı Veronail implant sistemlerinin sahip olduğu yer değiştirme dağılımlarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı belirlenirken, ilgili sistemler ile sabitlenen kırıklardaki açılma değişiminin bu durumu destekler nitelikte olduğu görülmüştür. Göstermiş oldukları biyomekanik performans ve diğer klinik bulgular ile Talon ve PFNA implant sistemlerinin intertrokanterik kırıkların tedavisinde başarıyla kullanılabileceği ortaya konmuştur.

Comparison of biomechanical properties of implant systems used in treatment of proximal femur fractures

HIGHLIGHTS

- Biomechanical comparison of various implant systems
- Comparison of intramedullary and extramedullary systems
- Determining of optimum implant system for intertrochanteric fractures

Article Info

Research Article

Received: 27.02.2018

Accepted: 21.03.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.416539

Keywords:

Proximal femur fracture,
intramedullary screw
systems,
compression test,
biomechanical properties

ABSTRACT

Various implant systems used in treatment of proximal femur fractures were investigated comparatively in this study. The intertrochanteric fractures prepared over fourth generation synthetic femur models were fixed with DHS, PFNA, Talon and Veronail implant systems. The models were positioned normally as in vivo by using polyurethane foam dying process. Test samples were subjected to the compression loading with crosshead speed controlled. The loads and displacements corresponding to the loads were recorded during the test and the graphs of displacements versus loads were obtained after test completed. In order to determine that whether the displacement values were statistically significant or not, Student T tests were performed. The physical changing in test samples were observed simultaneously by taking snapshot photo during the test. Whereas the DHS which is one of the extramedullary screw system in this study had the lowest load, they had the highest displacement values also they were concluded as the unsuccessful implant system as compared with others. The Talon implant system had the highest biomechanical properties, PFNA and Veronail systems followed this system. The displacement values of one lag screwed PFNA and two lags screwed Veronail are statistically insignificant and the changing in fracture lines verified this phenomenon. It is concluded that the Talon and PFNA implant systems would be used in treatment of intertrochanteric fractures successfully due to their higher biomechanical properties and clinical findings.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: mfaycan@gazi.edu.tr / Tel: +90 312 223 7570

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İntrakapsüler, trokanterik ve subtrokanterik olarak sınıflandırılan proksimal femur kırıkları içerisinde en fazla karşılaşılan türün trokanterik kırık vakaları olduğu bilinmektedir [1, 2]. Trokanterik bölgede özellikle yüksek enerjili travmalara bağlı olarak görülen kırıklar intertrokanterik kırıklar olarak adlandırılmaktadır. İntertrokanterik kırıklar doğrudan veya dolaylı kuvvet etkisi ile oluşabilmektedir. Doğrudan kuvvetler, düşme veya darbe sonucu femur aksı boyunca veya büyük trokanter üzerine doğrudan etki yaparak kırığa neden olurken, dolaylı kuvvetler ise iliopsoas kasının küçük trokanter veya abduktör kasların büyük trokanter üzerine uyguladıkları ani çekme kuvvetlerinin meydana gelmesi ile kırık oluşmasına neden olmaktadır [2, 3]. Trokanterik kırıkların nondeplase veya basit deplase iki parçalı kırık olabileceği gibi çok parçalı instabil kırık paterni de gösterebileceği belirlenmiştir [1]. Kırık tipleri, farklı sınıflandırma teknikleri ile standart hale getirilmeye çalışılmıştır. Kırıkların sınıflandırılmasında Boyd ve Griffin, Evans, Evans-Jensen ve AO/ASIF sınıflamaları yaygın olarak kullanılmaktadır [4]. Söz konusu kırıkların tedavisinde konservatif ve cerrahi yöntemler kullanılmasına rağmen, konservatif yöntemler ile istenen düzeyde başarı elde edilmesi mümkün olmadığından veya çok uzun tedavi sürelerine ihtiyaç duyulduğundan dolayı cerrahi yöntemler daha fazla tercih edilmektedir [5, 6]. İntertrokanterik kırıkların cerrahi tedavisinde birçok farklı uygulama kullanılırken, elde edilen başarı düzeyinin kullanılan implant türüne ve uygulama biçimine göre farklılık gösterdiği belirlenmiştir. DHS (Dinamik kalça vidası) olarak bilinen implant sisteminin, trokanterik kırıkların tedavisinde yaygın olarak kullanılan implant sistemlerinin başında geldiği, instabil intertrokanterik femur kırıklarının tedavisinde istenen başarıyı gösteremediği tespit edilmiştir [7]. Özellikle instabil trokanterik kırıkların tedavisinde intramedüller vida sistemlerinin göstermiş oldukları performansa bağlı olarak kullanımları yaygınlaşmaktadır [8]. En fazla kullanılan intramedüller sistemler arasında Proksimal femoral çivi (PFN), Proksimal femoral çivi antirotasyon (PFNA), Gamma, Talon ve Veronail implant sistemleri yer almaktadır [9-11]. Söz konusu implant sistemlerinin temelde aynı çalışma prensibine sahip olmasına rağmen sahip oldukları özellikler birbirlerine karşı üstün veya zayıf yönlerin oluşmasına neden olmuştur. Bütün implant sistemlerinde amaç implant ve kemik doku arasında iyi bir ara yüzey oluşturarak stabilitenin sağlanması ve beraberinde korunması olarak belirlenmiştir [11]. Kullanılan implant sistemlerinin gerekli stabiliteyi sağlamalarının yanında femur başı vasıtasıyla iletilen iç kuvvetlere karşı yeterli dayanıma sahip olmaları cerrahi müdahalenin ileri dönemdeki başarısında önemli rol oynamaktadır. Bu sebeple kullanılması öngörülen implant sistemlerin statik ve dinamik olarak gerçekleştirilen biyomekanik deneyler dayanımlarının belirlenmesi oldukça önemlidir. İmplant sistemlerinin malzeme dayanımlarının

yanında sabitleme sonrası genel başarımlarının bilinmesi uygulama tercihlerinde etkili olmaktadır. Statik ve çevrimsel yükleme koşulları altında gerçekleştirilen basma deneyleri ile implant sisteminin sabitleme sonrasında femur ile bir bütün olarak göstereceği dayanım davranışları belirlenebilmektedir. Bu çalışmanın amacı; DHS, PFNA, Talon ve Veronail implant sistemlerinin uygulanacak basma yüküne karşı gösterecekleri performansın belirlenmesi ve dört farklı sistemin belirlenen intertrokanterik hat üzerindeki kırığın uygulanan yükleme ile göstermiş olduğu fiziksel değişim gözlemlenerek ideal bir implant sisteminin belirlenmesidir.

2. DENEYSEL METOT (EXPERIMENTAL METHOD)

2.1. Deneysel Numunelerinin Hazırlanması (Preparation of Test Samples)

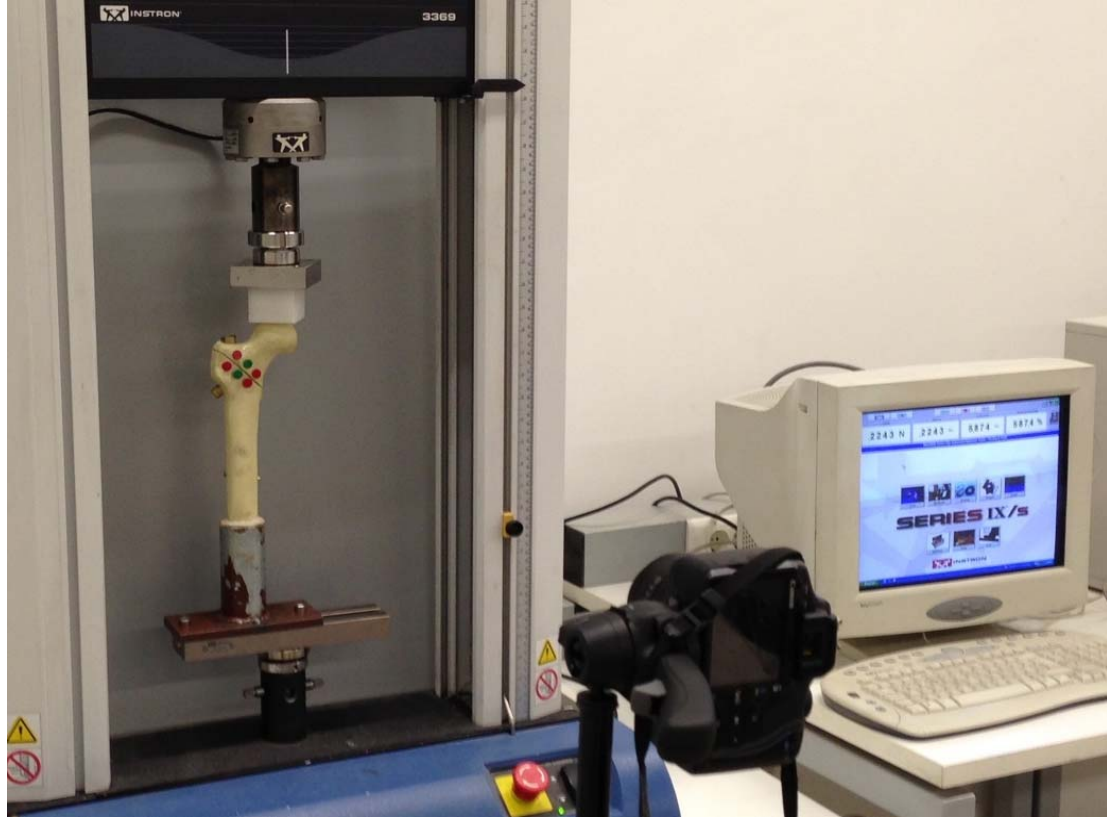
Dördüncü nesil sentetik femur modellerinin kullanıldığı çalışmada DHS, PFNA, Talon ve Veronail olmak üzere dört farklı implant sistemi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çalışmada kullanılan implant sistemlerine ait özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Diğer implant sistemlerinden farklı olarak, lag vidası ve plaktan oluşan ve femurun proksimalinde kemiğin dış kısmından uygulanan DHS implant sistemi ekstramedüller vida sistemi olarak adlandırılırken, sabitlemeleri çivi kısmı femur içerisinde kalacak şekilde gerçekleştirilen PFNA, Talon ve Veronail implant sistemleri ise intramedüller sistemler olarak adlandırılmaktadır. Genel uygulama biçimleri birbirleri ile oldukça benzer olan implant sistemleri, birbirlerine alternatif olarak geliştirilmiştir. Kullanılan implant sistemlerin anlamlı bir karşılaştırma işlemine tabi tutulabilmeleri amacıyla geometrik olarak birbirlerine yakın boyutlarda ve aynı malzeme türlerinde tercih edilmesine özen gösterilmiştir. Sağlıklı kemik dokuyu modelleyecek biçimde seçilen sentetik femur numuneleri belirlenen intertrokanterik hat boyunca iki parçaya ayrılarak sabitleme için hazır hale getirilmiştir. İmplant sistemlerinin deney numunelerine sabitlenmeleri alanında uzman ortopedi cerrahi nezaretinde gerçekleştirilmiştir. Sabitleme işlemlerinden sonra numuneler, distal bölgeleri poliüretan köpük içinde kalacak şekilde vücut içerisinde olduğu gibi durması sağlanmış ve bu şekilde deneye tabi tutulmuştur.

2.2. Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi (Determining of Mechanical Properties)

Sabitleme işlemlerinin gerçekleştirilmesinden sonra deney numuneleri basma deneylerine tabi tutulmuştur. Deneyler, genel görünümü Şekil 1'de verilen Instron 3369 deney cihazı kullanılarak 5 mm/min basma hızında hız kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Yükleme durumu yük değerindeki ani yük düşüşüne kadar devam etmiş, söz konusu yük düşüşü ile birlikte deney sonlandırılmıştır. Bu süreç içerisinde numunelere ait yük – yer değiştirme eğrileri elde edilmiştir. Basma deneyleri her implant sistemi için beşer defa tekrar edilmiş, elde edilen eğrilerden

Tablo 1. İmplant sistemlerinin genel özellikleri (General properties of implant systems)

Açıklama	DHS	PFNA	Talon	Veronail
Lag vidası çapı (mm)	12,7	11	11	8
Lag vidası uzunluğu (mm)	90	90	90	90
Çivi çapı veya plak genişliği (mm)	19	Proksimal: 16,5 Distal: 10	Proksimal: 15,5 Distal: 11	Proksimal: 15 Distal: 10
Çivi veya plak uzunluğu (mm)	110	200	220	200
Vida ile çivi arasındaki açı (°)	130	125	125	128
Notlar	6 delikli			Birbirine paralel iki lag vidası

**Şekil 1.** Deney düzeneği (Test setup)

ortalama en yüksek yük değeri ve bu değere karşılık gelen ortalama yer değiştirme miktarı belirlenmiştir. Her bir yük ve yer değiştirme değeri için standart sapma değeri hesaplanırken, ayrıca implant setlerinin sahip olduğu yer değiştirme dağılımlarının birbirlerine göre istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek için Student T analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonunda elde edilen p değerleri 0,05'ten daha küçük olduğunda dağılımlar birbirine göre anlamlı aksi halde anlamsız olarak kabul edilmiştir. Bunun yanında deney süresince numunelerdeki fiziksel değişimin anlık olarak gözlemlenebilmesi amacıyla ardıl foto çekimi gerçekleştirilmiş ve deneyin başında ve sonunda elde edilen fotoğraflar Autocad yazılımı kullanılarak karşılaştırılmıştır. Deney öncesinde ve sonrasında intertrokanterik hat boyunca karşılıklı yerleştirilen düğmelerin merkezlerinden

geçirilen doğruların birbirlerine göre konumu kullanılarak numunelerdeki kırık açıklıkları açısal olarak belirlenmiştir.

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

Gerçekleştirilen basma deneyi sonunda numunelerin yük – yer değiştirme eğrileri elde edilmiş ve bu eğriler kullanılarak en yüksek yük ve bu yüke karşılık gelen yer değiştirme değerleri belirlenmiştir. İmplant sistemlerine ait ortalama en yüksek yük ve yer değiştirme değerleri Tablo 2'de verilmiştir. DHS implant sisteminin en düşük performansa sahip olduğu tespit edilirken, Talon implant sisteminin en başarılı olduğu ve bu sistemi PFNA ve Veronail sistemlerinin izlediği belirlenmiştir. İmplant sistemlerin sahip olduğu yer değiştirme miktarlarının

birbirlerine göre istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen Student T analizleri sonunda elde edilen p değerleri Tablo 3'te verilmiştir. İmplant sistemlerinin yer değiştirme dağılımları arasında PFNA ve Veronail sistemleri arasındaki dağılımların anlamsız olduğu belirlenirken, diğer dağılımların birbirleri ile anlamlı dağılımlara sahip oldukları belirlenmiştir. Basma deneyi boyunca gerçekleştirilen ardıl foto çekimleri ile numunelerde görülen fiziksel değişimler belirlenmiş ve bu değişimler ekstramedüller (DHS) ve intramedüller (Veronail) vida sistemleri için sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3'te verilmiştir. İlgili şekillerde verilen numunelere ait ilk ve son görüntüler, kırık açıklığının belirlenmesinde kullanılmıştır. Numunelerdeki kırık açıklıklarının açılma ifadesi Tablo 4'te verilmiştir. Bu çalışmada femura sabitlenmiş implant sistemlerinin basma yükü altındaki

mekanik ve fiziksel davranışları deneysel ve görsel olarak ortaya konulmuştur.

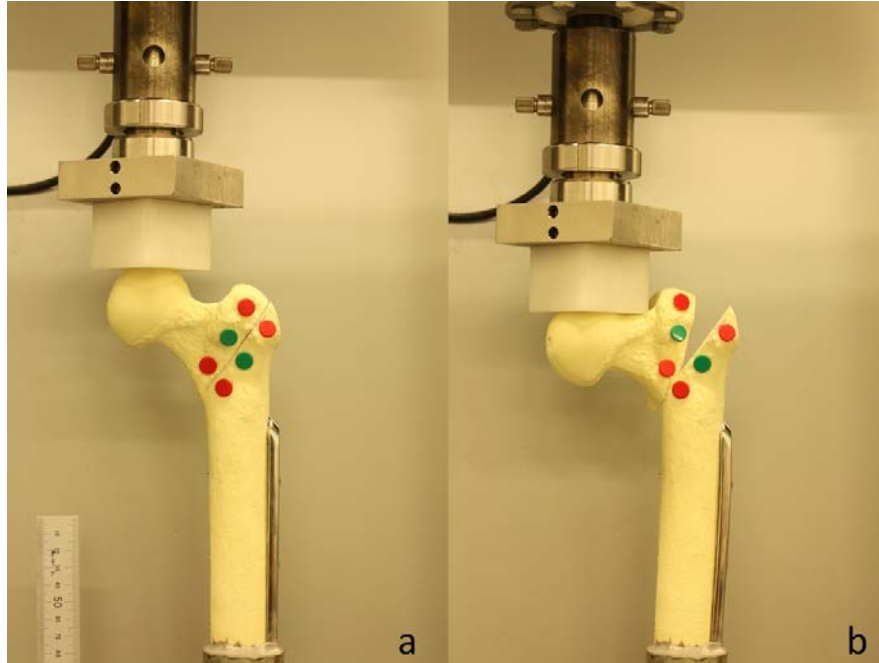
Çalışmada intertrokanterik femur kırıklarının tedavisinde kullanılan farklı implant sistemlerinin aksel olarak uygulanan basma yükü altındaki performansları incelenmiştir. Ayakta duran 70 kg ağırlığındaki bir insanın kalçasına gelen yükün yaklaşık 1400 N olduğu dikkate alınmış ve implant sistemleri ile sabitlenen deney numuneleri bu değerden daha yüksek bir yükleme seviyesine kadar basma yüküne maruz bırakılmıştır [12]. Aynı koşullarda deneye tabi tutulan implant sistemlerine ani yük değişimi görülene kadar yükleme yapılmış ve bu süreç içerisinde numunedeki yer değiştirme miktarı ve fiziksel değişim belirlenmiştir. 1,84 kN basma yükü altında 17,81 mm yer değiştirme miktarı ile DHS'nin diğer implant

Tablo 2. İmplant sistemlerine ait yük ve yer değiştirme değerleri (Load and displacement values of implant systems)

	DHS		PFNA		Talon		Veronail	
	Yük (kN)	Yer değiştirme (mm)	Yük (kN)	Yer değiştirme (mm)	Yük (kN)	Yer değiştirme (mm)	Yük (kN)	Yer değiştirme (mm)
Ortalama	1,84	17,81	2,34	12,24	2,31	6,51	2,26	14,02
Standart sapma	0,09	1,47	0,04	1,40	0,16	0,53	0,07	1,06

Tablo 3. İmplant sistemlerine ait p değerleri (p values of implant systems)

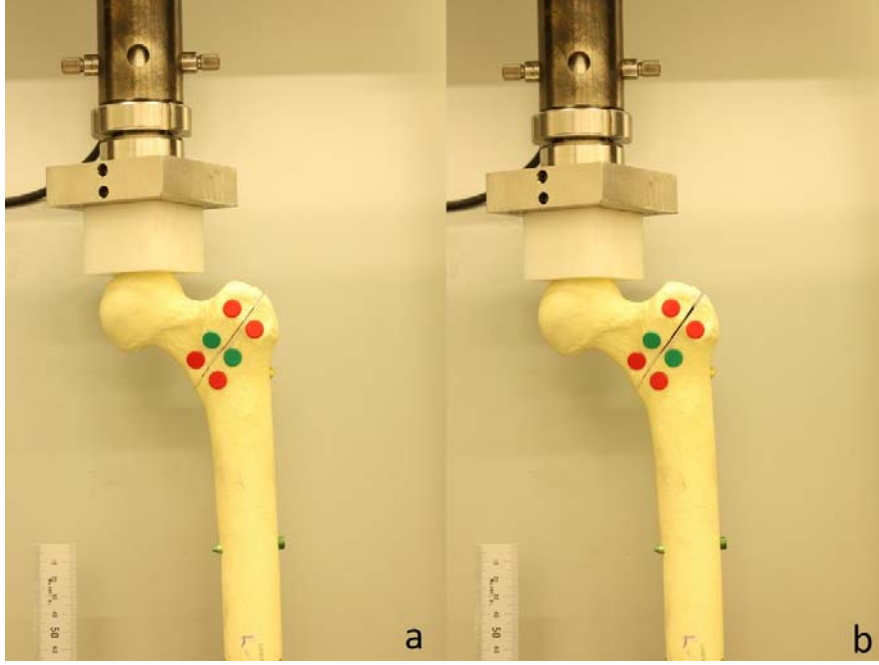
	PFNA	Talon	Veronail
DHS	0,003	0,002	0,021
PFNA		0,001	0,122
Talon			0,002



Şekil 2. Ekstramedüller (DHS) vida sistemli femur modeli; deneyden önce a) ve sonra b) (Femur model with extramedullar (DHS) implant system; before (a) and after (b) the test)

Tablo 4. İmplant sistemlerinde görülen fiziksel değişimin açısal ifadesi
(Angular expression of physical change in implant systems)

	DHS	PFNA	Talon	Veronail
Başlangıç	3	3	1	1
Deney sonrası	26	5	5	3

**Şekil 3.** İntramedüller (Veronail) vida sistemli femur modeli; deneyden önce a) ve sonra b)
(Femur model with intramedullar (Veronail) implant system; before (a) and after (b) the test)

sistemlerine göre oldukça düşük performans gösterdiği ortaya konulmuştur. Freitas vd. [12] 135°'lik açı ve 90 mm lag vida uzunluğuna sahip DHS implant sisteminin biyomekanik özelliklerini inceledikleri çalışmalarında deney numunelerini yer değiştirme kontrollü olarak deneye tabi tutmuş ve numunelerdeki fiziksel değişimi gözlemlemiştir. 5 mm yer değiştirme miktarında implant sisteminin ortalama 1336 ± 132 N yüke maruz kaldığı, yer değiştirme miktarı 10 mm'ye çıkarıldığında ise bu değer 1742 ± 265 N'a ulaştığı görülmektedir. Bu çalışmada kullanılan benzer özelliklerdeki DHS implant sisteminin yaklaşık aynı basma yükünde yaklaşık %43 daha fazla yer değiştirme miktarına sahip olduğu tespit edilmiştir. Numunelerdeki kırık hatlarının birebir aynı olmaması ve deney yöntemlerinin farklı olması yer değiştirme miktarlarında farklılığa neden olmuştur. İntertrokanterik kırıklarının tedavisi için kullanılan PFN, DHS, EF (eksternal fiksator) ve CS (kanüle vida) implant sistemlerinin sentetik femur modellerindeki biyomekanik davranışlarının belirlenmesi amacıyla çevrimsel basma deneyine tabi tutulmuş ve 10.000 çevrim veya ani yük değişimi sonundaki yük ve yer değiştirme miktarları belirlenmiştir. DHS implant sisteminin 2009 ± 278.4 N yük değerinde 15.5 ± 6.7 mm yer değiştirme miktarı ile PFN ve EF sistemlerine göre daha başarısız olduğu belirlenirken elde edilen sonuçlar arasında anlamlı farkların olmadığı ortaya konulmuştur [13].

En başarılı implant sisteminin 2,31 kN basma yükünde 6,51 mm yer değiştirme değeri ile Talon olduğu belirlenirken, bu implant sistemini 2,34 kN'da 12,24 mm yer değiştirme ile PFNA ve 2,26 kN yükleme koşulunda 14,02 mm yer değiştirme ile Veronail implant sistemlerinin izlediği belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen deneysel sonuçlar, intramedüller vida sistemlerinin dinamik sistemlere göre daha başarılı olduğunu ortaya koyarken geçmişte gerçekleştirilen klinik ve deneysel çalışmaları desteklemektedir. Femur içine yerleştirilen intramedüller vida sistemlerinin vida plak sistemlerine göre daha başarılı olmasında; vücut ağırlığına ve hareketine bağlı olarak oluşan yüklerin kemik doku vasıtasıyla aktarılması esnasında mekanik eksene yakın olmaları nedeniyle bu yüklerin önemli kısmının implant sistemleri ile taşınabilmesi önemli yer tutmaktadır [14]. Bunun yanında intramedüller sistemlerde lag vidasının plak sistemlere kıyasla daha kısa olmasına bağlı olarak, intramedüller vida sistemleri daha düşük kuvvet ve bu kuvvetlere bağlı olarak daha düşük gerilme değerlerine sahiptir. Lag vidasındaki düşük gerilme değerleri ise kırılma veya sıyrılmaya gibi problemlerin daha az görülmesinde etkili olmaktadır. İntramedüller sistemlerin vida-plak sistemlere göre statik ve çevrimsel yüklemeler karşısında daha başarılı olduğu biyomekanik ve klinik araştırmalar neticesinde belirlenmiştir [15]. Deneye tabi tutulan intramedüller sistemlerin birbirlerine göre durumlarına bakıldığında diğer

implant sistemlerine göre lag vidası ve çivi üzerinde yer alan turnakların kemik doku içerisinde tutunmayı artırması ve beraberinde toplam ara yüzeyin artmasına bağlı olarak Talon sisteminin diğer iki türe göre daha iyi biyomekanik özelliklere sahip olduğu görülmektedir. Zehir vd. [16] yapmış olduğu klinik çalışmada trokanterik kırıklara sahip genel yaş ortalaması 78 olan toplamda 175 hastada Talon ve PFNA implant sistemlerinin performanslarını incelemiştir. Sıyırma ve vida kayması gibi başarısızlıkların daha az görüldüğü Talon implant sisteminin PFNA sistemine göre klinik olarak daha başarılı olduğu ortaya konulmuştur. Talon ve hareketli vida sistemlerinin burma ve basma deneyleri ile biyomekanik karşılaştırmasının yapıldığı bir başka çalışmada Talon sisteminin hareketli vida sistemine göre daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Hareketli vida sistemi basma yükü altında ortalama 713 N değerine ulaştığında başarısız olurken, Talon implant sisteminin ortalama 1400 N yüklemeye değerinde başarısız olduğu görülmektedir. Bunun yanında Talon implant sisteminin dönme kuvvetlerine karşı da daha iyi dayanım sergilediği tespit edilmiştir [17]. Li vd. [18] sentetik femur modellere sabitledikleri 200 mm çivi ve 90 mm lag vidası uzunluklarına sahip PFNA implant sistemlerinin çevrimsel basma yükü altındaki biyomekanik davranışını incelemiştir. Çalışmada 200 N'dan başlayarak 1800 N'a kadar farklı yüklemeye koşullarında numunelerde görülen yer değiştirme veya kırılma durumlarını gözlemlenmiştir. 900 N yüklemeye koşulunda 250.000 çevrim sonunda numunenin 9,96 mm eksenel yer değiştirme değerine sahip olduğu belirlenirken, yüklemeye değeri 1000 N'a çıkarıldığında numunenin yaklaşık 13.000 çevrim sonunda kırılmaya maruz kaldığı görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen sonuçların benzer özelliklerdeki femur modelleri ve yaklaşık aynı boyutlardaki implant sistemlerinin kullanıldığı Li vd. çalışmasında elde edilen sonuçlar ile benzerlik göstermesine rağmen çevrimsel yüklemenin etkisi ile daha düşük yüklemeye koşullarında numuneler oransal olarak daha fazla yer değiştirme değerlerine ulaşmıştır. İnstabil intertrokanterik femur kırıklarına sahip 90 hasta ile gerçekleştirilen klinik çalışmada DHS, Proksimal femoral kilitli kompresyon plağı (PFLCP) ve PFNA implant sistemlerinin performansları incelenmiş ve DHS sisteminin en kötü başarıya sahip olduğu görülürken, PFNA sisteminin diğer sistemlere göre belirgin biçimde başarılı olduğu tespit edilmiştir [19]. İntertrokanterik kırıkların tedavisinde geniş uygulama alanı bulan DHS implant sisteminin özellikle instabil kırıklarda intramedüller vida sistemleri kadar başarılı olmadığı ortaya konulmuştur [7]. DHS ve PFNA implant sistemlerinin 60 vaka üzerinde bir yıllık izleme ile gerçekleştirilen klinik karşılaştırması neticesinde PFNA implant sisteminin DHS sistemine göre daha az sıyırma ve implant hareketi görüldüğünden daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir [20]. Diğer iki implant sisteminden farklı olarak iki lag vidası ile sabitleme işleminin gerçekleştirildiği Veronail sistemi, sahip olduğu dayanım değerleri ile intramedüller sistemler içerisinde diğerlerinin gerisinde kalmıştır. Ancak elde edilen yüklemeye koşullarında implant sistemlerinin göstermiş olduğu yer değiştirme dağılımlarının birbirlerine

göre istatistiksel olarak anlamlı olup olmadıkları incelendiğinde tek lag vidalı PFNA ile iki lag vidalı Veronail implant sistemlerine ait dağılımların anlamsız olduğu belirlenmiştir. PFNA ve Veronail implant sistemlerinin yer değiştirme değerleri arasında anlamlı farkların olmaması; iki lag vidalı sistemlerin çevrimsel basma yükü altında tek lag vidalı sistemlere göre mekanik olarak daha başarılı olmasıyla açıklanabilir [21]. Tek vidalı sistemlere göre daha iyi mekanik davranış göstermesine ve dönme, sıyırma gibi problemlerinin giderilmesinde daha başarılı olmalarına rağmen, çift lag vidalı sistemlerin cerrahi uygulamalarda yaygın kullanılmamalarında femur başının yeteri kadar büyük olmamasından dolayı kısmen sabitleme problemleri ile karşılaşılma olasılığı etkili olmaktadır. Femur modelleri basma yüküne maruz bırakılmış olmasına rağmen gerçekleştirilen foto çekimleri neticesinde fiziksel deformasyonun sadece eksenel kısalma şeklinde değil aynı zamanda burkulma şeklinde de olduğu görülmüştür. Bu sebeple intertrokanterik hat boyunca daha önce oluşturulan kırığın basma yükü ile gösterdiği değişim açısal olarak belirlenmiştir. Kırıktaki değişim incelendiğinde elde edilen yer değiştirme değerleri ile büyük ölçüde paralellik gösterdiği ortaya konulmuştur. En yüksek yer değiştirme değerinin görüldüğü DHS implant sisteminde başlangıçta 3° olan kırık açıklığının deney sonunda 26°'ye ulaştığı belirlenmiştir. Kırık hattının önemli ölçüde yer değiştirdiği DHS ile sabitlenmiş numunelerde lag vidasının sabitleme ekseninden belirgin biçimde uzaklaştığı ve sıyırma problemlerinin oluştuğu görülmüştür. Femur başından uygulanan basma yükünün lag vidası üzerinde eğme momenti oluşturmasına bağlı olarak, lag vidası trabeküler kemik içerisinde hareket etmeye başlamış ve beraberinde kararlılığını kaybederek sıyırılmaya maruz kalmıştır. Yüklemenin durumu ve büyüklüğüne bağlı olarak lag vidasının femur dışına çıkması veya femur içinde serbest hareket eder hale gelmesi vida plak sistemlerinde gözlemlenen önemli problemlerdir [21]. Birbirlerine yakın yer değiştirme değerlerine sahip PFNA ve Veronail implant sistemlerinin başlangıç ve deney sonrası açısal değerleri farklı olmasına rağmen değişim miktarının her iki sistem için aynı olduğu görülmektedir. Student T testi sonucu elde edilen yer değiştirme değerlerinin istatistiksel olarak anlamlı olmama durumu, kırık hattının açısal değişimi ile de örtüşmektedir. Diğer implant sistemlerine göre belirgin biçimde daha az yer değiştirme miktarına sahip olan Talon sisteminin PFNA ve Veronail sistemlerine göre daha fazla açısal değişime sahip olmasına rağmen değerler arasında önemli farkların olmadığı görülmektedir. İntamedüller sistemlerin tamamının basma yükü altında stabilitelemlerini büyük ölçüde korudukları belirlenmiştir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

İntamedüller vida sistemlerin ekstramedüller sistemlere göre daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. İntamedüller sistemler içerisinde Talon implant sisteminin PFNA ve Veronail sistemlerine göre daha başarılı olduğu ortaya konulmuştur. Tek ve iki lag vidalı intramedüller sistemlerin

büyük ölçüde benzer biyomekanik davranış sergilediği belirlenmiştir. Numunelerde basma yükü ile birlikte kırık hattında görülen açılma değişiminin, yer değiştirme miktarı ile benzerlik gösterdiği görülmüştür. Göstermiş oldukları biyomekanik performans ve diğer klinik bulgular ile Talon ve PFNA implant sistemlerinin intertrokanterik kırıkların tedavisinde başarıyla kullanılabilmesi ortaya konmuştur.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışmanın biyomekanik deneylerinin gerçekleştirilmesinde destek olan TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümüne teşekkür ederim.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Başal Ö., Alt Ekstremitte Kırıkları / Kalça ve Femur. *Journal of Clinical and Analytical Medicine (J Clin Anal Med)*, 258-280, 2015.
2. Aksu N., Işıklar Z., Kalça Kırıkları, TOTBİD (Türk Ortopedi ve Travmatoloji Birliği Derneği) Dergisi, 7 (1-2), 8-20, 2008.
3. Browner D., Jupiter J., Levine A., Trafton P., Intertrochanteric femur fracture. *Skeletal Trauma*, 2, 1883-1926, 1996.
4. Lavelle D., Fractures and dislocations of the Hip. Editörler: Canale S., Beaty, J., *Campbell's Operative Orthopaedics*, Philadelphia: Mosby Year Book, 3237-3285, 2008.
5. Ilgın M.B., İnstabil İntertrokanterik Femur Kırıklarının PFNA Çivisi ve Endoprotez ile Cerrahi Tedavisinin Karşılaştırılması. Zonguldak: Bülent Ecevit Üniversitesi Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı, 2015.
6. Balusamy R., Kolundan K., Anbu S., A comparative study of functional and radiological outcome of pertrochanteric fracture in elderly patients treated with dynamic hip screw and proximal femoral nail. *J. Evolution Med. Dent. Sci.*, 6 (5), 387-394, 2017.
7. Huang X., Yu B., Gu Y., Li Z., Biomechanical comparison of dynamic hip screw and Gamma nail for the treatment of unstable trochanteric fractures: a finite element study. *Int J Clin Exp Med*, 10 (5), 7867-7874, 2017.
8. Pundkar A., Modi N., Baitule R., Pundkar G., Evaluation of dynamic hip screw plate v/s proximal femoral nail for unstable inter-trochanteric fracture femur. *Journal of Research in Medical and Dental Science*, 4 (3), 283-287, 2016.
9. Schipper I., Marti R., Werken C., Unstable trochanteric femoral fractures: extramedullary or intramedullary fixation. *Review of literature. Injury*, 35 (2), 142-151, 2004.
10. Karakoyun O., Erol M.F., Küçükaya M., Demirok M., İntertrokanterik Femur Kırıklarının Tedavisi İçin Proksimal Femur Çivisinin Kullanımı (Veronail İle Tedavi). *Int J Basic Clin Med*, 1 (3), 165-170, 2014.
11. Sharma A., Mahajan A., John B., A Comparison of the Clinico-Radiological Outcomes with Proximal Femoral Nail (PFN) and Proximal Femoral Nail Antirotation (PFNA) in Fixation of Unstable Intertrochanteric Fractures. *J Clin Diagn Res.*, 11 (7), RC05-RC09, 2017.
12. Freitas A., Torres G.M., Souza A.C., Maciel R.A., Souto D.R., Ferreira G. N., Analysis on the mechanical resistance of fixation of femoral neck fractures in synthetic bone, using the dynamic hip system and an anti-rotation screw. *Rev Bras Ortop.*, 49 (6), 586-592, 2014.
13. İmren Y., Gürkan V., Bilsel K., Desteli E., Tuna M., Gürcan C., Tuncay İ., Sen C., Biomechanical Comparison of Dynamic Hip Screw, Proximal Femoral Nail, Cannulated Screw, and Monoaxial External Fixation in the Treatment of Basicervical Femoral Neck Fractures. *ACTA Chirurgiae Orthopaedicae Et Traumatologiae Čechosl* 82, 140-144, 2015.
14. Ozkan K., Türkmen İ., Sahin A., Yıldız Y., Ertürk S., Söylemez M. S., A biomechanical comparison of proximal femoral nails and locking proximal anatomic femoral plates in femoral fracture fixation. *Indian Journal of Orthopaedics*, 49 (3), 347-351, 2015.
15. Zou J., Xu Y., Yang H., A Comparison of Proximal Femoral Nail Antirotation and Dynamic Hip Screw Devices in Trochanteric Fractures. *The Journal of International Medical Research*, 37, 1057-1064, 2009.
16. Zehir S., Şahin E., Zehir R., Comparison of clinical outcomes with three different intramedullary nailing devices in the treatment of unstable trochanteric fractures. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg*, 21 (6), 469-476, 2015.
17. Bramlet D., Wheeler D., Biomechanical Evaluation of a New Type of Hip Compression Screw With Retractable Talons. *J Orthop Trauma*, 17 (9), 618-624, 2003.
18. Li S., Sun G.-X., Chang S.-M., Yang C.-S., Li Y., Niu W., Zhang L.Z., Zhang C., Simulated postoperative weight-bearing after xation of a severe osteoporotic intertrochanteric fracture. *Int J Clin Exp Med*, 10 (5), 8438-8448, 2017.
19. Huang S.-G., Chen B., Zhang Y., Nie F.-F., Ju L., Li M., Zhang Y.-H., Comparison of the Clinical Effectiveness of PFNA, PFLCP, and DHS in Treatment of Unstable Intertrochanteric Femoral Fracture. *American Journal of Therapeutics*, 0 (0), 1-8, 2015.
20. Zeng X., Zhang N., Zeng D., Zhang L., Xu P., Cao L., Yu W., Zhan K., Zhang X., Proximal femoral nail antirotation versus dynamic hip screw fixation for treatment of osteoporotic type 31-A1 intertrochanteric femoral fractures in elderly patients. *Journal of International Medical Research*, 45 (3), 1109-1123, 2017.
21. Kouvidis G., Sommers M., Giannoudis P., Katonis P., Bottlang M., Comparison of migration behavior between single and dual lag screw implants for intertrochanteric fracture fixation. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 4 (16), 1-9, 2009.