

# MENİSEKTOMİ UYGULANAN DİZLERDE BİYOMEKANİK DEĞİŞİMLER SONLU ELEMANLAR ANALİZ ÇALIŞMASI

Halil ATMACA

Midyat Devlet Hastanesi Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği/Mardin

## ÖZET

**Amaç:** Menisküslerin kısmi ya da total eksizyonu tibia eklem kıkırdağına aktarılan yüklerin artmasına ve erken dönem dejeneratif artrit gelişimine neden olur. Çalışmamızda medial menisektomi uygulamalarında, menisektominin yeri ve miktarına göre tibia kıkırdağına binen yüklenmelerde değişiklik olduğu hipotezini araştırdık.

**Yöntem:** İnsan üç boyutlu bilgisayarlı tomografi kesitlerini kullanarak elde ettiğimiz katı modeller üzerinde sonlu elemanlar analiz metodu ile normal diz ve çeşitli oranlarda ve lokalizasyonlarda uygulanan medial menisektomi sonrası tibia kıkırdağına oluşan yüklenmeler incelendi. Hacimsel olarak medial menisküste %25, %50, %75 ve %100 menisektomi planlandı. Referans model dahil onbir adet model oluşturuldu. Buna göre Model 0 (MD 0) herhangi menisektomi uygulanmayan referans modeldir. Model 1 (MD 1); longitudinal %25, Model 2 (MD 2) %50, Model 3 (MD 3) %75 menisektomi modeli, Model 4 (MD 4); posterior %25, Model 5 (MD 5) %50, Model 6 (MD 6) %75 menisektomi modeli, Model 7 (MD 7); anterior %25, Model 8 (MD 8) %50, Model 9 (MD 9) %75 menisektomi modeli iken Model 10 (MD 10) total menisektomi modelidir.

**Bulgular:** Maksimum yük miktarı referans model olan MD 0'da 0,860 MPa olarak ölçüldü. Modeller incelendiğinde; MD 1'de %84.6 artarak 1.588 MPa, MD 2'de 2.660 MPa (%209.3), MD 3'de 6.155 MPa (%615.6), MD 4'de 1.281 MPa (%48.9), MD 5'de 2.318 MPa (%169.5), MD 6'da 4.453 MPa (%417.7), MD 7'de 1.725 MPa (%100.5), MD 8'de 2.192 MPa (%154.8), MD 9'da 4.199 MPa (%388.2) ve MD 10 da ise 7.333 MPa (%752.6) olarak ölçüldü.

**Çıkarımlar:** Sadece menisektomi miktarı karşılaştırıldığında %25 ile %50 menisektomi arasında ve %75 ile total menisektomi sonrasında yük dağılımındaki değişimlerinde istatistiki olarak anlamlı fark olmadığı görüldü ( $p=0.460$ ,  $p=0.06$ ). Longitudinal ve posterior menisektomilerde ise anteriora göre tibiofemoral kontak alanda daha fazla azalma olduğu, yüksek oranda segmenter menisektomi uygulanırken menisektomi miktarından çok lokalizasyonunun sonuçlara etkisinin daha anlamlı olduğu, longitudinal menisektomi uygulanırken de meniskokapsüler bileşkeye olan yakınlığa dikkat edilerek menisektomi uygulanması gerektiğini düşünmekteyiz.

## 1. GİRİŞ

Menisküslerin kısmi ya da total eksizyonu tibia kıkırdağına aktarılan yüklerin artmasına sebep olmaktadır (1-3). Tibia kıkırdağına etki eden bu yüklenmedeki artış nedeniyle erken dönem dejeneratif artrit gelişmektedir (4-7).

Literatürde menisektomi sonrası tibiofemoral kontak alanda ki değişimleri ve tibia kıkırdağına binen yükleri inceleyen klinik, kadavra ve sonlu elemanlar model (FEA) çalışmaları mevcuttur (1,2,5,8-11). Bizim hipotezimize göre medial menisektomi uygulanırken, menisektominin yeri ve miktarına göre tibia kıkırdağına binen yüklenmelerde değişiklik olmaktadır. İngilizce literatürde medial menisektominin yerini ve miktarını aynı çalışmada ele alan bir makaleye ulaşamadık.

Biz çalışmamızda insan üç boyutlu(3D) bilgisayarlı tomografi (CT) kesitleri kullanarak elde ettiğimiz katı modeller üzerinde FEA ile normal diz ve çeşitli oranlarda ve lokalizasyonlarda uygulanan medial menisektomi sonrası tibia kırıkdağında oluşan yüklenmeleri (Maksimum eşdeğer gerilmeleri) (MES) inceledik.

## 2. GEREÇ VE YÖNTEM

Alt ekstremite mekanik aks değişimlerinin tibia kırıkdağına binen yüklere etkisini araştırmak için insan alt ekstremitesi üç boyutlu sonlu elemanlar modellemesi kullanıldı. Bu modelleme için TÜBİTAK destekli 107M327 numaralı bilimsel araştırma projesi dahilinde Kocaeli Üniversitesi Radyoloji A.B.D 'da Toshiba® Aquilion multi slice BT cihazında supin pozisyonda her iki kalça ve diz eklemi tam ekstansiyonda, her iki patella tam yukarıda olacak şekilde kalça ekleminden iç rotasyon verilerek alt ekstremite mekanik aksına aksiyel planda dik olarak 0.5 mm kesit aralığı ile çekilen alt ekstremite uzunluk BT kesitleri DICOM (The Digital Imaging and Communications in Medicine) formatında alınarak Hewlett-Packard® HP Pavillon Dv6-1370et 15.6 inch Notebook PC kullanılarak MIMICS® (Materialise's Interactive Medical Image Control System, Materialise-Belgium ) programında 3D katı model haline getirildi.

### 2.1 Modeller

MIMICS® ile son halini alan katı modeller üzerinde medial menisküs hacmi ölçüldü ve hacimsel olarak medial menisküste %25, %50, %75 ve %100 menisektomi planlandı. Menisektomi miktarı ve menisektomi lokalizasyonunun tibia kırıkdağı üzerinde oluşan MES'e etkisini araştırabilmek için referans model dahil 11 (onbir) adet model oluşturuldu. Buna göre Model 0 (MD 0) herhangi menisektomi uygulanmayan referans modeldir. Model 1 (MD 1); longitudinal %25, Model 2 (MD 2) %50, Model 3 (MD 3) %75 menisektomi modeli, Model 4 (MD 4); posterior %25, Model 5 (MD 5) %50, Model 6 (MD 6) %75 menisektomi modeli, Model 7 (MD 7); anterior %25, Model 8 (MD 8) %50, Model 9 (MD 9) %75 menisektomi modeli iken Model 10 (MD 10) total menisektomi modelidir (Tablo 1).

### 2.2 Yük dağılım analizleri

MIMICS® ile elde edilen sonlu elemanlar modellerinde tibia kırıkdağına etki eden stres yüklerini yani MES'i analiz edebilmek için ANSYS® Workbench™ (Version 12) kullanıldı. Analizler diz eklemi tam ekstansiyonda ve ayakta duran insan modeline göre statik olarak yapıldı. Femur başı merkezinden alt ekstremite mekanik aksı doğrultusunda 1000 Newton (N) ve trokanterik bölgeden ise abduktör kol vektörü doğrultusunda 500 N yük uygulandı. Tüm modeller için aynı sınır şartları uygulandı. Tibia kırıkdağı üzerinde oluşan MES'ler Newton/mm<sup>2</sup>=Megapaskal (MPa) olarak elde edildi ve değerlendirildi. Analizlerde kullanılan diz içi yapıların poisson (ν) oranları ve elastik modülüsleri (E) literatür taraması sonunda elde edildi (12-16)

Menisektominin oransal etkisini genelledebilmek için değerler gruplandırıldı. Buna göre;

1. Grup 1: %25 menisektomi (MD 1+ MD 4+ MD 7)
2. Grup 2: %50 menisektomi (MD 2+ MD 5+ MD 8)
3. Grup 3: %75 menisektomi (MD 3+ MD 6 +MD 9)
4. Grup 4: Total menisektomi (MD 10)

Bu gruptaki modellerin ortalaması alınarak menisektominin oransal etkisi hesaplandı.

### 2.3 İstatistik Değerlendirme Metodu

Sürekli değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler ortalama ve standart sapma (SD) değerleri ile gösterildi. Kesikli değişkenler için ise medyan değerleri hesaplandı. Verilerin normal dağılımı varsayımı Kolmogorov-Smirnov testi ile test edildi. Grup ortalamaları ANOVA testi ile analiz edildi. Grup ortalama değerleri farklı bulunduğu için, farklılığın hangi gruptan kaynaklandığını bulmak amacıyla Post-Hoc testi olan Bonferroni testi ile ikişerli karşılaştırıldı.

Menisektomi yüzdesine göre her bir grubun ortalama değeri ile referans model için standart değer olan 0,860 MPa ve total menisektomi uygulanan grupta elde edilen 7,333 MPa değerleri ile farklılıkları 'sabit bir değer ile ortalama değeri karşılaştıran Student's t Testi' ile karşılaştırıldı. Hipotezler çift yönlü olup,  $p \leq 0.05$  ise istatistiksel olarak

anlamli sonuç kabul edildi. İstatistiksel analizler SPSS 15.0 for Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) paket programi kullanilarak yapildi.

### 3. SONUÇLAR

Menisektomi modelleri incelendiğinde; MD 1’de %84.6 artarak 1.588 MPa, MD 2’de 2.660 MPa (%209.3), MD 3’de 6.155 MPa (%615.6), MD 4’de 1.281 MPa (%48.9), MD 5’de 2.318 MPa (%169.5), MD 6’da 4.453 MPa (%417.7), MD 7’de 1.725 MPa (%100.5), MD 8’de 2.192 MPa (%154.8), MD 9’da 4.199 MPa (%388.2) ve MD 10 da ise 7.333 MPa (%752.6) olarak ölçüldü (Tablo 1).

Tablo 1: Modellerdeki menisektomi tipleri ve eşdeğer gerilmeler

MODEL TİPİ	Menisektomi Tipi	P-MAX (MPa)
MD 0	Menisektomi yok – Referans	0,860
MD 1	Longitudinal % 25 menisektomi	1,588
MD 2	Longitudinal % 50 menisektomi	2,660
MD 3	Longitudinal % 75 menisektomi	6,155
MD 4	Posterior % 25 menisektomi	1,281
MD 5	Posterior % 50 menisektomi	2,318
MD 6	Posterior % 75 menisektomi	4,453
MD 7	Anterior % 25 menisektomi	1,725
MD 8	Anterior % 50 menisektomi	2,192
MD 9	Anterior % 75 menisektomi	4,199
MD 10	Total menisektomi	7,333

Menisektominin oransal etkisini tespit edebilmek için gruplandırdığımız değerleri incelediğimizde; 0.860 MPa olan referans MES’in Grup 1’de ortalama %78 artarak 1.531 MPa, Grup 2’de %177.9 artarak 2.390 MPa, Grup 3’de %473.8 artarak 4.935 MPa, Grup 4’de %752.6 artarak 7.333 MPa olarak ölçüldüğü görülmüştür. Grup 1,2 ve 3 de elde edilen ortalama değerler referans modele kıyasla artarak, istatistiki olarak anlamlı derecede farklılık göstermiştir ( $p < 0.05$ ). Fakat total menisektomi uygulanan Grup 4 ile kıyaslandığında, üç grupta da elde edilen değerler sayısal olarak total menisektomiden daha az olsada %75 menisektomi uygulanan Grup 3’ün total menisektomiden istatistiki olarak farklı olmadığı görülmüştür ( $p = 0.06$ ) (Tablo 2).

Tablo 2: Menisektomi miktarının referans ve total menisektomi modeliyle karşılaştırılması.

Grup	$\mu \pm SD$	Sabit	t	P
Grup 1	1.531 $\pm$ 0.227	0.860	5.114	0.036
Grup 2	2.390 $\pm$ 0.242	0.860	10.94	0.008
Grup 3	4.935 $\pm$ 1.063	0.860	6.637	0.022
Grup 1	1.531 $\pm$ 0.227	7.333	44.19	0.001
Grup 2	2.390 $\pm$ 0.242	7.333	35.29	0.001
Grup 3	4.935 $\pm$ 1.063	7.333	3.904	0.060

Gruplar arası ilişkiyi incelen Bonferroni testi sonucunda ise %25 menisektomi uygulanan Grup 1 ile %50 menisektomi uygulanan Grup 2 arasında istatistiki olarak anlamlı farklılık gösterilememiştir ( $p = 0.46$ ) (Tablo 3).

Tablo 3: İki grup arasında farklılığı karşılaştıran Bonferroni testi.

Grup	$\mu \pm SD$	ANOVA F	p	Bonferroni p	
Grup 1 (a)	1.531 $\pm$ 0.227	22.72	0.002	a - b	0.460
Grup 2 (b)	2.390 $\pm$ 0.242			a - c	0.002
Grup 3 (c)	4.935 $\pm$ 1.063			b - c	0.009

#### 4. TARTIŞMA

Peña sonlu elemanlar analiziyle menisküs yırtıklarında ve menisektomilerde diz biyomekaniğindeki değişimleri araştırdığı çalışması sonucunda; sağlam dizde 2.55 MPa olan medial tibia kıkırdağındaki stres dağılımının parsiyel longitudinal menisektomi sonucunda %31, parsiyel radial menisektomi sonucunda %35 , parsiyel oblik menisektomi sonrasında %77 ve total menisektomi sonrası %109 arttığını bildirmiştir (10). Fakat menisektominin miktarı ve yeri analizlerinde ele alınmamıştır. Vadher yine sonlu elemanlar analiz çalışmasında menisektomi miktarının araştırılması amacıyla %10, %20, %30, %40, %50, %60 ve %65 menisektomi uygulamıştır. Sonuç olarak normal dizde yaklaşık 0.5 MPa olarak bulunduğu eklem kıkırdağı stresi %30 menisektomi sonrası yaklaşık iki katı artmışken %65 menisektomi sonrası ise bu değer %225 artmıştır. Ayrıca yazar %20 menisektomi sonrasında eklem kıkırdağı üzerine etki eden streslerde şiddetli artış olduğunu bildirmiştir (11). Yine bu çalışmada da menisektominin yeri göz ardı edilmiştir. Bir diğer çalışmada ise Baratz %33 menisektomi sonrasında eklem kontak stresinde %65 artış olduğunu bildirmiştir (9). Bizim çalışmamızda ise hem menisektominin miktarının hemde lokalizasyonun analizlerde incelenmesi diğer çalışmalardan farklılığını ortaya koymaktadır. 1000 N olarak alınan vücut ağırlık yükü sonucunda tibia eklem kıkırdağında oluşan stres (MES) 0,860 MPa olarak ölçülmüştür. MES’de %25 menisektomi sonrası ortalama %78 , %50 menisektomi sonrası ortalama %177.9, %75 menisektomi sonrası ortalama %473.8 ve total menisektomi sonrası ise %752.6 artış olmuştur. Menisektominin lokalizasyonu gözardı edilerek sadece miktarı karşılaştırıldığında %25 ile %50 menisektomi arasında ve %75 ile total menisektomi arasında istatistiki olarak anlamlı fark olmadığı görülmüştür (p=0.460, p=0.06). Bu sonuçlar daha önce Vadher (11) ve Baratz (9) tarafından belirlenen sonuçlara benzerlik gösterirken, Peña’nın sonuçlarıyla farklılık mevcuttur (10). Sonlu elemanlar model çalışmalarında analizlerde uygulanan sınır şartları, uygulanan yükün miktarı ve malzeme özellikleri sonuçlarda farklılıklara sebep olmaktadır. Bu nedenle sonlu elemanlar modellemesi kullanılarak yapılan çalışmalarda, sonuçlar çalışmanın kendi içinde ve modeller arasındaki ilişki göz önüne alınarak değerlendirilmelidir.

Referans modelde elde edilen MES, longitudinal %25 menisektomi uygulanan modelde %84.6, posterior %25 menisektomi uygulanan modelde %48.9, anterior %25 menisektomi uygulanan modelde %100.2 artış göstermektedir. Ayakta duran diz eklemi tam ekstansiyonda ve statik değerlendirme yapılan çalışmamızda parsiyel menisektomi tipleri içinde anterior menisektomilerin yük absorpsiyonuna daha duyarlı olduğu görülmektedir. Fakat menisektomi miktarının artırıldığı modellerde segmental menisektomiye doğru gidildikçe longitudinal ve posterior menisektomiler sonucunda MES’de anterior menisektomilere göre daha fazla artış olduğu görülmektedir. Bu durum bize yüksek oranda menisektomi uygulandığı zaman femur ve tibianın yüzey anatomilerindeki farklılık nedeniyle longitudinal ve posterior menisektomilerde anteriora göre tibiofemoral kontak alanda daha fazla azalma olduğunu düşündürmektedir.

%75 menisektomi sonrası elde edilen yük dağılımı ortalaması ile total menisektomi sonrası elde edilen değer arasında istatistiki olarak fark görülmesi de bu benzerliğin %75 longitudinal menisektomi uygulanan modelden kaynaklandığını düşünmekteyiz. %75 longitudinal menisektomi sonrası tibia kıkırdağındaki yük artışı aynı oranda posterior ve anterior menisektomi uygulanan modellere kıyasla sayısal olarak daha fazla ölçülmüştür. Yüksek oranda segmental menisektomi uygulanırken menisektomi miktarından çok lokalizasyonunun sonuçlara etkisinin daha anlamlı olduğunu, longitudinal menisektomi uygulanırken meniskokapsüler bileşkeye olan yakınlığa dikkat edilerek menisektomi uygulanması gerektiğini düşünmekteyiz.

## KAYNAKLAR

1. Ihn JC, Kim SJ, Park IH. In vitro study of contact area and pressure distribution in the human knee after partial and total meniscectomy. *Int Orthop*. 1993; 17:214-218.
2. Lee SJ, Aadalen KJ, Malaviya P, Lorenz EP, Hayden JK, Farr J, Kang RW, Cole BJ. Tibiofemoral contact mechanics after serial medial meniscectomies in the human cadaveric knee. *Am J Sports Med*. 2006; 34:1334-1344.
3. Spang JT, Dang BC, Mazzocca A, Rincon L, Obopilwe E, Beynon B, Arciero RA. The effect of medial meniscectomy and meniscal allograft transplantation on knee and anterior cruciate ligament biomechanics. *Arthroscopy* 2010; 26:192-201.
4. Fairbank T. Knee joint changes after meniscectomy. *J Bone Joint Surg Am*. 1948; 30: 664-670.
5. Allen PR, Denham RA, Swan AV. Late degenerative changes after meniscectomy. Factors affecting the knee after operation. *J Bone Joint Surg Br*. 1984; 66:666-71.
6. Kruger-Franke M, Siebert CH, Kugler A, et al. Late results after arthroscopic partial medial meniscectomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1999; 7:81-4.
7. Sturnieks DL, Besier TF, Mills PM, Ackland TR, Maguire KF, Stachowiak GW, Podsiadlo P, Lloyd DG. Knee Joint Biomechanics following Arthroscopic Partial Meniscectomy. *J Orthop Res* 2008 ;26:1075-1080.
8. Fukubayashi T, Kurosawa H. The contact area and pressure distribution pattern of the knee. A study of normal and osteoarthrotic knee joints. *Acta Orthop Scand*. 1980; 51:871-879.
9. Baratz ME, Fu FH, Mengato R. "Meniscal tears: the effect of meniscectomy and of repair on intrarticular contact area and stress in the human knee. A preliminary report.," *Am J Sports Med*, 1986; 14: 270-275.
10. Peña E, Calvo B, Martínez MA, Palanca D, Doblaré M. Finite element analysis of the effect of meniscal tears and meniscectomies on human knee biomechanics. *Clin Biomech* 2005; 20(5):498-507.
11. Vadher SP, Nayeb-Hashemi H, Canavan PK, Warner GM. Finite element modeling following partial meniscectomy: effect of various size of resection. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2006; 1:2098-101.
12. Yamada, H. "Mechanical Properties of Locomotor Organs And Tissues, Strength of Biological Materials", Williams & Wilkins, Baltimore 1970, 210 p.
13. Ashman, R. B., Cowin, S. C., Van Buskirk, W. C., and Rice, J. C., "A continuous wave technique for the measurement of the elastic properties of cortical bone", *J. Biomech*. 1984;17:349-361.
14. Reilly, D.T., Burstein, A.H., "The mechanical properties of cortical bone". *J Bone Joint Surg* 1974;56-A:1001-1022.
15. Martens, M., vanAudekercke, R., DeMeester, P., Mulier, J.C., "The geometrical properties of human femur and tibia and their importance for the mechanical behaviour of these bone structures", *Arch Orthop Trauma Surg*. 1981; 98:113-120.
16. Martens, R., Van Audekercke, R., Delpont, P., DeMeester, P., Mulier, J.C., "The mechanical characteristics of cancellous bone at the upper femoral region", *J. Biomech*. 1983; 16, 971-983.