

TİBİA KIKIRDAĞI ÜZERİNDEKİ YÜK DEĞİŞİMLERİNE ALT EKSTREMİTE MEKANİK AKSIN ETKİSİ: SONLU ELEMAN MODEL ÇALIŞMASI

Halil Atmaca

Midyat Devlet Hastanesi Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği/Mardin

ÖZET

Amaç: Varus ve valgus pozisyonlarında tibia kıkırdağı üzerindeki yük değişimlerinin incelenmesi.

Yöntem: DICOM formatında alınan alt ekstremitte uzunluk Bilgisayarlı Tomografi kesitleri MIMICS® programında üç boyutlu (3D) katı model haline getirildi. Oluşturulan 3D katı modellere sırasıyla 2.5°, 5°, 7.5°, 10°, 12.5° ve 15° varus ve valgus osteotomisi uygulandı. Tibia kıkırdağına etki eden stres yüklerini (maksimum eşdeğer gerilmelerini (MES)) analiz edebilmek için ANSYS Workbench (Version 12) kullanıldı.

Bulgular: Referans değer olan MD 0 için tibia kıkırdağında elde edilen maksimum yüklenme olan MES 0.860 MPa

iken referans değere ardışık uygulanan varus osteotomileri sonucunda bu değer MD 0-2.5° varus modelinde 0.935 MPa, 5°de 1.010 MPa, 7.5°de 1.113 MPa, 10°de 1.247 MPa, 12.5°de 1.388 ve 15° varus modelinde ise 1.530 MPa olarak ölçülürken aynı modelde yapılan 2.5°, 5°, 7.5°, 10°, 12.5° ve 15° valgus osteotomileri sonucunda bu değerler sırasıyla 0.813, 0.792, 0.769, 0.745, 0.718 ve 0.690 MPa olarak ölçüldü (p=0.028).

Sonuç: Tibia kıkırdağı üzerine varus pozisyonunda daha fazla yük binmekte ve bu yük valgus osteotomisi ile azalmaktadır. Valgus osteotomisi ile elde edilen azalma varus pozisyonunda ölçülen MES' e kıyasla anlamlı derecede farklı ve azdır. Bu durum diz eklemine valgusa kıyasla varus pozisyonlarında daha fazla etkilendiğini göstermektedir.

1. GİRİŞ

Osteoartrit (OA) 65 yaş üzerindeki insanları en çok etkileyen kronik bir hastalıktır. Diz semptomatik olarak en sık tutulan eklemdir. Diz OA' i ilerleyici şekilde fonksiyon kaybına yol açar, dolayısıyla bu da yürüme, merdiven çıkma ve diğer alt ekstremitteyi ilgilendiren işlerde kişiyi bağımlı hale getirir.

Doğal seyri tam olarak açıklanamamış olmasına karşın, varus dizilim bozukluğunun anormal mekanik etkisi düzeltilmezse, menisküs dejenerasyonu ve ilerleyici kıkırdak örtünüm yetersizliğiyle karakterize ciddi medial kompartman artrozuna yol açtığı geniş kabul görmektedir(1). Mekanik yük dağılımının proksimal tibiya uygulanacak valgus osteotomisiyle (yüksek tibial osteotomi- PTO) eklem laterale kaydırılması, medial kompartmandaki stresi ve ağrıyı hafifletmeyi hedefler ve bu kompartmanda oluşacak kıkırdak harabiyetini önler (2-6).

Bu çalışmada valgus pozisyonunda diz eklemine etki eden yüklerin varus pozisyonuna göre daha az olacağı hipotez edilerek, farklı derecelerde varus ve valgus pozisyonunda üç boyutlu (3D) sonlu eleman katı modelleri oluşturularak tibia kıkırdağına etki eden yük miktarı (Maksimum eşdeğer gerilme=MES) araştırılmıştır.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

Alt ekstremite mekanik aks değişimlerinin tibia kırırdağına 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. Oluşturulan 3D katı modellere sırasıyla 2.5°, 5°, 7.5°, 10°, 12.5° ve 15° varus ve valgus osteotomisi uygulandı. Hem referans hem de referans modele uygulanan osteotomisi sonuçlarıyla karşılaştırıldı. MIMICS ile elde edilen sonlu elemanlar modellerinde tibia kırırdağına etki eden stres yüklerini (MES) 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 kırırdağı üzerinde oluşan MES'ler Newton/mm²=Megapaskal (MPa) olarak elde edildi ve değerlendirildi. Analizlerde kullanılan diz içi yapıların poisson (v) oranları ve elastik modülüsleri (E) literatür taraması sonunda elde edildi (7-11)

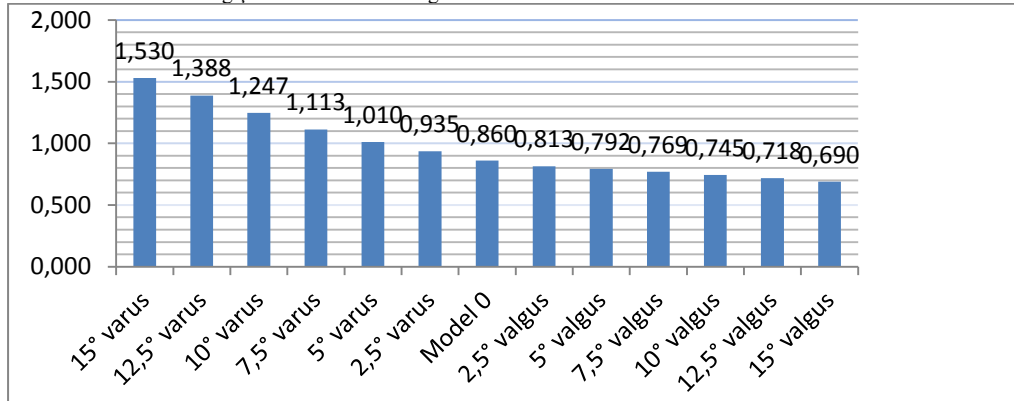
1.1. İstatistik Değerlendirme Metodu

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. Alt ekstremite mekanik aks değişimleri sonucu oluşan varus ve valgus pozisyonlarında oluşan MES'lerin referans değer ile karşılaştırılması için Student's t testi kullanıldı. Ayrıca varus ve valgus pozisyonları arasındaki ilişki Pearson korelasyon katsayısı ile hesaplanarak test sonucu gösterildi. Hipotezler çift yönlü olup, p≤ 0.05 ise istatistiksel olarak anlamlı sonuç kabul edildi. İstatistiksel analizler SPSS 15.0 for Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) paket programı kullanılarak yapıldı.

3. BULGULAR

Referans değer olan MD 0 için tibia kırırdağına elde edilen maksimum yüklenme olan MES 0.860 MPa (Şekil 1) iken referans değere ardışık uygulanan varus osteotomileri sonucunda bu değer MD 0-2.5° varus modelinde 0.935 MPa, 5°'de 1.010 MPa, 7.5°'de 1.113 MPa, 10°'de 1.247 MPa, 12.5°'de 1.388 ve 15° varus modelinde ise 1.530 MPa olarak ölçülürken aynı modelde yapılan 2.5°, 5°, 7.5°, 10°, 12.5° ve 15° valgus osteotomileri sonucunda bu değerler sırasıyla 0.813, 0.792, 0.769, 0.745, 0.718 ve 0.690 MPa olarak ölçüldü (p=0.028) (Grafik 1).

Grafik 1: Mekanik aks değişikliklerinin tibia kırırdağına etkisi.

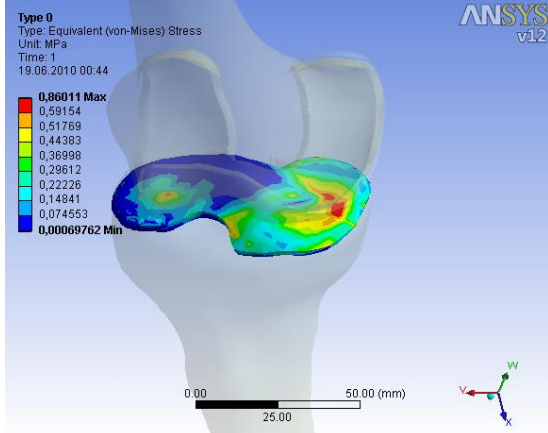


Hem varus hemde valgus pozisyonlarında ortaya çıkan MES'ler referans değer olan 0.860 Mpa'a kıyasla anlamlı derecede farklılık göstermektedir (Tablo 1). 15° varus ve 15° valgus pozisyonunda tibia kırırdağına oluşan MES'ler şekil 2'de görülmektedir. Mekanik aks değişikliklerinin tibia kırırdağına etkisi grafik 1'de gösterilmiştir. İki grup

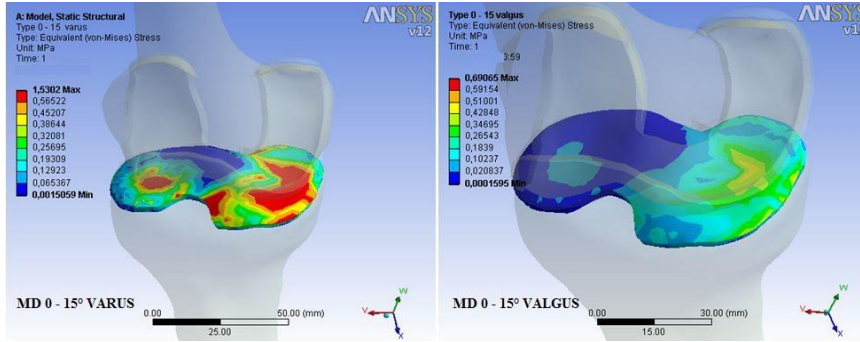
arasında ki ilişkiyi inceleyen Pearson korelasyon katsayısı sonucunda ise iki grup arasında yüksek düzeyde ($r = -0.998$) negatif ve anlamlı derecede önemli korelasyon olduğu bulundu ($p < 0.01$).

Tablo 1: Mekanik aks değişimlerinin referans modelle olan istatistikî ilişkisi.

Test sabiti =0.860						
	t	df	p	Ortalama fark	%95 Güven aralığı farkı	
					Alt	Üst
Varus pozisyonu	3.692	5	0.014	0.343	0.104	0.583
Valgus pozisyonu	-5.607	5	0.002	-0.105	-0.153	-0.057



Şekil 1: Referans model (MD 0) tibia kırırdağı yük dağılımları.



Şekil 2: 15° varus ve valgus pozisyonlarında referans modelde elde edilen yük dağılımları.

4. TARTIŞMA

Dize binen fonksiyonel yükün yön ve büyüklüğü, o anda dize etki eden kas kuvvetinin büyüklüğü ile beraber belirli bir yön ve büyüklükte eklem reaktif kuvveti oluşturur. Bu oluşan eklem reaktif kuvveti eklem temas noktalarının eklem yüzeylerine dik olduğu durumda, çapraz ve kollateral bağlarda bir gerilme yaratmadan dengeyi sağlar (12). Yer reaksiyon kuvvetlerinin lateral ve medial bileşenleri dizde varus ve valgus momentlerine yol açar. Diz bu varus valgus momentlerine üç mekanizma ile karşı koyar. Bunlar eklem temas yüzeyine binen yükün yeniden dağılımı, eklem temas yüzeyinin kompresyonla genişlemesi ve bağlara aşırı yük binmesidir (13).

Bu durumda vücut ağırlığının oluşturduğu kuvvet (P), diz eklemine iç kısmından (medial) geçer. (P) kuvveti, bir diğer kas kuvveti olan Lata tarafından (L) kuvveti ile dengelenir. Bu her iki kuvvet vektörünün bileşkesi, diz eklemi ortasında (G) merkezi ve (R) vektörü şeklinde olur. Bu (G) noktası dizin rotasyon merkezidir (14). Diz eklemine iç kısmında oluşan osteoartrit, dizde varus deformitesi oluşmasına neden olur. Bu durumda, dizin dış tarafındaki kas gücünün (L) yönü değişir ve aynı zamanda vücut ağırlığı ile oluşan kuvvetin de (P) yönü iç tarafa kayar. Böylece bu kuvvetlerin uzantıları, ayak bileğinden daha uzakta birleşecek ve dizdeki bileşke kuvvet (R) mediale kayacaktır (15).

Diz eklemi, alt ekstremitte mekanik aks vektörü nedeniyle daha çok varus momentine maruz kalmakta ve medial kompartmana daha çok yük binmektedir (3,4). Referans modelde alt ekstremitte mekanik aks değışikleri incelendiğinde grafik 1 üzerinde değerler neticesinde, tibia kırıkdağı üzerinde oluşan 0.860 MPa olan referans MES'in ardışık valgus osteotomiler sonrası azaldığı ve 15° PTO sonrasında %19.7 azalarak 0.690 MPa, ardışık varus osteotomiler sonrasında artarak 15° varus osteotomi sonrasında %77.9 artış ile 1.530 MPa olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar arasında yüksek düzeyde ($r=-0.998$) negatif ve anlamlı derecede farklılık olduğu ($p< 0.001$) görülmüştür. Bu durum diz eklemine valgusa kıyasla varus pozisyonlarında daha fazla etkilendiğini göstermektedir.

PTO dizin varus deformitesinde ve buna bağlı oluşan medial kompartman gonartrozunda tedaviyi sağlayan biyolojik bir ameliyattır. PTO'da amaç alt ekstremitte ki bozuk olan veya zamanla bozulan mekanik aksın düzeltilerek diz eklemineki yük dağılımının dengelenmesidir (13,16). Çalışmamızda valgus pozisyonunda elde edilen MES referans ve varus pozisyonuna kıyasla daha az bulunmuştur ve bu sonuç literatürü destekler niteliktedir. Fakat bu çalışma medial gonartroz ile birlikte lateral kompartman tutulumunda olan hastalarda PTO'nun uygulanabilirliği konusunda net bir yol gösterememektedir. Çünkü çalışmamız tibia kırıkdağı üzerine etki eden maksimum yük değerini anlık yüklenme süresinde göstermektedir. Klinik süreçte her iki tibia platosu üzerine kronik etki eden yüklerin etkisi bu çalışmada gösterilememiştir. Kanaatimizce aşırı valgus pozisyonlarında MES medialden laterale kaymakta ve sıklık yüklenmelerle hacimce daha küçük olan lateral menisküste birim alanda daha fazla yük artışına ve dejenerasyon artışına sebep olacaktır. Çalışmamız PTO'nun diz eklemine tibia kırıkdağı üzerine etki eden MES'i azalttığını göstermiştir. Bu çalışma diz eklemi biyomekaniğini dinamik olarak inceleyen ve diz eklemi kinematığını de içerecek ileriki çalışmalar açısından referans oluşturabilecek analizler içermektedir

KAYNAKLAR

1. Murphy SB. Tibial osteotomy for genu varum. Indications, preoperative planning, and technique. Orthop Clin North Am 1994;25:477-82.
2. Coventry MB. Osteotomy about the knee for degenerative and rheumatoid arthritis. J Bone Joint Surg Am 1973; 55:23-48.
3. Coventry MB. Upper tibial osteotomy for gonarthrosis. The evolution of the operation in the last 18 years and long term results. Orthop Clin North Am 1979;10:191-210.
4. Coventry MB. Proximal tibial osteotomy. Orthop Rev 1988; 17:456-458.
5. Lobenhoffer P, Agneskirchner JD. Improvements in surgical technique of valgus high tibial osteotomy. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2003;11:132-138.
6. Kesemenli CC, Memisoglu K, Muezzinoglu US. Bone marrow edema seen in MRI of osteoarthritic knees is a microfracture. Med Hypotheses. 2009; 72(6):754-5.
7. Yamada H. Mechanical Properties of Locomotor Organs And Tissues, Strength of Biological Materials, Williams & Wilkins, Baltimore 1970, 210 p.
8. Ashman RB, Cowin SC, Van Buskirk WC, et al. A continuous wave technique for the measurement of the elastic properties of cortical bones, J. Biomech. 1984;17:349-361.
9. Reilly DT, Burstein AH, The mechanical properties of cortical bone. J Bone Joint Surg 1974;56-A:1001-1022.
10. Martens M, vanAudekercke R, DeMeester P, et al. 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.
11. Martens R, Van Audekercke R, Delpont P, et al. The mechanical characteristics of cancellous bone at the upper femoral region. J. Biomech. 1983; 16, 971-983.
12. Mikosz RP, Andriacchi TP, Anatomy and Biomechanics of the Knee Orthopaedic Knowledge Update Hip and Knee Reconstruction. Editor Callaghan JJ. American Academy of Orthopaedic Surgeons, 227, Rosemont, 1995.
13. Tandoğan R, Alparlan M, Diz Cerrahisi, Haberal Vakfi, Ankara 1999; 5-18.
14. Ege R : Diz Anatomisi. Diz sorunları, Editor Ege R: 1998; 3 : 27-54.
15. Üstüner, Y. Total Diz Artroplastisi Erken Dönem Sonuçları, Tıp Uzmanlık Tezi, Haseki Eğitim ve Araştırma Hastanesi Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, İstanbul. 2006.
16. Al-Duri Z, Patel DV, Aichroth PM. High tibial osteotomy for degenerative arthritis of the knee: An overview. Knee Surgery. Current practice Editors: Aichroth PM, Cannon WD Jr. 1992; Chapter 15:598-607. Raven press, New York, NY.