



Bilgisayarla navigasyonun total diz artroplastisinde komponent dizilimine etkisi

Luiz Fernando Machado SOARES¹, Tarcizo Afonso NUNES^{2,3}, Marco Antônio Percope DE ANDRADE^{2,3},
Philippe NEYRET⁴, Roger BADET⁵

¹Madre Teresa Hastanesi, Belo Horizonte, Brezilya;

²Minas Gerais Federal Üniversitesi Tıp Fakültesi, Belo Horizonte, Brezilya;

³Minas Gerais Federal Üniversitesi Hastanesi, Belo Horizonte, Brezilya;

⁴Lyon Üniversitesi Lyon Nord Grup Hastanesi, Albert Trillat Merkezi, Ortopedi Bölümü, Lyon, Fransa;

⁵St. Vincent de Paul Kliniği, Bourgoin-Jallieu, Fransa

Amaç: Bu retrospektif, kesitsel çalışmada bilgisayar yardımlı total diz artroplastisinin (TDA) komponent dizilimine etkisinin incelenmesi amaçlandı.

Çalışma planı: İki yıllık süreç içinde bilgisayar yardımlı TDA uygulanan 20 hastanın radyografileri mekanik femorotibial, mekanik femoral, mekanik tibial açılar (sırasıyla, mFTA, mFA ve mTA) ve tibial eğim (σ) açısından incelendi.

Bulgular: Ameliyat sonrası ortalama mFTA (179.7°) ameliyat öncesi değerle karşılaştırıldığında (175.45°) anlamlı derecede düşüş gösterdi ($p=0.012$). Ameliyat sonrası ortalama mFA da (89.1°) ameliyat öncesi değere (90.6°) göre anlamlı derecede azalmıştı ($p=0.035$). Ameliyat sonrası ortalama mTA tam olarak 90.0° kaydedilirken, ameliyat öncesi değeri (87.7°) anlamlı derecede daha düşüktü ($p=0.003$). TDA sırasında ortalama turnike süresi 109.5 dakika olarak ölçüldü.

Çıkarımlar: Bilgisayarla navigasyon TDA'da implant konumlandırması ve komponent diziliminin iyileştirilmesi için güvenilir bir sistemdir.

Anahtar sözcükler: Bilgisayarla navigasyon; gonartroz; implant konumlandırma; ligaman dengeleme; total diz protezi.

Dizde primer ve sekonder artroz ve enflamatuar artrit genellikle 60 yaşın üzerindeki yetişkinler için ciddi sağlık sorunları yaratmaktadır. Total diz artroplastisinin (TDA) bu sorunlar için etkili bir cerrahi yöntemi olduğu ve güvenilir sonuçlar verdiği bilinmektedir.^[1] Bununla birlikte, prosedürün başarısı hasta profili, implant türü, yeterli ligaman dengelemesi, femorotibial eksenin iyileşmesi ve girişimin sonundaki eklem hattının seviyesi gibi pek çok faktöre bağlıdır.

Mekanik femorotibial açının 180° civarında olması total diz protezinin sağkalım süresini anlamlı olarak uzatmaktadır.^[2] Bu açının düzeltimi, intra- veya ekstra-medüller kılavuzlarla dizilim hatalarını en aza indirerek, kemiği mekanik femorotibial eksene dik şekilde keserek gerçekleştirilir. Bununla birlikte, bu mekanik cihazlar mükemmel değildir ve protezin son konumlandırması optimal olmayabilir.^[2] Diz protezi sonrası en sık görülen

Yazışma adresi: Luiz Fernando Machado Soares, MD. Hospital Madre Teresa Av. Raja Gabaglia 1002, Gutierrez 30430-142, Belo Horizonte, MG, Brazil.

Tel: +55-31 3291 81 82 e-posta: lfmsbh@hotmail.com

Başvuru tarihi: 09.07.2012 **Kabul tarihi:** 21.12.2012

©2013 Türk Ortopedi ve Travmatoloji Derneği

Bu yazının çevrimiçi İngilizce versiyonu
www.aott.org.tr adresinde
doi:10.3944/AOTT.2013.2982
Karekod (Quick Response Code):



sorunlar, özellikle implantın üç boyutta yetersiz konumlandırılması ve bunun sonucunda implantın aşırı derecede yıpranması, hareket açıklığında kısıtlılık ve protezin dengesinin bozulması gibi teknik sorunlardan kaynaklanır.^[3,4] Bu türden komplikasyonların görülme sıklığı genellikle %5 ila 8 arasında değişmektedir.^[5-7]

Bilgisayar yardımıyla navigasyon ile TDA'da implant konumlandırması ciddi ölçüde geliştirilebilir.^[8,9] Bununla birlikte, literatürde geleneksel prosedürler ile bilgisayar yardımıyla cerrahinin sonuçlarını karşılaştıran çalışmalar sayıca fazla değildir.

Bu çalışmanın amacı TDA'da bilgisayarla navigasyonun geçerliliğini değerlendirmek ve bu özgün tekniğin implant konumlandırmasını geliştirmede güvenilir bir yöntem olup olmadığını irdelemektir.

Hastalar ve yöntem

Bu retrospektif, kesitsel çalışmada (kanıt düzeyi 3) Croix-Rousse Hastanesi (Lyon, Fransa) Ortopedi Kliniğinde Şubat 2002-Şubat 2004 tarihleri arasında TDA uygulanan 20 hastanın (6 erkek, 14 kadın; ortalama yaş: 71.2, dağılım: 54-81) medikal kayıtları değerlendirmeye alındı (Tablo 1). Çalışma, Croix-Rousse Hastanesi Etik Komitesi'nin kuralları dahilinde yürütüldü ve Servis ve Medikal Arşiv yöneticilerinin onayı alındı.

Tek, çift ya da üç kompartmanda diz artrozu bulunan ve modifiye Ahlbäck kriterlerine göre ileri evre 3 ve ya 4 olarak sınıflandırılacak hastalar çalışmaya alınırken, cerrahi için kontraendike hastalar veya bilgisayar yardımıyla TDA'sı tamamlanmamış olanlar çalışma kapsamı dışında tutuldu. Tüm olgularda, TDA için Surge-tics® (Praxim, Grenoble, Fransa) cihazından yararlanıldı ve operasyon aynı cerrahlar (PN ve NB) tarafından gerçekleştirilerek HLS Evolution Rotatoire® (Tornier, Grenoble, Fransa) protezleri takıldı. Kullanılan sistem kalça eklem kinematığı ve diz ve ayak bileklerinin anatomik özellikleri hakkında verilerin derlenmesini sağlamakta, bu şekilde de, ameliyat öncesi görüntüleme ile yapılacak değerlendirme gereksinimini ortadan kaldırmaktaydı. Hastanın dizinin grafik rekonstrüksiyonu femur ve tibia yüzeyleri üzerinde rastgele seçilen noktalar kümesinin dijitize edilmesi ile sağlandı. Noktaların seçimi ucu küre şeklindeki bir işaretleyicinin yardımı ile yapılırken bu noktalar, daha sonra, bilgisayarda bulunan kemik şablonları ile birleştirilerek görüntü elde edildi (femorotibial kemik şekil değişimi; Şekil 1). Ardından, kemik kesimi geleneksel yaklaşımla hesaplanarak grafik ara yüzün yardımıyla implant için en uygun konum ve yönelime karar verildi. Monitörde prosedürün gerçek zamanlı görüntüsü alındı ve implantın planlanan ve gerçek konumları arasındaki farklar dikkate alınarak femur

Tablo 1. 2002-2004 yılları arasında Croix-Rousse Hastanesi'nde bilgisayar destekli total diz artroplastisine sevk edilen hastaların özellikleri.

Hasta	Cinsiyet	Ameliyat sırasında yaş (yıl)	Ameliyat tarihi	Tanı
1	Kadın	65.8	7 Şubat 2002	MFTA
2	Kadın	54.2	30 Mayıs 2002	MFTA
3	Erkek	67	6 Nisan 2002	MFTA
4*	Kadın	75.1	6 Kasım 2002	MFTA
5	Kadın	68.8	15 Ekim 2002	MFTA
6	Kadın	73.4	9 Mayıs 2002	MFTAVTO
7	Erkek	78.11	17 Ekim 2002	MFTA
8	Erkek	66.9	29 Ocak 2004	DFTA
9*	Kadın	81.8	20 Haziran 2002	MFTA
10*	Kadın	76.11	21 Haziran 2002	MFTA
11	Kadın	77.8	9 Aralık 2002	MFTA
12	Erkek	74	26 Eylül 2002	MFKO
13	Kadın	72.9	23 Ocak 2003	MFKO
14	Kadın	64.2	27 Mart 2003	DFTA
15	Erkek	71.10	13 Şubat 2003	MFTA
16*	Kadın	76.10	22 Mayıs 2003	MFTA
17	Kadın	72	2 Haziran 2004	MFTA
18	Kadın	77.10	20 Kasım 2003	MFTA
19	Erkek	68.8	12 Kasım 2003	MFTA
20	Kadın	70.4	20 Ocak 2004	MFTA

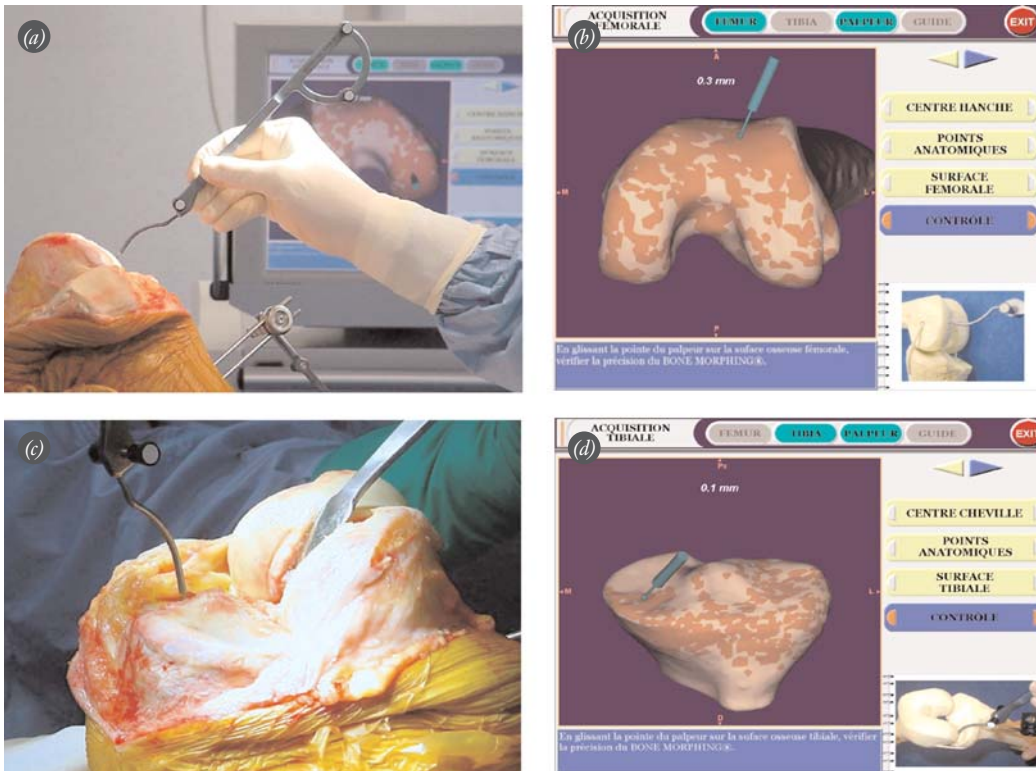
MFTA: Medial femorotibial artroz; DFTA: Dış femorotibial artroz; MFTAVTO: MFTA nedeniyle hastaya daha önce valgus tibia osteotomisi uygulanmıştı; MFKO: Medial femoral kondilde osteonekroz.

ve tibianın kesimi gerçekleştirildi. Kemik kesimi, sırasıyla, tibia, femur ve patella üzerinde gerçekleştirildi; yalnız, patellanın kesiminde bilgisayarla navigasyon yerine geleneksel yaklaşımdan yararlanıldı. Tibia ve femur posteriorundaki kesimlerin tamamlanmasından sonra ligaman dengelemesi sağlandı. Üç boyutlu konum belirleyici ile fleksiyon boşluğu dengelemesi yapıldı. Burada, planlanan tibia kesimine iz düşülen basılanmış tibia subkondral kemiğinin altından posterior femur düzlemindeki kesige kadar olan mesafenin geometrik ilişkisinden yararlanıldı. Bu ölçüm gerçek zamanlı gerçekleştirildi. Femoral ve tibial mekanik eksenlerin temsil ettiği iki vektör arasındaki ilişkinin sonucunda ligaman dengelemesi doksan derece fleksiyon ve tam ekstansiyonda sağlandı. Elde edilen açı anatomik sagittal planda yorumlandı. Denemeler sonucunda, tüm alt ekstremitte eksenini monitörde görüntülemek ve hesaplanan ölçümlerin ve implantın son konumunun doğruluğunu gerçek zamanlı onaylamak mümkün oldu.

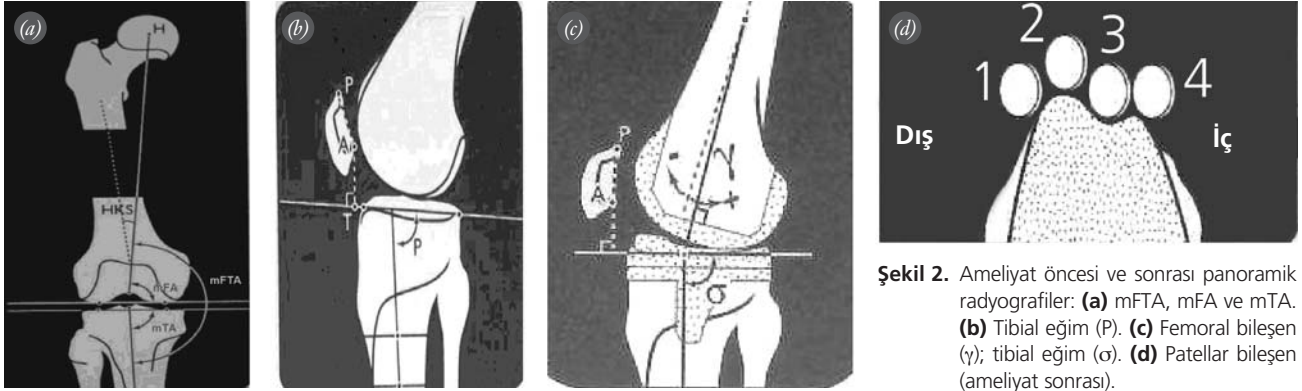
Ameliyat öncesi ve sonrası açısal ölçümler güncel röntgenler ile cerrahi girişimlerde yer almayan bir yazar (LFMS) tarafından hesaplandı. Aksiyel parametreler ayakta panoramik ön-arka, lateral ve patellofemoral aksiyel (30° fleksiyonda) görüntülerle değerlendirildi.

Tüm ölçümler 360° ölçekli bir gonyometre (Futura Saüde®; Futura Saüde, Bauru, Brezilya) ve X-ray film işaretleyici (Pilot®; Jacksonville, FL, ABD) ile yapıldı.

Ameliyat öncesi ve sonrası ön-arka radyografiler ile aşağıdaki parametreler değerlendirildi; (1) femur ve tibia mekanik eksenlerinin kesişim noktasında oluşan mekanik femorotibial açı (mFTA), (2) femur mekanik eksenini ile distal femoral kondillerden geçen çizgiye dik olan eksenin kesişim noktasında oluşan mekanik femoral açı (mFA) ve (3) tibia mekanik eksenini ile tibia platosunu dikine kesen çizginin kesişim noktasında oluşan mekanik tibial açı (mTA) (Şekil 2a). Tibial eğim açısı (σ) ameliyat öncesi çekilen lateral radyografilerde iç tibia platosunun eklem yüzeyine dik çizilen hattın anatomik mediolateral eksenle (yani platodan 10 ve 20 cm mesafede ve iki korteksin orta noktasında konuşlanmış iki nokta arasındaki çizgi) kesiştiği nokta dikkate alınarak değerlendirildi (Şekil 2b). Ameliyat sonrası çekilen radyografilerde (σ) anatomik tibial eksen ile tibial bileşenin yatay ekseninin kesiştiği noktada oluşan açı olarak kabul edilirken (Şekil 2c), femoral bileşenin (fleksiyondaki) sapması (γ) ise anatomik femoral eksen ile femoral bileşenin tabanını dikine kesen çizginin kesişim noktası olarak değerlendirildi.



Şekil 1. Cerrahi işlemler. (a) Kemik şekillendirme (femur). (b) Dijitize edilen alanın gerçek zamanlı görüntüsü (femur). (c) Kemik şekillendirme (tibia). (d) Dijitize edilen alanın gerçek zamanlı görüntüsü (tibia). [Bu şekil, derginin www.aott.org.tr adresindeki çevrimiçi versiyonunda renkli görülebilir]



Şekil 2. Ameliyat öncesi ve sonrası panoramik radyografileri: **(a)** mFTA, mFA ve mTA. **(b)** Tibial eğim (P). **(c)** Femoral bileşen (γ); tibial eğim (σ). **(d)** Patellar bileşen (ameliyat sonrası).

Patellofemoral eklemin (30° fleksiyonda) çekilen radyografileri idealde saat 3 yönünde olan patellar bileşenin konumunu göstermekteydi (Şekil 2d). Diz artroplastisinin fonksiyonel sonuçları açısından önemli bir diğer parametre olan patellar komponentin konumu çalışmamızda incelenmedi.

Ameliyat öncesi ve sonrası parametrelerinin normal dağılıma uygunluğu teyit edildi ve ortalama değerler %95 güven aralığında Student t testi kullanılarak karşılaştırıldı ($p < 0.05$).

Bulgular

Çalışma grubunun ameliyat öncesi ve sonrası radyolojik parametrelerin ortalamaları, standart sapmaları ve değer dağılımları Tablo 2'de gösterilmektedir.

Ön-arka radyografilerde hastaların yaklaşık yarısının ameliyat sonrası mFTA değerlerinin kabul edilebilir derece olan 180° civarında olduğu görüldü (Şekil 3). Hatta, ameliyat sonrası ölçülen ortalama mFTA değeri 179.7° , ameliyat öncesi ölçülen 175.45° 'ye kıyasla 180° 'ye daha yakın idi ve iki ölçüm arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamlı idi ($p = 0.012$).

Bilgisayar yardımıyla TDA için başvuran hastaların yarısından fazlasında mFA ideal değer olan 90° 'ye yakındı (Şekil 4). Bununla beraber, bir olguda, prosedür sonunda tatminkar ligaman dengelemesi elde etmek için ekstremiteyi artı 4° valgusta hizalamak zorunda kaldık. Bunun sonucunda da, ameliyat sonrası mFA ortalaması (89.1°) ameliyat öncesi ortalamaya (90.6°) göre anlamlı derecede düşmesine rağmen ($p = 0.035$), ameliyat sonrası ideal açı olan 90° 'den hala uzakta seyretmekteydi.

Hastaların yarısının ameliyat sonrasında ölçülen mTA değerleri ideal olan 90° 'ye yakinken, TDA öncesi hastaların sadece %20'sinde mTA değerleri kabul edilebilir düzeydeydi (Şekil 5a). Ameliyat sonrası ortalama tibial açı tam 90.0° iken, ameliyat öncesi ortalamasının anlamlı derecede daha düşük (87.7° ; $p = 0.003$) (Şekil 5b) ol-

ması TDA'nın bu parametrede kayda değer bir gelişme sağladığının kanıtıydı.

Çalışılan hasta grubunda hiçbir patellofemoral veya cilt komplikasyonuna rastlanmadı. Bilgisayar yardımıyla TDA'da ortalama turnike süresi 109.5 (dağılım: $80-130$) dakika olarak kaydedildi. Ameliyat sırasında ve sonrasında kanama miktarı da geleneksel prosedürlerdeki ile benzerlik göstermekteydi. Çalışma grubundan iki hasta daha önce menisküs yaralanması nedeniyle diz artroskopisi geçirmiş ve birinde eklemin ortaya konulması için anterior tibial tüberkülün osteotomisi gerekmişti. Bu prosedürlerin bilgisayar yardımıyla TDA'ya veya elde edilen sonuçlara bir etkisi olmadı.

Tartışma

Bilgisayar yardımıyla TDA uygulanan 20 hastanın klinik sonuçları, bilgisayar desteğinin femoral ve tibial implantların daha iyi konumlanmasına ve ligaman dengele-

Tablo 2. 2002-2004 yılları arasında Croix-Rousse Hastanesi'nde bilgisayar destekli total diz artroplastisine sevk edilen hastaların ameliyat öncesi ve sonrası radyografik parametreleri.

Parametre	Açısal değerler ($^\circ$)		
	Minimum	Maksimum	Ortalama \pm SS
Ameliyat öncesi			
mFTA	167	190	175.45 ± 6.29
mFA	77	95	90.6 ± 3.88
mTA	83	94	87.7 ± 2.83
σ	0	24	6.75 ± 5.7
Ameliyat sonrası			
mFTA	175	185	179.7 ± 2.57
mFA	85	94	89.1 ± 1.91
mTA	87	94	90 ± 1.59
σ	-2	3	0.3 ± 1.34
γ	-5	4	1.3 ± 2.13

mFA: Mekanik femoral açı; mFTA: Mekanik femorotibial açı; mTA: Mekanik tibial açı; SS: Standart sapma; σ : Tibial bileşenin eğimi; γ : Femoral bileşenin sapması.

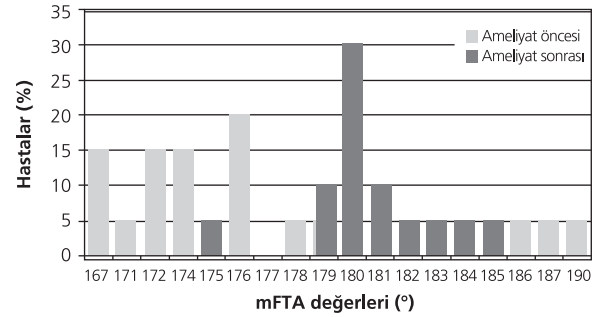
mesine katkıda bulunduğunu göstermiştir. İmplant konumlandırmasındaki doğruluk derecesi ameliyat sonrası ölçülen ortalama mFTA, mTA, σ ve γ açısı değerlerinde (sırasıyla, 179.7°, 90°, 0.3° ve 1.3°) görülmekteydi ki, bu değerler literatürde ideal kabul edilen değerlere çok yakındı.^[5,8-10] Ameliyat sonrası ortalama mFA değeri (89.1°) kabul edilebilir değer olan 90°'den biraz sapsmış olsa da, bu farklılık tatminkar ligaman dengelemesi için ekstremitesi artı 4° valgusta hizalanması gereken hastanın çalışmaya dahil edilmiş olmasıyla açıklanabilir. Çalışma popülasyonu küçük olduğundan (n=20), bu tek olgunun istatistiksel analiz üzerindeki etkisi kaçınılmazdır.^[11,12]

Cerrahi travmanın azaltılması ve implantın sağkalım süresinin geliştirilmesi TDA'da bilgisayarla navigasyon kullanımının temel nedenleri arasında yer almaktadır.^[13] İmplant bileşenlerinin dayanıklılığıyla ölçülen total diz protezinin başarısı, doğru aksiyel hizalamaya, yeterli ligaman dengelemesine ve eşitlenmiş fleksiyon ve ekstansiyon aralıklarına bağlıdır.^[14,15] Bu bağlamda, implant bileşenlerinin instabilitesi ve yanlış konumlandırılması, TDA sonrası iki yıl içinde gerçekleştirilen revizyon cerrahilerinin ana faktörleridir.^[10,16]

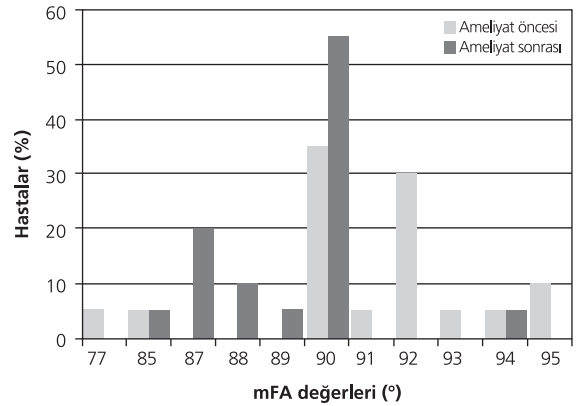
Bilgisayar yardımıyla TDA'da femur başı merkezlerinin, dizin ve ayak bileğinin ekstremitenin anatomik eksenine göre doğru hizalanması navigasyonun temel prensibini teşkil eder. Bu görevin iki ana aşaması bulunmaktadır; (1) kesimine başlamadan kemiklerin dijital ortamda rekonstrüksiyonu ve (2) implantların prosedür boyunca üç boyuttaki konumlamalarını takip etmek için kızılötesi ışık yayan diyotların femur ve tibiaya güvenli tespiti. Bununla birlikte, bu aşamalar turnike süresinde; ve bunun sonucunda da morbiditede artışa yol açabilirler. Günümüzde mevcut bilgisayar yardımıyla TDA çalışmaları çelişkili sonuçlar bildirmekte ve özellikle klinik sonuçları açısından prosedürün geçerliliği tartışma konusu olmaya devam etmektedir. Bazı yazarlar, geleneksel TDA'ya kıyasla bilgisayarla navigasyonun çok daha iyi sonuçlar verdiğini öne sürmüştür.^[5,9] Örneğin, Tayot ve ark.,^[17] bilgisayar desteğinin 70 hastadaki implant konumlandırmasını, aynı sayıda hastaya uygulanan geleneksel TDA'ya göre ciddi şekilde geliştirdiğini bildirmişlerdir. Bununla birlikte, ilk gruptaki gelişmiş hizalamaya rağmen her iki grubun klinik sonuçları benzerlik göstermiştir. Lambilly ve ark.'nın 100 hastalık çalışmasında da, bilgisayar yardımıyla TDA'yı takiben protezlerin konumlandırılmasında doğruluk derecesinin geliştirildiğinden söz edilmektedir.^[18] Bunun aksine, Seon ve Song'un çalışmasında, bilgisayar yardımıyla TDA uygulanan 49 hasta ile geleneksel TDA uygulanan 53 hastanın ameliyat sonrası değerlendirilmesinde, çalışma ve kontrol grupları arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark bulunmamıştır.^[19] Fehring ve ark.'na göre ise, bilgisayar yardımıyla TDA, diz ekle-

minden uzakta saptanan kemik deformitesi olgusunda olduğu gibi, geleneksel aletlerin kullanılmadığı zor durumlarda başvurulabilecek en önemli yöntemdir.^[14]

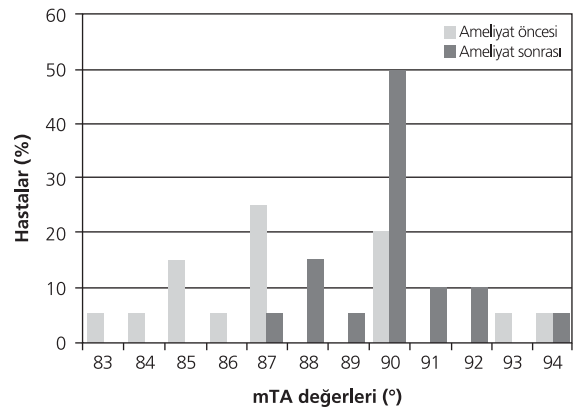
Bu çalışmada yararlanılan bilgisayarla navigasyon sistemi ile (geleneksel radyografilerden hesaplanamayacak farklı büyüklüklerde fleksiyon ve ekstansiyon aralıkları kullanılarak ligaman dengelemesi geliştirilebilir. Bunun-



Şekil 3. Hastaların (n=20) ameliyat öncesi ve ameliyat sonrası mFTA verilerinin dağılımı.



Şekil 4. Hastaların (n=20) ameliyat öncesi ve ameliyat sonrası mFA verilerinin dağılımı.



Şekil 5. Hastaların (n=20) ameliyat öncesi ve ameliyat sonrası mTA verilerinin dağılımı.

la birlikte, elde edilen görüntülerin 20°'lik fleksiyon ile kısıtlı olması nedeniyle, varus ve valgusta kısıtlamaya neden olan komponentlerin ve fleksiyon ve ekstansiyon halinde mFTA'nın daha dinamik bir analizi yararlı olurdu. Cerrahi prosedürün başlangıcı ve sonucunda hareket genliğini ölçebilmek ise inanılmaz derecede katkı sağlayabilirdi.

Günümüzde TDA uygulanan hastalarda implant konumlandırmasını geliştirmeye yönelik çeşitli navigasyon sistemleri bulunmaktadır. Yine de, girişimden beklenen sonuç hastadan hastaya farklılık gösterebileceği için, en uygulanabilir yöntemle dair nihai karar cerrah tarafından verilecektir. Bazı vakalarda mekanik eksenin total düzeltimi gerekebilirken, bazılarında ise işlem sadece eklemdeki gerilimin ayarlanmasından ibaret olabilir. Her ne olursa olsun, komplikasyonların üstesinden gelmek ve başarılı bir sonuç elde etmek için, cerrahın, işlemin her aşaması hakkında olduğu kadar, diz anatomisi ve kinematiğine dairengin bilgiye sahip olması gerektiği açıktır.^[20]

Sonuç olarak, bilgisayar yardımıyla TDA prosedüründe yararlanılan Surgetics® güvenilir bir sistemdir ve diz protezlerinin doğru konumlandırılması ve ligaman dengelemesine olanak sağlar.

Çıkar Örtüşmesi: Çıkar örtüşmesi bulunmadığı belirtilmiştir.

Kaynaklar

1. Stindel E, Gil D, Briard JL, Merloz P, Dubrana F, Lefevre C. Evaluation de la précision et de la reproductibilité de l'algorithme « surgetic » de détection du centre hanche. In: Troccaz J, Merloz P, editors. *Surgetica 2002. Gestes médico-chirurgicaux assistés par ordinateur: outils et applications* [Computer-aided medical interventions: tools and applications]. Paris: Sauramps Médical; 2002. p. 48.
2. Aglietti P, Buzzi R. Posterior stabilized total-condylar knee replacement. Three to eight years' follow-up of 85 knees. *J Bone Joint Surg Br* 1988;70:211.
3. Hansen AD, Rand JA. Instructional Course Lectures, The American Academy of Orthopaedic Surgeons - Evaluation and treatment of infection at the site of a total hip or knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 1998;80:910-22.
4. Taylor RH, Lavallée S, Burdea GC, Mösges R. Computer-integrated surgery. Technology and clinical applications. 1996. *Clin Orthop Relat Res* 1998;(354):5-7.
5. Saragaglia D, Picard F, Chausard C, Montbarbon E, Leitner F, Cinquin P. Computer-assisted knee arthroplasty: comparison with a conventional procedure. Results of 50 cases in a prospective randomized study. [Article in French] *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2001;87:18-28.
6. Townley CD. The anatomic total knee: instrumentation and alignment technique. In: Dorr LD, editor. *The Knee: Papers of the First Scientific Meeting of the Knee Society*. Baltimore: University Press; 1985. p. 39-54.
7. Nodé-Langlois L. Pre- and postoperative dimensional analysis of the angular deviations of the axes of the lower limb. [Doctorate thesis in French]. Paris: L'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers; 2003.
8. Jenny JY, Boeri C. Computer-assisted implantation of a total knee arthroplasty: a case-controlled study in comparison with classical instrumentation. [Article in French] *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2001;87:645-52.
9. Sparmann M, Wolke B, Czupalla H, Banzer D, Zink A. Positioning of total knee arthroplasty with and without navigation support. A prospective, randomised study. *J Bone Joint Br* 2003;85:830-5.
10. Nizard RS, Groupe Guépar. System of computer-assisted surgery for total knee replacement. Theoretical justification. Current status. [Article in French] Paris: Cahier d'Enseignement de La Société Française de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique; 2002. p. 175.
11. Selmi T A, Zanone X, Neyret P. Knee prosthesis in malunion. [Article in French] *Chirurgie prothétique du genou*. Paris: Sauramps Médical; 1999. p. 221-39.
12. Badet R, Ait Si Selmi TA, Neyret P. Tibial valgus osteotomy after total knee arthroplasty. In: Chambat P, Neyret P, Deschamps G, editors. [Article in French] *La chirurgie prothétique du genou*. Paris: Sauramps Médical; 1999. p. 241
13. Hasegawa M, Yoshida K, Wakabayashi H, Sudo A. Minimally invasive total knee arthroplasty: comparison of jig-based technique versus computer navigation for clinical and alignment outcome. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2011;19:904-10.
14. Fehring TK, Mason JB, Moskal J, Pollock DC, Mann J, Williams VJ. When computed-assisted knee replacement is the best alternative. *Clin Orthop Relat Res* 2006;452:132-6.
15. Biasca N, Wirth S, Bungartz M. Mechanical accuracy of navigated minimally invasive total knee arthroplasty (MIS TKA). *Knee* 2009;16:22-9.
16. Delp SL, Stulberg SD, Davies B, Picard F, Leitner F. Computer assisted knee replacement. *Clin Orthop Relat Res* 1998;(354):49-56.
17. Tayot O, Boufarah C, Chavane H, Béjui-Huges J. Comparison of a series of 70 navigated TKA with a series of 70 classic TKA implants. [Presentation in French] 79th Annual Meeting of the Society of French Orthopaedic Surgery and Traumatology; November, 2004; Paris.
18. Lambilly C, Courjaud X, Merlaud L. Contribution of rotating platform navigated knee surgery in positioning a total of 100 prostheses. [Presentation in French] 79th Annual Meeting of the Society of French Orthopaedic Surgery and Traumatology; November, 2004; Paris.
19. Seon JK, Song EK. Navigation-assisted less invasive total knee arthroplasty compared with conventional total knee arthroplasty: a randomized prospective trial. *J Arthroplasty* 2006;21:777-82.
20. Picard F. Le geste médico-chirurgical assisté par ordinateur (GMCAO). Symposium Ceraver; June, 2003:197; Helsinki.