



Kienböck hastalığı tedavisinde kullanılan radyal kısaltma osteotomisinin radioulnokarpal ekleme binen yükler üzerindeki etkilerinin araştırılması: Biyomekanik çalışma

Investigation of radioulnocarpal joint load distribution effects of radial shortening osteotomy for the treatment of Kienböck disease: a biomechanical study

Ahmet Cemil Turan,¹ Bora Uzun,² Meriç Ünal,¹ Bahadır Uyulgan,³ Bayram Ünver,⁴ İzge Günal¹

¹Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye;

²Dokuz Eylül Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Biyomekanik Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye;

³Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye;

⁴Dokuz Eylül Üniversitesi Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Yüksekokulu, İzmir, Türkiye

Amaç: Radyal kısaltma osteotomisinin, radiolunat eklem yük dağılımı üzerindeki etkileri araştırıldı.

Gereç ve yöntemler: Bu biyomekanik çalışmada, sert köpükten imal edilmiş sol el bileği modelleri kullanıldı (Sawbones®, Malmö, Sweden). Radioulnokarpal eklem yük dağılımları, sağlam el bileği modellerinde ve 2 mm ve 4 mm radyal kısaltma osteotomisi modellerinde, 14 kgf ve 25 kgf yüklenmeler altında el bileği nötral pozisyonunda iken, araştırıldı.

Bulgular: Sağlam el bileği modellerinde, 14 kgf ve 25 kgf yüklenme altında oluşan ortalama basınç dağılımları karşılaştırıldığında, ulnokarpal eklemdaki artış ve radiolunat eklemdaki azalma istatistiksel olarak anlamlı bulundu (sırasıyla, $p=0.012$, $p=0.036$). 14 kgf ve 25 kgf yüklenme sonrası oluşan ilgili ortalama basınç dağılımları karşılaştırıldığında, sağlam el bileği ve osteotomi grubu arasında anlamlı fark saptanmadı.

Sonuç: Sonuç olarak, radyal kısaltma osteotomisi, el bileği nötral pozisyonunda, radiolunat ekleme binen yükleri azaltmada etkili değildir.

Anahtar sözcükler: Biyomekanik; Kienböck hastalığı; radial kısaltma osteotomisi; radioulnokarpal yük dağılımı.

Objectives: We evaluated the effects of radial shortening osteotomy on the radiolunate joint load distribution.

Materials and methods: This biomechanical study used standard left wrist models made of solid foam (Sawbones®, Malmö, Sweden). The radioulnocarpal joint load distribution was investigated in the normal wrist model and 2 mm and 4 mm radial shortening osteotomy models under 14 kgf and 25 kgf loads when the wrist position was neutral.

Results: In the normal wrist group, the comparison of the average pressure distributions under the 14 kgf and 25 kgf loads shows that the increase at the ulnocarpal joint loading and the decrease at the radiolunate joint loading were statistically significant ($p=0.012$, $p=0.036$, respectively). When we compared the respective average pressure distributions after 14 kgf and 25 kgf loading, there were no significant differences between the normal wrist and the osteotomy groups.

Conclusion: Consequently, radial shortening osteotomy is not effective in decreasing radiolunate joint loading when the wrist is in neutral position.

Key words: Biomechanics; Kienböck's disease; radial shortening osteotomy; radioulnocarpal joint loading.

Kienböck hastalığının etiyolojisi tam olarak aydınlatılamamasına karşın, en sık kabul edilen teori, tekrarlayan travmalarla lunat kemiğin düzensiz yüklenmesidir.^[1,2] Bu teoriye dayanılarak

geliştirilen dekompresif işlemlerin, lunat yükünü azalttığına ve yük azalmasının, revaskularizasyona izin verdiğine inanılır. Eklem eşitleme işlemlerinin lunat yük dağılımı üzerine etkileri araştırılmış

ve diğer cerrahi işlemlerle karşılaştırıldığı pek çok biyomekanik ve klinik çalışma yapılmıştır.^[2-7]

Kienböck hastalığı tedavisinde kullanılan radyal kısaltma osteotomisinin, radiolunat ekleme binen yük dağılımlarını azaltmak yerine, daha farklı bir mekanizma ile etkili olduğunu düşünüyoruz. Bu nedenle, radyal kısaltma osteotomisinin, radiolunat eklem yük dağılımı üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla bu çalışmayı gerçekleştirdik.

GEREÇ VE YÖNTEMLER

Çalışmada sert köpükten imal edilmiş 16 adet sol el bileği modeli kullanıldı (Sawbones®, Malmö, Sweden). Radyal kısaltma osteotomisi sonrası aksiyel yüklenme durumunda radioulnokarpal ekleme binen yüklerin dağılımını araştırmak amacıyla üç grup oluşturuldu. On altı sağlam modelden rastgele seçilen sekiz model ile birinci grup, geriye kalan sekiz modelden rastgele seçilen dört model ile ikinci grup, kalan dört model ile de üçüncü grup oluşturuldu. Birinci grubun ölçümleri tamamlandıktan sonra rastgele seçilen dört model ikinci gruba, kalan dört model üçüncü gruba dahil edildi. Böylece tüm gruplarda sekizer örnek tamamlanmış oldu. Birinci gruba osteotomi uygulanmadı, ikinci gruba 2 mm radyal kısaltma osteotomisi, üçüncü gruba ise 4 mm radyal kısaltma osteotomisi uygulandı.

On santimetre yükseklikte, 8 cm çapında plastik kalıplar hazırlandı. Modeller radius ve ulna proksimali kalıp içinde kalacak şekilde kalıba yerleştirildi ve kalıp içine alçı döküldü. Yatay zemin humerus aksı olarak kabul edildi, radius ve ulna aksına dirsek eklemi 90 derece fleksiyonda olacak şekilde aksiyel planda pozisyon verilerek, alçı donduruldu. Ölçümler, modeller alçı kalıba alındıktan iki gün sonra yapıldı.

Birinci gruba osteotomi uygulanmadan yüklenme testleri yapıldı. İkinci gruba, distal radius eklem yüzü volar kenarından 7 cm proksimalde, 2 mm kalınlığında kemik segment çıkartılacak şekilde ve üçüncü gruba, 4 mm kalınlığında kemik segment çıkartılacak şekilde osteotomi uygulandı. Tespitte 3,5 mm'lik altı delikli dinamik kompresyon plağı (Aksis®, İzmir, Türkiye) kullanıldı. El bileğinin nötral pozisyonda yüklenmesini sağlamak amacıyla, el bileği nötral pozisyondaiken modeller intermetakarpal eklemlerin hemen proksimalinden horizontal planda osteotomize edildi. Kapitat kemik, yükün

verilme doğrultusunda 1 cm derinliğinde delindikten sonra, 5 cm uzunluğunda 6.5 mm'lik rot kapitata yerleştirildi. Yükün eşit dağılması amaçlanarak 2 cm x 6.5 cm x 2 mm plaka, rottan geçirilerek bir adet somunla sıkıştırıldı. Model yüklenme cihazına rotun proksimal ucu ile bağlandı ve bu bağlantı da somunla sıkıştırıldı (Şekil 1).

Ölçümler sırasında tüm örneklerin radioulnokarpal eklemlerine basınca duyarlı filmler (Fuji Prescal Film®, Japan) yerleştirildi. Tüm çalışma boyunca low (2.5-10 MPa/two-sheet) filmler kullanıldı.

Deneyde basma aleti olarak Autograph AG-I/50N-10kN universal test cihazı (Shimadzu®, Tokyo, Japan) kullanıldı. Her bir örneğe önce 14 kgf kuvvetle, sonra 25 kgf kuvvetle, basma hızı 3 mm/dk olacak şekilde sürekli artan aksiyel siklik yüklenme uygulandı. Sistem, basınca duyarlı film ile çalışmak için öngörülen parametrelere uygun olarak, istenilen yük değerine bir dakikada ulaşacak ve maksimum yük değerinde 10 sn bekledikten sonra tekrar sıfır yük değerine bir dakikada ulaşacak şekilde ayarlandı.

Basınca duyarlı filmler, 600 dpi çıkış çözünürlüğünde, kalibrasyon şeridi ile beraber tarayıcıdan (HP® scanjet G4010) geçirilip, Lucia v. 4.51 bilgisayar programında basınç haritaları oluşturuldu (Şekil 2). Elde edilen haritalardan basınç değerleri tespit edildi.

İstatistiksel çalışmada non-parametrik Mann Whitney U-testi ve Wilcoxon signed rank testi kullanıldı, p<0.05 değeri istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

BULGULAR

Her bir örnekte yüklenme sonrası üç bölgede (ulnokarpal, radiolunat ve radioskafoid eklem) oluşan basınç değişikliklerinin yüzdeleri hesaplandı. Elde edilen verilere göre üç grubun 14 kgf ve 25 kgf yüklenme sonrası oluşan basınç dağılımları ayrı ayrı karşılaştırıldı. Yüklenmeler sonrası oluşan basınç dağılımları gruplara ve yüklenmenin olduğu bölgelere göre aşağıdaki tablolarda verilmiştir (Tablo I, II).

Normal el bileğini temsil eden osteotomi yapılmayan grupta 14 kgf yüklenme sonrası oluşan basınç dağılımları karşılaştırıldığında, yükün yaklaşık %15'inin ulnokarpal eklemden, yaklaşık %63'ünün radiolunat eklemden ve yaklaşık



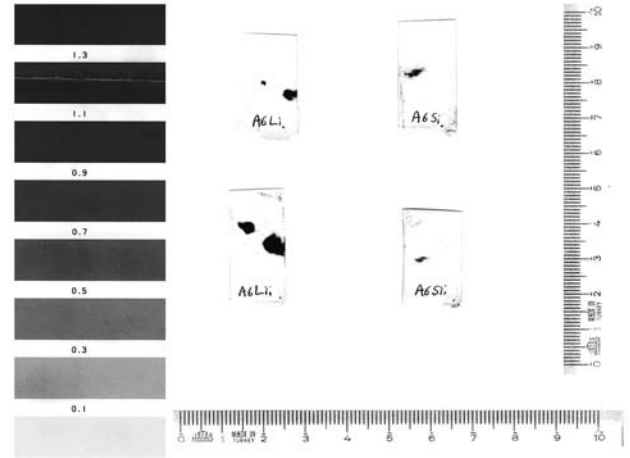
Şekil 1. Yüklemeye hazırlanmış el bileği modeli.

%22'sinin radioskafoid eklemden, yani yaklaşık %85'inin radiokarpal eklemden geçtiği görüldü. Osteotomi yapılmayan grupta ise 25 kgf yüklenme sonrası oluşan basınç dağılımları karşılaştırıldığında, yükün yaklaşık %29'unun ulnokarpal eklemden, yaklaşık %51'inin radiolunat eklemden ve yaklaşık %20'sinin radioskafoid eklemden, yani yaklaşık %71'inin radiokarpal eklemden geçtiği görüldü (Tablo I, II). Yüklenme alanlarında oluşan basınç dağılımlarının istatistiksel karşılaştırılması Tablo III, IV ve V'te verilmiştir.

Osteotomi yapılmayan grupta 14 kgf ve 25 kgf yüklenme sonrası oluşan ortalama basınç dağılımları karşılaştırıldığında, ulnokarpal eklemdaki basınç artışı ve radiolunat eklemdaki basınç azalması istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($p < 0.05$; Tablo V).

TARTIŞMA

İleri evre Kienböck hastalığının tedavisinde de radyal kısaltma osteotomisi ile iyi sonuçlar alınmıştır.^[8-14] Palmer ve Werner,^[4] yük hücreleri



Şekil 2. Tarayıcıdan geçirildikten sonra görüntü analizi için hazırlanmış basınca duyarlı filmler. Kalibrasyon şeridi (solda), 14 kgf (üstte) ve 25 kgf (altta) yüklenme sonrası oluşan renk değişiklikleri görülmekte.

(load cell) kullanarak yaptıkları deneysel kadavra çalışmasında yükün %18,4'ünün ulnokarpal eklemden ve %81,6'sının radiokarpal eklemden geçtiğini bildirmişlerdir. Literatürde bu verileri destekleyen yayınlar vardır.^[3,15,16] Bu veriler, çalışmamızda 14 kgf yüklenme ile bulduğumuz değerlerle uyumludur.

Horii ve ark.^[3] radiokarpal eklemden geçen yükün %40'ının radiolunat eklemden ve %60'ının radioskafoid eklemden geçtiğini bildirmişlerdir. Literatürde bu oranları destekleyen başka yayınlar da vardır.^[15,17] Ancak, çalışmamızda radiokarpal eklemden geçen yükün %74'ünün radiolunat eklemden ve %26'sının radioskafoid eklemden geçtiğini bulduk. Literatürle karşılaştırıldığında, radioskafoid eklem ve radiolunat eklem arasındaki yük dağılımındaki bu farklılığı, el bileği modellerimizdeki karpal kemiklerin füzyone olmasına bağladık. Karpal kemiklerin füzyone olmasına bağlı olarak, kapitat kemikten gelen yükün büyük kısmı, lunat kemiğe aktarılıyordu. Bu da, radiokarpal eklem yüklenmesinde, radiolunat ekleminden neden radioskafoid eklemden daha fazla yüklendiğini açıklayabilir.

TABLO I

14 kgf yüklenme sonrası ortalama basınç dağılım değerleri ve standart sapmaları

	Ulnokarpal (Yüzde)	Radiolunat (Yüzde)	Radioskafoid (Yüzde)
1. Grup	14.9±6.3	62.9±17.1	22.1±16.3
2. Grup	23.9±22.8	52.9±33.5	28.9±25.1
3. Grup	28.6±18.4	49.3±26.7	22.1±16.9

TABLO II

25 kgf yüklenme sonrası ortalama basınç dağılım değerleri ve standart sapmaları

	Ulnokarpal (Yüzde)	Radiolunat (Yüzde)	Radioskafoid (Yüzde)
1. Grup	28.6±7.1	50.7±12.3	20.6±14.6
2. Grup	20.7±19.3	47.9±23.3	31.4±18.6
3. Grup	35.9±10.7	42.7±16.9	21.4±7.2

Çeşitli deneysel çalışmalar, radyal kısaltma osteotomisinin yükleri distal ulnaya doğru geçirerek lunat yükünü azalttığını göstermiştir.^[2,3,18] Çalışmamızda, el bileği nötral pozisyonunda 14 kgf yüklenme sonrası oluşan basınç dağılımlarında, osteotomi miktarının artmasıyla radiolunat eklem yüklenmesinde sayısal olarak azalma, ulnokarpal eklem yüklenmesinde sayısal olarak artış saptanmıştır. Ancak bu bulguların istatistiksel olarak anlamı yoktur.

Osteotomi yapılmayan grupta 14 kgf yüklenme sonrası oluşan ortalama basınç dağılımları ile 25 kgf yüklenme sonrası oluşan ortalama basınç dağılımları karşılaştırıldığında; ulnokarpal eklemdeki artış ($p=0.012$) ve radiolunat eklemdeki azalma anlamlı bulundu ($p=0.036$). Radioskafoid eklemdeki azalma ise anlamlı bulunmadı ($p=1.00$). İki milimetre veya 4 mm osteotomi yapılan gruplarda ise 14 kgf yüklenme sonrası oluşan ortalama basınç dağılımları ile 25 kgf yüklenme sonrası oluşan ortalama basınç dağılımları karşılaştırıldığında,

TABLO III

14 kgf yüklenme sonrası gruplar arası istatistiksel karşılaştırma (non-parametrik Mann-Whitney U-testi)

	Ulnokarpal (p)	Radiolunat (p)	Radioskafoid (p)
1.-2. Grup	0.753	0.345	0.674
1.-3. Grup	0.059	0.294	0.674
2.-3. Grup	0.833	1.00	0.600

TABLO IV

25 kgf yüklenme sonrası gruplar arası istatistiksel karşılaştırma (non-parametrik Mann-Whitney U-testi)

	Ulnokarpal (p)	Radiolunat (p)	Radioskafoid (p)
1.-2. Grup	0.753	0.529	0.401
1.-3. Grup	0.074	0.248	0.834
2.-3. Grup	0.172	0.600	0.115

ulnokarpal, radiolunat ve radioskafoid eklemlerdeki sayısal değişiklikler anlamlı bulunmadı. Dört milimetre radyal kısaltma osteotomisi uygulanması sonrası, pozitif ulnar varyans meydana getirildi. İstatistiksel olarak anlamlı olmamasına rağmen, pozitif ulnar varyans varlığında, el bileği nötral pozisyonunda aşırı yüklenme ile ulnokarpal eklem yüklenmesi arttı, radiolunat ve radioskafoid eklem yüklenmesi azaldı.

Bu bulgulara göre, nötral ulnar varyanslı normal el bileğini temsil eden, osteotomi yapılmayan grupta, el bileği nötral pozisyonunda, yükün artmasıyla radiokarpal eklemdeki basınçlar azaldı, ulnokarpal eklemdeki basınçlar arttı. Aşırı yüklenmede yükler, el bileği ulnar tarafına kaydı. Dolayısıyla, nötral pozisyonda oluşan yük artışını ulnokarpal eklem karşıladı. Kuvvetli yumruk hareketinde oluşan 200-250 Newton yükün oluşabilmesi için el bileği ulnar deviyasyona gelir. Günlük aktivite sırasında, kavrama gücü ulnar deviyasyonda daha fazla olmaktadır.^[19] Görünen odur ki, ulnokarpal eklem nötral el bileği pozisyonunda yükü karşılayan ve ulnar deviyasyon sırasında bu kuvvetin artmasında rol oynayan destek noktasıdır. Günel ve ark.^[20] yaptıkları biyomekanik bir çalışma sonucunda, Kienböck hastalığı etyolojisinde ulnar deviyasyon yüklenmesinin yer aldığını, sınırlı karpal füzyonların el bileği yüklenme özelliklerini değiştirerek değil, ulnar deviyasyonu kısıtlayarak etki ettiğini öne sürmüşlerdir. Fakat çalışmamızda, el bileği nötral pozisyonunda

TABLO V

14 kgf ve 25 kgf yüklenme sonrası oluşan basınçların istatistiksel karşılaştırması (Wilcoxon signed rank testi)

	Ulnokarpal (14x25 kgf)	Radiolunat (14x25 kgf)	Radioskafoid (14x25 kgf)
1. Grup	0.012	0.036	1.00
2. Grup	0.735	0.889	0.866
3. Grup	0.327	0.484	0.779

lunat kemik yüklenmesini temsil eden radiolunat eklemdeki yükün azalması anlamlı bulundu. Bu noktada şu düşünülebilir; ulnokarpal eklemdeki yük artışının bir kısmının ulnolunat eklem yoluyla sağlandığı hesaba katılacak olursa, el bileği nötral pozisyonunda aşırı yüklenme ile lunat, yükü alışık olmadığı bir yerden geçirecektir. Günel ve ark.^[20] aynı çalışmada el bileği ulnar deviyasyona getirildiğinde radioskafoid yükün azaldığını ve yükün önemli kısmının radiolunat eklem aktarıldığını belirtmişlerdir. Radyal deviyasyonda, belirli oranda yük taşıyan ulnolunat eklem, el bileği ulnar deviyasyona getirildiğinde hiç yük almadığını göstermişlerdir. Aşırı yüklenme ile el bileği nötral pozisyondayken ulnolunat eklem, el bileği ulnar deviyasyon pozisyonundayken radiolunat eklem yüklenir. Yani her iki pozisyonunda da lunat kemiğin ulnar tarafı yük alır.

Hara ve ark.^[15] el bileği nötral pozisyonunda, yükün %50'sinin radioskafoid eklem ve %35'inin radiolunat eklemden geçtiğini bildirmişlerdir. El bileği radyal deviyasyona geldiğinde yükün %52'sinin radioskafoid eklem ve %30'unun radiolunat eklemden geçtiğini, el bileği ulnar deviyasyona geldiğinde, yükün %42'sinin radioskafoid eklem ve %50'sinin radiolunat eklemden geçtiğini belirtmişlerdir. Yani, el bileği ulnar deviyasyon pozisyonuna gittiğinde lunat kemik skafoid kemikten daha fazla yük taşımaktadır. Negatif ulnar varyanslı kişilerde, ulnar deviyasyonun daha fazla olduğu bilinmektedir.^[21] Kienböck hastalığı etyolojisinde ulnar deviyasyon yüklenmesinin yer aldığı dikkate alınacak olursa, bu durum Kienböck hastalığının neden negatif ulnar varyanslı hastalarda daha sık görüldüğünü açıklar. af Ekenstam ve ark.^[16] yaptıkları kadavra çalışmasında nötral el bileği pozisyonunda yükün %85'inin radiokarpal eklem ve %15'inin ulnokarpal eklemden geçtiğini bildirmişler. El bileği 15 derece ulnar deviyasyona getirildiğinde yükün %20'sinin, 25 derece ulnar deviyasyona getirildiğinde ise %24'ünün ulnokarpal eklemden geçtiğini belirtmişlerdir. Sadece ulnar deviyasyondaki artışla, ulnokarpal eklem yüklenmesinin arttığını görmekteyiz. Bu bilgiler doğrultusunda, negatif ulnar varyanslı hastalardaki mekanizma aşırı ulnar deviyasyon pozisyonundaki yüklenme ile, nötral ve pozitif ulnar varyanslı hastalardaki mekanizma ise nötral veya ulnar deviyasyon pozisyonundaki aşırı

yüklenmelerle açıklanabilir. Radyal kısıltma ve ulnar uzatma osteotomisi işlemlerinin ulnar deviyasyonu kısıtladığı yapılan çalışmalarla gösterilmiştir.^[8] Bu da, negatif, nötral veya pozitif ulnar varyanslı ve ileri evre Kienböck hastalarında, radyal kısıltma osteotomisi ile bildirilen başarılı sonuçları açıklar.

Çalışmamızda kullanılan örneklerin tamamı nötral ulnar varyanslı el bilekleri idi. Literatürde yapılmış olan çalışmalar da^[2,3] dikkate alınarak 2 mm ve 4 mm osteotomi gerçekleştirerek yüklenme deneylerinin yapılması yeterli bulundu. Buna göre, nötral ulnar varyanslı el bileklerinde ve osteotomiler sonrası pozitif ulnar varyanslı el bileklerinde yüklenme deneyleri yapıldı, Kienböck hastalığı etyolojisinde suçlanan negatif ulnar varyanslı el bileklerinde çalışma gerçekleştirilmedi. Bu durum çalışmamızın bir eksikliği olarak görülebilir. Nötral veya pozitif ulnar varyanslı el bileklerinde de Kienböck hastalığı meydana gelebildiği için ve bu durumların varlığında da radyal kısıltma osteotomisinin yayınlanmış iyi klinik sonuçlarının olduğu bilindiği için, negatif ulnar varyanslı el bileğinde yüklenme deneyi yapılmamış olması göz ardı edilebilir.

Sonuç olarak, Kienböck hastalığının tedavisinde kullanılan radyal kısıltma osteotomisi lunat kemiğe binen yükleri azaltmaz. Radyal kısıltma osteotomisinin negatif, nötral veya pozitif ulnar varyanslı ve evre 1, 2, 3A ve 3B Kienböck hastalarındaki klinik olarak iyi sonuçlar vermesinin nedeni, el bileği ulnar deviyasyonunu kısıtlaması olabilir. Normal el bileğinde yüklenmede artış ile el bileğinde yükler ulnar tarafa kayar ve ulnokarpal eklemdeki yüklenme anlamlı olarak artar. El bileği nötral pozisyonunda iken aşırı yüklenmeler sonucu ulnolunat eklem binen yük artar. El bileği aşırı ulnar deviyasyonda iken veya ulnar deviyasyondaki aşırı yüklenmeler sonucu, radiolunat eklem binen yük artar. Dolayısıyla, lunat kemik yükü alışık olmadığı yer olan ulnar tarafından geçirerek hasarlanacak ve Kienböck hastalığına zemin hazırlayacaktır. Bu hipotezimizin doğrulanabilmesi için el bileğinin tüm pozisyonlarında, özellikle nötral ve ulnar deviyasyon pozisyonunda biyomekanik çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu çalışmaların, ameliyat öncesi ve sonrası ulnar deviyasyon miktarını ölçen klinik çalışmalarla da desteklenmesi gereklidir.

Teşekkür

Çalışmanın gerçekleşmesi için sağladığı maddi destekten dolayı Türk Ortopedi ve Travmatoloji Birliği Derneğine (TOTBİD) teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Allan CH, Joshi A, Lichtman DM. Kienbock's disease: diagnosis and treatment. *J Am Acad Orthop Surg* 2001;9:128-36.
- Werner FW, Palmer AK. Biomechanical evaluation of operative procedures to treat Kienböck's disease. *Hand Clin* 1993;9:431-43.
- Horii E, Garcia-Elias M, Bishop AT, Cooney WP, Linscheid RL, Chao EY. Effect on force transmission across the carpus in procedures used to treat Kienböck's disease. *J Hand Surg Am* 1990;15:393-400.
- Palmer AK, Werner FW. Biomechanics of the distal radioulnar joint. *Clin Orthop Relat Res* 1984;187:26-35.
- Trumble T, Glisson RR, Seaber AV, Urbaniak JR. A biomechanical comparison of the methods for treating Kienböck's disease. *J Hand Surg Am* 1986;11:88-93.
- Weiss AP. Radial shortening. *Hand Clin* 1993;9:475-82.
- Gudemez E, Baskan T, Eksioğlu F, Sepici B. Surgical treatment in stage III Kienböck's disease. *Eklem Hastalik Cerrahisi* 1997;8:4-7.
- Nakamura R, Horii E, Imaeda T. Excessive radial shortening in Kienböck's disease. *J Hand Surg Br* 1990; 15:46-8.
- Nakamura R, Imaeda T, Miura T. Radial shortening for Kienböck's disease: factors affecting the operative result. *J Hand Surg Br* 1990;15:40-5.
- Ovesen J. Shortening of the radius in the treatment of lunatomalacia. *J Bone Joint Surg [Br]* 1981;63-B:231-2.
- Altay T, Baş M, Karapınar L, Öztürk H, Us M R. Radial shortening in Kienböck's disease. *Eklem Hastalik Cerrahisi* 2002;13:15-22.
- Iwasaki N, Minami A, Oizumi N, Suenaga N, Kato H, Minami M. Radial osteotomy for late-stage Kienböck's disease. Wedge osteotomy versus radial shortening. *J Bone Joint Surg [Br]* 2002;84:673-7.
- Tatebe M, Hirata H, Iwata Y, Hattori T, Nakamura R. Limited wrist arthrodesis versus radial osteotomy for advanced Kienböck's disease-for a fragmented lunate. *Hand Surg* 2006;11:9-14.
- Weiss AP, Weiland AJ, Moore JR, Wilgis EF. Radial shortening for Kienböck disease. *J Bone Joint Surg [Am]* 1991;73:384-91.
- Hara T, Horii E, An KN, Cooney WP, Linscheid RL, Chao EY. Force distribution across wrist joint: application of pressure-sensitive conductive rubber. *J Hand Surg Am* 1992;17:339-47.
- af Ekenstam FW, Palmer AK, Glisson RR. The load on the radius and ulna in different positions of the wrist and forearm. A cadaver study. *Acta Orthop Scand* 1984;55:363-5.
- Blevens AD, Light TR, Jablonsky WS, Smith DG, Patwardhan AG, Guay ME, et al. Radiocarpal articular contact characteristics with scaphoid instability. *J Hand Surg Am* 1989;14:781-90.
- Werner FW, Palmer AK, Fortino MD, Short WH. Force transmission through the distal ulna: effect of ulnar variance, lunate fossa angulation, and radial and palmar tilt of the distal radius. *J Hand Surg Am* 1992; 17:423-8.
- Nakamura R, Tsuge S, Watanabe K, Tsunoda K. Radial wedge osteotomy for Kienböck disease. *J Bone Joint Surg [Am]* 1991;73:1391-6.
- Günal I, Özcan O, Uyulgan B, Baran O, Arman C, Karatosun V. Biomechanical analysis of load transmission characteristics of limited carpal fusions used to treat Kienböck's disease. [Article in Turkish] *Acta Orthop Traumatol Turc* 2005;39:351-5.
- Unver B, Gocen Z, Sen A, Gunal I, Karatosun V. Normal ranges of ulnar and radial deviation with reference to ulnar variance. *J Int Med Res* 2004;32:337-40.