

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ
ANABİLİM DALI

**KIENBÖCK HASTALIĞI TEDAVİSİNDE
KULLANILAN RADİAL KISALTMA
OSTEOTOMİSİNİN RADİOKARPAL
EKLEME BİREN YÜKLER ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI
(BİYOMEKANİK ÇALIŞMA)**

DR. AHMET CEMİL TURAN

UZMANLIK TEZİ

İZMİR-2008

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ
ANABİLİM DALI

**KIENBÖCK HASTALIĞI TEDAVİSİNDE
KULLANILAN RADİAL KISALTMA
OSTEOTOMİSİNİN RADIÜLNOKARPAL
EKLEME BİREN YÜKLER ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI
(BİYOMEKANİK ÇALIŞMA)**

UZMANLIK TEZİ

DR. AHMET CEMİL TURAN

DANIŞMAN ÖĞRETİM ÜYESİ:

PROF. DR. İZGE GÜNAL

Bu araştırma Türk Ortopedi ve Travmatoloji Birliği Derneği Tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

1. ÖZET	1
2. SUMMARY	3
3. GİRİŞ ve AMAÇ	5
4. GENEL BİLGİLER	7
4.1 Lunat Kemik Vasküler Anatomisi	7
4.2 Kienböck hastalığı	9
4.2.1 Tanım	9
4.2.2 Demografik Özellikler	9
4.2.3 Etiyoloji	9
4.2.4 Klinik	11
4.2.5 Ayırıcı tanı	11
4.2.6 Radyolojik Değerlendirme	12
4.2.7 Evreleme	16
4.2.8 Tedavi	20
5. GEREÇ ve YÖNTEMLER	26
5.1 Araştırmanın Tipi, Yapıldığı Yer ve Tarih	26
5.2 Örneklerin Hazırlığı ve Gruplar	26
5.3 Yüklenme Testleri ve Ölçüm	29
5.4 İstatistiksel Analiz Yöntemi	32
6. BULGULAR	33
7. TARTIŞMA	36
8. KAYNAKLAR	45

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Kienböck hastalığında Lichtman sınıflaması

Tablo 2 . Kienböck hastalığı tedavi seçenekleri

Tablo 3. Kienböck hastalığı evresine göre tedavi seçenekleri

Tablo 4. 14kgf yüklenme sonrası ortalama basınç dağılım değerleri ve standart sapmaları

Tablo 5. 25kgf yüklenme sonrası ortalama basınç dağılım değerleri ve standart sapmaları

SEKİL LİSTESİ

Şekil 1. El bileği dorsal kanlanması

Şekil 2. El bileği palmar kanlanması

Şekil 3. Lunat kemik intraosseöz arteriyel dallanma modelleri

Şekil 4. Tek taraflı evre 1 Kienböck hastalığında sintigrafik tutulum

Şekil 5. Kienböck hastalığında manyetik rezonans görüntüsü

Şekil 6. Standart ön-arka radyografide ulnar varyans, radial inklinasyon ve karpal yüksekliğin değerlendirilmesi

Şekil 7. Negatif ulnar varyansın standart ön-arka, oblik ve tam yan radyografideki görünümü

Şekil 8. Stahl indeksi ölçümü

Şekil 9. Skafolunat açısı ölçümü

Şekil 10. Kienböck hastalığı evre 1

Şekil 11. Kienböck hastalığı evre 2

Şekil 12. Kienböck hastalığı evre 3A

Şekil 13. Kienböck hastalığı evre 3B

Şekil 14. Kienböck hastalığı evre 4

Şekil 15. Osteotomi yapılmayan grupta beşinci el bileği modelinde 14kgf yüklenme sonrası oluşan yük-deplasman eğrisi

Şekil 16. Osteotomi yapılmayan grupta beşinci el bileği modelinde 25kgf yüklenme sonrası oluşan yük-deplasman eğrisi

RESİM LİSTESİ

Resim 1. Çalışmada kullanılan el bileği modeli

Resim 2. Yüklemeye hazırlanmış el bileği modeli

Resim 3. Basınca duyarlı film şeritleri

Resim 4. Eklem aralığına yerleştirilmek için kesilmiş ve üst üste konmuş basınca duyarlı film

Resim 5. Basınca duyarlı filmlerin yerleştirilmesi

Resim 6. Autograph

Resim 7. Tarayıcıdan geçirildikten sonra görüntü analizi için hazırlanmış basınca duyarlı filmler

ÖNSÖZ

Eğitimime katkısı olan ve asistanlık eğitimim boyunca deneyimlerinden ve bilgilerinden büyük fayda gördüğüm sayın hocalarım; Prof. Dr. Emin ALICI, Prof. Dr. Şükrü ARAÇ, Prof. Dr. Osman KARAOĞLAN, Prof. Dr. Ahmet EKİN, Prof. Dr. Hasan HAVİTÇİOĞLU, Prof. Dr. Halit PINAR, Prof. Dr. Haluk BERK, Prof. Dr. İzge GÜNAL, Doç. Dr. Önder BARAN, Prof. Dr. Hasan TATARİ, Doç. Dr. Mustafa H. ÖZKAN, Doç. Dr. Vasfi KARATOSUN, Doç. Dr. Ömer AKÇALI, Doç. Dr. Can KOŞAY, Doç. Dr. A.Kadir BACAĞOĞLU'na teşekkür ederim.

Tezimin hazırlanmasında bana her konuda yardımcı olan tez danışmanım Prof. Dr. İzge GÜNAL'a ayrıca teşekkürü borç bilirim.

Çalışmalarım esnasında değerli yardımlarından dolayı DEÜ Biyomekanik Anabilim Dalı Araştırma Görevlileri Bora UZUN ve Berivan ÇEÇEN'e ve DEÜ Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi Dr. Bahadır UYULGAN'a teşekkür ederim.

Tezimin istatistiksel analizlerinin yapılmasındaki katkıları nedeniyle DEÜ Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Yüksekokulu öğretim üyesi Doç. Dr. Bayram ÜNVER'e teşekkür ederim.

Tezimde kullandığım implantların ve malzemelerin temininde sağladıkları maddi destekten dolayı Türk Ortopedi ve Travmatoloji Birliği Derneğine (TOTBİD) teşekkürü borç bilirim.

Uzmanlık eğitimim boyunca birlikte çalıştığım tüm asistan arkadaşlarıma, ameliyathane, poliklinik ve servis çalışanlarına teşekkür ederim.

Tüm yaşamım boyunca desteklerini esirgemeyen sevgili anne ve babama, ayrıca hayatı güzel kılan eşime ve sevgili kızım Ronya'ya teşekkür ederim.

1. ÖZET

Kienböck hastalığı tedavisinde kullanılan radial kısıltma osteotomisinin radioulnokarpal ekleme binen yükler üzerindeki etkilerinin araştırılması (Biyomekanik çalışma)

Dr. Ahmet Cemil TURAN

Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi

Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı

İnciraltı – İZMİR

Radial kısıltma osteotomisi, Kienböck hastalığı ve negatif ulnar varyans varlığında, radiolunat ekleme binen yükü azalttığı için uygulanan bir yöntem olarak bilinmektedir. Radial kısıltma osteotomisinin, nötral veya pozitif ulnar varyanslı ve ileri evre Kienböck hastalıklı hastalarda da iyi klinik sonuçlar vermesi nedeniyle, radiolunat ekleme binen yük dağılımlarını azaltmak dışında, farklı bir mekanizma ile etkili olduğunu düşünüyoruz. Bu nedenle, radial kısıltma osteotomisinin, radiolunat eklem yük dağılımı üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla bu çalışmayı gerçekleştirdik.

Bu biyomekanik çalışmada, sert köpükten imal edilmiş standart sol el bileği modelleri kullanıldı (Sawbones®, Malmö, Sweden). El bileği nötral pozisyonunda, sağlam el bileği modellerinde ve iki mm ve dört mm radial kısıltma osteotomisi uygulanan el bileği modellerinde, 14kgf ve 25kgf yüklenmeler altında, radioulnokarpal eklem yük dağılımları araştırıldı.

Sağlam el bileği modellerinde, 14kgf ve 25kgf yüklenme sonrası oluşan ortalama basınç dağılımları karşılaştırıldığında, ulnokarpal eklemdaki artış, radiolunat eklemdaki azalma istatistiksel olarak anlamlı bulundu (sırasıyla, $p=0,012$, $p=0,036$). Hem 14kgf, hem de 25kgf yüklenme sonrası oluşan ortalama basınç dağılımları kendi aralarında karşılaştırıldığında, sağlam el bileği ve osteotomi yapılan gruplar arasında anlamlı fark saptanmadı.

Sonuç olarak, radial kısıltma osteotomisi, el bileği nötral pozisyonunda, radiolunat ekleme binen yükleri azaltmada etkili değildir.

Anahtar kelimeler: Kienböck hastalığı, radial kısaltma osteotomisi, biyomekanik, radioulnokarpal yük dağılımı

2. SUMMARY

Examination of radioulnocarpal joint loading after radial shortening osteotomy for the treatment of Kienböck's disease (Biomechanical study)

Dr. Ahmet Cemil TURAN

Dokuz Eylül University Faculty of Medicine

Department of Orthopaedics and Traumatology

İnciraltı – İZMİR

Radial shortening osteotomy is a well known applied technique for unloading radiolunate joint in cases of Kienböck's disease and negative ulnar variance. Radial shortening osteotomy provides good clinical results in neutral or positive ulnar variances and advanced stage Kienböck's disease cases. We think another mechanism is effective in radial shortening osteotomy rather than the radiolunate joint unloading. Therefore, in this study we aimed to show the effects of radial shortening osteotomy on the radiolunate joint load distribution.

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

In the normal wrist group, the comparison of the average pressure distributions under the loads of 14kgf and 25kgf 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 compare the respective average pressure distributions after 14kgf and 25 kgf loading, there were no statistically significant difference between the normal wrist and the osteotomy groups.

Consequently, radial shortening osteotomy is not effective to decrease the radiolunate joint loading when the wrist is in neutral position.

Key words: Kienböck's disease, radial shortening osteotomy, biomechanics, radioulnocarpal joint loading

3. GİRİŞ VE AMAC

Kienböck hastalığı, el bileği proksimal sıra kemiklerinden lunat kemiğin avasküler nekrozudur [1, 2]. El bileğinin nadir görülen bir rahatsızlığıdır. Gerçek insidansı bilinmemektedir [3]. Etiyolojisi tam olarak netlik kazanmamıştır. Sıklıkla hastalarda travma hikayesi bulunur.

Kienböck hastalığının kliniği ağrısız, hafif ağrılı veya günlük aktiviteyi etkileyecek kadar ağrılı olabilir. Hastalık ilerleyicidir. Lunat kemikte fragmentasyon, karpal mesafede kısalma ve proksimal karpal bölgede artroza ilerleyebilir.

Tanıda; klinik, direkt radyografi, erken dönemde lunat kırığı varlığını araştırmak için bilgisayarlı tomografi ve avasküler değişiklikleri tanımlanmak için manyetik rezonans görüntüleme yararlıdır.

Hastalığın klinik gidişinde, tedavisinde, cerrahi uygulanacaksa cerrahi prosedürün seçiminde ve prognozunda, evrelemenin çok önemli yeri vardır. Evrelemede Lichtman sınıflaması kullanılır [4].

Konservatif tedavi genellikle erken dönem olgularda denenir. Konservatif tedaviye yanıt alınamayan hafif olgularda, orta ve ileri derece semptomatik olgularda cerrahi tedavi uygulanmaktadır. Nadir görülen bir hastalık olmasına rağmen, Kienböck hastalığı tedavisi için birçok cerrahi prosedür tanımlanmıştır. Cerrahi prosedürün seçiminde hastanın kliniği ve evresi önemlidir.

Eklem eşitleme prosedürlerinden radial kısaltma osteotomisi en çok tercih edilen tedavi yöntemlerinden biridir. Radial kısaltma osteotomisi, Kienböck hastalığının cerrahi tedavisinde, semptomlarda ve ağrıda gerileme, postoperatif kavrama gücünde ve eklem hareket açıklığında artma sağlamasının yanında, basit ve ekstraartiküler uygulanan bir prosedür olarak yerini almıştır [5-11].

Radial kısaltma osteotomisi, Kienböck hastalığı ve negatif ulnar varyans varlığında, radiolunat ekleme binen yükü azalttığı için tercih edilen bir yöntem olarak literatürde yer almaktadır [12-14]. Nötral veya pozitif ulnar varyanslı hastalarda da iyi klinik sonuçlar bildiren yayınlar vardır [7, 8]. İleri evre Kienböck hastalığı tedavisinde de, radial kısaltma osteotomisi ile iyi klinik sonuçlar bildirilmiştir [15-17].

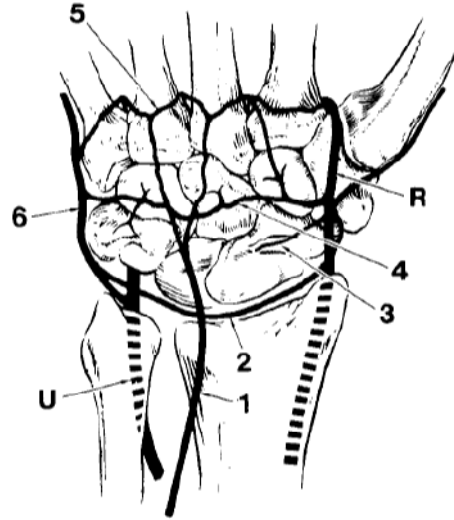
Radial kısaltma osteotomisinin, nötral veya pozitif ulnar varyanslı ve ileri evre Kienböck hastalıklı hastalarda da iyi klinik sonuçlar vermesi nedeniyle, radiolunat ekleme

binen yük dağılımlarını azaltmak yerine, daha farklı bir mekanizma ile etkili olduğunu düşünöyoruz. Bu nedenle, radial kısaltma osteotomisinin, radiolunat eklem yük dağılımı üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla bu çalışmayı gerçekleştirdik.

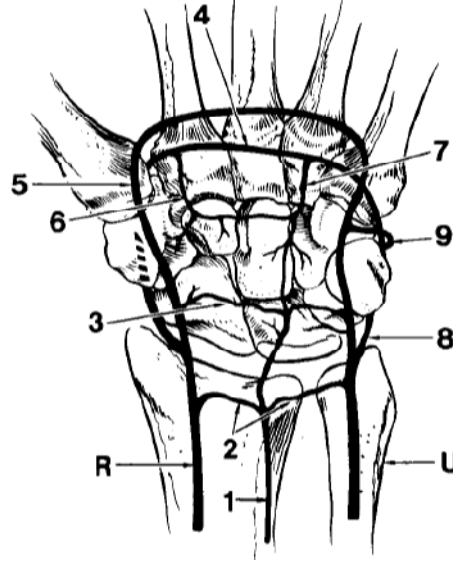
4. GENEL BİLGİLER

4.1. Lunat Kemik Vasküler Anatomisi

Lunat kemiğin vasküler anatomisi, bir ekstraosseoz ve bir intraosseoz vasküler sistemden oluşur [18]. Ekstraosseoz kanlanma, dorsal ve volar olarak ikiye ayrılır. Dorsal kanlanma, radial arter ve anterior interosseoz arterin dorsal dalı ile beslenen karpusun middorsumu üzerindeki damarlardan meydana gelir (Şekil 1) [19]. Bunlar kemiğe, kemiğin eklem yapmayan yüzeyinden, dorsaldeki foramenden girerler. Ekstraosseoz volar kanlanmayı, ulnar arter, radial arter, anterior interosseoz arterin volar dalları ve derin palmar arkıtan gelen bir rekürren dal oluşturur (Şekil 2) [19]. Lunatın ana dalları bu kaynaklardan herhangi birinden, sıklıkla ulnar ve anterior interosseoz arterlerden meydana gelir. Bir ya da iki besleyici damar, lunata, eklem yapmayan volar poldeki foramenden girer.



Şekil 1. El bileği dorsal kanlanması. R: radial arter, U: ulnar arter, 1: anterior interosseoz arter dorsal dalı, 2: dorsal radiokarpal ark, 3: skafoid dalı, 4: dorsal interkarpal ark, 5: bazal metakarpal ark, 6: ulnar arter medial dalı



Şekil 2. El bileği palmar kanlanması. R: radial arter, U: ulnar arter, 1: anterior interosseöz arter palmar dalı, 2: palmar radiokarpal ark, 3: palmar interkarpal ark, 4: derin palmar ark, 5: yüzeysel palmar ark, 6: radial rekürren arter, 7: ulnar rekürren arter, 8: ulnar arter medial dalı, 9: ulnar arterin dorsal interkarpal arka katılan dalı

Gelberman ve arkadaşları, lunatın intraosseöz vasküler anatomisini incelemişler ve %59'unun Y modeli, %31'inin I modeli ve %10'unun X modeli şeklinde olduğunu göstermişlerdir (Şekil 3) [19]. Bu, %31'inde intraosseöz vasküler dallanmanın olmadığı anlamına gelir. El bileklerinin %8'sinde lunat kemiğin sadece tek bir palmar arterden beslendiği belirtilmiştir. Yazarlar aynı zamanda, lunat kemiğin radial eklem yüzeyi ile komşu proksimal bölümünün nispeten avasküler olduğunu belirtmişlerdir [19].



Şekil 3. Lunat kemik intraosseoz arteryel dallanma modelleri

4.2 Kienböck Hastalığı

4.2.1 Tanım

Kienböck hastalığı, lunat kemiğin avasküler nekrozuna sekonder gelişen, skleroz ve kollapsı ile karakterize bir hastalıktır [1, 2].

Lunat kemiği kollapsının, ilk olarak 1843 yılında Peste tarafından anatomik örneklerde tanımlandığı söylenmektedir [2, 4, 20]. Bir radyolog olan Robert Kienböck, 1910 yılında hastalığın, lunat kemiği kanlanmasının azalmasıyla sonuçlanan, tekrarlayan travmalara sekonder meydana geldiği teorisini öne sürdüğü bilinmektedir [1, 3]. Kienböck, izole değişikliklerin lunatın proksimal kısmından başladığının ve radiolunat eklem etkilediğinin radyografik delilini sağlamıştır. Kienböck hastalığında avasküler nekrozun, histolojik olarak ilk defa Baum tarafından tanımlandığı söylenmektedir [2].

4.2.2 Demografik Özellikler

Kienböck hastalığı sıklıkla 20-40 yaşları arasında görülür. Erkeklerde daha sık görülmektedir (Erkek/Kadın = 2/1). Hastalık, sıklıkla dominant el bileğinde ve elleriyle iş yapanlarda meydana gelir [1, 2]. Nadiren bilateraldir ve gerçek insidansı bilinmemektedir [3].

4.2.3 Etiyoloji

Kienböck hastalığına neden olabileceği düşünülen birçok faktör mevcuttur. Birçok direkt ve indirekt nedenler ileri sürülmüştür. Hastalığın etiyolojisi halen netlik kazanmamıştır.

Peste'nin, akut travmanın hastalığın etiolojisi olduğu hipotezini savunduğu söylenmektedir [2, 4, 20]. Beckenbaugh ve arkadaşları, hastaların %82'sinde belirgin kırık hattı bulmuşlardır [21]. Lee, 1963 yılında, Kienböck hastalığını lunat kemiğin horizontal kırığıyla ilişkilendirmiş ve travmaya sekonder kanlanmanın kesilmesini etiolojide düşündüğünü bildirmiştir [18]. Kienböck'ün, hastalığın lunat kemiğin tek basit travmasından ziyade kronik, tekrarlayıcı travmalar sonrası oluştuğunu savunduğu söylenmektedir [1, 3].

Lunatın vasküler anatomisi Kienböck hastalığı etiolojisinde sıklıkla vurgulanmıştır . Minimal dallanma gösteren tek damarlı bir lunatın, hiperfleksiyon veya hiperekstansiyon yaralanması veya minimal deplase bir kırık sonrası avasküler nekroz için risk altında olduğu kabul edilir [19].

Venöz konjesyona bağlı kan akımının bozulması da Kienböck hastalığının bir nedeni olarak ileri sürülmüştür. Schiltenswolf ve arkadaşları, nekrotik lunatlarda normal lunatlara göre daha yüksek intraosseöz venöz basınç olduğunu yayınlamışlardır [22]. Bu basınç artışının etiolojik neden veya lunat kollapsına sekonder olup olmadığı net değildir, fakat venöz kan akımının travmatik bozulması lunat kemiğin avasküler nekrozunda diğer bir faktör olabilir.

Radiokarpal eklem üzerine düzensiz yüklenmeler de etiolojide suçlanmıştır. Negatif ulnar varyans ve Kienböck hastalığı arasındaki ilişkinin ilk olarak 1928 yılında Hulthen tarafından tanımlandığı söylenmektedir [3, 23, 24]. Kienböck hastalığı olan hastalarda negatif ulnar varyans insidansını %78, normal popülasyonda %23 olarak yayınlamıştır. Hulthen'in, ulnar kısılğın radiolunat eklem üzerinden geçen yükü arttırarak avasküler nekroza yol açtığını savunduğu söylenmektedir. Hulthen'in bu hipotezi, her ne kadar diğer yazarlar tarafından kabul görmüşse de, negatif ulnar varyanslı hastaların hepsinde Kienböck hastalığının meydana gelmediği de açıktır [7, 25]. Nakamura ve arkadaşları, ulnar varyansın yaşla arttığını ve erkeklerde daha az olduğunu, ve pozitif ulnar varyanslı hastalarda da hastalığın bulunduğunu bildirmişlerdir [24]. Bonzar ve arkadaşları, negatif ulnar varyans ve hastalık arasında ilişki olduğunu doğrulamışlar, fakat bu bulgunun, hastalığın nedeninin kanıtı olarak açıklanamayacağını vurgulamışlardır [26]. Günal ve arkadaşları, yaptıkları biomekanik bir çalışma sonucunda, Kienböck hastalığı etiolojisinde ulnar deviasyon yüklenmesinin yer aldığını öne sürmüşlerdir [27].

Kortikosteroid kullanımı, septik emboli, orak hücreli anemi, gut, karpal koalasyon ve serebral palsy gibi durumların birlikteliğinde de Kienböck hastalığı bildirilmiştir. Ancak tanı

konduğu zaman, gerekçe gösterilecek her hangi bir sistemik veya nöromuskuler süreçle iyi tanımlanmış bir ilişkisi yoktur [4, 28].

Lunat avasküler nekrozuna etki eden faktörler çeşitlidir ve bu durumun gelişmesi için bu faktörlerin kombinasyonu gereklidir. Bu nedenle ekstrensek ve intrensek faktörleri içeren ‘hata plak hipotezi’ ortaya atılmıştır. Ekstrensek faktörler, kapitat yük aktarımını, lunat yüklenmesini, ulnar varyansı, yüklenme tipini ve lunat yüklenmesini arttıran instabiliteyi içerir. İntrensek faktörler, küresel şekilli lunatı (küresel şekli nedeni ile trabeküler desteğe kortikal destekten daha çok bağımlı), lunat trabekül anatomisini, lunat kalitesi, mineralizasyon ve morfolojisini, lunatın vasküler anatomisini içerir. Bu faktörler lunatı trabeküler elastik deformasyona önceden hazırlar. Lunatta intratrabeküler mikro hatalar meydana gelir. Yaralanmalar sonucu kapiller sistem rüptürü oluşur ve normal kan akımı direnci artmasıyla fizyolojik hata plakları gelişir [29]. Bu plaklar küçük veya geniş, lokalize veya diffüz olabilir. Oluşan plaklar nedeniyle trabeküler duvar kapanır. Lunat içindeki kanlanma alanlarını engeller ve bu olay kemik nekrozu ile sonuçlanır. Dinlenme ve aktivite değişiklikleri bu sürecin iyileşmesine izin verir. Eğer anormal yüklenme devam ederse iyileşme olmaz ve avasküler nekroz gelişir [30].

4.2.4 Klinik

Erken dönem Kienböck hastalığı olan hasta, el bileği dorsalinde sinsi başlangıçlı ağrıdan ve el bileği dorsalindeki hafif şişlikten yakınır. Bazen şişlik palmar tarafta da olabilir. Hastalığın ilerlemesi ile ağrı şiddetlenir, krepitasyon ve sertlik meydana gelebilir.

El bileği dorsalinde hassasiyet sık görülen bir bulgudur. Kavrama gücü ve el bileği eklem hareket açıklığı hastalığın şiddetine bağlı olarak değişik derecelerde etkilenir. Hastalığın son dönemlerinde el bileğinde instabilite gelişebilir.

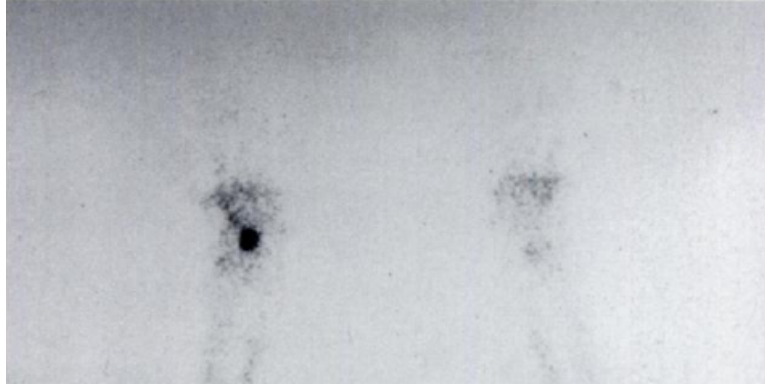
4.2.5 Ayırıcı tanı

İnflamatuar artropati, posttravmatik artrit, kırıklar, akut veya kronik karpal instabilite, ulnokarpal sıkışma sendromu ve posttravmatik iskemi gibi el bileği ağrısı oluşturan nedenler ayırıcı tanıda önemlidir.

4.2.6 Radyolojik Değerlendirme

Kienböck hastalığının tanısı radyografik olarak konur [2, 31]. Düz radyografilerde, lunatta bir kırık görülebilir, fakat daha çok karakterestik olarak erken evrelerde dansitede artış ve skleroz ve geç evrelerde fragmantasyon ve kollapsın görülmesidir [31].

Düz radyografilere ek olarak, Kienböck hastalığı tanısında sintigrafi, bilgisayarlı tomografi veya manyetik rezonans görüntüleme yardımcı olabilir. Tc-99m işaretli kemik sintigrafisi nonspesifiktir, ama metabolik kemik anomalilerini ortaya çıkarmada duyarlıdır [31]. Sintigrafi, şüpheli Kienböck hastalığında tarama testi olarak yararlıdır. ‘Sıcak’ görünümlü bir lunat tanı koydurur (Şekil 4).

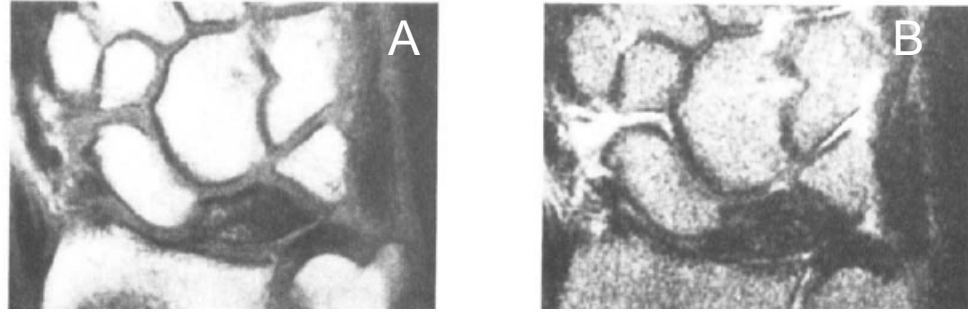


Şekil 4. Tek taraflı evre 1 Kienböck hastalığında sintigrafik tutulum

Bilgisayarlı tomografi, düz radyografilerle tanı konamayan kırıkların tanınmasında mükemmeldir [32]. Hashizume ve arkadaşları, lunat kollapsı meydana gelmiş hastalarda bilgisayarlı tomografinin, nekrozun ve trabeküler hasarlanmanın derecesini en iyi açığa çıkaran tetkik olduğunu belirtmişlerdir [33].

Manyetik rezonans görüntüleme, avasküler nekrozun erken tanısında seçilen görüntüleme yöntemidir [34]. Kienböck hastalığı erken evresinde trabeküler kemik hasarı gelişmeden tanı koydurabilmesi nedeniyle, düz radyografi ve bilgisayarlı tomografiden üstün olduğu belirtilmiştir [33]. Avasküler nekrozda T1 ağırlıklı görüntülerde, nekrotik kemikte düşük sinyal yoğunluğu, normal çevre kemikte keskin kontrastlı parlak sinyal yoğunluğu görülür [34, 35]. T2 ağırlıklı görüntüler tipik olarak Kienböck hastalığında düşük sinyal yoğunluğu gösterir, fakat revaskülerizasyon meydana gelmişse artış gösterecektir (Şekil 5)

[35]. Bu nedenle, manyetik rezonans görüntüleme tedavi sonrası lunat kemik iyileşmesini değerlendirmede de kullanılabilir [36, 37]. Tanıda T1 ağırlıklı görüntüler kullanılırken, takipte T2 ağırlıklı görüntüler yararlıdır.



Şekil 5. Kienböck hastalığında manyetik rezonans görüntüsü. A: T1 ağırlıklı görüntüde, B: T2 ağırlıklı görüntüde lunatta düşük sinyal yoğunluğu

Düz radyografide, hastalığın tanısında, tedavisinde ve takibinde yararlı olabilecek ölçümler vardır. Bunlar:

Ulnar Varyans

Standart ön-arka pozisyondaki radyografide değerlendirilir. Radiusun ulnar eklem yüzünden radius cismine dik bir teğet çizilir. Bu çizgi ile ulna distal eklem yüzü arasındaki mesafe mm cinsinden ulnar varyansı verir. Seviye eşitse nötral, ulna minus varsa negatif, ulna majus varsa pozitif ulnar varyans var denir. Ulnar varyans, kolun pozisyonu veya ölçüm metodu gibi x-ray tekniğine bağlı olarak değişebilir. Bu nedenle, standart ön-arka pozisyondaki radyografiler, omuz abduksiyonda, dirsek 90 derece fleksiyonda, ön kol nötral pozisyonda ve el bileği nötral pozisyonda çekilmelidir (Şekil 6, 7) [23, 24].

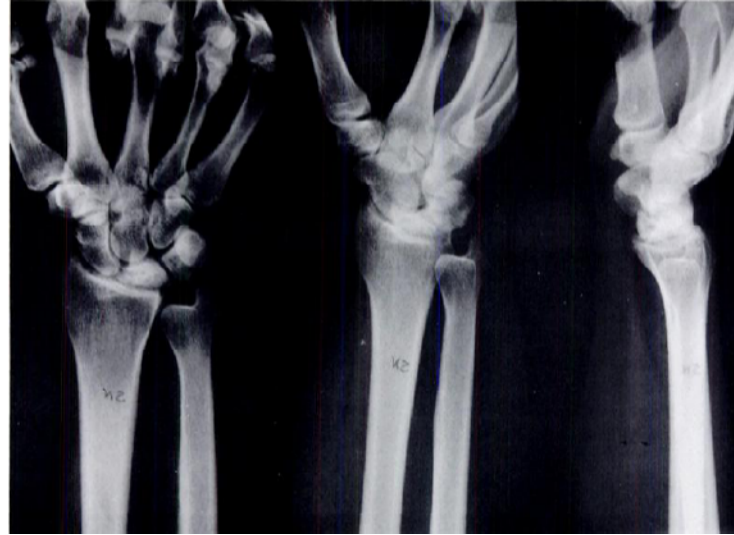
Karpal Yükseklik Oranı

Youm tarafından, radyografik olarak lunatın ilerleyici kollapsını ölçme amacıyla tanımlanmıştır [38]. Standart ön-arka pozisyondaki radyografilerde, distal radius eklem yüzü ve üçüncü metakarp proksimal ucu arasındaki uzaklığın, üçüncü metakarpan uzunluğuna

bölünmesi ile hesaplanır. Normal değeri $0,54 \pm 0,03$ 'tür. İlerleyici lunat kollapsı ile azalır (Şekil 6).



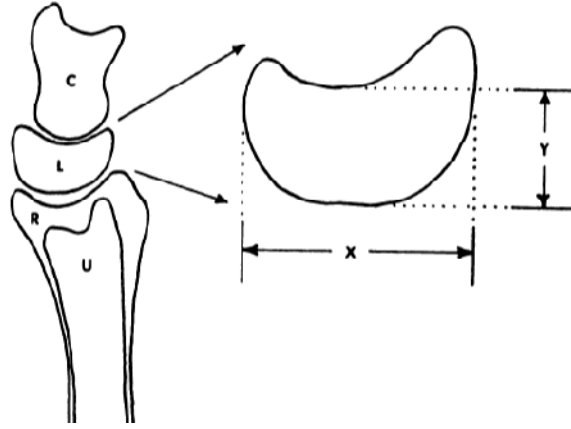
Şekil 6. Standart ön-arka radyografide ulnar varyans, radial inklınasyon ve karpal yüksekliğin değerlendirilmesi



Şekil 7. Negatif ulnar varyansın standart ön-arka, oblik ve tam yan radyografideki görünümü

Stahl İndeksi

Tam yan radyografide, lunat proksimal-distal uzunluğunun ön-arka çap uzunluğuna bölünmesi ile elde edilir [2]. Normal el bileği için ortalama değer $0,53 \pm 0,03$ ' tür. Lunat kollapsının artmasıyla azalır (Şekil 8).



Şekil 8. Stahl indeksi ölçümü (y/x)

Radial İnklinasyon

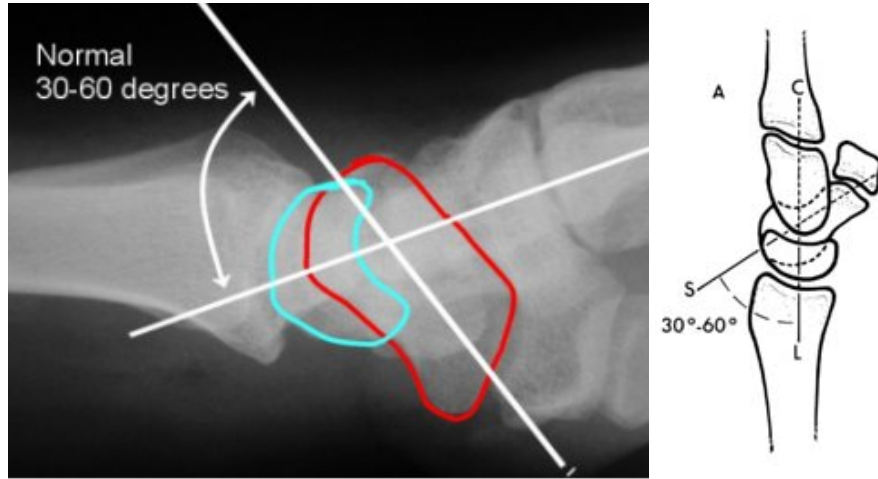
Standart ön-arka pozisyondaki radyografide, radius stiloidinin uç kısmını distal radioulnar eklemin radial kısmıyla birleştiren doğru ile distal radioulnar eklemin radial kenarından radius uzun eksenine çizilen dik çizgi arasındaki açıdır. Genellikle 15-30 derece arasındadır.

Radioskafoid Açısı

Tam yan radyografide, skafoid palmar kenarına çizilen teğet ile radius orta diafizler çizgisi (radius aksı) arasındaki açıdır. Genellikle 40-60 derece arasındadır.

Skafolunat Açı

Tam yan radyografide, lunat merkezinden dorsal ve palmar uçlara dik olarak çizilen çizgi ile skafoid cismi arasındaki açıdır (Şekil 9). Genellikle 30-60 derece arasındadır.



Şekil 9. Skafolunat açısı ölçümü

4.2.7 Evreleme

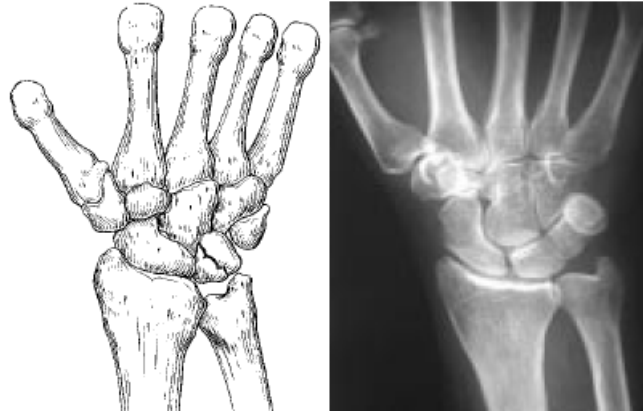
Stahl'ın, 1947 yılında radyolojik özelliklerine ve patolojik gözlemlere dayanarak Kienböck hastalığını sınıfladığı söylenmektedir [1, 2]. Lichtman, 1977 yılında bu sınıflamayı modifiye etmiş, tedaviyi evrelemede ve sonuçları karşılaştırmada halen yaygın olarak kullanılan kliniksel ve radyografik sınıflamayı tanımlamıştır [4] (Tablo 1).

Evre 1

Evre 1, kompresyon kırığı olasılığı dışında radyografik bulguların olmamasıyla karakterizedir (Şekil 10). Manyetik rezonans görüntülemeye, T1 ağırlıklı görüntüde lunatta sinyal azalmıştır. Sintigrafi bu evrede reaktif sinovit nedeniyle anormal olabilir ancak nonspesifiktir. Akut sinovit nedeniyle hastada, aralıklı dorsal el bileği ağrısı, şişlik ve kavrama gücünde kayıp şikayetleri olabilir.

Tablo 1. Kienböck hastalığında Lichtman sınıflaması

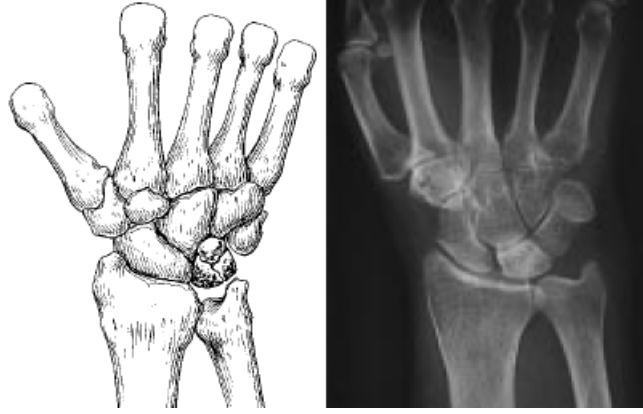
Evre 1	Normal radyografi veya lineer kırık, anormal fakat nonspesifik kemik tarama, tanısal manyetik rezonans görünümü (T1 ağırlıklı görüntülerde lunat düşük sinyal gösterir; hastalık sürecinin uzamasına bağlı olarak, T2 ağırlıklı görüntülerde lunat yüksek veya düşük sinyal yoğunluğu gösterebilir)
Evre 2	Lunat sklerozu, radial kenarda olası lunat erken kollapsı ile bir veya daha fazla kırık hattı
Evre 3	Lunat kollapsı
3A	Normal karpal dizilim ve yükseklik
3B	Sabit skafoïd rotasyonu (kortikal halka işareti=ring sign), karpal yükseklikte azalma, kapitatın proksimale migrasyonu
Evre 4	Evre 3'teki tüm bulgulara ek olarak, midkarpal eklem, radiokarpal eklem veya her ikisinde de intra-artiküler dejeneratif değişiklikler ile şiddetli lunat kollapsı



Şekil 10. Kienböck hastalığı evre 1

Evre 2

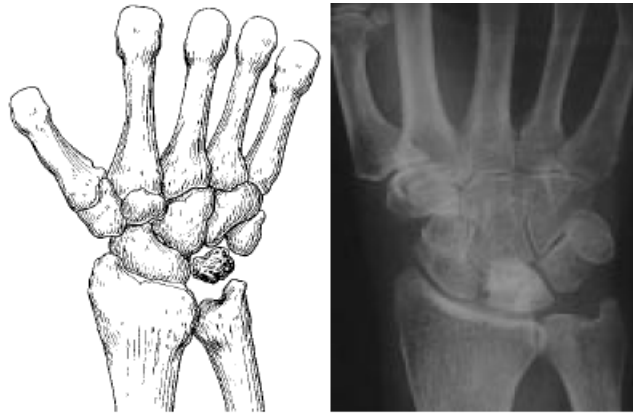
Evre 2, lunatta radyodansite artışıyla karakterizedir (Şekil 11). Karpal kollaps yoktur. Bu nedenle karpal yükseklik oranı ve Stahl indeksi normaldir. Radyografik olarak kolayca tanınır. Kronik sinovit nedeniyle hastalar, ısrarcı el bileği ağrısı ve şişlikten şikayet eder. Kavrama gücü azalmıştır.



Şekil 11. Kienböck hastalığı evre 2

Evre3A

Bu evrede, lunatın kollapsı vardır ve karpal dizilim ve karpal yükseklik oranı göreceli olarak değişmemiştir (Şekil 12). Kollaps genellikle radyalden başlar ve lateral grafilerde lunat ön-arka çapı artmıştır. Stahl indeksi artmıştır. Radioskafoid açısı 60 derece ve altındadır. Skafolunat ilişkisi korunmuştur. Bu evrede el bileğinde sertlik şikayeti artar.

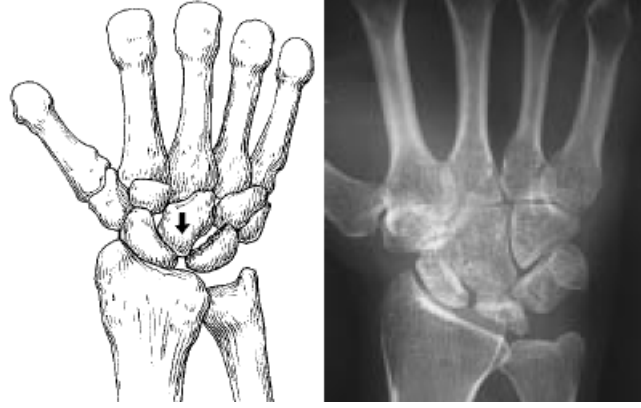


Şekil 12. Kienböck hastalığı evre 3A

Evre 3B

Evre 3B, lunatın ilerlemiş kollapsı ve karpal instabilite ile karakterizedir (Şekil 13). Skafoidin sabit rotator subluksasyonu vardır (kortikal halka işareti = ring sign). Karpal

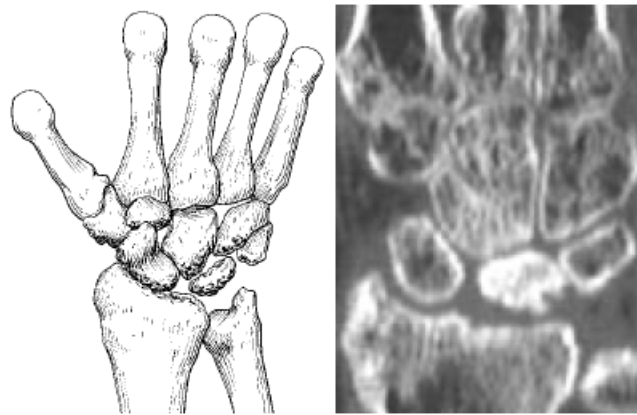
yükseklik oranı azalmıştır ve kapitatın proksimale migrasyonu vardır. Trikuetrumun mediale yer değiştirmesi, dorsal ara segment instabilitesi (DISI) veya volar ara segment instabilitesi (VISI) olabilir. Radioskafoid açısı 60 derecenin üzerindedir. Hastanın şikayetleri, el bileği instabilitesi işaretleri olan, güçsüzlük, kronik ağrı, şişlik, ara sıra olan klank hissidir.



Şekil 13. Kienböck hastalığı evre 3B

Evre 4

Bu evre sabit rotator skafoid subluksasyonu ve lunat kollapsı ile birlikte intraartiküler dejeneratif değişikliklerle karakterizedir (Şekil 14). Dejeneratif değişiklikler midkarpal eklem, radiokarpal eklem veya her ikisinde de görülür. Genellikle semptomlar, el bileğinin aktif kullanılmasıyla kötüleşir ve istirahatla hafifler.



Şekil 14. Kienböck hastalığı evre 4

4.2.8 Tedavi

Kienböck hastalığının tedavisi etiyolojisindeki teoriler kadar çeşitlidir. Kienböck hastalığı tedavisindeki seçenekler Tablo 2’de özetlenmiştir. Kienböck hastalığı evrelemesi, tedavi seçimine yol göstermede, tedavi sonuçlarını tahmin etmede ve farklı tedavi rejimlerinin karşılaştırılması için önemlidir. Evrelerine göre tedavi seçenekleri Tablo 3’de özetlenmiştir. Tedavi seçeneklerinin tek tek gözden geçirilmesinin yerine, hastalığın evresi dikkate alınarak incelenmesi daha doğru olacaktır.

Tablo 2 . Kienböck hastalığı tedavi seçenekleri

<p>İmmobilizasyon</p> <p>Alçı veya Splint</p> <p>Eksternal Fiksator</p> <p>Direkt Revaskülarizasyon</p> <p>Pronator Quadratus Pedikül Grefti</p> <p>Psiform Kemiğin Vaskülarize Transferi</p> <p>Vasküler Kümeli Kemik Grefti (İkinci dorsal intermetakarpal arter ve ven)</p> <p>İndirekt Revaskülarizasyon (Dekompresif Prosedürler)</p> <p><i>Eklem Eşitleme Prosedürleri</i></p> <p>Radial kısaltma osteotomisi</p> <p>Ulnar uzatma osteotomisi</p> <p>Radial kama osteotomisi (medial kapalı, lateral açık veya kapalı)</p> <p><i>İnterkarpal Arthrodezler</i></p> <p>Skafotrapeziotrapezoid füzyon</p> <p>Skafokapitat füzyon</p> <p>Kapitat kısaltma osteotomisi ile kapitohamat füzyon</p> <p>Skafolunatokapitotrikuetral füzyon</p> <p>Artroplasti</p> <p>Silikon Artroplastisi</p> <p>Titanyum Artroplastisi</p> <p>Lunat Eksizyonu ve İnterpozisyon Artroplastisi (Fasya lata, Palmaris longus)</p> <p>El Bileği Denervasyonu</p>
--

Tablo 3. Kienböck hastalığı evresine göre tedavi seçenekleri

Hastalığın Evresi	Tedavi Seçenekleri
Evre 1	İmmobilizasyon (3 ay)
Negatif veya nötral ulnar varyans ile evre 2 ve 3A	Radial kısaltma osteotomisi; ulnar uzatma osteotomisi; kapitat kısaltma
Pozitif ulnar varyans ile evre 2 ve 3B	Direkt revaskülarizasyon+eksternal fiksasyon veya geçici skafotrapeziotrapezoid pinleme (sadece evre 2’de); radial kama veya dom osteotomi; kapitat kısaltma+ kapitoamat füzyon; eklem eşitleme ve direkt revaskülarizasyon prosedürlerinin kombinasyonu
Evre 3B	Skafotrapeziotrapezoid veya skafokapitat füzyon+ palmaris longus otogrefti ile lunat eksizyonu; radial kısaltma osteotomisi; proksimal sıra karpektomi
Evre 4	Proksimal sıra karpektomi; el bileği artrodezi; el bileği denervasyonu

Evre 1

Kienböck hastalığı evre 1 için ilk tedavi seçeneği immobilizasyondur. İmmobilizasyon, lunatın geçici avasküler nekroz vakalarında vaskülaritenin restorasyonuna izin vererek, bu durumu Kienböck hastalığından ayırmada yardım eder. Bu evrede 3 ay kadar uzunlukta immobilizasyonun denenmesi uygun olacaktır [3]. Uzun süreli immobilizasyon ile kötü sonuçlar bildiren yazarlar olmuştur [4, 39]. Bu nedenle bazı klinisyenler evre 1 hastalık tedavisinde evre 2 ve 3A ile aynı yolu seçmişlerdir.

Alçı veya splint immobilizasyonunun, el bileğinden geçen yükleri tam olarak engellemediği düşünülerek eksternal fiksator kullanımı dikkate alınabilir [3].

İmmobilizasyon avasküler değişiklikleri geriye çevirmede başarısız olduğu zaman, hastalık evre 2’ye ilerler. Bu durumda ulnar varyansın analizi önemlidir.

Pozitif Ulnar Varyans ile Evre 2 veya 3A

Evre 2’de lunat avaskülaritesi gelişmiştir ve kollaps yoktur. Bu nedenle, direkt revaskülarizasyon prosedürlerinin bu evrede başarı şansı yüksektir. Psiform kemiğin vaskülarize transferi, pronator quadratus pedikül grefti ve ikinci dorsal intermetakarpal arter ve venin kullanıldığı vasküler kümeli kemik grefti bu basamakta direkt revaskülarizasyon prosedürleri olarak kullanılabilir. Revaskülarizasyon sonrası lunat yükünü azaltmak için eksternal fiksator kullanılmıştır. Aynı amaç için skafotrapeziotrapezoid eklem veya skafokapitat eklem geçici pinlenmesi de tanımlanmıştır [3].

Evre 2 veya 3A ve pozitif ulnar varyanslı hastalar için direkt revaskülarizasyondan başka tedavi seçenekleri radial kama veya dom osteotomisi ve kapitoamat füzyon olsun veya olmasın, kapitat kısaltmayı içerir [7, 40]. Bu prosedürlerin radiolunat eklem üzerinde makaslama kuvvetlerini azaltarak revaskülarizasyon için ortam hazırladığı düşünülür.

Nötral veya Negatif Ulnar Varyans ile Evre 2 veya 3A

Evre 2 ve 3A negatif ulnar varyanslı hastalarda, radial kısaltma osteotomisini, ulnar uzatma osteotomisini, radial kama (medial kapalı, lateral açık veya kapalı) osteotomisini ve kapitat kısaltma osteotomisini içeren eklem eşitleme prosedürleri tedavi seçeneğidir. Negatif ulnar varyansı tanımlayan Hulthen’in, ulnar kısalığın lunatı vasküler yetersizlik gelişmesinde hassas bıraktığını öne sürdüğü ve radial kısaltma osteotomisini bu durumun tedavisi için önerdiği bilinmektedir [26, 41, 42]. Hulthen’in bu görüşü birçok yazar tarafından kabul görmüştür [5, 7, 8, 13, 43-45].

Eklem eşitleme prosedürlerinin lunat yük dağılımı üzerine etkileri araştırılmış ve birçok biyomekanik ve klinik çalışma yapılmıştır [9, 11-14, 46]. Bu çalışmaların neticesinde, eklem eşitleme prosedürleri klinik olarak ve radiokarpal eklem üzerine binen yüklere olan olumlu etkileri nedeni ile negatif ulnar varyans varlığında tedavi seçeneği olarak ilk sırayı almıştır.

Genel olarak, bu çalışmaların neticesinde, tüm dekompresif prosedürler lunatın yükünü azaltır ve yükün azalması revaskülarizasyona izin verir. Radial kısaltma osteotomisi ve ulnar uzatma osteotomisi, eksraartiküler prosedürler olması nedeni ile el bileği hareketinin korunmasında diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında avantajlı bulunmuştur [9, 11-14, 46]. Radial kısaltma osteotomisi, ulnar uzatma osteotomisi ile karşılaştırıldığında greft

gerektirmemesi ve kaynamama veya kaynama geçikmesi gibi komplikasyon oranlarının daha az olması nedeniyle tedavide ilk seçenek haline gelmiştir [10, 43].

Radial Kısaltma Osteotomisi

Radial kısaltma osteotomisi, evre 1, 2, 3A ve 3B Kienböck hastalığında uygulanabilir bir yöntemdir. Evre 4 hastalıkta önerilmez [11]. Operasyon endikasyonunda ikinci faktör preoperatif ön-arka radyografilerde belirlenen negatif ulnar varyanstır. Nötral veya pozitif ulnar varyanslı Kienböck hastalıklı hastalarda radial kısaltma osteotomisinin kullanımı el bileğinde distal ulnanın ulnar tarafının sıkışması ihtimali nedeni ile postoperatif komplikasyonlar için büyük risk taşır [11]. Bazı yayınlarda, semptomatik iyileşmenin bu hastalarda da görülebileceğini belirtilmiştir [7, 8].

Radial kısaltma osteotomisi için genel veya axiller anestezi uygulanır. Üst ekstremiteye turnike ile genellikle 200-250mmHg basınç uygulanır. Fleksör karpı radialis tendonunun hemen radialinden, tendona paralel olarak 10–12cm longitudinal volar cilt insizyonu uygulanır. Postoperatif dönemde skar kontraktürü olmaması için insizyonun distali proksimal el bileği krizinde sonlanmalıdır. Radial sinir yüzeysel dalına dikkat edilmelidir. Brakioradialis kası, radial arter ve venler radiale ekarte edilir. Fleksör karpı radialis, fleksör pollicis longus ulnara ekarte edilir. Pronator quadratus görülür ve radius yapışma yerinden subperiosteal olarak sıyrılır. Radiusun, distal 1/3 volar kısmı ortaya konur.

Dinamik kompresyon plağı (3,5mm'lik-altı delikli) radius volar yüzüne yerleştirilir. Distaldeki üç delik açılarak vida boyları belirlenir. Üçüncü ve dördüncü delikler arasında osteotomi sahası gelecek şekilde ayarlanır ve osteotomi seviyesi işaretlenir (yaklaşık olarak distal radius eklemine yedi cm proksimali). İki adet transvers osteotomi yapılır. Preoperatif ön-arka radyografideki ulnar varyans miktarı dikkate alınarak kısaltılmak istenen miktar kadar kemik segment çıkartılır. Distal ve proksimal radius fragmanları uç uca getirilerek dinamik kompresyon plağıyla osteotomi hattı komprese olacak şekilde fikse edilir. El bileği fleksiyon, ekstansiyon, pronasyon ve supinasyonu, plak yerleştirilmesine bağlı oluşabilecek herhangi bir hareket kısıtlılığı için kontrol edilir. Cilt kapatıldıktan sonra önkol volar yüzüne kısa kol alçı atel uygulanır.

Postoperatif birinci günde aktif ve pasif parmak hareketleri ve hasta tolere ederse önkol supinasyon ve pronasyonu başlanır. Hastanın dikişleri 14. günde alınır. Hasta pasif ve aktif

egzersizler sırasında rahatlıkla çıkartıp takabilsin diye özel yapım plastik splint uygulanır. Ortalama osteotomi iyileşmesi süresi iki-üç ay, ortalama toplam iyileşme süresi dört-beş ay olarak bilinir [11].

Weiss ve arkadaşları, radial kısaltma osteotomisi sonrası üç tip komplikasyon bildirmişlerdir [17]. Radial kısaltmaların %3-4'ünde kaynamama bildirilmiş. Eğer beş-altı ay içinde iyileşme olmazsa ve implantlarda sorun yoksa otolog kansellöz kemik grefti ile greftleme önerilmiştir. Komplikasyon riskini azaltmak için osteotomi mümkün olan en distalden yapılmalı ve uygun kompresyon tekniği kullanılmalıdır [17].

Aşırı radius kısaltmasına bağlı ulnar sıkışma sendromu diğer bir komplikasyondur. Genellikle iki-üç mm'yi geçmeyecek şekilde kısaltma yapılması ulnar sıkışma sendromu olasılığını azaltır [11].

Aşırı radial kısaltma (dört mm veya fazlası) anlamlı distal radioulnar eklem uyumsuzluğuna ve pronasyon ve supinasyonda ağrıya yol açar [11].

Radial kısaltma osteotomisi, Kienböck hastalığının cerrahi tedavisinde, semptomlarda ve ağrıda gerileme, postoperatif kavrama gücünde ve eklem hareket açıklığında artma sağlamanın yanında, basit ve ekstraartiküler uygulanan bir prosedür olarak yerini almıştır [5-11].

Evre 3B

Kienböck hastalığı evre 3B'de lunat kollapsına ek olarak, skafoidin hiperfleksiyonu, karpal yükseklik kaybı ve kapitatın proksimale migrasyonu vardır. Bu nedenle, skafotrapeziotrapezoid füzyon (triskaf artrodez) ve skafokapitat füzyon gibi sınırlı interkarpal füzyonlar bu basamağın tedavisinde ilk seçenektir. Bu füzyonlara ilave olarak, skafoid pozisyonunu normal postürü olan 45 derece fleksiyona doğru düzeltmenin, radiolunat eklem üzerindeki yükü azalttığına, karpal kollapsı önlediğine ve midkarpal eklemi stabilize ettiğine inanılır [4, 47]. Lunat kollapsı ve fragmantasyonunun belirgin olup, anlamlı sinovial reaksiyona neden olduğu vakalarda lunat eksize edilebilir. Füzyon prosedürüne ek olarak yapılan lunat eksizyonu ağrıya düzelmeye sağlayabilir. Oluşan ölü boşluğu doldurmak için, palmaris longus tendonu veya fasya lata otogrefti araya yerleştirilebilir [2, 3]. Eksize edilen lunatın yerine silikon protez kullanımı, yüksek oranda partikül sinoviti nedeni ile günümüzde kullanılmamaktadır [4]. Condit ve arkadaşları, radioskafoid açınının 60 derecenin altında

olduğu Evre 3B hastaların tedavisinde radial kısaltma osteotomisinin sınırlı füzyonlara göre daha başarılı olduğunu bildirmiştir [41]. Tatebe, lunatta düzgün bir eklem yüzeyi varsa daha iyi bir el bileği eklem hareket açıklığı kazancı için radial kısaltma osteotomisini, tersine, lunat eklem yüzeyi ayrılmış veya hasarlanmışsa, lunat eksizyonu ile birlikte sınırlı interkarpal füzyonların tercih edilmesini önermiştir [16].

Evre 4

Kienböck hastalığı evre 4'te, evre 3B'nin tüm bulgularına ek olarak midkarpal eklem, radiokarpal eklem veya her ikisinde de yaygın dejeneratif değışiklikler vardır. Bu basamaktan itibaren, ne lunatın revaskülarizasyonuna veya dekompresyonuna çalışmanın, ne de skafoidin palmar fleksiyonunu durdurmaya çalışmanın önemi yoktur. Proksimal sıra karpektomi veya el bileği artrodezi bu basamaktaki tedavi seçeneğidir. Hastanın günlük aktivitesine, iş ve mesleki konumuna ve beklentisine göre, sorunsuz radiokarpal hareket için bu iki prosedürden uygun olanı gerçekleştirilir. Bu yöntemlere el bileği denervasyonu eklenebilir.

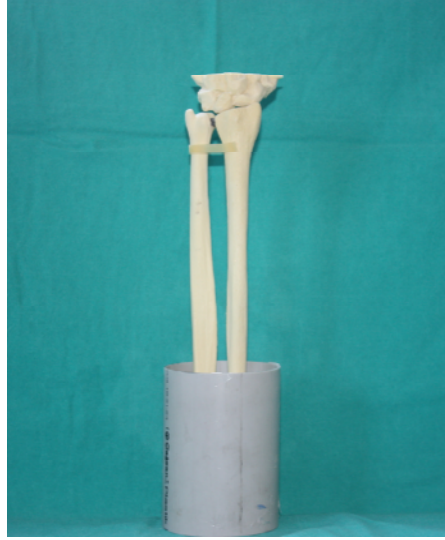
5. GEREÇ ve YÖNTEMLER

5.1 Araştırmanın Tipi, Yapıldığı Yer ve Tarih

Bu çalışma, biyomekanik deneysel bir çalışmadır. Eylül - Kasım 2008 tarihleri arasında Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü araştırma laboratuvarında ve Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyomekanik Anabilim Dalı biyomekanik araştırma laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

5.2 Örneklerin Hazırlığı ve Gruplar

Çalışmada sert köpükten imal edilmiş 20 adet standart sol el bileği modelleri kullanıldı (Sawbones®, Malmö, Sweden) (Resim 1).



Resim 1. Çalışmada kullanılan el bileği modeli

Çalışmamızda, radial kısaltma osteotomisi sonrası aksiyel yüklenme durumunda radioulnokarpal ekleme binen yüklerin dağılımını araştırmak amacıyla üç grup oluşturuldu. Her grupta sekiz adet örnek mevcuttu. Birinci gruba osteotomi uygulanmadı. İkinci gruba iki mm radial kısaltma osteotomisi, üçüncü gruba dört mm radial kısaltma osteotomisi uygulandı.

Her bir gruba el bileği nötral pozisyonunda 14kgf (kilogramkuvvet) ve 25kgf aksiyel yük verilmesi planlandı. Bu amaçla, modellerin el bileği eklemleri proksimalde kalacak şekilde polyester kalıba gömülmesi planlandı. On cm yükseklikte, 8cm çapında plastik kalıplar hazırlandı. Modeller radius ve ulna proksimali kalıp içinde kalacak şekilde kalıba yerleştirilerek, kalıp içine polyester döküldü. Polyesterin donması sırasında çıkardığı yüksek ısı nedeni ile modellerin eridiği ve deforme meydana geldiği görüldü. Bu aşamada üç model kullanılmaz hale geldi. Daha az deformasyona uğrayan bir model deneme ölçümleri için kullanıldı. Polyester dökülmeyen ve sağlam kalan 16 modelle çalışma tamamlandı. Deneme için ayrılan model polyester yerine alçı kullanılarak kalıba alındı ve ölçümleri yapıldı. Ölçümler sırasında problem yaşanmadığı gözlenerek geriye kalan 16 sağlam model uygun pozisyon verilerek alçı kalıba alındı. Yatay zemin humerus aksı olarak kabul edilip, dirsek eklemi 90 derece fleksiyonda olacak şekilde radius ve ulna aksı aksiyel planda pozisyon verilerek alçı donduruldu. Ölçümler, modeller alçı kalıba alındıktan iki gün sonra yapıldı.

On altı sağlam modelden rastgele seçilen sekiz model ile birinci grup oluşturuldu. Geriye kalan sekiz modelden rastgele seçilen dört model ikinci gruba, kalan dört model de üçüncü gruba dahil edildi. 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 uygulanmadan yüklenme testleri yapıldı. İkinci gruba, distal radius eklem yüzü volar kenarından yedi cm proksimalde, iki mm kalınlığında kemik segment çıkartılacak şekilde ve üçüncü gruba, dört mm kalınlığında kemik segment çıkartılacak şekilde osteotomi uygulandı. Fiksasyonda 3,5mm'lik altı delikli dinamik kompresyon plağı (Aksis®, İzmir, Türkiye) kullanıldı. Kompresyon, tekniğine uygun yapıldı (Bakınız sayfa 23).

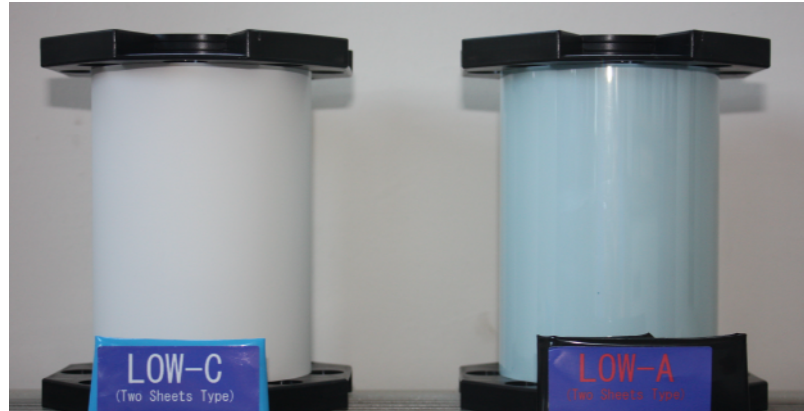
El bileğinin nötral pozisyonunda yüklenmesini sağlamak amacıyla, el bileği nötral pozisyondayken modeller intermetakarpal eklemlerin hemen proksimalinden horizontal planda osteotomize edildi. Kapitat kemik, yükün verilme doğrultusunda bir cm derinliğinde drillendikten sonra, beş cm uzunluğunda 6,5mm'lik rot kapitata yerleştirildi. Yükün eşit dağılması amaçlanarak 2cmx6,5cmx2mm plaka, rottan geçirilerek bir adet somonla sıkıştırıldı. Model yüklenme cihazına rotun proksimal ucu ile bağlandı ve bu bağlantı da somonla sıkıştırıldı (Resim 2).

Ölçümler sırasında tüm örneklerin radioulnokarpal eklemlerine basınca duyarlı filmler (Fuji Prescal Film®, Japan) yerleştirildi. Tüm çalışma boyunca low (2,5 -10 MPa/two-sheet)

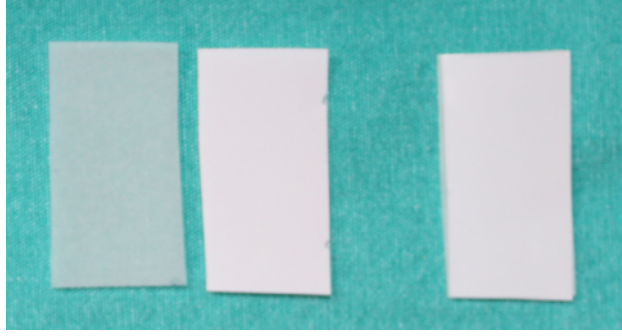


Resim 2. Yüklemeye hazırlanmış el bileği modeli

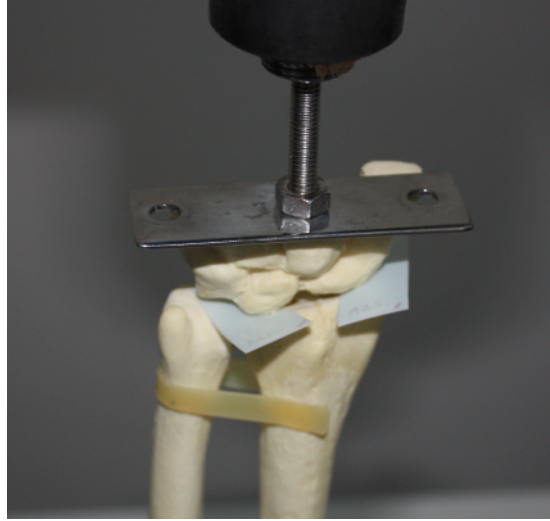
filmler kullanıldı (Resim 3). Basınca duyarlı film iki kağıt yaprağından meydana gelir. Ölçüm öncesi bu iki kağıt yaprağı üst üste konur (Resim 4). Yükleme testleri, basınca duyarlı filmler, basıncın üzerine uygulandığı ve içinde patlayan mikrokapsüllerin olduğu kağıt yaprağı (A sheet) üstte, patlayan mikrokapsüller nedeni ile boyayı absorbe eden ve kırmızıya boyanan kağıt yaprağı (C sheet) altta olacak şekilde radioulnokarpal eklemlere yerleştirilerek gerçekleştirildi (Resim 5).



Resim 3. Basınca duyarlı film şeritleri



Resim 4. Eklem aralığına yerleştirilmek için kesilmiş ve üst üste konmuş basınca duyarlı film



Resim 5. Basınca duyarlı filmlerin yerleştirilmesi

5.3 Yükleme Testleri ve Ölçüm

Deneyde basma aleti olarak SHIMADZU Autograph AG-I/50N-10kN universal test cihazı (Shimadzu®, Tokyo, Japan) kullanıldı (Resim 6). Her bir örneğe önce 14kgf kuvvetle, sonra 25kgf kuvvetle, basma hızı üç 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. Yükleme sırasında oluşan yük(kgf)-deplasman(mm) eğrileri kaydedildi (Şekil 15, 16).



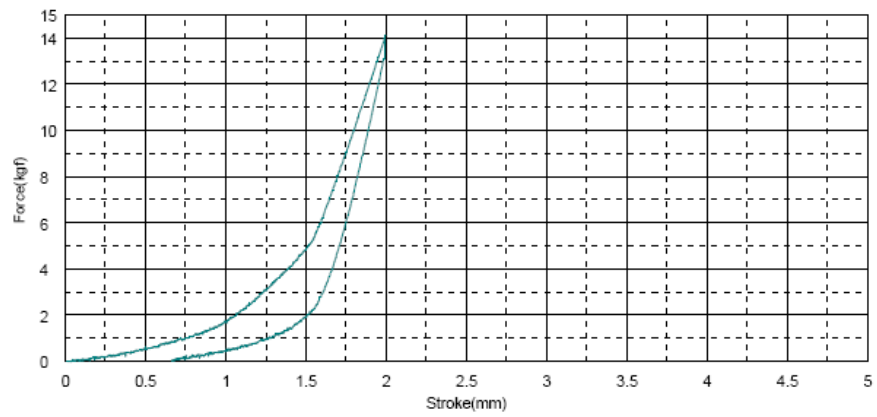
Resim 6. Autograph

Shape: Plate

	Thickness	Width	Height
Units	mm	mm	mm
1 - 1	1.0000	1.0000	100.0000

Name	Max Force	Max Disp	Max Stress	Min Force	Min Disp
Units	kgf	mm	gf/cm2	kgf	mm
Cycle #1	14.1008	1.99200	1410076.	0.03187	0.67600
Maximum	14.1008	1.99200	1410076.	0.03187	0.67600
Minimum	14.1008	1.99200	1410076.	0.03187	0.67600

Name	Min Stress
Units	gf/cm2
Cycle #1	3186.61
Maximum	3186.61
Minimum	3186.61



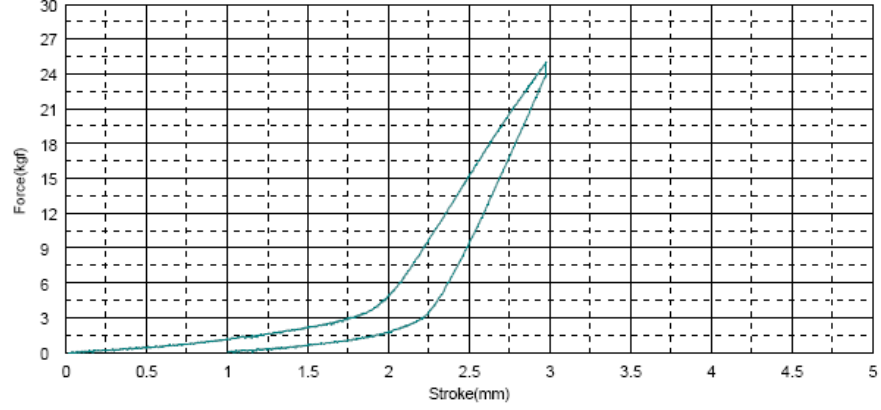
Şekil 15. Osteotomi yapılmayan grupta beşinci el bileği modelinde 14kgf yüklenme sonrası oluşan yük-deplasman eğrisi

Shape: Plate

	Thickness	Width	Height
Units	mm	mm	mm
1 - 1	1.0000	1.0000	100.0000

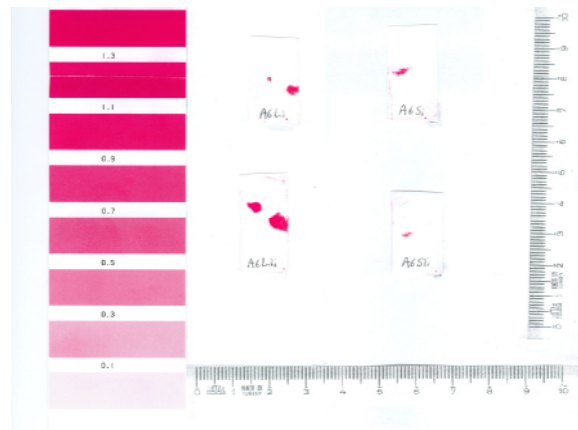
Name	Max Force	Max Disp	Max Stress	Min Force	Min Disp
Units	kgf	mm	kgf/cm2	kgf	mm
Cycle #1	25.0627	2.97700	2506.27	0.03187	1.05100

Name	Min Stress
Units	kgf/cm2
Cycle #1	3.18661



Şekil 16. Osteotomi yapılmayan grupta beşinci el bileği modelinde 25kgf yüklenme sonrası oluşan yük-deplasman eğrisi

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 (Resim 7). Elde edilen haritalardan basınç değerleri tespit edildi.



Resim 7. Tarayıcıdan geçirildikten sonra görüntü analizi için hazırlanmış basınca duyarlı filmler. Kalibrasyon şeridi (solda), 14kgf (üstte) ve 25kgf (altta) yüklenme sonrası oluşan renk değişiklikleri görülmekte

5.4 İstatistiksel Analiz Yöntemi

Çalışmada, alınan değerler SPSS 11.0.1 for Windows programı kullanılarak değerlendirildi. Graplardan elde edilen ortalama değerler ve standart sapmaları hesaplandı. Üç grubun 14kgf yüklenme sonrası ve 25kgf yüklenme sonrası oluşan basınç dağılımlarının karşılaştırması non-parametrik Mann Whitney U testi ile değerlendirildi. Her bir grubun 14kgf yüklenme sonrası oluşan basınç dağılımlarının 25kgf yüklenme sonrası oluşan basınç dağılımlarıyla karşılaştırılmasında Wilcoxon signed-rank testi kullanıldı. Yapılan karşılaştırmalar sonrası, $p < 0,05$ değeri istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

6. BULGULAR

Her bir örnekte yüklenme sonrası üç bölgede (ulnokarpal, radiolunat ve radioskafoid eklem) oluşan basınç değişikliklerinin yüzdeleri hesaplandı. Elde edilen verilere göre üç grubun 14kgf ve 25kgf yüklenme sonrası oluşan basınç dağılımları ayrı ayrı karşılaştırıldı. Yüklenmeler sonrası oluşan basınç dağılımları gruplara ve yüklenmenin olduğu bölgelere göre aşağıdaki tablolarda verilmiştir (Tablo 4, 5).

Tablo 4. 14kgf yüklenme sonrası ortalama basınç dağılım değerleri ve standart sapmaları

	Ulnokarpal(%)	Radiolunat(%)	Radioskafoid(%)
1.grup	14,9754 ± 6,3442	62,9837 ± 17,0792	22,0401 ± 16,2763
2.grup	23,9845 ± 22,8212	52,9191 ± 33,4918	28,8757 ± 25,0523
3.grup	28,6391 ± 18,3739	49,2867 ± 26,7606	22,0742 ± 16,8889

Tablo 5. 25kgf yüklenme sonrası ortalama basınç dağılım değerleri ve standart sapmaları

	Ulnokarpal(%)	Radiolunat(%)	Radioskafoid(%)
1.grup	28,6435 ± 7,1039	50,7404 ± 12,3533	20,6161 ± 14,5717
2.grup	20,7073 ± 19,2834	47,9031 ± 23,3341	31,3897 ± 18,5950
3.grup	35,9075 ± 10,7170	42,6790 ± 16,8746	21,4135 ± 7,2264

Ulnokarpal eklemdaki 14kgf yüklenme sonrası oluşan ortalama basınç dağılımları karşılaştırıldığında, osteotomi yapılmayan grupla iki mm osteotomi yapılan grup arasında yüklenmede sayısal olarak artış olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır (p=0,753). Osteotomi yapılmayan grupla dört mm osteotomi yapılan grup arasında yüklenmede sayısal olarak artış olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır (p=0,059). İki mm osteotomi yapılan grupla dört mm osteotomi yapılan grup arasında yüklenmede sayısal olarak artış olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır (p=0,833).

Radiolunat eklemdaki 14kgf yüklenme sonrası oluşan ortalama basınç dağılımları karşılaştırıldığında, osteotomi yapılmayan grupla iki mm osteotomi yapılan grup arasında yüklenmede sayısal olarak azalma olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır (p=0,345). Osteotomi yapılmayan grupla dört mm osteotomi yapılan grup

arasında yüklenmede sayısal olarak azalma olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır ($p=0,294$). İki mm osteotomi yapılan grupla dört mm osteotomi yapılan grup arasında yüklenmede sayısal olarak azalma olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır ($p=1,00$).

Radioskafoid eklemdaki 14kgf yüklenme sonrası oluşan ortalama basınç dağılımları karşılaştırıldığında, osteotomi yapılmayan grupla iki mm osteotomi yapılan grup arasında yüklenmede sayısal olarak artış saptanmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır ($p=0,674$). Osteotomi yapılmayan grupla dört mm osteotomi yapılan grup arasında istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır ($p=0,674$). İki mm osteotomi yapılan grupla dört mm osteotomi yapılan grup arasında yüklenmede sayısal olarak azalma olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır ($p=0,600$).

Ulnokarpal eklemdaki 25kgf yüklenme sonrası oluşan ortalama basınç dağılımları karşılaştırıldığında, osteotomi yapılmayan grupla iki mm osteotomi yapılan grup arasında yüklenmede sayısal olarak azalma olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır ($p=0,753$). Osteotomi yapılmayan grupla dört mm osteotomi yapılan grup arasında yüklenmede sayısal olarak artış olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır ($p=0,074$). İki mm osteotomi yapılan grupla dört mm osteotomi yapılan grup arasında yüklenmede sayısal olarak artış olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır ($p=0,172$).

Radiolunat eklemdaki 25kgf yüklenme sonrası oluşan ortalama basınç dağılımları karşılaştırıldığında, osteotomi yapılmayan grupla iki mm osteotomi yapılan grup arasında yüklenmede sayısal olarak azalma olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır ($p=0,529$). Osteotomi yapılmayan grupla dört mm osteotomi yapılan grup arasında yüklenmede sayısal olarak azalma olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır ($p=0,248$). İki mm osteotomi yapılan grupla dört mm osteotomi yapılan grup arasında yüklenmede sayısal olarak azalma olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır ($p=0,600$).

Radioskafoid eklemdaki 25kgf yüklenme sonrası oluşan ortalama basınç dağılımları karşılaştırıldığında, osteotomi yapılmayan grupla iki mm osteotomi yapılan grup arasında yüklenmede sayısal olarak artış saptanmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır ($p=0,401$). Osteotomi yapılmayan grupla dört mm osteotomi yapılan grup arasında istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır ($p=0,834$). İki mm osteotomi yapılan

grupla dört mm osteotomi yapılan grup arasında yüklenmede sayısal olarak azalma olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır ($p=0,115$).

Osteotomi yapılmayan grupta 14kgf ve 25kgf yüklenme sonrası oluşan ortalama basınç dağılımları karşılaştırıldığında, ulnokarpal eklemdaki basınç artışı istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($p=0,012$). Radiolunat eklemdaki basınç azalması istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($p=0,036$). Radioskafoid eklemdaki basınç azalması istatistiksel olarak anlamlı bulunmadı ($p=1,00$).

İki mm osteotomi yapılan grupta 14kgf ve 25kgf yüklenme sonrası oluşan ortalama basınç dağılımları karşılaştırıldığında, ulnokarpal eklemdaki azalma istatistiksel olarak anlamlı bulunmadı ($p=0,735$). Radiolunat eklemdaki azalma istatistiksel olarak anlamlı bulunmadı ($p=0,889$). Radioskafoid eklemdaki artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmadı ($p=0,866$).

Dört mm osteotomi yapılan grupta 14kgf ve 25kgf yüklenme sonrası oluşan ortalama basınç dağılımları karşılaştırıldığında, ulnokarpal eklemdaki artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmadı ($p=0,327$). Radiolunat eklemdaki azalma istatistiksel olarak anlamlı bulunmadı ($p=0,484$). Radioskafoid eklemdaki azalma istatistiksel olarak anlamlı bulunmadı ($p=0,779$).

7. TARTIŞMA

Kienböck hastalığının etiyojisi tam olarak aydınlatılamamasına karşın, en sık kabul edilen teori, tekrarlayan travmalarla lunat kemiğin düzensiz yüklenmesidir [3, 14]. Bu teoriye dayanılarak geliştirilen dekompresif prosedürlerin, lunat yükünü azalttığına ve yük azalmasının, revaskülarizasyona izin verdiğine inanılır.

Eklem eşitleme prosedürlerinin lunat yük dağılımı üzerine etkileri araştırılmış ve diğer cerrahi prosedürlerle karşılaştırıldığı birçok biyomekanik ve klinik çalışma yapılmıştır [9, 11-14, 46]. Eklem eşitleme prosedürleri, ekstraartiküler prosedürler olması nedeni ile el bileği hareketinin korunmasında diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında avantajlı bulunmuştur [9, 11-14, 46]. Radial kısaltma osteotomisi, Kienböck hastalığının cerrahi tedavisinde, semptomlarda ve ağrıda gerileme, postoperatif kavrama gücünde ve eklem hareket açıklığında artma sağlamanın yanında, basit ve ekstraartiküler uygulanan bir prosedür olarak yerini almıştır [5-11].

Çalışmamızda, sadece tek bir cerrahi prosedürün uygulanmasını uygun gördük. Daha önce kadavra ile yapılan biyomekanik çalışmalarda tek başına radial kısaltma osteotomisi çalışılmamıştır. Kadavra örneklerinde ilk önce diğer cerrahi prosedürler uygulanmış, yüklenmeler yapılmış, en son radial kısaltma osteotomisi uygulanmıştır [13, 14]. Diğer kadavra çalışmalarında modellere en az üç el bileği pozisyonunda yüklenme uygulanmıştır. Radial kısaltma osteotomisi öncesi de en az iki cerrahi prosedür gerçekleştirilmiş ve yüklenme testleri yapılmıştır. Sonuç olarak, diğer çalışmalarda radial kısaltma osteotomisinden önce pek çok cerrahi prosedür ve yüklenme testi modellere uygulanmıştır. Bu çalışmamızda daha önce başka cerrahi prosedür ve yüklenme testi uygulanmamış modeller kullanmış olduk. Osteotomi miktarı ve sayısı arttırıldıkça bu sayı daha da artacaktır. Trumble ve arkadaşları, sekiz kadavra ile gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada, her hangi bir cerrahi prosedür öncesi, her bir örneğe, el bileği ve önkol nötral pozisyonunda, beş ve 10 derece radial deviasyonda, beş, 10 ve 15 derece ulnar deviasyonda, beş derece fleksiyonda ve beş, 10, 15, 20 ve 25 derece ekstansiyonda yükleme testi yapmışlardır. Bu testler el bileği 40 derece supinasyon ve pronasyonda tekrar edilmiştir. Her bir el bileği pozisyonunda testler üç kez tekrar edilmiş ve ortalaması alınmıştır [13].

Radial kısaltma osteotomisi, Kienböck hastalığı ve negatif ulnar varyans varlığında radiolunat ekleme binen yükü azalttığı için uygulanan bir yöntem olarak literatürde yer

almaktadır [12-14]. Nötral veya pozitif ulnar varyanslı hastalarda iyi klinik sonuç bildiren yayınlar vardır [7, 8]. İleri evre Kienböck hastalığı tedavisinde de radial kısaltma osteotomisi ile iyi klinik sonuçlar bildirilmiştir [15-17].

Radial kısaltma osteotomisinin, nötral veya pozitif ulnar varyanslı ve ileri evre Kienböck hastalıklı hastalarda da iyi klinik sonuçlar vermesi nedeniyle, radiolunat ekleme binen yük dağılımlarını azaltmak yerine, daha farklı bir mekanizma ile etkili olduğunu düşünüyoruz. Bu nedenle, radial kısaltma osteotomisinin, radiolunat eklem yük dağılımı üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla bu çalışmayı gerçekleştirdik.

Radiokarpal ekleme binen yükleri araştırmak amacıyla, Kienböck hastalığında kullanılan cerrahi prosedürlerin karşılaştırıldığı biomekanik çalışmalarda genel olarak kadavra modellerinin kullanıldığını görmekteyiz [13, 14, 27]. Horii ve arkadaşları, bilgisayar modeli kullanarak radial kısaltma, ulnar uzatma, sınırlı interkarpal füzyon veya kapitat kısaltma sonrası radiolunat eklemden geçen yükler üzerine çalışmışlardır [12]. Genel olarak, biyomekanik çalışmalar el bileği nötral, fleksiyon, ekstansiyon, ulnar deviasyon ve radial deviasyon pozisyonlarında gerçekleştirilmiştir.

Yeterli kadavra sayısını elde etmenin zorluğu ve bu sayıya ulaşabilmek için geçecek zaman nedeniyle, çalışmamızda sert köpükten imal edilmiş standart sol el bileği modelleri kullanıldı (Sawbones®, Malmö, Sweden). Bu çalışma, yapay kemiğin, radial kısaltma osteotomisinin ve radiokarpal ekleme binen yüklerin araştırılmasında kullanıldığı ilk çalışmadır. Yapay kemikle çalışmanın en büyük dezavantajlarından biri, el bileği stabilitesinden sorumlu olan kapsül, ligaman ve tendonlar gibi yumuşak dokuları içermemesiydi. Diğer önemli bir dezavantajı ise, karpal kemik eklemlerinin olmaması ve tüm karpal kemiklerin füzyone olmasıydı. Lunat ve skafoid kemik radiusa, yük almadıkları bölgelerden elastik kordlarla tutturulmuştu. Bu dezavantajların hepsi, çalışmada oluşturulan her üç grup için de geçerli olduğu için biz bunları göz ardı ettik. Radiokarpal eklemden elastik kordlar, el bileğine ulnar ve radial deviasyon pozisyonu vermede zorluk oluşturdu. Bu nedenle, çalışma sadece nötral el bileği pozisyonunda gerçekleştirilebildi. Özellikle el bileği ulnar deviasyon pozisyonunda yüklenme deneyinin gerçekleştirilememiş olması, bu çalışmanın en büyük dezavantajıdır. Tam bir eklem yapısına ve özelliklerine sahip olmaması nedeniyle, eklem bölgeleri ile yapılan biyomekanik çalışmalarda yapay kemik kullanılmasını önermiyoruz.

Daha önce yapılan biyomekanik çalışmaların ve bizim çalışmamızın ortak bir dezavantajı da, ister kadavra modeli olsun, isterse de yapay bir model olsun çalışılan tüm örneklerin Kienböck hastalığı olmayan normal el bilekleri olmasıdır. Kienböck hastalıklı örneklerde yapılabilecek bir çalışmanın, Kienböck hastalığındaki yük dağılımının gerçekte nasıl olduğu hakkında daha doğru fikir vereceği açıktır. Ancak bu, hem Kienböck hastalığının nadir görülmesi nedeniyle, hem de yeterli sayıda Kienböck hastalıklı kadavra modeli bulmanın zorluğu nedeniyle uygulanabilirliği zor bir durumdur.

Ulnar varyansı ilk Hulthen'in tanımladığı söylenmektedir [3, 23, 24]. Kienböck hastalığı olan hastalarda negatif ulnar varyans insidansını %78, normal popülasyonda %23 olarak yayınlamıştır. Hulthen'in, ulnar kısıltmanın lunatı vasküler yetersizlik gelişmesinde hassas bıraktığını öne sürdüğü ve radial kısıltma osteotomisini bu durumun tedavisi için önerdiği bilinmektedir [26, 41, 42]. Hulthen'in bu hipotezi, her ne kadar diğer yazarlar tarafından kabul görmüşse de, negatif ulnar varyanslı hastaların hepsinde Kienböck hastalığının meydana gelmediği de açıktır [7, 25]. Nakamura ve arkadaşları, pozitif ulnar varyanslı hastalarda da hastalığın bulunduğunu bildirmişlerdir [24].

Radial kısıltma osteotomisi sadece negatif ulnar varyans varlığında değil, pozitif ulnar varyans varlığında da Kienböck hastalığı tedavisinde kullanılmıştır. Bazı yayınlar, semptomatik iyileşmenin nötral veya pozitif ulnar varyanslı hastalarda da görülebileceğini belirtmiştir [7, 8]. Nakamura ve arkadaşları, Kienböck hastalıklı 23 hastanın radial kısıltma osteotomisi sonrası cerrahi sonuçlarını gözden geçirmişlerdir. Ne klinik evrenin, ne de ulnar varyansın sonuçları anlamlı olarak etkilemediğini, nötral veya pozitif ulnar varyanslı hastaların sonuçlarının, negatif ulnar varyanslı hastaların sonuçlarından kötü olmadığını yayınlamışlardır. Nötral veya pozitif ulnar varyanslı hastalarda dört mm'den fazla radial kısıltma osteotomisi gerçekleştirildiği zaman, ulnar el bileği ağrısı riskinin arttığını bildirmişlerdir [7]. Weiss, radial kısıltma osteotomisini preoperatif ulnar varyans miktarına göre yapmanın çok gerekli olmadığını, genel olarak iki-üç mm'yi geçmeyecek şekilde kısıltma yapılmasının mükemmel semptomatik iyileşme sağladığını, ulnar sıkışma sendromu olasılığını azalttığını ve aşırı radial kısıltma osteotomisinin (dört mm veya fazlası) anlamlı distal radioulnar eklem uyumsuzluğuna, pronasyon ve supinasyonda ağrıya yol açtığını bildirmiştir [11].

Werner ve arkadaşları, iki mm radial kısıltmayı savunmuş ve prosedürün radiokarpal yükü %70 azalttığını yayınlamışlardır [14]. Horii ve arkadaşları, dört mm radial kısıltmayı

önermişler ve radial kısaltma osteotomisinin radiolunat yükü %45 azalttığını yayınlamışlardır [12].

Çalışmamızda kullanılan örneklerin tamamı nötral ulnar varyanslı el bilekleri idi. Literatürde yapılmış olan çalışmalar da dikkate alınarak iki mm ve dört 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 yapılmış, Kienböck hastalığı etiyolojisinde suçlanan negatif ulnar varyanslı el bileklerinde çalışma gerçekleştirilmemiştir. Bu durum çalışmamızın bir eksikliği olarak görülebilir. Nötral veya pozitif ulnar varyanslı el bileklerinde de Kienböck hastalığı meydana gelebileceği için ve bu durumların varlığında da radial kısaltma osteotomisinin yayınlanmış iyi klinik sonuçlarının olduğu bilindiği için, negatif ulnar varyanslı el bileğinde yüklenme deneyi yapılmamış olması göz ardı edilebilir.

Lunat kemiği yükten kurtarıcı cerrahi prosedürleri gözden geçiren deneysel ve teorik çalışmalarda 100-140 Newton yük kullanıldığı görülmektedir [12-14, 27, 48, 49]. Buna gerekçe olarak, bir kilogramlık güçle yumruk sıkıldığında oluşan yükün 100-140 Newton arasında oluşu gösterilmektedir [12]. Ancak, Kienböck hastalığını oluşturmak için ne kadar yüklenme gerektiğini gösteren bir bulgu yoktur. Bu yüklenme, kuvvetli yumruk hareketinde oluşan 200-250 Newton'a kadar çıkabilmektedir [50].

Çalışmamızda, bu yüklenme aralıklarının üst sınırları seçildi. Her örneğe sırasıyla 14kgf ve 25kgf yük uygulandı.

Basınca duyarlı filmler, el bileği eklemlerine binen yükleri araştırmak amacıyla yapılan biyomekanik çalışmalarda yük dağılımlarını belirlemede sıkça kullanılan bir yöntemdir [14, 27, 46, 49, 51]. Basınca duyarlı filmler, eklem aralığına kolayca yerleştirilebilir. Sadece kompresif yüklerin değerlendirilmesinde kullanılabilir. Makaslama ve gerilim kuvvetlerini göstermede etkili değildir. El bileği eklemlerine binen yükleri araştırmak amacıyla, yük hücreleri (load cell) de kullanılmıştır [14, 46, 49]. Yük hücreleri, kompresif yükleri ve gerilimi ölçebilir. Ancak, gerilimi sadece bir doğrultuda ölçebilir. Gerilimin şiddetini ve yüzey üzerindeki doğrultularını ölçebilen rozet şeklindeki gerilim ölçücülerini (strain gauge) tercih eden araştırmacılar da olmuştur [13, 20].

Çalışmamızda basınca duyarlı film (low, 2,5-10 MPa, two sheet, Fuji Prescal Film®, Japan) kullanıldı. Sadece el bileği nötral pozisyonunda, aksiyel yüklenme altında oluşan kompresif yük dağılımını araştırdığımız için ve eklem aralığına rahatça yerleştirilebilmesi

nedeniyle basınca duyarlı film kullanılmasını tercih ettik. Bu statik bir tekniktir ve eklem üzerine bir kez yüklenmeye izin verir. Bu nedenle, her yüklenme deneyinde eklem aralığına yeni film çiftinin (A-C sheet) aynı bölgeye, düzgün bir şekilde yerleştirilmesi gerekir. Basınca duyarlı filmlerin bir diğer zorluğu da değerlendirme güçlüğüdür. Oluşan renk değişikliklerinin görüntü analiz programında değerlendirilmesi deneyim gerektirir.

Normal el bileğini temsil eden osteotomi yapılmayan grupta 14kgf yüklenme sonrası oluşan basınç dağılımları karşılaştırıldığında, yükün yaklaşık %15'inin ulnokarpal eklemden, yaklaşık %63'ünün radiolunat eklemden ve yaklaşık %22'sinin radioskafoid eklemden, yani yaklaşık %85'inin radiokarpal eklemden geçtiğini görmekteyiz. Osteotomi yapılmayan grupta 25kgf 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 geçtiğini görmekteyiz (Tablo 4, 5).

Af Ekenstam ve arkadaşları, yaptıkları kadavra çalışmasında nötral el bileği pozisyonunda 45 Newton yükün %85'inin radiustan, %15'inin ulnadan geçtiğini göstermişler [52]. Horii ve arkadaşları, 143 Newton aksiyel yüklenme uyguladıkları bilgisayar modelinde yükün %22'sinin ulnokarpal eklemden ve %78'inin radiokarpal eklemden geçtiğini yayınlamıştır [12]. Palmer ve Werner, yük hücreleri (load cell) kullanarak yaptıkları deneysel kadavra çalışmasında 45 Newton yükün %18,4'ünün ulnokarpal eklemden ve %81,6'sının radiokarpal eklemden geçtiğini yayınlamışlardır [46]. Hara ve arkadaşları, yaptıkları kadavra çalışmasında yükün %85'inin radiokarpal eklemden ve %15'inin ulnokarpal eklemden geçtiğini raporlamışlardır [48]. Short ve arkadaşları, hem basınca duyarlı film, hem de yük hücreleri kullandıkları kadavra çalışmasında, yükün %77'sinin radiokarpal eklemden, %23'ünün ulnokarpal eklemden geçtiğini yayınlamışlardır [49]. Bu veriler, çalışmamızda 14kgf yüklenme ile bulduğumuz değerlerle uyumludur.

Horii ve arkadaşları, radiokarpal eklemden geçen yükün %40'ının radiolunat eklemden ve %60'ının radioskafoid eklemden geçtiğini bildirmiştir [12]. Literatürde bu oranları destekleyen başka yayınlar da vardır [48, 53]. Ancak, biz çalışmamızda radiokarpal eklemden geçen yükün (%85) %74'ünün radiolunat eklemden (%63) ve %26'sının radioskafoid eklemden (%22) geçtiğini bulduk. Radiokarpal ve ulnokarpal eklemdaki yük geçişlerinin diğer çalışmalarla benzer olup, radiokarpal eklem yük dağılım oranlarının birbirinden tamamen farklı olmasına ilk başta anlam veremedik. Osteotomi uygulanan diğer iki grubun

yük dağılımları da incelendiğinde, radiokarpal eklemdaki yüklerin geçişinde radiolunat eklemin radioskafoid eklem göre bu gruplarda da daha fazla yük aldığını gözlemledik ve üç grupta da istatistiksel olarak anlamlı fark yoktu. Bu bulgular, yapay kemiğe bağlı olarak, yüklenme sırasında meydana gelen ve gözden kaçırmış olabileceğimiz, el bileğindeki bir yer değiştirmeye bağlı olabilir düşüncesiyle, yüklenme testleri sırasında aldığımız yük-deplasman eğrilerini inceledik (Şekil 15, 16). Hiçbir yüklenme testinde yetersizlik oluşturabilecek kayma miktarına rastlamadık. Sonuç olarak, 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 eklemin neden radioskafoid eklemden daha fazla yüklendiğini açıklıyor.

Radiolunokarpal eklemdaki, 14kgf yüklenme sonrası oluşan ortalama basınç dağılımları karşılaştırıldığında, sırasıyla her üç grupta radiolunat eklem yüklenmesinde azalma, ulnokarpal eklem yüklenmesinde artış vardır. Ulnokarpal eklem yüklenmesi dört mm osteotomi sonrası iki katına çıkmıştır. Ancak bu sayısal değişiklikler istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Radiolunokarpal eklemdaki, 25kgf yüklenme sonrası oluşan ortalama basınç dağılımları karşılaştırıldığında, sırasıyla her üç grupta radiolunat eklem yüklenmesinde azalma vardır. İki mm kısaltma osteotomisi sonrası ulnokarpal eklem yüklenmesinde azalma, radioskafoid eklem yüklenmesinde artış vardır. Dört mm kısaltma osteotomisi sonrası ulnokarpal eklem yüklenmesinde artış radioskafoid eklem yüklenmesinde azalma meydana gelmiştir. Yükün artmasına rağmen, osteotomilerle radiolunat eklem yüklenmesi azalmıştır. Aşırı yüklenmeyle beraber fazla kısaltma varlığında ulnokarpal eklem yüklenmesi artmıştır. Ancak bu sayısal değişiklikler istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Shepard ve arkadaşları, yaptıkları kadavra çalışmasında distal ulnadaki yükün her bir mm radial kısaltma için yaklaşık olarak %10 arttığını hesaplamışlardır [54]. Bu çalışmada, 14kgf yüklenme sonrası oluşan ortalama basınç değerleri karşılaştırıldığında, normal el bileğinde ulnokarpal eklemden oluşan yükün iki mm osteotomi sonrası %60 arttığı ve dört mm osteotomi sonrası %87 arttığı görüyoruz. Fakat bu bulgular istatistiksel olarak anlamlı değildi (sırasıyla, $p=0,753$, $p=0,059$). Çeşitli deneysel çalışmalar, radial kısaltma osteotomisinin yükleri distal ulnaya doğru geçirerek lunat yükünü azalttığını göstermiştir [12, 14, 55]. Çalışmamızda, el bileği nötral pozisyonunda 14kgf yüklenme sonrası oluşan basınç

dağılımlarında, osteotomi miktarının artmasıyla radiolunat eklem yüklenmesinde sayısal olarak azalma, ulnokarpal eklem yüklenmesinde sayısal olarak artış vardır. Ancak bu bulguların istatistiksel olarak anlamı yoktur.

Sonuç olarak, düşündüğümüz gibi radial kısaltma osteotomisi, radiolunat ekleme binen yükleri azaltmada etkili değildir.

Osteotomi yapılmayan grupta 14kgf yüklenme sonrası ulnokarpal eklemden geçen yük $\%14,9754 \mp 6,3442$ iken, 25kgf yüklenme sonrası $\%28,6391 \mp 7,1039$ bulundu. Osteotomi yapılmayan grupta 14kgf yüklenme sonrası radiolunat eklemden geçen yük $\%62,9837 \mp 17,0792$ iken, 25kgf yüklenme sonrası $\%50,7404 \mp 12,3533$ bulundu (Tablo 4, 5). Osteotomi yapılmayan grupta 14kgf yüklenme sonrası oluşan ortalama basınç dağılımları ile 25kgf yüklenme sonrası oluşan ortalama basınç dağılımları karşılaştırıldığında, ulnokarpal eklemdeki artış istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($p=0,012$). Radiolunat eklemdeki azalma istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($p=0,036$). Radioskafoid eklemdeki azalma istatistiksel olarak anlamlı bulunmadı ($p=1,00$). İki mm veya 4mm osteotomi yapılan gruplarda ise 14kgf yüklenme sonrası oluşan ortalama basınç dağılımları ile 25kgf yüklenme sonrası oluşan ortalama basınç dağılımları karşılaştırıldığında, ulnokarpal, radiolunat ve radioskafoid eklemlerdeki sayısal değişiklikler istatistiksel olarak anlamlı bulunmadı. Dört mm radial kısaltma osteotomisi uygulanması sonrası, göreceli olarak pozitif ulnar varyans meydana getirilmiştir. İstatistiksel olarak anlamı olmamasına rağmen, pozitif ulnar varyans varlığında, el bileği nötral pozisyonunda aşırı yüklenme ile ulnokarpal eklem yüklenmesi artmış, radiolunat ve radioskafoid eklem yüklenmesi azalmıştır.

Bu bulgulara göre, nötral ulnar varyanslı normal el bileğini temsil eden, osteotomi yapılmayan grupta, el bileği nötral pozisyonunda, yükün artmasıyla radiokarpal eklemden geçen basınçlar azalmış, ulnokarpal eklemden geçen basınçlar artmıştır. Aşırı yüklenmede yükler, el bileği ulnar tarafına kaymıştır. Dolayısıyla, nötral pozisyonda oluşan yük artışını ulnokarpal eklem karşılamıştır. Kuvvetli yumruk hareketinde oluşan 200-250 Newton yükün oluşabilmesi için el bileği ulnar deviasyona gelir. Günlük aktivite sırasında, kavrama gücü ulnar deviasyonda daha fazla olmaktadır [56]. Görünen odur ki, ulnokarpal eklem nötral el bileği pozisyonunda yükü karşılayan ve ulnar deviasyon sırasında bu kuvvetin artmasında rol oynayan destek noktasıdır. Günel ve arkadaşları, yaptıkları biyomekanik bir çalışma sonucunda, Kienböck hastalığı etiolojisinde ulnar deviasyon yüklenmesinin yer aldığını, sınırlı karpal füzyonların el bileği yüklenme özelliklerini değiştirerek değil, ulnar deviasyonu kısıtlayarak etki ettiğini

öne sürmüşlerdir [27]. Fakat çalışmamızda, el bileği nötral pozisyonunda lunat kemik yüklenmesini temsil eden radiolunat eklemdeki yükün azalması istatistiksel olarak 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 alışıktı olmadığı bir yerden geçirecektir. Günel ve arkadaşları, aynı çalışmada el bileği ulnar deviasyona getirildiğinde radioskafoid yükün azaldığını ve yükün önemli kısmının radiolunat eklem aktarıldığını belirtmişlerdir. Radial deviasyonda, belirli oranda yük taşıyan ulnolunat eklem, el bileği ulnar deviasyona getirildiğinde hiç yük almadığını göstermişlerdir [27]. Aşırı yüklenme ile el bileği nötral pozisyondayken ulnolunat eklem, el bileği ulnar deviasyon pozisyonundayken radyolunat eklem yüklenir. Yani her iki pozisyonda da lunat kemiğin ulnar tarafı yük alır.

Hara ve arkadaşları, el bileği nötral pozisyonunda, yükün %50'sinin radioskafoid eklemde ve %35'inin radiolunat eklemde geçtiğini bildirmişlerdir [48]. El bileği radial deviasyona geldiğinde yükün %52'sinin radioskafoid eklemde ve %30'unun radiolunat eklemde geçtiğini, el bileği ulnar deviasyona geldiğinde, yükün %42'sinin radioskafoid eklemde ve %50'sinin radiolunat eklemde geçtiğini belirtmişlerdir. Yani, el bileği ulnar deviasyon pozisyonuna gittiğinde lunat kemik skafoid kemikten daha fazla yük taşımaktadır. Ulna uzunluğunun radiustan kısa olduğu negatif ulnar varyanslı kişilerde, ulnar deviasyonun daha fazla olduğu bilinmektedir [57]. Kienböck hastalığı etiyolojisinde ulnar deviasyon yüklenmesinin yer aldığı dikkate alınacak olursa, bu da Kienböck hastalığının neden negatif ulnar varyanslı hastalarda daha sık görüldüğünü açıklar. Af Ekenstam ve arkadaşları, yaptıkları kadavra çalışmasında nötral el bileği pozisyonunda yükün %85'inin radiokarpal eklemde ve %15'inin ulnokarpal eklemde geçtiğini göstermişler [52]. El bileği 15 derece ulnar deviasyona getirildiğinde yükün %20'sinin, 25 derece ulnar deviasyona getirildiğinde yükün %24'ünün ulnokarpal eklemde geçtiğini belirtmişlerdir. Sadece ulnar deviasyondaki artışla, ulnokarpal eklem yüklenmesinin arttığını görmekteyiz. Bu bilgiler doğrultusunda, negatif ulnar varyanslı hastalardaki mekanizma, aşırı ulnar deviasyon pozisyonundaki yüklenme ile, nötral ve pozitif ulnar varyanslı hastalardaki mekanizma ise nötral veya ulnar deviasyon pozisyonundaki aşırı yüklenmelerle açıklanabilir. Radial kısaltma ve ulnar uzatma osteotomisi prosedürlerinin ulnar deviasyonu kısıtladığı yapılan çalışmalarla gösterilmiştir [6, 58]. Bu da, negatif, nötral veya pozitif ulnar varyanslı ve ileri evre Kienböck hastalıklı hastalarda, radial kısaltma osteotomisi ile bildirilen başarılı sonuçları açıklar.

Sonuç olarak, Kienböck hastalığı tedavisinde kullanılan radial kısaltma osteotomisi lunat kemiğe binen yükleri azaltmaz. Radial kısaltma osteotomisinin negatif, nötral veya pozitif ulnar varyanslı ve evre 1, 2, 3A ve 3B Kienböck hastalıklı hastalardaki klinik olarak iyi sonuçlar vermesinin sebebi, el bileği ulnar deviasyonunu kısıtlaması olabilir. Normal el bileğinde yüklenmede artış ile el bileğinde yükler ulnar tarafa kayar ve ulnokarpal eklemdaki yüklenme anlamlı olarak artar. El bileği nötral pozisyonunda aşırı yüklenmeler sonucu ulnolunat ekleme binen yük artar. El bileği aşırı ulnar deviasyonda veya ulnar deviasyondaki aşırı yüklenmeler sonucu, radiolunat ekleme 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 bileği tüm pozisyonlarında, özellikle nötral ve ulnar deviasyon pozisyonunda biyomekanik çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu çalışmaların, ameliyat öncesi ve sonrası ulnar deviasyon miktarını ölçen klinik çalışmalarla da desteklenmesi gereklidir.

8. KAYNAKLAR

1. Almquist EE. Kienbock's disease. *Clin Orthop Relat Res* 1986;(202): 68-78.
2. Kramer RC, Lichtman DM. Kienböck's disease: overview and classification. In: Watson HK, Weinzweig J, eds. *The Wrist*, 1st ed. Philadelphia: LWW, 2001; 395-409
3. Allan CH, Joshi A, Lichtman DM. Kienbock's disease: diagnosis and treatment. *J Am Acad Orthop Surg* 2001; 9: 128-36.
4. Lichtman DM ve ark. Kienbock's disease: the role of silicone replacement arthroplasty. *J Bone Joint Surg [Am]* 1977; 59A(7): 899-908.
5. Eiken O, Niechajev I. Radius shortening in malacia of the lunate. *Scand J Plast Reconstr Surg* 1980; 14: 191-6.
6. Nakamura R, Horii E, Imaeda T. Excessive radial shortening in Kienbock's disease. *J Hand Surg [Br]* 1990; 15B(1): 46-8.
7. Nakamura R, Imaeda T, Miura T. Radial shortening for Kienbock's disease: factors affecting the operative result. *J Hand Surg [Br]* 1990; 15B(1): 40-5.
8. Ovesen J. Shortening of the radius in the treatment of lunatomalacia. *J Bone Joint Surg [Br]* 1981; 63B(2): 231-2.
9. Quenzer DE ve ark. Radial recession osteotomy for Kienbock's disease. *J Hand Surg [Am]* 1997; 22A(3): 386-95.
10. Schattenkerk ME, Nollen A, van Hussen F. The treatment of lunatomalacia. Radial shortening or ulnar lengthening? *Acta Orthop Scand* 1987; 58: 652-4.
11. Weiss AP. Radial shortening. *Hand Clin* 1993; 9(3): 475-82.
12. Horii E ve ark. Effect on force transmission across the carpus in procedures used to treat Kienbock's disease. *J Hand Surg [Am]* 1990; 15A(3): 393-400.
13. Trumble T, Glisson RR, Seaber AV, Urbaniak JR. A biomechanical comparison of the methods for treating Kienbock's disease. *J Hand Surg [Am]* 1986; 11A(1): 88-93.
14. Werner FW, Palmer AK. Biomechanical evaluation of operative procedures to treat Kienbock's disease. *Hand Clin* 1993; 9(3): 431-43.
15. Iwasaki N ve ark. Radial osteotomy for late-stage Kienbock's disease. Wedge osteotomy versus radial shortening. *J Bone Joint Surg [Br]* 2002; 84B(5): 673-7.
16. Tatebe M ve ark. Limited wrist arthrodesis versus radial osteotomy for advanced Kienbock's disease-for a fragmented lunate. *Hand Surg* 2006; 11(1-2): 9-14.

17. Weiss AP, Weiland AJ, Moore JR, Wilgis FS. Radial shortening for Kienbock disease. *J Bone Joint Surg [Am]* 1991; 73A(3): 384-91.
18. Lee ML. The intraosseus arterial pattern of the carpal lunate bone and its relation to avascular necrosis. *Acta Orthop Scand* 1963; 33: 43-55.
19. Gelberman RH, Gross MS. The vascularity of the wrist. Identification of arterial patterns at risk. *Clin Orthop Relat Res* 1986;(202): 40-9.
20. Masear VR ve ark. Strain-gauge evaluation of lunate unloading procedures. *J Hand Surg [Am]* 1992; 17A(3): 437-43.
21. Beckenbaugh RD, Shives TC, Dobyns JH, Linscheid RL. Kienbock's disease: the natural history of Kienbock's disease and consideration of lunate fractures. *Clin Orthop Relat Res* 1980;(149): 98-106.
22. Schiltenswolf M ve ark. Further investigations of the intraosseous pressure characteristics in necrotic lunates (Kienbock's disease). *J Hand Surg [Am]* 1996; 21(5): 754-8.
23. Chen WS, ShihCH. Ulnar variance and Kienbock's disease. An investigation in Taiwan. *Clin Orthop Relat Res* 1990;(255): 124-7.
24. Nakamura R, Tanaka Y, Imaeda T, Miura T. The influence of age and sex on ulnar variance. *J Hand Surg [Br]* 1991; 16B(1): 84-8.
25. Tsuge S, Nakamura R. Anatomical risk factors for Kienbock's disease. *J Hand Surg [Br]* 1993; 18B(1): 70-5.
26. Bonzar M ve ark. Kienbock disease and negative ulnar variance. *J Bone Joint Surg [Am]* 1998; 80A(8): 1154-7.
27. Gunal I ve ark. Kienböck hastalığı tedavisinde sınırlı karpal füzyonların yük aktarma özelliklerinin biyomekanik analizi. *Acta Orthop Traumatol Turc* 2005; 39(4): 351-5.
28. Culp RW, Schaffer J, Osterman AL, Bora FW Jr. Kienbock's disease in a patient with Crohn's enteritis treated with corticosteroids. *J Hand Surg [Am]* 1989; 14A(2 pt 1): 294-6.
29. Jensen CH. Intraosseous pressure in Kienbock's disease. *J Hand Surg [Am]* 1993; 18A(2): 355-9.
30. Watson HK, Weinzweig J. Theory and etiology of Kienböck's disease. In: Watson HK, Weinzweig J, eds. *The Wrist*, 1st ed. Philadelphia: LWW, 2001; 411-17

31. Szabo RM, Greenspan A. Diagnosis and clinical findings of Kienbock's disease. *Hand Clin* 1993; 9(3): 399-408.
32. Posner MA, Greenspan A. Trispiral tomography for the evaluation of wrist problems. *J Hand Surg [Am]* 1988; 13A(2): 175-81.
33. Hashizume H ve ark. Histopathology of Kienbock's disease. Correlation with magnetic resonance and other imaging techniques. *J Hand Surg [Br]* 1996; 21A(1): 89-93.
34. Jackson MD, Barry DT, Geiringer SR. Magnetic resonance imaging of avascular necrosis of the lunate. *Arch Phys Med Rehabil* 1990; 71(7): 510-3.
35. Sowa DT, Holder LE, Patt PG, Weiland AJ. Application of magnetic resonance imaging to ischemic necrosis of the lunate. *J Hand Surg [Am]* 1989; 14A(6): 1008-16.
36. Imaeda T, Nakamura R, Miura T, Makino N. Magnetic resonance imaging in Kienbock's disease. *J Hand Surg [Br]* 1992; 17B(1): 12-9.
37. Nakamura R, Watanabe K, Tsunoda K, Miura T. Radial osteotomy for Kienbock's disease evaluated by magnetic resonance imaging. 24 cases followed for 1-3 years. *Acta Orthop Scand* 1993; 64(2): 207-11.
38. Youm Y, McMurtry RY, Flatt AE, Gillespie TE. Kinematics of the wrist. I. An experimental study of radial-ulnar deviation and flexion-extension. *J Bone Joint Surg [Am]* 1978; 60A(4): 423-31.
39. Salmon J, Stanley K, Trail IA. Kienbock's disease: conservative management versus radial shortening. *J Bone Joint Surg [Br]* 2000; 82B(6): 820-3.
40. Watanabe K, Nakamura R, Horii E, Miura T. Biomechanical analysis of radial wedge osteotomy for the treatment of Kienbock's disease. *J Hand Surg [Am]* 1993; 18A(4): 686-90.
41. Condit DP, Idler RS, Fischer TJ, Hastings H II. Preoperative factors and outcome after lunate decompression for Kienbock's disease. *J Hand Surg [Am]* 1993; 18A(4): 691-6.
42. Raven EE, Haverkamp D, Marti RK. Outcome of Kienbock's disease 22 years after distal radius shortening osteotomy. *Clin Orthop Relat Res* 2007; (460): 137-41.
43. Armistead RB, Linscheid RL, Dobyns JH, Beckenbaugh RD. Ulnar lengthening in the treatment of Kienbock's disease. *J Bone Joint Surg [Am]* 1982; 64A(2): 170-8.
44. Gelberman RH, Salamon PB, Jurist JM, Posch JL. Ulnar variance in Kienbock's disease. *J Bone Joint Surg [Am]* 1975; 57A(5): 674-6.

45. Tillberg B. Kienboeck's disease treated with osteotomy to lengthen ulna. *Acta Orthop Scand* 1968; 39(3): 359-69.
46. Palmer AK, Werner FW. Biomechanics of the distal radioulnar joint. *Clin Orthop Relat Res* 1984;(187): 26-35.
47. Iwasaki N ve ark. Biomechanical analysis of limited intercarpal fusion for the treatment of Kienboeck's disease: a three-dimensional theoretical study. *J Orthop Res* 1998; 16(2): 256-63.
48. Hara T ve ark. Force distribution across wrist joint: application of pressure-sensitive conductive rubber. *J Hand Surg [Am]* 1992; 17A(2): 339-47.
49. Short WH, Werner FW, Fortino MD, Palmer AK. Distribution of pressures and forces on the wrist after simulated intercarpal fusion and Kienboeck's disease. *J Hand Surg [Am]* 1992; 17A(3): 443-9.
50. Cooney III WP, Chao EY. Biomechanical analysis of static forces in the thumb during hand function. *J Bone Joint Surg [Am]* 1977; 59A(1): 27-36.
51. Pogue DJ ve ark. Effects of distal radius fracture malunion on wrist joint mechanics. *J Hand Surg [Am]* 1990; 15A(5): 721-7.
52. 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(3): 363-5.
53. Blevens AD ve ark. Radiocarpal articular contact characteristics with scaphoid instability. *J Hand Surg [Am]* 1989; 14A(5): 781-90.
54. Shepard MF, Markolf KL, Dunbar AM. Effects of radial head excision and distal radial shortening on load-sharing in cadaver forearms. *J Bone Joint Surg [Am]* 2001; 83A(1): 92-100.
55. 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; 17A(3): 423-8.
56. Nakamura R, Tsuge S, Watanabe K, Tsunoda K. Radial wedge osteotomy for Kienboeck disease. *J Bone Joint Surg [Am]* 1991; 73A(9): 1391-6.
57. Unver B ve ark. Normal ranges of ulnar and radial deviation with reference to ulnar variance. *J Int Med Res* 2004; 32(3): 337-40.
58. Matsushita K, Firrell JC, Tsai TM. X-ray evaluation of radial shortening for Kienboeck's disease. *J Hand Surg [Am]* 1992; 17A(3): 450-5