



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ



OS TRIQUETRUM'UN VASKÜLER ANATOMİSİNİN MİKRO- BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ İLE 3 BOYUTLU İNCELENMESİ

Dr. Aybegüm BALCI

ANATOMİ ANABİLİM DALI
TIPTA UZMANLIK TEZİ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Nihal APAYDIN

ANKARA
2023

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ

**OS TRIQUETRUM'UN VASKÜLER ANATOMİSİNİN MİKRO-
BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ İLE 3 BOYUTLU
İNCELENMESİ**

Dr. Aybegüm BALCI

ANATOMİ ANABİLİM DALI
TIPTA UZMANLIK TEZİ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Nihal APAYDIN

**Bu tez Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nün
21B0230017 sayılı projesi ile desteklenmiştir.**

ANKARA
2023

Ankara Üniversitesi
Tıp Fakültesi Dekanlığı'na,

Tıpta Uzmanlık Tezi olarak hazırlayıp sunduğum “Os triquetrum’un vasküler anatomisinin mikro-bilgisayarlı tomografi ile 3 boyutlu incelenmesi” başlıklı tez; bilimsel ahlak ve değerlere uygun olarak tarafımdan yazılmıştır. Tezimin fikir/hipotezi tümüyle tez danışmanım ve bana aittir. Tezde yer alan araştırma tarafımca yapılmış olup, tüm cümleler, yorumlar bana aittir.

Bu tez çalışmasıyla ilgili tüm süreçler İnsan Araştırmaları Etik Kurulu tarafından, 13.07.2021 tarihinde, İ6-462-21 numaralı kararla onaylanmıştır.

Yukarıda belirtilen hususların doğruluğunu beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Aybegüm BALCI

Tarih:

İmza:

ÖZGÜNLÜK RAPORU

Gönderim Tarihi: 26-May-2023 09:48AM (UTC+0300)

Gönderim Numarası: 2102260839

Dosya adı: Aybeg_m_BALCI_TEZ_TK_12864.turnitin2.docx (112.13K)

Kelime sayısı: 11260

Karakter sayısı: 77499



OS TRIQUETRUM'UN VASKÜLER ANATOMİSİNİN MİKRO-BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ İLE 3 BOYUTLU İNCELENMESİ

ORJİNALLİK RAPORU

% 2	% 1	% 1	% 1
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	Submitted to Ankara University Öğrenci Ödevi	<% 1
2	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	<% 1
3	revolution.allbest.ru İnternet Kaynağı	<% 1
4	Photographischer Atlas der Praktischen Anatomie II, 1999. Yayın	<% 1
5	acamedicine.org İnternet Kaynağı	<% 1

KABUL ONAY SAYFASI

I. UZMANLIK ÖĞRENCİSİNİN	
Adı, Soyadı: Aybegüm BALCI	Sınav tarihi: 25 / 05 / 2023
Anabilim/Bilim Dalı: Anatomi Anabilim Dalı	
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nihal APAYDIN	

II. TEZ İLE İLGİLİ BİLGİLER	
Tezin Başlığı: OS TRIQUETRUM'UN VASKÜLER ANATOMİSİNİN MİKRO-BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ İLE 3 BOYUTLU İNCELENMESİ	
Tezin Niteliği:	☒ Ana Dal Uzmanlık Tezi ☐ Yan Dal Uzmanlık Tezi
Kaçıncı tez sınavı olduğu:	☐ 1 ☒ 2 ☐ 3

III. KARAR	
Yapılan tez sınavı sonucunda yukarıda belirtilen tezin “Tıpta Uzmanlık Tezi” olarak ☒ Kabulüne ☐ Reddine ☐ Düzeltmeler yapıldıktan sonra tekrar değerlendirilmesine ☒ Oy birliği ☐ Oy çokluğu ile karar verilmiştir.	

IV. AÇIKLAMALAR

Jüri Başkanı
Prof. Dr. S. Tuna KARAHAN
Anabilim/Bilim Dalı

Jüri Üyesi
Doç. Dr. Simel KENDİR
Anabilim/Bilim Dalı

Jüri Üyesi
Prof. Dr. Nihal APAYDIN (Danışman)
Anabilim/Bilim Dalı

ÖNSÖZ

2021 yılında 21B0230017 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi ile başlayan tez sürecimi sonuçlandırmaktan mutluluk duymaktayım. Tezimi klasik yöntemlere nazaran yeni bir yöntem olan ve güvenilirliği daha yüksek olan mikro-bilgisayarlı tomografi yöntemiyle yaptığım, bu araştırmayı da klinikte kırığı azımsanmayacak oranda görülen ve daha önce vaskülaritesini tanımlayan az sayıda çalışma olan os triquetrum üzerine yaptığım için özellikle heyecanlıyım. Os triquetrum'un vaskülaritesinin bilinmesinin klinikte cerrahi uygulamalara yön göstereceğini ummaktayız. Ayrıca bu çalışmanın sahadaki benzer yöntemlerle yapılacak çalışmalara rehber olmasını dilerim.

Asistanlık sürecimde yardımlarını esirgemeyen ve tecrübelerini her daim benimle paylaşan değerli Anatomi Anabilim Dalı hocalarım sayın Prof. Dr. İbrahim TEKDEMİR, Prof. Dr. Aysun UZ, Prof. Dr. Eray TÜCCAR, Prof. Dr. Ali Fırat ESMER, Prof. Dr. Ayhan CÖMERT ve Prof. Dr. Tülin ŞEN ESMER'e teşekkürlerimi sunarım.

Asistanlık ve tez sürecimde çokça kapılarını çaldığım, katkı ve desteklerini esirgemeyen değerli hocalarım sayın Prof. Dr. Süleyman Tuna KARAHAN, Prof. Dr. Halil İbrahim AÇAR Doç. Dr. Simel KENDİR'e teşekkürü borç bilirim.

Öğrencisi olduğum ilk günden itibaren üzerimden desteklerini esirgemeyen, çalışmalarımda bana sürekli cesaret veren, hem akademik hem sosyal hayatta pozitif enerjisiyle bana yol gösteren çok kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Nihal APAYDIN'a çok teşekkür ederim.

Asistanlık sürecinde birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum değerli meslektaşlarım Dr. Mustafa Cenk YILMAZ, Dr. Ali Can KORKMAZ, Dr. Mehmet YILMAZ, Dr. Necati SALMAN, Dr. Yiğit GÜNGÖR, Dr. Mehmet AYDIN, Dr. Umut Kaan AKÇAY, Dr. Niymet Pelin ÇAVDAR YILMAZ, Dr. Elif ÇELİK, Dr. Bahar Selenay BULUT ve Dr. Ümit Can YILDIRIM'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez sürecimin çeşitli aşamalarındaki çok kıymetli destekleri için sayın Prof. Dr. Çağdaş OTO, Doç. Dr. Gökçe YILDIRAN, Orçun GÜVENER ve Ezgi ŞAHİN'e teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemi sağlayan değerli aileme, Tıpta Uzmanlık Sınavı'na hazırlık sürecimden tez sürecime kadar her an desteğini hissettiğim, hayatımda olduğu gibi akademik hayatımda da arkamdaki gizli gücüm ve en büyük destekçim sevgili eşim Bilal BALCI'ya ve tüm sabotajlarına rağmen evimizin neşe kaynağı olan kedimiz Pıtır'a da teşekkür ederim.

Dr. Aybegüm BALCI

İÇİNDEKİLER

Etik Beyan	i
Özgünlük Raporu	ii
Kabul Onay Sayfası	iii
Önsöz	iv
İçindekiler	v
Simgeler ve Kısaltmalar	vii
Şekiller Dizini	viii
Tablolar Dizini	ix

1. ÖZET	1
2. ABSTRACT	3
3. GİRİŞ VE AMAÇ	5
4. GENEL BİLGİLER	7
4.1. Karpal Kemiklerin Embriyolojik Özellikleri	7
4.2. Karpal Kemiklerin Arteriyel Beslenmesi ve Avasküler Nekrozları	8
4.2.1. Os Triquetrum'un Arteriyel Beslenmesi ve Avasküler Nekrozu	11
4.3. Karpal Kemiklerin Anatomisi	12
4.3.1. Os Triquetrum'un Anatomisi	12
4.4. El Bileğinin Bağları	13
4.5. El Bileğinin Biyomekaniği	15
4.5.1. Os Triquetrum'un El Bileği Biyomekaniğine Katkısı	16
4.6. Os Triquetrum Kırıkları ve Tedavisi	17
4.7. Kemikte Kullanılan Görüntüleme Yöntemleri	18
4.8. Damar Görüntülemeye Kullanılan Maddeler	20
4.8.1. Microfil Maddesinin Özellikleri	21
5. GEREÇ ve YÖNTEM	22
5.1. Kadavra Hazırlığı	22
5.2. Kadavra Diseksiyonu	24
5.3. Radyolojik İnceleme	24
5.4. İstatistiksel Analiz	29
6. BULGULAR	30
6.1. Diseksiyon Bulguları	30

6.2. Radyolojik Bulgular	32
7. TARTIşMA	42
8. SONUÇ ve ÖNERİLER	50
9. KAYNAKLAR	52



SİMGELER VE KISALTMALAR

BMP	: Device Independent Bitmap
DICOM	: Digital Imaging and Communications in Medicine
TIFF	: Tagged Image File Format
STL	: Standard Triangle Language
mm	: Milimetre
mm²	: Milimetrekare
mm³	: Milimetreküp
cm³	: Santimetreküp
ml	: Mililitre
µm	: Mikrometre
Fr	: French ölçeđi
SF	: Serum fizyolojik
°C	: Santigrat derece

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1. Avasküler nekrozun etyolojisi, patofizyolojisi ve histopatolojisi	10
Şekil 4.2. Microfil MV-117 kitindeki ürünler	21
Şekil 5.1. Microfil MV-117 maddesinin uygulanması öncesi hazırlık	22
Şekil 5.2. Microfil MV-117 maddesinin uygulanması.....	23
Şekil 5.3. C kollu skopi görüntüsü	23
Şekil 5.4. Os triquetrum lokal olarak etraf bağ yumuşak dokuyla birlikte çıkarılması.....	24
Şekil 5.5. Os triquetrum'un mikro-bilgisayarlı tomografi ile incelenme aşamaları	25
Şekil 5.6. Os triquetrum üzerindeki damar giriş foramenlerinin kesitsel ölçümlerinin 3 boyutlu model üzerindeki görünümü	26
Şekil 5.7. Damar ve foramen çapının kesitsel olarak ölçümü	26
Şekil 5.8. Os triquetrum'un palmar ve dorsal bölgelerindeki damarlar	27
Şekil 5.9. Os triquetrum'un 4 kadrana bölündüğü eksenler	28
Şekil 5.10. Os triquetrum'a uygulanan sanal kemik tüneli eksenleri.....	28
Şekil 6.1. Palmar interkarpal ark	30
Şekil 6.2. Arteria ulnaris'den os triquetrum'a doğru uzanan dallar	31
Şekil 6.3. Arteria radialis, ramus carpalis dorsalis	31
Şekil 6.4. Os triquetrum'a sırasıyla dorsal yüz, os pisiforme ile eklem yüzünün proksimali ve os pisiforme-os hamatum ile eklem yüzleri arasından giren damarların giriş yerleri	32
Şekil 6.5. Os triquetrum'un 4 kadrandaki damarlar	37
Şekil 6.6. Os triquetrum'lardaki birim kemik hacmi başına düşen damar hacmi (damar yoğunluğu)	37
Şekil 6.7. Tüm kemiklerdeki dorsal ve palmar yüzlerden damar görünümleri.....	38
Şekil 6.8. Os triquetrum'un dorsal ve palmar bölgelerindeki damarlar arasındaki anastomoz	39
Şekil 6.9. Os triquetrum'a ligamentum lunotriquetrum'un tutunma yerinde bulunan damarlar	40
Şekil 6.10. Tüm kemiklerde 3 eksenindeki damarların gösterimi.....	41

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 4.1. Microfil MV-117 özellikleri.....	21
Tablo 6.1. Os triquetrum’u besleyen damarların toplam sayısı ve bölgelere göre dağılımı	32
Tablo 6.2. Os triquetrum’daki foramen sayıları ve bölgelere göre dağılımı	33
Tablo 6.3. Tüm kemiklerdeki damar çapları.....	34
Tablo 6.4. Bölgelere göre toplam ve ortalama damar çapları (mm).....	34
Tablo 6.5. Dorsal ve palmar damarların ortalama çaplarının karşılaştırılması.....	35
Tablo 6.6. Farklı lokasyonlardaki damarların toplam foramen kesit alanları (mm ²).....	35
Tablo 6.7. Os triquetrum’ların kemik hacimleri (mm ³).....	36
Tablo 6.8. Os triquetrum’ların damar hacimleri (mm ³).....	36
Tablo 6.9. Anastomoz ve ligamentum lunotriquetrum’da damar varlığı	39
Tablo 6.10. 3 eksenindeki damar yüzdeleri ve ortalamaları	40

1. ÖZET

Amaç: Çalışmamızın amacı os triquetrum'u intraosseöz olarak besleyen damarların paternlerini 3 boyutlu olarak ortaya koymak, bu sayede kemiğin daha çok ve daha az beslenen bölgeleri ile kırık paternlerini beraber yorumlamak ve kemiğin avasküler nekroza yatkın bölümünü tanımlayarak kemiğe yönelik uygulanan cerrahi tedavilere yol göstermektir.

Gereç ve Yöntem: 7 adet taze donmuş kadavranın arteria ulnaris ve arteria radialis'i Microfil MV-117 maddesi ile dolduruldu. Sonrasında os triquetrum'lar diseksiyon ile çıkartılıp mikro-bilgisayarlı tomografide incelendi. Ardından 3 boyutlu modellemesi yapıp os triquetrum'a giren ana arter dallarının sayısı, bu dalların kemiğe hangi bölgelerden girdiği, kemiğe giriş yerlerindeki çapları, kemiğe girdikleri foramenlerin kesitsel alanları, kemiğe girdikten sonra anastomoz yapıp yapmadıkları kaydedildi. Sonrasında kemik belli referans noktalardan kadranslara ayrılarak dorsal, palmar, proksimal ve distal bölümlerindeki damar hacimleri ve damar yoğunlukları ölçülüp bu bölgelerin beslenme paternleri arasındaki fark tanımlandı. Kemiğe uygulanan kemik tüneli ve vidalama işlemleri baz alınarak kemikte 3 eksen belirlendi ve bu eksenlerdeki damar hacimleri hesaplandı.

Bulgular: Bir kemiğe ortalama $2,97 \pm 1,28$ (3-12) foramenden $7,14 \pm 4,18$ (3-14) adet damar girmekte, bunların da %72'si dorsal yüzden girmekteydi ($p < 0,05$). Palmar yüzden giren damarların %86'sı kemiğe os pisiforme ile eklem yüzünün proksimalinden giriş yapmaktaydı. Dorsalden giren damarlar palmar-proksimal seyir göstermekteydi. Bir kemikteki ortalama damar hacmi $0,61 \pm 0,36 \text{ mm}^3$ 'tü. Os triquetrum'un dorsal yarısındaki damar hacmi $0,40 \pm 0,22 \text{ mm}^3$ iken palmar yarısındaki $0,21 \pm 0,15 \text{ mm}^3$ idi. Dorsal bölgedeki damar hacmi palmar bölgedekilerden anlamlı olarak fazlaydı ($p < 0,05$). Os triquetrum'ların ortalama kemik hacmi $317,62 \pm 115,63 \text{ mm}^3$ idi. Os triquetrum'a giren damarların toplam çapı ortalama $0,63 \pm 0,32 \text{ mm}$, giriş yerindeki ortalama çapı $0,09 \text{ mm}$ idi. Dorsaldeki damarların çapları $0,46 \pm 0,26 \text{ mm}$ iken palmardakilerin $0,17 \pm 0,87 \text{ mm}$ idi. Dorsal bölgedeki damarlar palmardakilerden anlamlı olarak genişti ($p < 0,05$). Kemiklerin %57'sinde intraosseöz damarlar arasında anastomoz vardı. Kemiklerin tümünde ligamentum lunotriquetrum'un tutunma yerinde damarlar tespit edildi.

Sonuç: Sonuç olarak os triquetrum dorsal ve palmar olmak üzere iki bölgeden beslenmektedir. Dorsal beslenme baskın olmakla beraber dorsal ve palmar bölgelerden giren damarlar arasında anastomozlar mevcuttur. Çalışmamız os triquetrum'un intraosseöz beslenmesinin zengin olduğunu göstermiş olup, kemiğin bir bölgesini etkileyen patolojilerde diğer bölgeden giren damarların durumu kompanse edip kemiğin hasarlı bölgesindeki

beslenmenin devamını sağlayacağını ve bu sayede kırıkların konservatif tedaviyle iyileşmesini ve avasküler nekroz gibi komplikasyonların az görüldüğünü ortaya koymuştur. Çalışmamızda ayrıca vidalama ve kemik tünelleri açılarak ligamentum lunotriquetum rekonstrüksiyonu uygulamalarında kullanılabilir 3 eksen tanımlanmıştır. Lateral eksen daha az intraosseöz damar içermesi sebebiyle bu operasyonlarda uygulanması en uygun eksenidir. Kırıkları azımsanamayacak oranda görülen, sonrasında oluşan komplikasyonlar sonucu iş gücü kaybına sebep olabilecek ve el bileği biyomekaniğinde önemli role sahip olan os triquetrum'un intraosseöz kanlanma paterninin ve kemiğe invaziv girişimlerde kullanılan eksenlerden en uygun olanının bilinmesinin bu girişimlerde cerraha yol gösterici olacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Os Triquetrum, İntraosseöz Kanlanma, Avasküler Nekroz, Microfil MV-117, Mikro-Bilgisayarlı Tomografi.

2. ABSTRACT

Aim: The aim of this study is to determine which part of the bone is most prone to avascular necrosis by identifying the intraosseous pattern of the nutrient vessels of the triquetrum. These results will be associated with the part of bone which has more nutrient vessels as well as fracture patterns and will create a suggestion for surgical treatment after fracture.

Materials and Methods: Ulnar and radial arteries of 7 fresh frozen cadavers were filled with Microfil MV-117. Afterwards, the triquetral bones were removed by dissection and examined by micro-computed tomography. Then, 3D modeling was done and the number of main artery branches entering the triquetrum, the regions from which these branches entered the bone, their diameters at the bone entrances, the cross-sectional areas of the foramen where they entered the bone, whether they anastomose after entering the bone were recorded. Afterwards, the bone was divided into quadrants from certain reference points and the vessel volumes and vessel densities in the dorsal, palmar, proximal and distal parts were measured and the difference between the nutrition patterns of these regions was defined. Based on the bone tunnel and screwing procedures applied to the bone, 3 axes were determined in the bone and the vessel volumes in these axes were calculated.

Results: A total of 50 nutrient vessels entered the bone. While the number of vessels entering the bone from the dorsal region was 36, those entering from the palmar region were 14. Two of the vessels in the palmar region entered the bone between the faces of the pisiform and the hamate, and 12 of them entered the bone just proximal to the articular surface with the pisiform. The mean number of vessels entering a bone was 7.14 ± 4.18 . Of these vessels; 5.14 of them were entering the bone from the dorsal and 2 of them from the palmar region. The vessels entering from the dorsal showed a palmar-proximal course. The mean vessel volume in one bone was $0.61 \pm 0.36 \text{ mm}^3$. The vessel volume in the dorsal half of the triquetrum was $0.40 \pm 0.22 \text{ mm}^3$, while it was $0.21 \pm 0.15 \text{ mm}^3$ in the palmar half. The vessel volume in the dorsal region was significantly higher than in the palmar region ($p < 0.05$). The mean bone volume of the triquetral bones was 317.62 ± 115.63 . The mean diameter of the vessels entering the triquetrum at the entrance was 0.09 mm. The total diameter of the arteries was $0.63 \pm 0.32 \text{ mm}$ on average. The diameters of the vessels in the dorsal region were $0.46 \pm 0.26 \text{ mm}$, while those in the palmar region were $0.17 \pm 0.87 \text{ mm}$. The vessels in the dorsal region were significantly wider than those in the palmar region ($p < 0.05$). There were anastomoses between intraosseous vessels in 57%

of the bones. In all of the bones, vessels were detected at the attachment point of the lunotriquetral ligament.

Conclusion: Triquetrum is supplied from two regions, dorsal and palmar, and there is anastomosis between the vessels entering from these regions. The conservative treatment after fractures is possible due to compensated blood flow provided by these anastomotic branches of the dorsal and palmar sided blood vessels. The results of our study showed that the intraosseous blood supply of the triquetrum is rich, thus, complications such as avascular necrosis and nonunion has low incidence. In addition, in our study 3 axes were defined that can be used in screw applications and reconstruction of the lunotriquetral ligament by opening bone tunnels. Since the lateral axis contains fewer intraosseous vessels, it is the most appropriate axis to be applied in these operations. Knowing the intraosseous blood supply pattern and the most appropriate axes for bone-invasive interventions of the os triquetrum, which plays an important role in wrist biomechanics, may guide the surgeon when performing these procedures.

Keywords: Triquetrum, Intraosseous Vascularity, Avascular Necrosis, Microfil MV-117, Micro-Computed Tomography.

3. GİRİŞ VE AMAÇ

El bileği kemikleri, travmaya çok açık olduğu için vücutta en sık kırılan kemiklerdendir. Tüm kemik kırıkları içinde %28,6'sı el ve el bileğinde görülür. El bileği fleksiyon-ekstensiyon ve radial-ulnar deviasyon hareketlerinin yapılabildiği bir eklem olup günlük işlerde ve mesleki alanda sık kullanılmaktadır (1). Ülkemizde de sıklıkla genç nüfusun el bileği kemiklerinde kırılma meydana gelmesi, ciddi iş gücü kaybı oluşturmaktadır (2, 3). Eskiden sporcularda alt ekstremité yaralanmaları zıplama, koşma gibi kabiliyetleri etkilediği için daha çok vurgulanmaktaydı ve el bileği kırıklarının minimal morbidite oluşturduğu düşünülüyordu; ancak günümüzde el bileği yaralanmalarının fırlatma, yakalama, ateş etme gibi kabiliyetleri etkilediği ve geciken veya atlanan tedavilerle geç ortaya çıkan sekellere ve performans kaybına neden olabileceği belirtilmektedir (4).

Os triquetrum kırıkları genellikle dorsifleksiyonda ve ulnar deviasyondaki el üzerine düşme sonucu görülür (4). Kırık tanısının atlanması ve geç teşhis edilmesi el bileği bağlarında ciddi bozulma ve kalıcı bilek eklemi disfonksiyonuna neden olmaktadır (5). El bileğindeki kemikler içerisinde %62-87 oranında en sık kırılan kemik os scaphoideum olup hem kanlanmasına hem de avasküler nekrozlarına ilişkin yapılmış fazla sayıda çalışma bulunmaktadır (6-11). İkinci en sık kırılan el bileği kemiği ise, karpal kemik kırıklarının %15'ini oluşturan os triquetrum'dur (12). Literatürde os triquetrum'un kaynamama olguları sık olmamakla beraber, bu durum daha çok gövde kırıkları sonrası görülmüştür. Bunlarda konservatif tedavi ile iyileşme sağlanamamış, vidalama ve greft uygulamalarına gereksinim duyulmuştur (13-16).

Avasküler nekroz, kemik vaskülaritesinin azalmasına bağlı olarak kemik ve kemik iliği hücrelerinin ölümüne ve neticede mekanik yetmezliğe yol açan patolojik bir süreçtir. Lokal sebeplerinden biri kemik kırıklarıdır (17). Literatürde os triquetrum'un avasküler nekrozuna az sayıda çalışmada değinilmiştir. Os triquetrum'un avasküler nekroz olgularından üçü daha önce geçirilmiş el bileği travması sonucu oluşmuştur (17-19)

Literatürde os triquetrum'un intraosseöz vasküler anatomisini inceleyen iki çalışmaya rastlanmıştır. Bunlar sırasıyla 1955 ve 1982 yıllarında yapılmış olan Grettve ve Panagis'in çalışmalarıdır (20, 21). Bu çalışmalarda kullanılan dekalsifikasyon tekniği, çok sayıda uygulama adımı ve 6 haftayı bulan uzun uygulama süreci nedeniyle zordur (22). Bu yöntemler hem zaman alıcıdır hem de dekalsifikasyon işlemi sırasında mikrovaskülarite zarar

görebilmektedir. Yeni 3 boyutlu yöntemler kemik dokusuna zarar vermediği için kemiğe giren damarların daha iyi izlenmesine, bu damarların intraosseöz olarak yayılımının ve anastomozlarının daha net görülmesine olanak sağlamaktadır. Literatürde os scaphoideum, os lunatum, os capitatum ve os hamatum'un kanlanma paterni 3 boyutlu yöntemlerle incelendiği, ekstra ve intraosseöz kanlanması tanımlandığı çalışmalar mevcuttur. Bu kemikler üzerinde mikro-bilgisayarlı tomografi kullanılarak yapılan çalışmalarda eski çalışmalara katkı sağlayacak, bazen de zıt düşecek yeni bilgiler ortaya çıkmıştır (22-28).

Bu tezin amacı os triquetrum ile yapılan eski tarihli çalışmalardan farklı bir yöntem olan mikro-bilgisayarlı tomografi yöntemiyle kemiğin hangi arterlerden beslendiğini ortaya koymak, bu arterlerin kemiğe giriş yerlerini, kemik içindeki dağılımlarını ve anastomozlarını belirlemek, kemiğe giren arterlerin kemiğe tutunan ligamentlerle ilişkisini göstermek ve cerrahlara kemiğe yönelik yaklaşımların hangi taraftan yapılacağına dair bir yol haritası sunmaktır. Bu sayede belirlenen kanlanma paterni rehber alınarak kırık ve bağ hasarı tedavilerinde kemiğe uygulanan açık redüksiyon ve internal fiksasyon operasyonları sırasında damarlar daha etkin bir şekilde korunarak avasküler nekroz gibi önemli bir komplikasyon en aza indirgenebilir.

Bu tezde kullanılan terimler Terminologia Anatomica, Terminologia Embryologica ve Terminologia Histologica dikkate alınarak yazılmıştır. Bu üç terminolojide yer almayan terimler ise kaynağında bahsedildiği şekli ile Türkçe okunuşlarına göre yazılmıştır.

4. GENEL BİLGİLER

4.1. Karpal Kemiklerin Embriyolojik Özellikleri

İskelet gelişimi 3 kaynaktan meydana gelir: kranyal nöral krest hücreleri, somitler ve mezoderm dış plağı. Kemik gelişimi yani osteogenezis embriyolojik dönemin 6.-7. haftalarında başlar, 25 yaşına kadar devam eder (29).

Kemikleşme intramembranöz ve endokondral olmak üzere iki şekilde meydana gelir. İki tür kemikleşme de mezenkimal hücre farklılaşmasına dayanır. İntramembranöz kemikleşmede var olan membranöz kılıflar içindeki mezenkimal doku direkt kemikleşir. Bu gelişim daha çok yassı kemiklerde görülür. Endokondral kemikleşmede ise mezenkimal taslaklar kıkırdak kemik taslaklarına dönüşür, kemikleşme bu taslaklardan başlar. Çoğu ekstremitte kemiği bu şekilde oluşur (29, 30).

Ekstremitte tomurcuklarının gelişimi apikal ektodermal kabartı, tomurcuğu çevreleyen kalınlaşmış epitel ve altındaki mezenkimal doku arasındaki etkileşimle sağlanır. Mezenkimal yoğunlaşmayı kondroblastik farklılaşma takip eder. Kıkırdak matriks oluşumu sonrasında ekstremitte kemik modelleri ortaya çıkmaya başlar. Karpal kemikler endokondral gelişim gösterirler. Kıkırdak matriksleri radius ve ulna'dan sonra sırasıyla oluşmaya başlar. Kıkırdak modelleri ilk oluşanlar os hamatum, os capitatum ve os trapezoideum'dur (31). Os pisiforme hariç diğer karpal kemikler fetüsün 8. haftasında kıkırdak iskelet oluşumunu tamamlar. Os pisiforme'nin kıkırdak matriksi 13. haftada ortaya çıkar (32). Bu esnada apikal ektodermal kabartıdan gelen sinyal, ekstremitte tomurcuğunun gelişimi için gereklidir. İnsan Hox geni ekstremitte gelişimini regüle eder. Özellikle ekstremitede daha distal ve proksimaldeki yapılar oluşurken karpal kemik iskeletinin daha sonra oluşması bu gen ekspresyonu tarafından kontrol edilir (31).

El bileği kemikleri tek merkezden kemikleşir. İlk olarak doğumdan sonraki 3. ayda os capitatum'un, 1 yaşında os hamatum'un kemikleşme merkezleri görülür. Cinsiyete göre değişiklik göstermekle beraber os triquetrum 2 ila 3 yaşlarında kemikleşir. Os lunatum, os trapezium ve os trapezoideum'un 3 ila 6, os scaphoideum'un ise 4 ila 6 yaşlarında kemikleşme merkezleri gelişir. En geç kemikleşmeyi os pisiforme 8 ila 12 yaşları arasında gösterir. Karpal kemiklerin bu gelişim paterni 2 ila 6 yaş aralığındaki çocuklarda yaş tayininde kullanılmaktadır (33, 34).

Üst ekstremitenin arteriyel gelişimi aksiyal arterle başlar. Bu arter, embriyolojik gelişimin 6. haftasında ön kolda median arter, arteria ulnaris ve arteria interossea'yı oluşturur. 7. haftada belirmeye başlayan palmar arklar, arteria radialis ile birlikte 8. haftada iyice belirginleşir (35).

4.2. Karpal Kemiklerin Arteriyel Beslenmesi ve Avasküler Nekrozları

Karpal kemikler arteria radialis, arteria ulnaris ve arteria interossea anterior'un oluşturduğu dorsal ve palmar taraftaki 3'er adet damar arkıyla beslenir. Dorsal taraftaki arklar dorsal radiokarpal, dorsal interkarpal ve bazal metakarpal arklardır. Palmar tarafta ise palmar radiokarpal, palmar interkarpal ark ve arcus palmaris profundus vardır (36).

Arteria brachialis arteria radialis ve arteria ulnaris'e ayrıldıktan sonra arteria radialis önce ön kolun proksimalinde arteria recurrens radialis dalını verir. El bileği ekleminin proksimalinde verdiği ramus carpalis palmaris, arteria ulnaris'in ön kol proksimalinde verdiği arteria interossea communis'in dalı arteria interossea anterior ve arteria ulnaris'in el bileği proksimalinde verdiği ramus carpalis palmaris ile anastomoz yaparak palmar radiokarpal ve interkarpal arkları oluştururlar. Palmar radiokarpal ark daha proksimalde bulunup genel olarak arteria radialis, arteria ulnaris ve arteria interossea anterior tarafından oluşturulur ve varyasyonları azdır. Articulatio radiocarpalis'in proksimalinde transvers olarak uzanır. Palmar interkarpal ark, proksimal ve distal sıra karpal kemiklerin arasında transvers olarak uzanır, varyasyonları sıktır (36, 37).

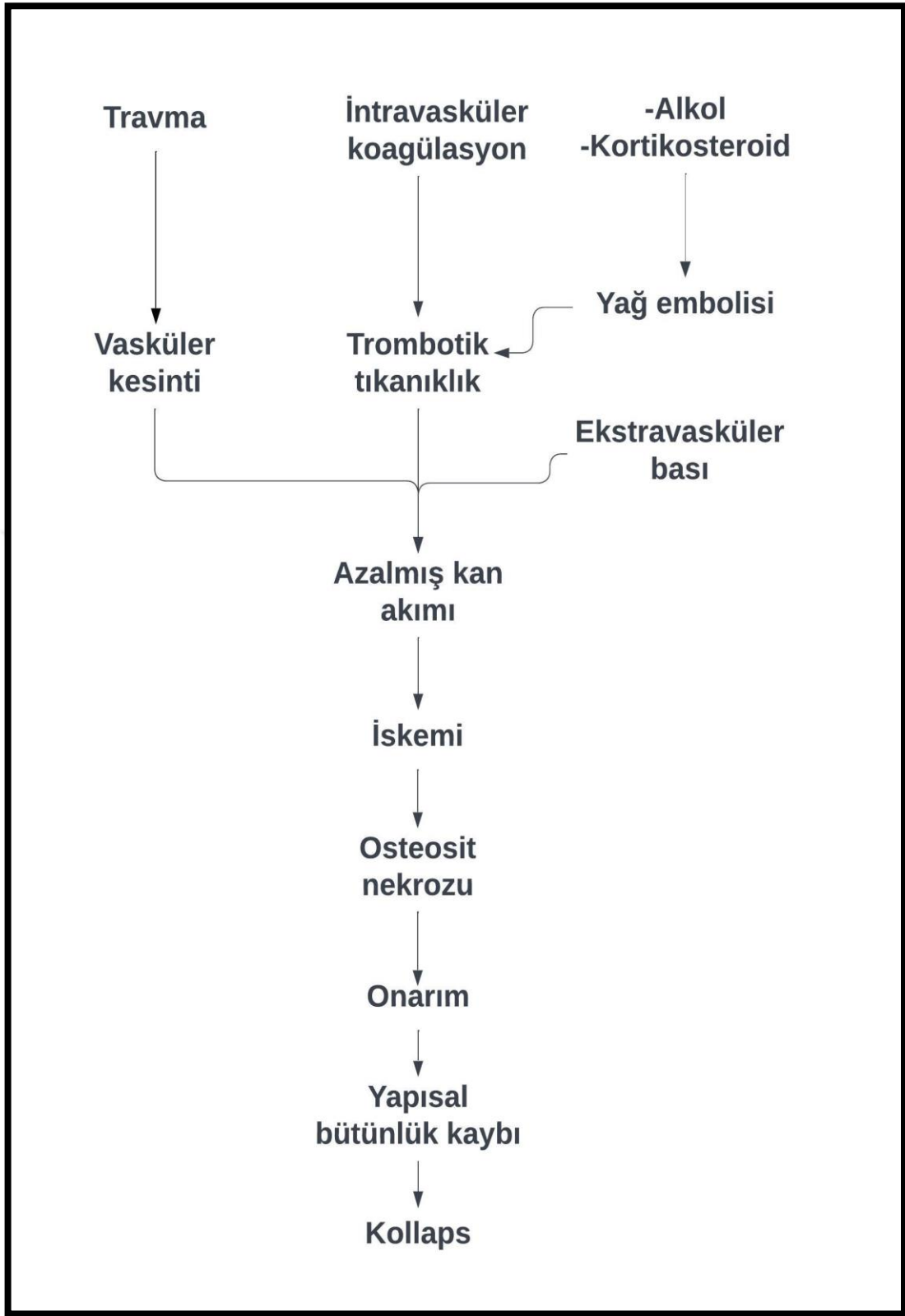
Dorsal radiokarpal ark 3 dorsal karpal ağın en proksimalindekidir ve articulatio radiocarpalis seviyesinde ekstensör kas tendonlarının derininde oluşur. Bu ağ arteria radialis, arteria ulnaris ve arteria interossea anterior tarafından oluşturulsa da arteria ulnaris ve arteria interossea anterior'un katılmadığı varyasyonları mevcuttur. Dorsal interkarpal ark, proksimal ve distal sıra karpal kemiklerin arasında seyredir. 3 dorsal arktan en büyüğüdür. Os lunatum ve os triquetrum'u beslemek üzere dorsal radiokarpal ark ile anastomoz yapar. Distal veya bazal metakarpal ark ise os metacarpale'lerin basis'leri boyunca, articulatio carpometacarpalis'lerin hemen distalinde seyredir ve dorsal arkların en küçüğüdür. 2., 3. ve 4. interosseöz aralıklardaki arcus palmaris profundus'un perforan dallarıyla da anastomoz yapabilir. Dorsal arklar longitudinal olarak uzanan dallarla birbirleriyle bağlantılıdır (36, 38).

Dorsal interkarpal ark, palmar radiokarpal ark ve arcus palmaris profundus insanda her zaman görülebilen arklardır. Dorsal radiokarpal ark %80, basal metakarpal ark %27, palmar

interkarpal ark ise %53 oranında görülür. Çoğu karpal kemik bu arklardan gelen dallardan beslenirler. İstisna olarak os trapezium'un dorsal ve lateral yüzleri ve os scaphoideum arteria radialis'den, os pisiforme ve os triquetrum ise arteria ulnaris'den direkt gelen dallarla da beslenirler (36).

Avasküler nekroz, kemik vaskülaritesinin azalmasına bağlı olarak kemik ve kemik iliği hücrelerinin ölümüne ve neticede mekanik yetmezliğe yol açan patolojik bir süreçtir. Erken patolojik bulgular hematopoetik hücreler ve yağ hücrelerinin nekrozunu izleyen kemik iliği ödemidir. Osteosit ölümü beslenme kesilmesinin 3. saatinde başlar fakat histolojik bulgular 1-3. günde ortaya çıkar. Görülen histolojik değişiklikler genel olarak çekirdek küçülmesi, boş osteosit lakunası, reaktif hiperemi ve yeniden damarlanmanın başlamasıdır. Kemik rezorpsiyonu trabeküler bütünlük kaybı ve bunun sonucu olarak subkondral kırılma ve eklem uyumsuzluğuna kadar ilerleyebilir. Femur başında yapılan incelemelerde, kemiğin mikrosirkülasyonunun yani subkondral kemiğe giren kanın kesintiye, intravasküler oklüzyona ve ekstrasvasküler kompresyona karşı duyarlı olduğu gösterilmiştir (39).

Literatürde osteonekroz, iskemik nekroz, subkondral avasküler nekroz, kemiğin aseptik nekrozu ve osteokondritis dissekans olarak da bahsedilmiştir. Avasküler nekroz total eklem replasmanına kadar gidebilen, sık görülen bir hastalıktır. Vasküler beslenmenin azalması en sık travma sonucu görülse de travmaya bağlı olmayan sebeplerle de görülebilir. Travmatik olmayan sebepler arasında; sistemik lupus eritematozus, hemoglinopatiler, yağ embolisi, alkolizm ve kortikosteroid kullanımı bulunmaktadır (40, 41). Nadir de olsa bifosfanat kullanımına sekonder gelişen avasküler nekroz vakaları da mevcuttur (3). Bunlar sonucu oluşan avasküler nekroz patogenezi net olmamakla beraber altında yatan ekstra ve intraosseöz anomaliler sorumlu tutulmaktadır. Avasküler nekrozun en sık sebebi travmalardır. Çünkü travma sonucu kemiğin normal vasküler yapısı bozulmaya uğrar (40, 41) (Şekil 4.1.).



Şekil 4.1. Avasküler nekrozun etyolojisi, patofizyolojisi ve histopatolojisi

“Pathophysiology and risk factors for osteonecrosis” isimli makaleden Türkçe’ye çevrilmiştir (39).

Karpal kemikler avasküler nekroz görülme oranına göre üç gruba ayrılmaktadır. Grup 1’de bulunan os scaphoideum ve os capitatum’un beslenmesinde tek bir arter kemiğin büyük bir kısmını beslediği için bu kemiklerde avasküler nekroz riski yüksektir. Bu gruba os lunatum da kısmen dahil edilmektedir. Grup 2’de yer alan os trapezoideum ve os hamatum’u beslemek için iki ayrı bölgeden giren damarlar az sayıda anastomoz yapmaktadır. Grup 3’te yer alan os trapezoideum, os pisiforme, os lunatum ve os triquetrum ise iki taraftan giren ve kemiğin içinde anastomoz sayısı fazla olan damarlar tarafından beslendiği için avasküler nekroz riski oldukça düşüktür (42). Os scaphoideum en sık kırılan ve travmaya bağlı avasküler nekrozu en sık görülen karpal kemiktir. Besleyici arterler kemiğe dorsal çıkıntıdan girip kemiğin proksimal %70-80’lik kısmını beslediği için bu bölgelerdeki kırıkları proksimal kutupta avasküler nekroza sebep olmaktadır. Os scaphoideum’un idiyopatik avasküler nekrozu (Preiser hastalığı) nadirdir. Etiyolojisi kanıtlanamamış olsa da tekrarlayan travma, kortikosteroid kullanımı, bağ doku hastalıkları gibi sebepler öne sürülmektedir (43). Os lunatum’un idiyopatik avasküler nekrozu olarak tanımlanan Kienböck hastalığı ise; karpal kemikler içinde en sık görülen idiyopatik avasküler nekrozdur, Etiyolojisi netleştirilememiş olsa da radiokarpal eklem vasıtasıyla kemikte meydana gelen kronik travmayla, bunun yanı sıra sistemik ve genetik sebeplerle de ilişkili olduğu ileri sürülmüştür (44).

4.2.1. Os Triquetrum’un Arteriyel Beslenmesi ve Avasküler Nekrozu

Os triquetrum dorsal interkarpal ark, dorsal radiokarpal ark, palmar radiokarpal ark ve arteria ulnaris’den gelen küçük dallar ile dorsal ve palmar taraftan beslenmektedir (36). Dorsal yüzdeki çıkıntıdan giren 2-4 adet damarın kemiğin dorsal %60’ını, palmar tarafta os pisiforme’yle eklem yaptığı yüzün proksimal ve distalinden giren 1-2 damarın kemiğin palmar %40’ını beslediği belirtilmiştir. Dorsal ve palmar taraflarda vasküler anastomozlar mevcuttur (20, 21). Os triquetrum; beslenmesinde tek arter dominansı olmadığı ve damarlar kemik içinde anastomoz yaptığı için avasküler nekroz riski düşük karpal kemikler grubuna dahil edilmiştir (42). Avasküler nekrozu az olsa da genellikle travma sonrası görülmektedir. Hastalar genellikle el bileğinin ulnar tarafında, ulnar deviasyonla artan ağrı tanımlamaktadır. El bileğinde şişlik, hareket kısıtlılığı, fizik muayenede os triquetrum’un olduğu bölgede hassasiyet olabilir.

Travma sonrası tanısı erken koyulamayan kırıklarında ileri evrede avasküler nekroz komplikasyonu oluşabildiği gibi travmaya bağlı olmayan avasküler nekroz vakaları da görülebilmektedir (3, 18, 45-47). İzole avasküler nekrozunun yanında diğer karpal kemiklerde görülen avasküler nekroz da eşlik edebilir. Radyografi normal olabileceği gibi kemik kollapsı,

hiperdansite, manyetik rezonans görüntülemesinde kemik dansitesinde azalma ve kemik iliği ödemi görülebilmektedir (3, 18, 45, 46). Bilgisayarlı tomografide kemikte kistik lezyonlar görülebilir (17). Tedavisi konservatif olup medikal bileklik, atel, steroid enjeksiyonu gibi uygulamalar yapılmaktadır. İyileşme gösteren avasküler nekroz vakaları mevcuttur. İyileşme göstermeyen vakalarda vaskülarize pediküllü kemik greftleri gibi prosedürler uygulanır. Daha ileri vakalarda kurtarma prosedürü olarak kemiğin eksizyonu, çoklu avasküler nekroz vakalarında ise proksimal sıra karpektomisi veya radial-proksimal sıra füzyonu gibi işlemler uygulanabilmektedir (3, 18, 45-47).

4.3. Karpal Kemiklerin Anatomisi

Karpal kemikler *articulatio radiocarpale* ve *articulatio carpometacarpale* arasında proksimal ve distal olmak üzere iki sıra halinde yerleşim gösteren 8 adet küçük trabeküler kemiktir. proksimal sırada *os scaphoideum*, *os lunatum*, *os triquetrum* bulunmaktadır. Bu kemikler *ligamentum scapholunatum interosseum* ve *ligamentum lunotriquetrum interosseum* ile birbirine bağlıdır. *Os pisiforme*, *os triquetrum*'un palmar yüzüyle eklem yapmaktadır. Fonksiyonel olarak proksimal karpal sıraya ait değildir. *Musculus flexor carpi ulnaris*'in tendonu içinde yer alır. Distal karpal sırayı oluşturan kemikler lateralinden mediale doğru; *os trapezium*, *os trapezoideum*, *os capitatum* ve *os hamatum*'dur. Kemiklerin dizilimi dorsal tarafta konveks, palmar tarafta konkav bir yüzey oluşturur. Palmar yüzde *tuberculum ossis scaphoidei*, *os pisiforme*, *tuberculum ossis trapezii* ve *hamulus ossis hamati* çıkıntı oluşturmalar. *Retinaculum flexorum* palmar yüzdeki bu çıkıntılara tutunur. Proksimal ve distal karpal sıralar arasında *articulatio mediocarpalis* bulunmaktadır (37, 48).

4.3.1. Os Triquetrum'un Anatomisi

Os triquetrum; proksimal karpal sıranın en medialinde oblik şekilde uzanan piramidal şekilli bir kemik olup *os lunatum*, *os hamatum* ve *os pisiforme*'yle eklem yaptığı 3 adet eklem yüzü vardır. Literatürde kuneiform kemik olarak da geçmektedir. *Os pisiforme*'yle eklem yüzü palmar tarafta olup, bu yüz oval, yuvarlak veya amorf şekilli olabilmektedir. *Os lunatum*'la eklem yüzü kama şeklindedir. *Os hamatum* ve *os lunatum* ile eklem yüzleri birbirinin devamı şeklinde olup aralarında interartiküler çıkıntı adı verilen kenar bulunmaktadır. Kemiğin dorsal yüzü pütürlü ve kabarık bir yapıya sahiptir, burası “dorsal çıkıntı” olarak tanımlanmıştır. Kemiğin özellikle dorsal yüzü ve *os pisiforme*'yle eklem yüzünün etrafında ortalama 5 adet

besleyici damarların girdiği foramina bulunmakta olup bunların %63'ü dorsal yüzdendir (21, 49).

El bileğinin iç ve dış bağlarından bazıları os triquetrum'a tutunmaktadır. Bu iç bağlardan biri olan ligamentum lunotriquetrum, os lunatum ile os triquetrum'un os pisiforme ile eklem yaptığı yüzün tabanına yapışan sıkı bir bağdır (50). Dış bağlardan olan palmar ligamentum ulnotriquetrum ve ligamentum radiolunatum longum (radiolunotriquetral bağ) os triquetrum'un os pisiforme'yle eklem yaptığı palmar yüzün tabanına tutunur. Dorsal radiotriquetral ve interkarpal bağlar ise os triquetrum'un dorsal yüzündeki çıkıntıya tutunur.

4.4. El Bileğinin Bağları

El bileği bağları dış ve iç olarak gruplandırılmıştır. İç bağlar karpal kemikte başlayıp bir başka karpal kemikte biten bağlardır. Dış bağların ise ek olarak ön kol, retinakulumlar veya tendon kılıflarıyla bağlantıları vardır (50, 51).

Palmar iç bağlar dorsaldekilere göre daha kalın ve güçlüdür. Distal karpal sıra kemikleri arasındaki interkarpal bağlar kısa ve sıkıdır. Proksimal sıra kemikleri arasındaki ligamentum scapholunatum interosseum ve ligamentum lunotriquetrum interosseum el bileği kinematikliğinde önemlidir. Bu bağların dorsal ve palmar kısımları kolajen lifleri, kan damarı ve sinir lifleri içeren tipik artiküler bağ yapısındayken proksimal kısmı damar, sinir ve kolajen lifleri içermeyen fibrokartilaj yapısındadır. Ligamentum scapholunatum interosseum hasarında dorsal interkalat segment instabilitesi (DISI) görülürken, ligamentum lunotriquetrum hasarında volar interkalat segment instabilitesi (VISI) görülmektedir. Hasarın derecesine göre el bileğinde orta dereceden ileri dereceye kadar karpal kollaps görülebilir veya görülmeyebilir. VISI'nın en sık sebebi ligamentum lunotriquetrum hasarıdır. Bu hasar travmaya bağlı akut veya dejeneratif lezyonlara bağlı kronik olabilir, karpal kollaps veya perilunat instabilite eşlik edebilir (52).

Palmar midkarpal bağlardan olan ligamentum radiatum carpi “deltoid, radiat, arkuat, V bağ” olarak da isimlendirilir. Bu bağ os capitatum'dan başlayarak yelpaze şeklinde os scaphoideum ve os triquetrum'a uzanır ve os capitatum'u stabilize eder (50).

Palmar dış bağlar ligamentum radiocarpale palmare, ligamentum ulnocarpale palmare ve ligamentum radioulnare carpi olarak 3 bölümde incelenebilir. Ligamentum radiocarpale palmare; ligamentum radioscap hocapitatum, radiolunotriquetral bağ (ligamentum radiolunatum longum), ligamentum radiolunatum breve ve ligamentum radioscap hocapitatum

bağları içerir. Ligamentum radioscapphocapitatum processus styloideus radii'den başlar, mediodistal seyir gösterir. Os scaphoideum ve os capitatum'da sonlanan bölümleri vardır. Os scaphoideum'un distalinde sonlanan bölümüne ligamentum collaterale radiale carpi denir. Bu bağ processus styloideus radii'ye tutunduğu için bu bölgedeki kırık veya osteotomiler karpal biyomekaniği etkileyebilir. Aynı zamanda os scaphoideum'a uzanan lifleri sayesinde de kemiğin stabilizasyonuna katkıda bulunur. Os scaphoideum çıkıklarında iç bağlardan olan ligamentum scapholunatum interosseum yanında bu bağın hasarının da etkisi vardır. Palmar radiolunotriquetral bağ veya diğer ismiyle ligamentum radiolunatum longum, processus styloideus radii'de ligamentum radioscapphocapitatum'un medialinden başlar ve buna paralel uzanarak os lunatum'a yapışır. Yüzeyel lifleri ligamentum lunotriquetrum interosseum ile kaynaşarak os triquetrum'a yapışır (50, 51, 53, 54).

Palmar dış bağlardan ligamentum ulnocarpale palmare, ligamentum ulnolunatum ligamentum ulnotriquetrum ve ligamentum ulnocapitatum'u içerir. Ligamentum ulnotriquetrum'un medialdeki lifleri ligamentum collaterale ulnare carpi'yi oluşturur. Palmar ligamentum ulnolunatum, palmar ligamentum ulnotriquetrum, ligamentum radioulnare dorsale ve palmare triangular fibrokartilaj kompleksin komponentleridir (51). Triangular fibrokartilaj kompleks el bileğinin ulnar tarafında yerleşmiş, kıkırdak ve bağ yapılardan oluşan, görevi aksiyel güç aktarımı, radioulnar ve ulnokarpal stabiliteyi sağlamak olan bir yapıdır (55). Ligamentum ulnolunatum os lunatum'un palmarine, ligamentum ulnotriquetrum ise os triquetrum'un palmarine tutunan yelpaze şeklinde bağlardır. Ligamentum ulnotriquetrum, benzer şekilde os triquetrum'un palmar yüzüne tutunan ligamentum lunotriquetrum ile birlikte palmar avulsiyon kırıklarının en sık sebepleridir (56). Radioulnar bağlar eklem diskini çevreleyecek şekilde radius ve ulna'yı birbirine bağlar. Radius'ta incisura ulnaris'in dorsal ve palmar kenarlarına, ulna'da ise ulnar fovea'ya tutunurlar. (55). Ligamentum radioulnare palmare'nin supinasyondaki bilekte stabilizasyon rolü özellikle membrana interossea antebrachii yaralanmalarında önem kazanır (57). Ligamentum ulnolunatum ve ligamentum ulnotriquetrum pronasyon ve supinasyonda el bileği stabilizasyonunu sağlar ve karpal kemiklerin ulna'ya doğru çıkışını engeller. Bu bağlar proksimalde triangular fibrokartilaj kompleksin perifer kısmında olan radioulnar bağa tutunduğu için bu bağlardaki hasar periferik kompleks hasarına neden olmaktadır. Bu durum eklem diskinde hasara kadar gidebilmekte ve el bileğinde instabiliteye sebep olmaktadır (51).

Dorsal bağlar ligamentum radiocarpale dorsale, ligamentum radioulnare dorsale ve ligamenta intercarpea dorsalia'dan oluşmaktadır. Ligamentum radiocarpale dorsale'nin

radiotriquetral, radiolunat ve radioskafoid bölümleri vardır. Radiotriquetral bağ, processus styloideus radii'den başlayıp os triquetrum'un dorsal çıkıntısına tutunan oblik seyirli bir bağdır. Seyri sırasında os lunatum'a tutunan lifleri de mevcuttur. Ligamenta intercarpea dorsalia os triquetrum'un dorsal çıkıntısından os scaphoideum'a uzanır. Bu bağ aynı zamanda os lunatum'a, os trapezium'a, iç bağlardan olan ligamentum scapholunatum interosseum ve ligamentum lunotriquetrum'a da tutunmaktadır. Bu bağın bir komponenti olan ligamentum scaphotriquetrum dorsale, ligamentum radiocarpeum dorsale ile birlikte dorsal avülsiyon kırıklarının en sık sebepleridir. Bu bağ radiotriquetral bağ ile birlikte dorsal bölgedeki radioskafoid stabilizasyonu sağlayıp skafolunat disosiasyonu önlemekte görev alır. Ligamentum radioulnare dorsale daha önce de belirtildiği gibi triangular fibrokartilaj kompleksin periferdeki genişlemiş bir parçasıdır. Membrana interossea antebrachii hasarında özellikle pronasyondaki el bileği stabilizasyonunda önemlidir (57, 58).

4.5. El Bileğinin Biyomekaniği

El bileği, yapısal olarak transvers ve longitudinal arklardan oluşan, kompleks biyomekanik bir sistemdir. Proksimal transvers ark karpal kemikler tarafından, distaldeki ise caput ossis metacarpi'ler tarafından oluşturulur. Longitudinal arklar 5 parmağı oluşturan metakarpal ve falanks kemiklerini ve karpal kemikleri içerir. Bunlardan radial taraftaki os scaphoideum, os trapezoideum, os trapezium'u; santraldeki os capitatum, os hamatum ve os lunatum'u; ulnar taraftaki ise os triquetrum'u içerir (59, 60). Ark teorisine göre bileği fleksiyon ve ekstensiyon hareketleri santral arkta, radial ve ulnar deviasyon hareketleri os triquetrum ve os scaphoideum'un santral ark etrafındaki rotasyonuyla oluşur. Sonraki çalışmalarda karpal arklardaki hareketlerin karpal kemik şekilleri ve bağ gevşeklikleriyle ilişkisi tanımlanmıştır. Üç boyutlu çalışmalarda ark teorisinin bilek hareket spektrumundaki tüm karpal hareketleri açıklamadığı vurgulanmıştır (60).

Distal karpal sıra kemikleri güçlü iç bağlarla sıkıca bağlıdır ve blok olarak hareket ederler, bu sebeple aralarındaki hareket ihmal edilebilir. Fakat proksimal karpal sıra kemikleri daha hareketlidir ve el bileği kinematiğinde önemli rol oynar. Proksimal sıra kemiklerinde kas veya tendon tutunmaları olmadığı için iki hareketli kemik yapı arasına sıkışmış gibi görülüp bu kemiklere “intercalated” yani arada kalmış segment de denmektedir. Karpal kemiklerin hareketleri proksimal karpal sıraya göre “düzlem içi- düzlem dışı” olarak sınıflandırılır. Karpal kinematik, yaklaşık olarak 60 derece fleksiyon ve 60 derece ekstensiyon eksenleri arasındaki değişimleri kapsar. El bileğinin 60 derecede fleksiyonunda os capitatum tüm hareket boyunca

fleksiyon yaparken os scaphoideum os capitatum'un %70'i, os lunatum ise %45'i kadar fleksiyon yapar. Yani fleksiyon sırasında midkarpal ve radiokarpal eklemler hareketi yaklaşık eşit oranda bölüşürler. El bileği ekstensiyonunda ise os scaphoideum ve os capitatum aynı oranda, os lunatum ise os capitatum'un %65'i kadar ekstensiyon yapar. Bu harekette midkarpal eklemdaki hareket azalmış olup radiokarpal eklemde hareket açısı genişlemiştir. Zorlu ekstensiyon hareketlerinde ise os lunatum ve os scaphoideum'un os capitatum'dan %25 daha az rotasyon yapar. Proksimal sıradaki kemiklerin distal sıradakilere göre daha az oranda rotasyonu, zorlu ekstensiyonda hareketin daha çok midkarpal eklemden sağlandığını göstermektedir (60-63).

Literatürde “dart atma hareketi” olarak tanımlanan; fincanla bir şey içme, çivi çakma ve diş fırçalama gibi günlük hayatta karşılaşılan hareketlerde el bileği ekstensiyon ve radial deviasyondan, fleksiyon ve ulnar deviasyona geçer. Bu hareketler sırasında midkarpal eklemden tüm eksenlerde hareket görülür. Bu hareketlerde gerek kemik ve eklem morfolojisi gerek kas tendonlarının tutunması gerekse de el bileği bağlarının sebep olduğu proksimal karpal sıranın hareketindeki kısıtlılık, yapılan hareketin daha hassas ve stabil olmasına olanak sağlamaktadır (60-63).

Proksimal karpal sıradaki kemiklerden os scaphoideum fleksiyona, os triquetrum ise ekstensiyona meyillidir. Bu sıradaki 3 kemik ligamentum scapholunatum interosseum ve ligamentum lunotriquetrum interosseum bağları ile birbirine bağlı ve stabildir. Ligamentum scapholunatum interosseum hasarında os scaphoideum ile os lunatum arasındaki ilişki kopacağından os scaphoideum fleksiyon, os triquetrum ise os lunatum'la birlikte ekstensiyon yapar. Ligamentum lunotriquetrum interosseum hasarında ise os lunatum os scaphoideum'la birlikte fleksiyon, os triquetrum ise ekstensiyon yapar. Kısıtlayıcı etkenlerin ortadan kalkmasıyla kemiklerde görülen bu kontrolsüz hareketler ikincil stabilizasyonu sağlayan bağların da kopmasına sebep olabilir. Bu sebeple ligamentum scapholunatum interosseum hasarında dorsal interkalat segment instabilitesi (DISI), ligamentum lunotriquetrum interosseum hasarında da volar interkalat segment instabilitesi (VISI) görülmektedir (64).

4.5.1. Os Triquetrum'un El Bileği Biyomekaniğine Katkısı

Proksimal karpal sıranın 3 kemiğinin tendinöz tutunması ve buna bağlı dinamik kısıtlayıcı olmaması sebebiyle eklem stabilitesi eklem yüzlerinin uyumu ve bağlarla sağlanmaktadır. Os triquetrum bu aşamada eklem hareketlerinin koordinasyonunda çok önemlidir (52).

Os scaphoideum proksimal karpal sıranın fleksiyonunu indüklemeye eğiliminde iken os triquetrum bunu dengeleyici ekstensiyon etkiden sorumludur. Proksimal karpal sıra distalin aksine, önemli ölçüde skafolunat ve orta ölçüde lunotriquetral harekete izin verir (65). Proksimal karpal sıranın stabilizasyonunda görevli iki ana ligamentten biri ligamentum lunotriquetrum'dur. Bu bağ kısmi harekete izin verir. Zedelenmesi sonucu karpal instabilite görülebilmektedir. Perilunat dislokasyonlara eşlik eden avülsiyon kırıkları da mevcuttur (66). Os triquetrum ve ligamentleri aynı zamanda nöromusküler bilek stabilizasyonu için proprioseptif bilgi sağlamada anahtar unsurlardır (67). Os triquetrum'un proksimal karpal sırayla beraber çıkarılması gerektiği durumlarda radial deviasyonun önemli ölçüde sınırlanır (68). Bunun yanında os triquetrum'u da içeren proksimal sıra karpektomisi uygulanan hastalar günlük yaşantılarına dönseler de el becerisi gerektiren işlerde tam performans gösteremezler (69, 70).

4.6. Os Triquetrum Kırıkları ve Tedavisi

Karpal kemikler arasında en sık os scaphoideum'un kırıkları görülse de os triquetrum kırıklarının en fazla görüldüğü vaka serileri de literatürde bulunmaktadır (71). Os triquetrum kırıkları dorsal, gövde ve palmar kırıklar olarak sınıflandırılır (72). En sık kırık %79 oranında dorsal tarafta görülür, bunu %15 ile palmar kırıklar, %6 ile gövde kırıkları izler (71).

Dorsal kırıklar için birden fazla mekanizma ileri sürülmüştür. Ekstensiyon ve ulnar deviasyondaki bilek üzerine düşme sonucu os triquetrum os pisiforme ve processus styloideus ulnae arasında sıkışır. Os triquetrum'un dorsal yüzündeki bu keski etkisi dorsal korteks kırığına neden olur. Ekstensiyonda os pisiforme os triquetrum üzerinde distale doğru kayar, bu da dorsal kırıkların kemiğin distalinde daha sık görülmesine sebep olur (56, 73, 74). Yine bu pozisyon için tanımlanan bir diğer mekanizma ise os hamatum'un proksimal kenarının os triquetrum'un distal kısmına keski etkisi yapmasıdır (56). Bilek hiperfleksiyon ve radial deviasyondayken ise ligamentum radiocarpeum dorsale (dorsal radiotriquetral bağ) ve ligamentum scaphotriquetrum dorsale'nin yapışma yerinde dorsal avülsiyon kırığı meydana gelir (56, 75). Dorsal kırıklar çoğunlukla gövde kırıklarına eşlik etmeksizin görülür. Kemiğin dorsal tarafındaki parçalı kırıklarda bu parçalar bir veya daha fazla sayıda olup boyutları çok küçük veya kemiğin üçte biri kadar büyüklükte olabilmektedir. Bu parçalar uzun sürede kaynamazsa cerrahi eksizyonu gerektirir (76).

Palmar avülsiyon kırıkları hiperekstensiyon sonucu palmar ligament hasarlarında, özellikle ligamentum ulnotriquetrum ve ligamentum lunotriquetrum palmare hasarlarında, görülür. İlk başvuruda tanı koymak zordur. Fragman os hamatum ve os triquetrum arkasına saklanabildiği için bilek radial deviasyondayken daha net görülürler (77).

Gövde kırıkları daha çok kompresyon veya sıkışma kırıkları olarak görülse de kemiğe tutunan bağların oluşturduğu gerilmeye bağlı da görülebilmektedir. Transvers gövde kırıkları daha sık görülür. Kırıklara ligamentum lunotriquetrum hasarı da eşlik edebilir. Radyografide anormallik saptanamayabilir (56, 78).

Hastalar kliniğe bilekte güçsüzlük, özellikle dorsal tarafta şişlik ile gelir. Bilek hareketleri kısıtlanmıştır. Fizik muayenede, fleksiyon ve ulnar deviasyonda artan ağrı ve hipotenar bölgede hassasiyet görülür (56, 79). Tanısında ön-arka grafler yetersiz kalabilir, buna ek olarak yan grafi de çekilmelidir (12). Yan grafide os scaphoideum ve os lunatum ile birlikte tipik olarak görülen bir bulgu olan “pooping duck” işareti görülür (79).

Os triquetrum kırık tedavisi kırığın tipine göre değişebilmektedir. Vakaların %15’i cerrahi operasyon gerektirir (5). Dorsal bölge kırıkları genellikle konservatif olarak tedavi edilir. Bu tip kırıkların konservatif tedaviye cevabı iyidir (56). Ayrılmamış gövde kırıkları da konservatif olarak tedavi edilir; kemiğin belirgin yer değiştirdiği durumlarda açık redüksiyon ve kompresyon vidası veya Kirschner telleri ile iç fiksasyon gerektirir. Kaynamama nadirdir ancak olursa da açık redüksiyon ve internal fiksasyon (ORIF) ile tedavi edilir. Palmar avülsiyon kırıkları, palmar ligamentum ulnotriquetrum veya ligamentum lunotriquetrum avülsiyonları olarak kabul edilir ve genellikle iyice ele alınması gereken daha ciddi bir karpal instabilite hasarına işaret eder (80). Tedavisindeki esas amaç ligament hasarlarını tamir etmektir (77). Daha sık dorsal kırıklarla olmakla birlikte, dorsal ve gövde kırıklarının birlikte görüldüğü olgulara da eşlik eden processus styloideus radii ve ulnae kırıkları ve os scaphoideum kırıkları da görülebilmektedir (56, 76). Os triquetrum’un izole veya koronal kırıklarının da içinde olduğu multiple kırık olgularında konservatif tedaviye cevap alınamayıp vidalama uygulaması yapıldığı bildirilmiştir (14-16, 81-83).

4.7. Kemikte Kullanılan Görüntüleme Yöntemleri

Trabeküler kemiğin yapısını ve mekanik özelliklerini ortaya koymak için çeşitli yöntemler denenmiştir. Germe ve basınç testleri bilinen en eski yöntemlerdir. Kemiğin

deformasyonları daha çok basınç kaynaklı olduğu ve uygulama zorluğu nedeniyle germe testlerinin yerini basınç testleri almıştır. Fakat basınç testleri de yaklaşık %40'luk hata payı vermektedir. Bunun sebebi, kemiğin anizotropik yapısı yani mekanik özelliklerinin kuvvetin yönüne göre değişmesi olarak yorumlanmıştır (84, 85). Alman anatomist Wolff tarafından tanımlanan Wolff kanununda da kemiğin çevresinde olan her değişikliğin içyapısını etkileyeceği vurgulanmıştır (86). Buna göre süngerimsi kemikteki trabeküller, sıkıştırma ve çekme kuvvetlerinin yarattığı stres yörüngesine göre sıralanır ve kuvvetin etkisiyle kütlelerini artırıp azaltırlar. Bu sebepler kemiğe uygulanan basınç testlerinin, kemiğin trabeküler yapısı hakkında ideal bir sonuç vermeyeceğini göstermektedir. Sonrasında süngerimsi kemiğin mikro-mekaniğini tanımlamak için endüstriyel köpükler kullanılarak idealize modellemeler yapılmıştır. Fakat trabekül yapılarındaki geniş varyasyonlar sebebiyle istenilen sonuç elde edilememiştir (84).

Süngerimsi kemiğin trabekül yapısının ayrıntılı incelenmesi için üç boyutlu görüntüleme yöntemleri esastır. Bu yöntemler sayesinde trabekül hacmi, inceliği, eğimi vb. gibi morfolojik özellikleri tanımlanabilir (84). Bu amaçla kullanılan bilgisayarlı tomografide esas prensip, X-ışınının materyal tarafından farklı derecelerde absorpsiyonuna dayanır. Farklı dokuların farklı x ışını geçirgenliklerine göre seri fotoğraflama yapılarak materyalin iki boyutlu görüntüleri alınır. Düzenek bir X ışını kaynağı, bir veya daha fazla sayıda dedektör ve ışın yönlendiriciden oluşmaktadır (87). İlk geliştirilen bilgisayarlı tomografi makinelerinde bir dedektör ve bir x ışını kaynağı kullanılmakta ve her defasında bir eksenel görüntü elde edilebilmekteydi. Daha sonra geliştirilen bilgisayarlı tomografi makinelerinde dedektör sayısı, x ışınının genişliği ve hareketi değişmiş, bunlarla beraber işlem süresi kısalmıştır (88).

Geleneksel bilgisayarlı tomografide doğrusal bir dedektör dizisi X ışınlarındaki zayıflıkları kaydeder ve iki boyutlu görüntü elde edilir. Bu mantıkla 2 boyutlu dedektör dizileri kullanılarak 3 boyutlu görüntü de hesaplanabilmektedir. Bu yöntem baz alınarak mikro-bilgisayarlı tomografi geliştirilmiştir. Mikro- bilgisayarlı tomografi görüntülemeye konik ışın tasarımında bir X ışını kaynağı kullanır (89). Mikro- bilgisayarlı tomografi sistemlerini kurulumlarına göre in vivo ve ex vivo bazlı olarak ayırabiliriz. In vivo mikro bilgisayarlı tomografi cihazlarında numune sabitken X ışını kaynağı ve dedektör rotasyon yapmaktadır. Ex vivo cihazlar ise dönen bir numune istasyonu etrafındaki ayarlanabilir X ışını kaynağı ve dedektörden oluşur. Bu sistemde numune ile X ışını arasındaki mesafe kısaltılarak daha büyütülmüş bir görüntü elde edilebilir. Kullanılan dedektörler geleneksel bilgisayarlı tomografi cihazlarına göre daha yüksek çözünürlüğe sahiptir ve tarama süresi uzundur (90).

Mikro- bilgisayarlı tomografi ile dokuların içyapıları, uzaysal dağılımları, uzunluk, genişlik, yükseklik, hacim, dansite gibi morфометrik özellikleri değerlendirilebilir. Konvansiyonel bilgisayarlı tomografi cihazlarıyla alınan görüntülerin rezolüsyonları 100 µm iken mikro bilgisayarlı tomografi cihazlarıyla 1 µm'ye kadar 10 µm'ye kadar küçük kesitler alınabilir (91).

İki boyutlu görüntüler rekonstrüksiyon sonrası BMP, TIFF veya DICOM formatında saklanır. Bu görüntülerden bilgisayar destekli tasarımlar yapabilmek için öncelikle görüntülerin özel programlarla (MIMICS, Materialise, Belgium; Osirix, Switzerland vb.) 3 boyutlu modellemesi yapılır. Bu programlarla görüntülere segmentasyon ve işlemler yapılarak, yumuşak ve sert dokular ayrıştırılabilir (92).

4.8. Damar Görüntülemeye Kullanılan Maddeler

İlk olarak 18. yüzyılda kullanılan damar doldurma malzemeleri, röntgen icat edilinceye kadar diseksiyonlar sırasında damarların ve organların manuel olarak daha kolay tanımlanmasını sağlamaktaydı. Röntgenin icadının ardından ilk olarak izole insan kalbinde koroner damarlara uygulanan radyoopak maddeler geliştirilmiştir. Bu maddeler daha sonra postmortem anjiyografi adı altında vücuda ve organlara uygulanmaya başlamıştır. Bilgisayarlı tomografi ve manyetik rezonans görüntülemenin geliştirilmesiyle bu görüntüleme yöntemleri de anjiyografilerde sıkça kullanılmaya başlanmıştır (93). Daha sonra geliştirilen mikro-bilgisayarlı tomografi yöntemi de damar görüntülenmesinde kullanılmaktadır (94).

Kontrast maddenin etkinliği sıvını cinsine ve fiziksel özelliklerine bağlıdır. Klinikte uygulanan kontrast maddeler, postmortem dönemde damar geçirgenliği arttığı için aynı etkinliği göstermeyebilir. Özellikle suda çözünen maddeler vasküler lümeninden çevre dokulara hızla dağılmaktadır. Bu maddeler tahnit işlemleri için uygun olsa da damar görüntülemeye istenen damar içi lokalizasyonu ve dokularda minimal ödem özelliklerini göstermemektedir (95).

Mikro- bilgisayarlı tomografi işleminde sıkça kullanılan maddeler Baryum Sülfat ve Microfil'dir. Microfil yapısı gereği, Baryum Sülfat ise karışımdaki jelatin sayesinde damar içinde katılaşır. Baryum Sülfat'ın viskozitesi Microfil'e göre yüksektir. Baryum Sülfat bu özelliğinden dolayı bazen damarları doldurmada yetersiz kalabilir (91, 96).

4.8.1. Microfil Maddesinin Özellikleri

Microfil kurşun bazlı silikonlu bir damar doldurma maddesidir. Özellikle hayvanlarda, organların damarlanmasını inceleyen çalışmalarda sıkça kullanılmıştır (94, 97, 98). Ayrıca uzun yıllardır insan kemiklerinin damarlanmasını gösteren çalışmalarda kullanılmaktadır (26-28, 99). Mikro-bilgisayarlı tomografinin gelişmesiyle birlikte bu yöntemle yapılan damar tanımlama çalışmalarında en sık kullanılan maddelerden biri olmuştur (91).

Microfil maddesinin birden fazla çeşidi olmakla birlikte, tezimde kullandığımız Microfil MV-117'dir. Maddenin özellikleri Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Microfil MV-117 özellikleri

	Renk	Özgül Ağırlık	Viskosite (santipua)	Jelleşme zamanı (dakika)	Raf ömrü (ay)
Microfil MV-117	Turuncu	1,02	25	90	4

santipua, viskositenin ölçüm birimidir.

Bir Microfil MV-117 kitinde 1'er kutu MV-117 maddesi, dilüenti ve kürleyici ajan bulunmaktadır. Kürleyici ajan katıldıktan sonra çalışma süresi 90 dakikadır, sonrasında madde katılaşmaya başlamaktadır (Şekil 4.2.).



Şekil 4.2. Microfil MV-117 kitindeki ürünler

5. GEREÇ ve YÖNTEM

Çalışmamızda Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünün 21B0230017 sayılı projesi kapsamında temin edilen 4 adet ve Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Anatomi Anabilim Dalı'nda bulunan 3 adet olmak üzere toplamda 7 adet (4 sağ, 3 sol) taze ön kol kadavrası kullanıldı. Kadavraların 4 tanesi kadın, 3 tanesi erkekti ve yaş ortalamaları 67 idi. Kadavraların geçmiş tıbbi kayıtlarında ön kol, bilek ve el bölgesinde herhangi bir travma, cerrahi veya vasküler hastalık hikayesi bulunmamaktaydı. Kadavraların makroskopik incelemelerinde de herhangi bir patolojiye rastlanmadı.

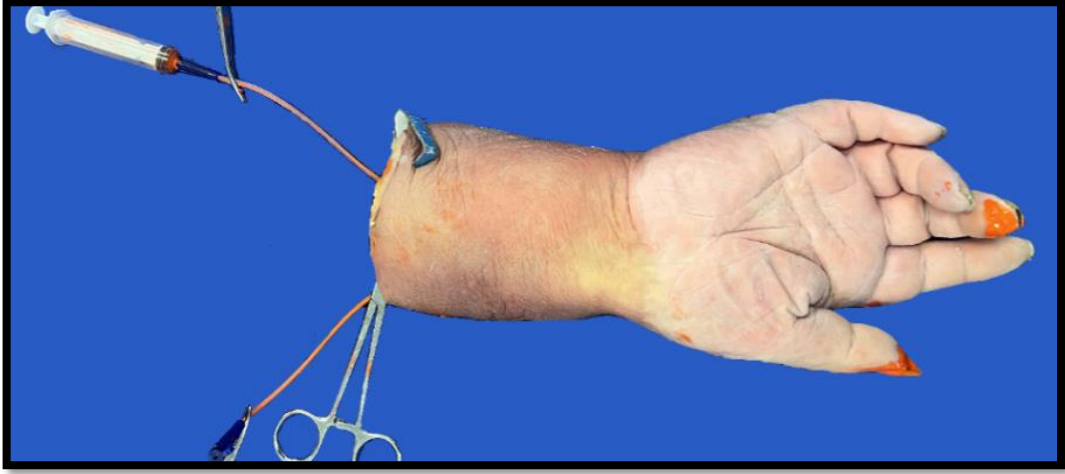
5.1. Kadavra Hazırlığı

Taze donmuş ön kol kadavraları 24 saatte çözdürüldükten sonra arteria radialis ve arteria ulnaris izole edildi. Bu damarlar 8 Fr'lik mavi nazogastrik kateter ile kanüle edildi. Parmak uçlarına kesiler atıldıktan sonra, önce arteria ulnaris'e 100 cm³'lük Heparin-SF karışımı verildi, sonrasında Microfil MV-117 (Flow Tech, Carver, MA) maddesi dilüe edilmeden, hacminin %5'i kadar kürleyici ajan ile karıştırıldıktan hemen sonra arteria ulnaris'den uygulandı. Parmak uçlarından ve arteria radialis'den madde geldiği görüldükten sonra bu bölgeler klempenerek madde bir miktar daha verildi. Deri altında perforatörlerin dolmasına bağlı turuncu renk ayırt edildikten sonra uygulama sonlandırıldı (Şekil 5.1., 5.2.).



Şekil 5.1. Microfil MV-117 maddesinin uygulanması öncesi hazırlık

Karışım 5 ml'lik enjektörlerle arteria radialis ve arteria ulnaris'e uygulandı.



Şekil 5.2. Microfil MV-117 maddesinin uygulanması

Parmak uçlarından madde geldiği görüldükten sonra parmağa tampon yapılarak bir miktar daha madde verildi.

Böylece bir ön kola ortalama 10 ila 15 ml arası Microfil MV-117 enjekte edilmiş oldu. Doldurulmuş ön kol +4°C’de 3 saat bekletildikten sonra C kollu skopide (Cios Select, Siemens Medical Solutions USA, Inc.) damarların kontrast verdiği görüldü ve mikro-bilgisayarlı tomografi ile incelenene kadar +4°C’de saklandı (Şekil 5.3.). İlk kadavrada 2 gün tanımlayıcı diseksiyon yapıldı. Diğer kadavralarda diseksiyon aşaması atlandı ve doldurulduktan 24 saat sonra os triquetrum diseksiyonla çıkarılarak mikro-bilgisayarlı tomografide incelendi (Şekil 5.4.).



Şekil 5.3. C kollu skopi görüntüsü



Şekil 5.4. Os triquetrum'un lokal olarak etraf yumuşak dokuyla birlikte çıkarılması

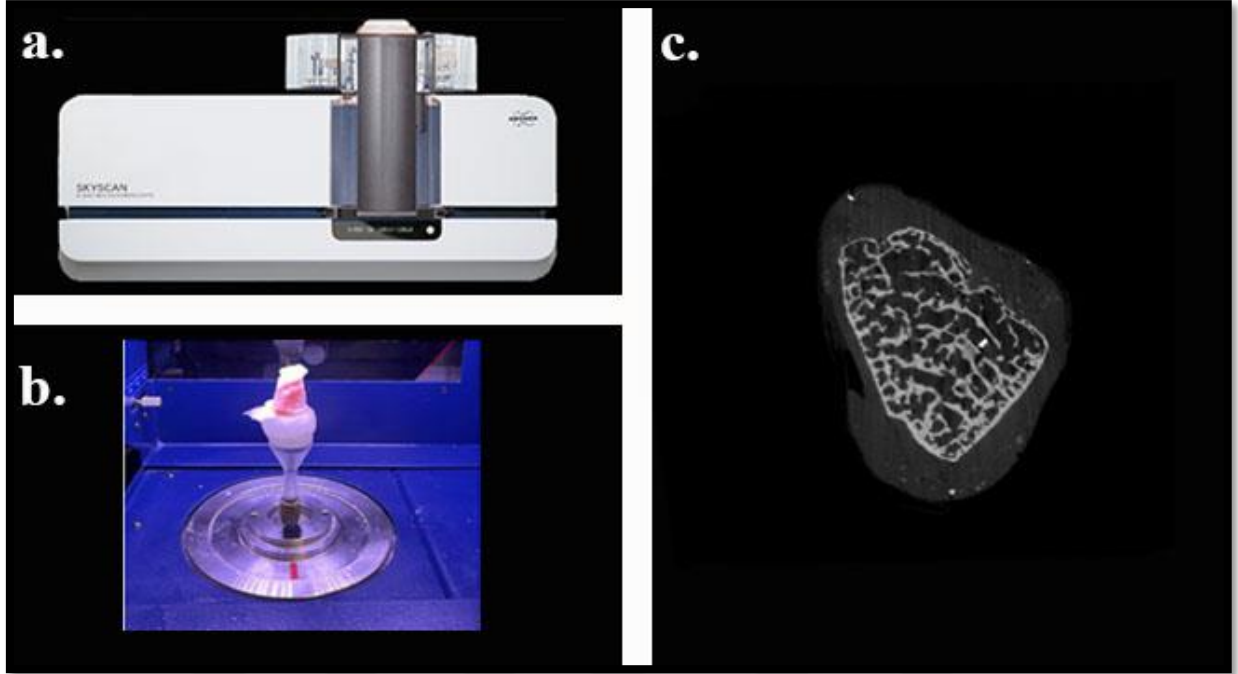
5.2. Kadavra Diseksiyonu

Öncelikle ön kolun palmar yüzüne orta hattan bir kesi yapıldı. Deri ve yumuşak doku kaldırıldıktan sonra fascia antebrachii görüldü. Fascia antebrachii kaldırıldıktan sonra ön kolun fleksör kasları açığa çıkarıldı. Musculus brachioradialis'in medialinde arteria radialis ve musculus flexor carpi ulnaris'in lateralinde arteria ulnaris gözlemlendi. Bileğe distal bilek çizgisinden bir insizyon yapıldıktan sonra bilekten orta parmağın distaline bir insizyon daha yapıldı ve elin deri ve yumuşak dokusu bu kesi yerlerinden kaldırıldı. Ön kolda musculus palmaris longus ve tendonu ayırt edildikten sonra tendon takip edilerek aponeurosis palmaris açığa çıkarıldı. Aponevrozun üzerindeki yumuşak doku kalıntıları temizlendi. Derindeki damar ve sinir yapıları gözlemlendi ve kaydedildi. Os triquetrum'a doğru giden arter dalları, kemiğin mikro-bilgisayarlı tomografideki değerlendirmesini etkilememek ve bu sebeple kemiği etraf yumuşak dokuyla diseke etmek için kemik dokuya kadar takip edilmedi. Os triquetrum; os pisiforme, os lunatum ve os hamatum ile eklem yerlerindeki ve diğer yüzlerine tutunan bağlar diseke edilerek çıkarıldı. İnce damarların diseksiyonları sırasında diseksiyon mikroskobu (Carl Zeiss, Opmi 99, Germany) kullanıldı.

5.3. Radyolojik İnceleme

Os triquetrum'lar mikro-bilgisayarlı tomografi cihazında (BRUKER SkyScan1275 1.7, Alüminyum 1 mm filtre ile 14,00013 µm piksel kalınlığında) incelendi. Veriler TIFF formatında elde edildikten sonra NRecon (ver. 1.7.4.6. SkyScan, Antwerp, Belgium) programı ile yapılandırıldı. Segmentasyon ile kontrast madde içeren damarlar, trabekül yapısından ayırt edildi. Elde edilen görüntülerin Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi

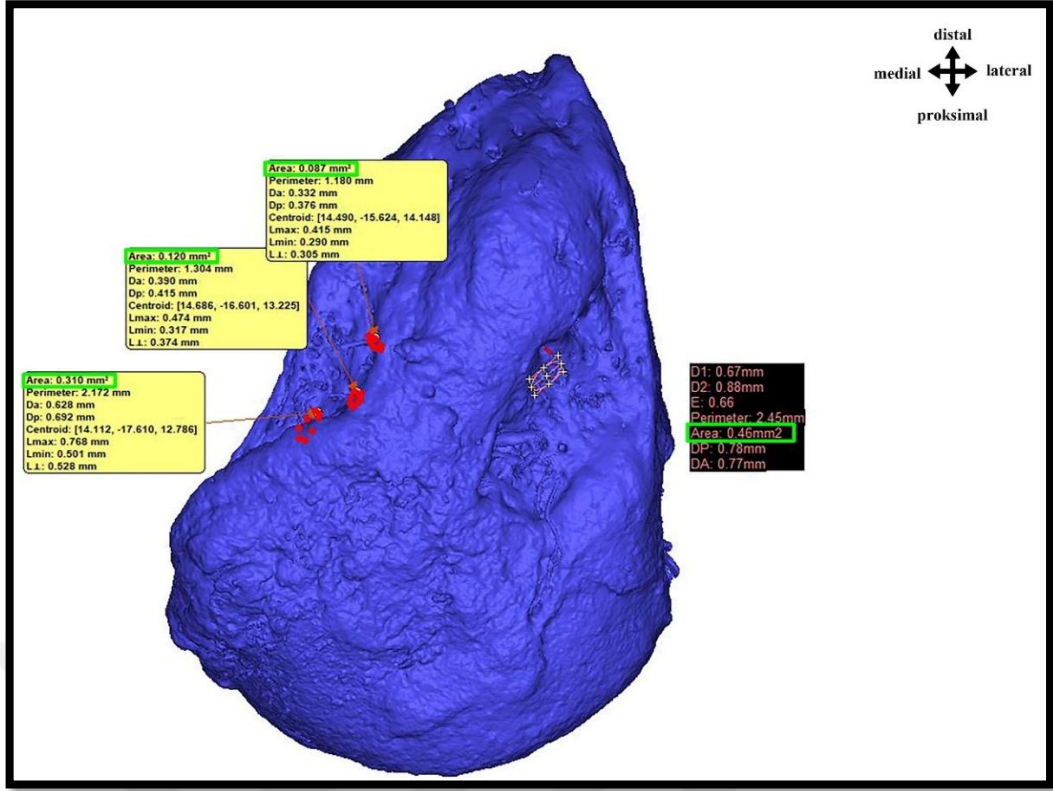
Yapay Zeka Laboratuvarı'nda Materialize Mimics Innovation Suite™ (Versiyon 25.0, Leuven/Belçika) programı kullanılarak 3 boyutlu modellemesi yapıldı (Şekil 5.5.). Kemik ve damar yapılar farklı eşik değerlerdeki kalıplarla birbirinden ayırt edildi. Eşik değerlerin ayırt edemediği küçük parçalar damar bütünlüğü göz önünde bulundurularak elle segmente edildi.



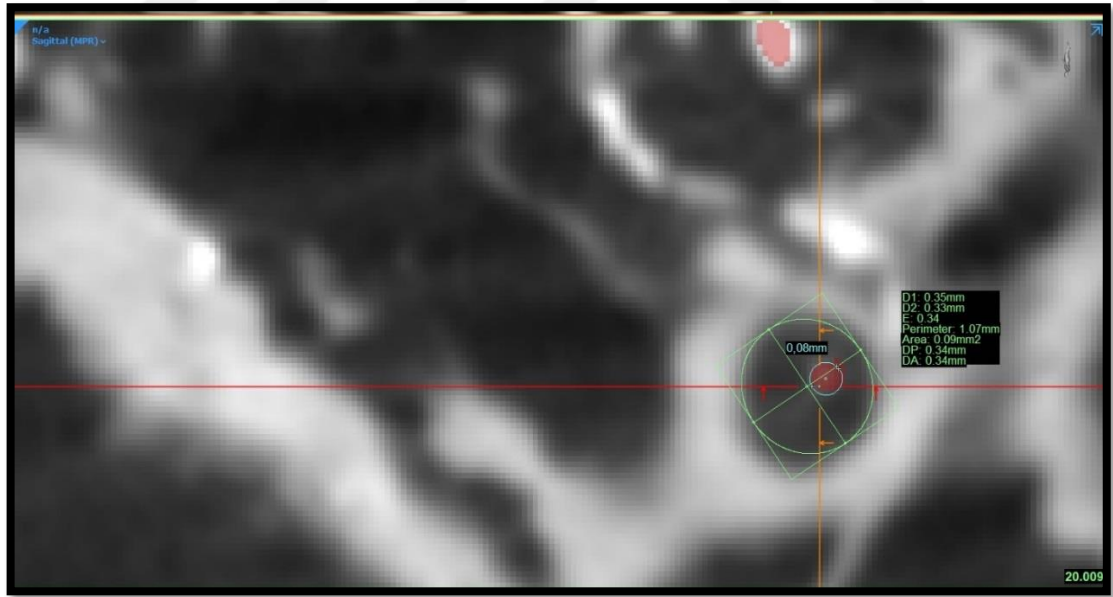
Şekil 5.5. Os triquetrum'un mikro-bilgisayarlı tomografi ile incelenme aşamaları

Bruker SkyScan mikro-bilgisayarlı tomografi cihazı (a), os triquetrum'un cihaza yerleştirilme şekli (b) ve NRecon programında kemiğin ve içinde kontrast veren damarların 2 boyutlu görüntüsü (c).

Oluşturulan modellerde damarlar takip edilerek girdikleri foramenler belirlendi. Kemiğe giren damarların giriş yerindeki kesitsel çapları ve damarların girdiği foramenlerin kesitsel çapları ölçüldü (Şekil 5.6., 5.7.). Kemiğe dorsal ve palmar yüzlerden giren damar sayıları, kemiğin dorsal ve palmarındaki foramen sayıları belirlendi. Kemiğin dorsal tarafı bütün olarak değerlendirilirken, palmar taraftaki eklem yüzleri sebebiyle bu taraf “os pisiforme ile eklem yüzünün proksimalı” ve “os pisiforme-os hamatum ile eklem yüzleri arası” olarak iki bölgede incelendi. Damarların kemik içinde dağılım paterni, dorsal ve palmar damarlar arasındaki anastomoz varlığı, ligamentum lunotriquetrum'un kemiğe tutunma yerindeki damar varlığı kaydedildi.

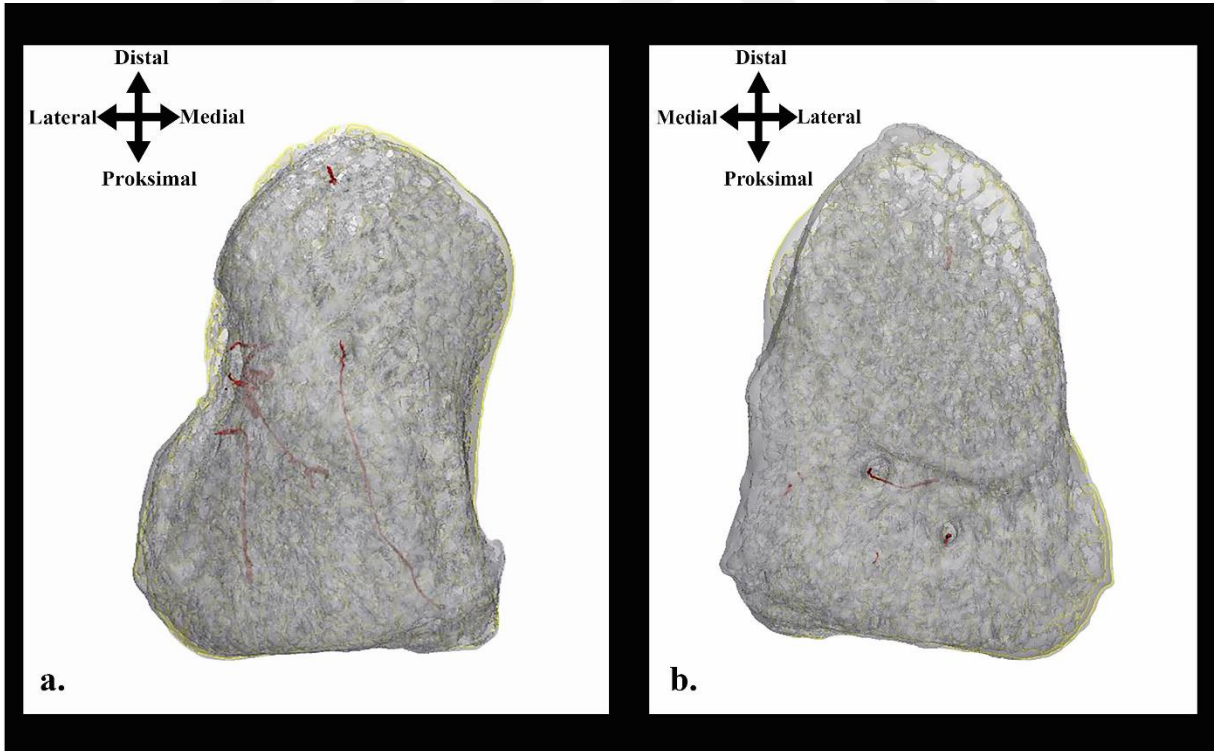


Şekil 5.6. Os triquetrum üzerindeki damar giriş foramenlerinin kesitsel ölçümlerinin 3 boyutlu model üzerindeki görünümü



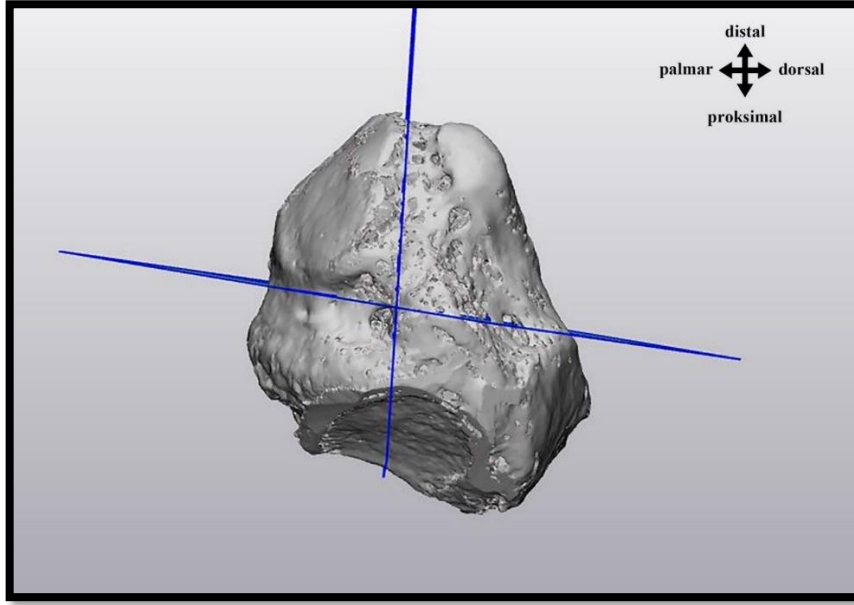
Şekil 5.7. Damar ve foramen çaplarının kesitsel olarak ölçümü

Modelleme tamamlandıktan sonra kemik ve damar modelleri aynı lokasyonda olacak şekilde standardize edilerek Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Medikal Tasarım ve Üretim Uygulama ve Araştırma Merkezi'ndeki 3 boyutlu modelleme programı olan Materialise 3-Matic Medical 16.0.1.18'e (Materialise, Leuven, Belgium) STL dosyası formatında aktarıldı. Bu program ile os triquetrum'lar önce dorsal ve palmar, sonrasında da her parça ikiye bölünerek distal ve proksimal olarak parçalara ayrıldı. Kemiğin os pisiforme ile eklem yüzü ve dorsal yüzü arasında bir nokta belirlendi. Bu nokta ile os hamatum ve os lunatum'un arasındaki kenar olan interartiküler çıkıntının tam orta noktası arasından çizilen düzlemlerle kemik dorsal ve palmara ayrıldı. Sonrasında dorsal ve palmardaki kemik parçaları, kesilen kenarının tam orta noktasından dik olacak şekilde ikiye bölündü. Os triquetrum'un el bileğindeki doğal lokasyonu dikkate alındığında kemiği piramit olarak düşünüp yüksekliğin orta noktasından böldüğümüzde piramidin tepesine yakın kısmı distal, tabanına yakın kısmı proksimal olarak değerlendirildi (Şekil 5.8., 5.9.). Toplam ve tanımlanan bu 4 kadrantdaki kemik ve damar hacimleri ölçüldü. Kemik modellenirken oluşturulan kalıp damar eşik değerlerini de kapsadığından gerçek kemik hacimlerini bulmak için kemik hacminden damar hacmi çıkarıldı. Bu işlem özel bölgelerdeki kemik ölçümü için de uygulandı.



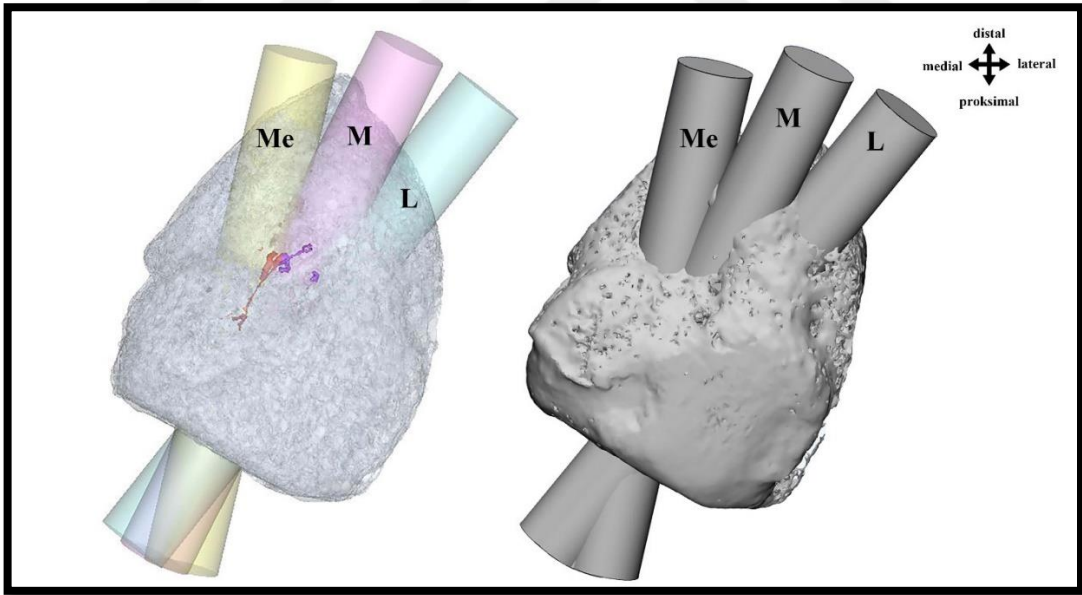
Şekil 5.8. Os triquetrum'un palmar ve dorsal bölgelerindeki damarlar

Dorsal (a) ve palmar (b) bölgelerdeki damarlar Materialise 3-matic programında kemik modeli şeffaflaştırılarak gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Os triquetrum'un 4 kadrana bölündüğü eksenler

Çalışmamızda ayrıca, kemiğin dorsal yüzünde dorsal çıkıntısının lateralinde, üzerinde ve medialinde lateral, median ve medial olmak üzere 3 nokta belirlenip bu noktalar os lunatum ile eklem yaptığı yüzün orta noktasıyla birleştirildi. Bu eksenlerde 3 adet 3'er mm'lik tünel şeklinde kesitler alınıp bu kesitler içindeki damar hacmi hesaplandı (Şekil 5.10.).



Şekil 5.10. Os triquetrum'a uygulanan sanal kemik tüneli eksenleri

Kırmızı damarlar medial, mor damarlar median eksendeki damarları göstermektedir. Me, medial; M, median; L, lateral.

Çalışmanın görsellerinde Adobe Photoshop (Adobe Systems, San Jose, Calif) programından da faydalanıldı. Materalise 3-Matic programında tüm kadavralardan elde edilen görüntüler Adobe Photoshop programında ayna görüntüleri ve yeniden boyutlandırma ile

düzenlendikten sonra damarlar izole edilip bir sağ os triquetrum üzerine yansıtıldı. Aynı zamanda tünel şeklindeki kesitler ve içindeki damarlar da aynı işlemlere tabi tutulup tüm kesitlerdeki damarlar aynı görselde gösterildi.

5.4. İstatistiksel Analiz

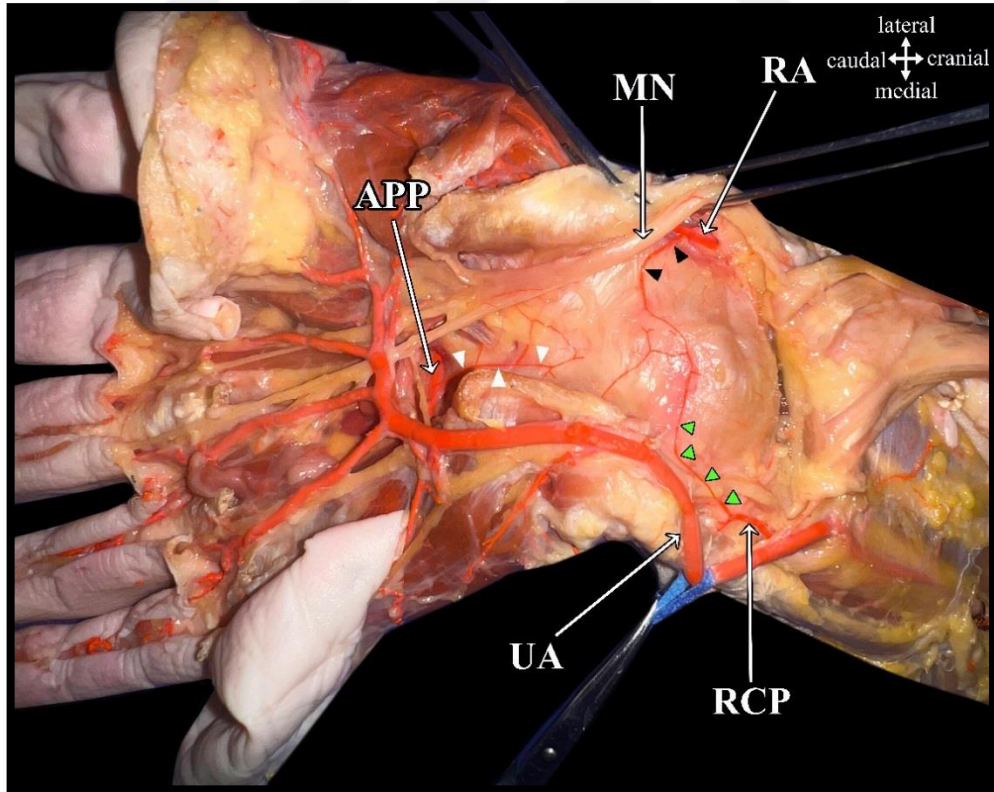
G*Power (Versiyon 3.1.9.2, Faul ve ark., 2007) programı kullanılarak 4,5 büyüklüğündeki 0,05 anlamlılık düzeyinde 0,80 istatistiksel güç elde etmek için çalışmaya en az 4 adet örnek dahil edilmesi gerektiği saptanmıştır. Bizim çalışmamızda 7 örnek kullanılarak çalışmanın istatistiksel gücü anlamlı aralıkta tutulmuştur.

Analizlerin istatistiksel değerlendirilmesi IBM SPSS™ (Versiyon 20, New York, ABD) ve Microsoft Excel (Microsoft Corp., Redmond, WA, ABD) programları kullanılarak yapıldı. Kemik sayısı 30'dan az olduğu için ölçümlerde parametrik olmayan testler kullanıldı. Dorsal ve palmar bölgedeki damar sayıları, damar çapları, kemik ve damar volümleri karşılaştırılırken Wilcoxon ilişkili iki örneklem testi kullanıldı. 4 bölgedeki damar ve kemik volümleri ile vidalama eksenlerinin kendi arasındaki ilişkileri karşılaştırılırken Friedman testi kullanıldı. Sonuçlar için $p < 0,05$ değeri istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

6. BULGULAR

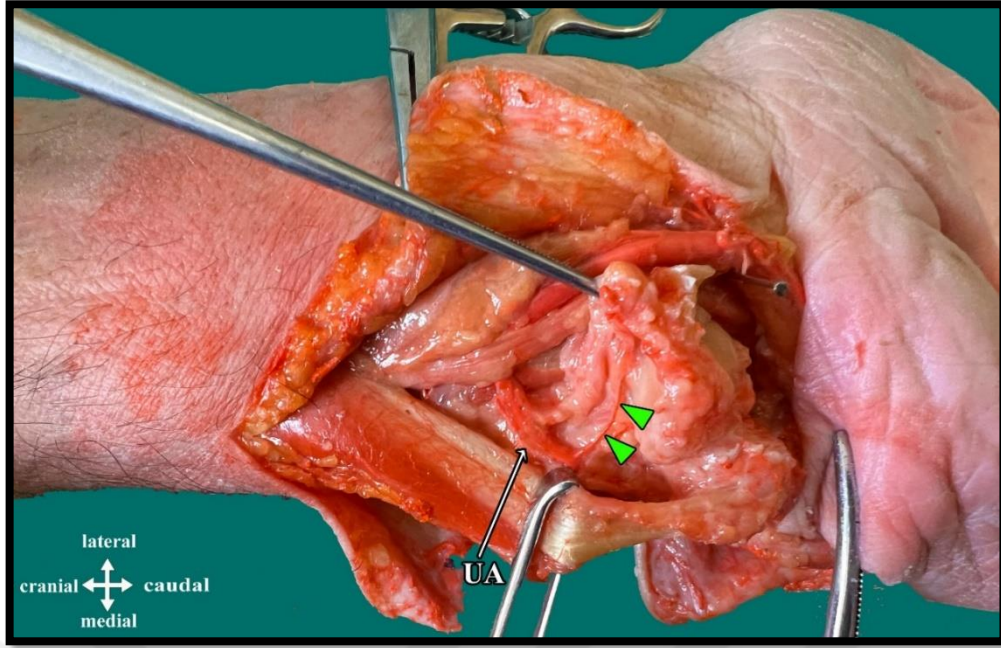
6.1. Diseksiyon Bulguları

Gereç ve yöntemlerde de belirtilen diseksiyon aşamaları izlendikten sonra aponeurosis palmaris'in altında arcus palmaris superficialis ortaya çıkarıldı. Arkın arteriae digitales palmares communes ve arteriae digitales palmares propriae dalları bulundu. Bu dallara eşlik eden nervus medianus ve nervus ulnaris dalları görüldü. Küçük parmak hariç diğer parmaklara nervus medianus'un dalları gitmekteydi. Arteria radialis ve arteria ulnaris'den dal alan palmar interkarpal ark görüldü (Şekil 6.1.). Arteria ulnaris'den os pisiforme ve os triquetrum'a doğru giden dallar saptandı (Şekil 6.2.). Dorsal yüze bakıldığında, deri ve yumuşak dokudan sonra ekstensör kas tendonları açığa çıkarıldı. Musculus extensor carpi radialis longus ve brevis arasında arteria radialis ve ona ait ramus carpalis dorsalis görüldü. Ramus carpalis dorsalis daha sonra rete carpalis dorsale'ye katıldı ve buradan dallanan arteria metacarpalis dorsalis'ler gözlemlendi (Şekil 6.3.).

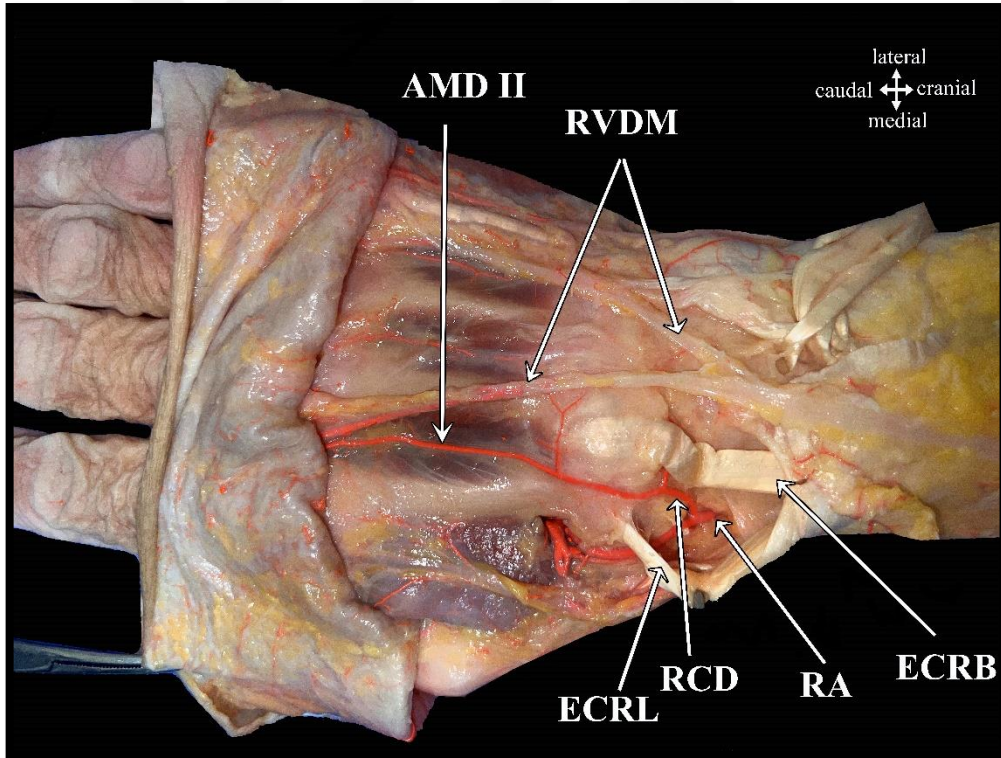


Şekil 6.1. Palmar interkarpal ark

Bu şekilde palmar interkarpal arkın oluşumuna katılan ana damarlar ve dalları görülmektedir. Beyaz ok uçları arcus palmaris profundus'un palmar interkarpal arka verdiği dalı, siyah ok uçları arteria radialis'in ramus carpalis palmaris dalını, yeşil ok uçları arteria radialis'in ramus carpalis palmaris'inin palmar interkarpal arka verdiği dalı göstermektedir. APP, arcus palmaris profundus; MN, nervus medianus; RA, arteria radialis; UA, arteria ulnaris; RCP, ramus carpalis palmaris.



Şekil 6.2. Arteria ulnaris'den os triquetrum'a doğru uzanan dallar
Dallar yeşil oklarla işaretlenmiştir. UA, arteria ulnaris.

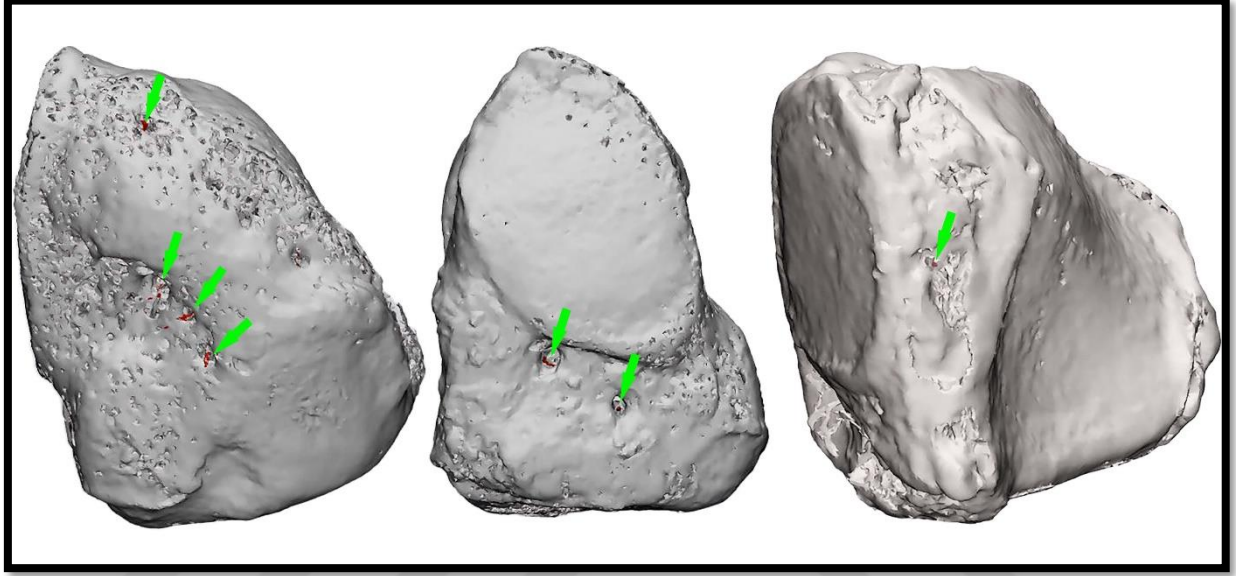


Şekil 6.3. Arteria radialis, ramus carpalis dorsalis

ERCL, musculus extensor carpi radialis longus; ECRB, musculus extensor carpi radialis brevis; RA, arteria radialis; RCD, ramus carpalis dorsalis; AMD II, arteria metacarpalis dorsalis II; RVDM, rete venosum dorsale manus.

6.2. Radyolojik Bulgular

Bazı foramenlerde birden fazla damarın kemiğe giriş yaptığı gözlemlendi. Bir kemiğe ortalama $2,97 \pm 1,28$ (3-12) foramenden $7,14 \pm 4,18$ (3-14) adet damar girmekte, bunların da %72'si dorsal yüzden girmektedir ($p < 0,05$) (Tablo 6.1., 6.2.). Palmar yüzden giren damarların %86'sı kemiğe os pisiforme ile eklem yüzünün proksimalinden giriş yapmaktaydı (Şekil 6.4.) (Tablo 6.1.). Dorsalden giren damarlar palmar-proksimal seyir göstermekteydi.



Şekil 6.4. Os triquetrum'a sırasıyla dorsal yüz, os pisiforme ile eklem yüzünün proksimali ve os pisiforme-os hamatum ile eklem yüzleri arasından giren damarların giriş yerleri

Giriş yerleri yeşil oklarla, damarlar kırmızı noktalar ile gösterilmiştir.

Tablo 6.1. Os triquetrum'u besleyen damarların toplam sayısı ve bölgelere göre dağılımı

Kemik No	Dorsalden giren damar sayısı	Palmardan giren damar sayısı	
		Os pisiforme-os hamatum ile eklem yüzleri arası	Os pisiforme ile eklem yüzünün proksimali
1	4		1
2	3		1
3	10	1	3
4	10	1	1
5	4		2
6	4		2
7	1		2
Ortalama	5,14	2	
SD	3,48	1	

Bir kemikteki toplam, dorsal ve palmar foramen sayıları sırasıyla ortalama $6,43 \pm 3,3$, $4,7 \pm 2,9$ ve $1,7 \pm 0,76$ idi (Tablo 6.2.). Dorsaldeki foramenler palmardakilerden anlamlı olarak fazlaydı ($p < 0,05$).

Tablo 6.2. Os triquetrum'daki foramen sayıları ve bölgelere göre dağılımı

Kemik No	Dorsal foramen sayısı	Palmar foramen sayısı
1	4	1
2	3	1
3	7	3
4	10	2
5	4	1
6	4	2
7	1	2
Ortalama	4,7	1,7
SD	2,9	0,76

Tüm damarlar değerlendirildiğinde en küçük ve en büyük damar çapları sırasıyla 0,04 mm ve 0,17 mm idi (Tablo 6.3., 6.4.). Dorsalden giren damar çapları palmardakilere göre anlamlı olarak genişti ($p<0,05$) (Tablo 6.4.). Bir damar için ortalama çap $0,088\pm0,35$ mm iken bir kemiğe giren damarların toplam çapı ortalama $0,63\pm0,32$ mm idi (Tablo 6.5).

Tablo 6.3. Tüm kemiklerdeki damar çapları

	Kemik No						
Damarların foramenlere girdiği yerdeki çapları (mm)	1	2	3	4	5	6	7
Damar1	0,16	0,10*	0,06	0,06	0,10	0,09	0,07*
Damar2	0,14	0,06	0,14	0,14	0,17	0,10	0,07*
Damar3	0,12	0,09	0,08	0,04	0,12	0,08	0,08
Damar4	0,08	0,16	0,09*	0,07	0,06	0,04	
Damar5	0,09*		0,12*	0,05	0,12*	0,07*	
Damar6			0,06*	0,06	0,08*	0,09*	
Damar7			0,08*	0,05			
Damar8			0,05	0,14			
Damar9			0,05	0,08			
Damar10			0,05	0,07			
Damar11			0,07	0,09*			
Damar12			0,06	0,08*			
Damar13			0,17				
Damar14			0,07				
Toplam	0,59	0,41	1,15	0,93	0,65	0,47	0,22

Yıldızlı veriler palmar damarlara aittir.

Tablo 6.4. Bölgelere göre toplam ve ortalama damar çapları (mm)

	Kemik No							
Parametreler	1	2	3	4	5	6	7	Ortalama
Dorsal Damar Çapı	0,50	0,31	0,80	0,76	0,45	0,31	0,08	$0,089\pm0,04$
Palmar Damar Çapı	0,09	0,10	0,35	0,17	0,20	0,16	0,14	$0,086\pm0,18$
Toplam Damar Çapı	0,59	0,41	1,15	0,93	0,65	0,47	0,22	$0,088\pm0,03$

Tablo 6.5. Dorsal ve palmar damarların ortalama çaplarının karşılaştırılması

	Tüm kemik	Dorsal bölge	Palmar bölge
Bir kemiğe giren ortalama toplam damar apı±SD (mm)	0,63±0,32	0,46±0,26	0,17±0,87
Ortalama damar apı±SD (mm)	0,088±0,35	0,089±0,4	0,086±0,18

Tüm bölgelerdeki foramenlerin ortalama alanı kesitsel olarak 2,97 mm² iken dorsal ve palmar yüzdeki foramenlerin sırasıyla 1,95 mm² ve 1,02 mm² idi (Tablo 6.6.). Palmar bölgede damarlar iki alandan girmektedir. Dorsaldeki foramenler damar çaplarının daha büyük olması ile uyumlu olarak palmardakilere göre anlamlı olarak daha geniş kesit alanına sahipti (p<0,05).

Tablo 6.6. Farklı lokasyonlardaki damarların toplam foramen kesit alanları (mm²)

Kemik no	Dorsal foramen toplam kesit alanı	Palmar foramen toplam kesit alanı		
		Os pisiforme ve os hamatum ile eklem yüzleri arası	Os pisiforme ile eklem yüzünün proksimali	Palmar foramen toplam kesit alanı
1	2,48		0,23	0,23
2	1,93		1,49	1,49
3	1,99	0,07	1,55	1,62
4	3,70	0,09	0,73	0,82
5	2,16		1,62	1,62
6	1,14		0,94	0,94
7	0,23		0,42	0,42
Ortalama	1,95±1,1			1,02±0,57

Toplam ve bölgelere özel kemik ve damar hacimleri Tablo 6.7 ve 6.8’te gösterilmiştir. Bu verilere göre kemik hacmi ortalama $317,62 \pm 115,63$ ($139,61-458,65$) mm^3 , bir kemikteki toplam damar hacmi ortalama $0,61 \pm 0,36$ ($0,272-1,18$) mm^3 olarak hesaplandı. Dorsal ve palmar kemik ortalama hacimleri sırasıyla $151,15 \pm 50,45$ ($72,52-233,69$) mm^3 ve $166,48 \pm 82,98$ ($67,089-317,134$) mm^3 idi. Dorsal ve palmar damar ortalama hacimleri ise sırasıyla $0,40 \pm 0,22$ ($0,145-0,706$) mm^3 ve $0,21 \pm 0,15$ ($0,05-0,471$) mm^3 bulundu. Dorsal bölgede damar hacmi anlamlı olarak fazla bulundu ($p < 0,05$). 4 kadrındaki damar hacimleri arasında anlamlı fark yoktu ($p > 0,05$) (Şekil 6.7.).

Tablo 6.7. Os triquetrum’ların kemik hacimleri (mm^3)

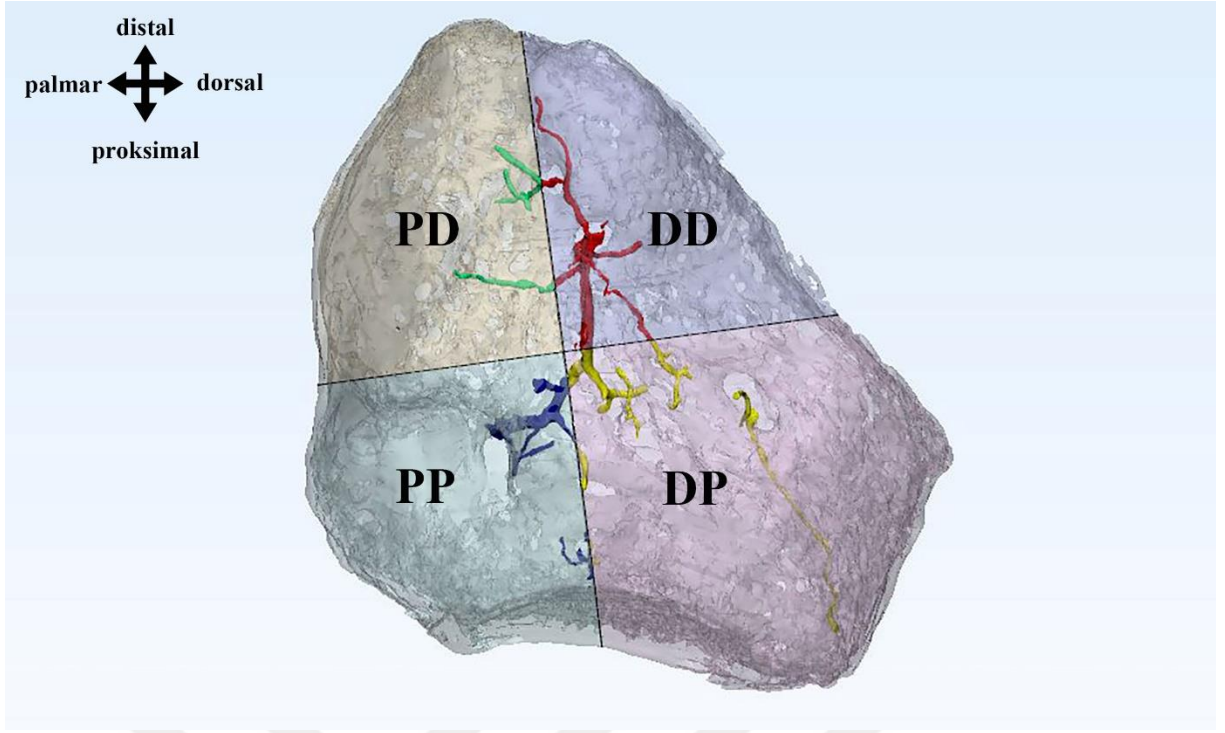
Kemik No	Parametreler						
	KH	KDorsal	KPalmar	KDD	KDP	KPD	KPP
1	139,61	72,52	67,09	17,27	55,25	22,69	44,4
2	331,42	157,6	173,83	39,87	117,73	68,75	105,08
3	320,17	153,09	167,07	69,11	83,98	58,92	108,15
4	458,65	141,52	317,13	75,34	66,18	65,61	251,52
5	349,75	182,49	167,26	42,05	140,44	66,62	100,64
6	194,94	117,11	77,83	61,09	56,02	49,04	28,79
7	428,82	233,69	195,13	171,76	61,93	146,45	48,68
Ortalama	317,62	151,15	166,48	68,07	83,08	68,30	98,18
SD	115,63	50,45	82,98	49,84	33,49	37,99	75,08

KH, kemik hacmi; TDH, toplam damar hacmi; KDorsal, dorsal kemik hacmi; KPalmar, palmar kemik hacmi; KDD, dorsal-distal kemik hacmi; KDP, dorsal-proksimal kemik hacmi; KPD, palmar-distal kemik hacmi; KPP, palmar-proksimal kemik hacmi; SD, standart sapma.

Tablo 6.8. Os triquetrum’ların damar hacimleri (mm^3)

Kemik No	Parametreler						
	TDH	DDorsal	DPalmar	DDD	DDP	DPD	DPP
1	1,18	0,71	0,47	0,37	0,34	0,09	0,38
2	0,27	0,15	0,13	0,01	0,14	0,05	0,08
3	0,6	0,35	0,25	0,12	0,24	0,01	0,24
4	1,03	0,7	0,33	0,28	0,42	0,02	0,31
5	0,4	0,34	0,06	0,33	0,01	0,06	0
6	0,35	0,3	0,05	0,01	0,29	0,02	0,03
7	0,43	0,23	0,2	0,21	0,02	0,04	0,17
Ortalama	0,61	0,40	0,21	0,19	0,21	0,04	0,17
SD	0,36	0,22	0,15	0,15	0,16	0,03	0,14

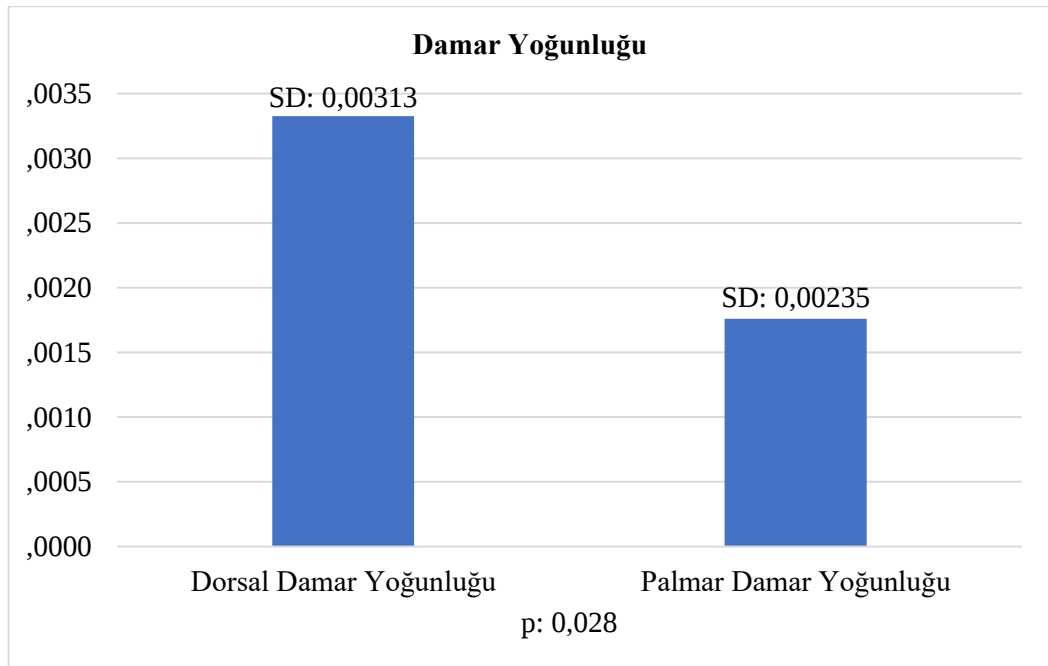
TDH, toplam damar hacmi; DDorsal, dorsal damar hacmi; DPalmar, palmar damar hacmi; DDD, dorsal-distal damar hacmi; DDP, dorsal-proksimal damar hacmi; DPD, palmar-distal damar hacmi; DPP, palmar-proksimal damar hacmi; SD, standart sapma.



Şekil 6.5. Os triquetrum'un 4 kadrantındaki damarlar

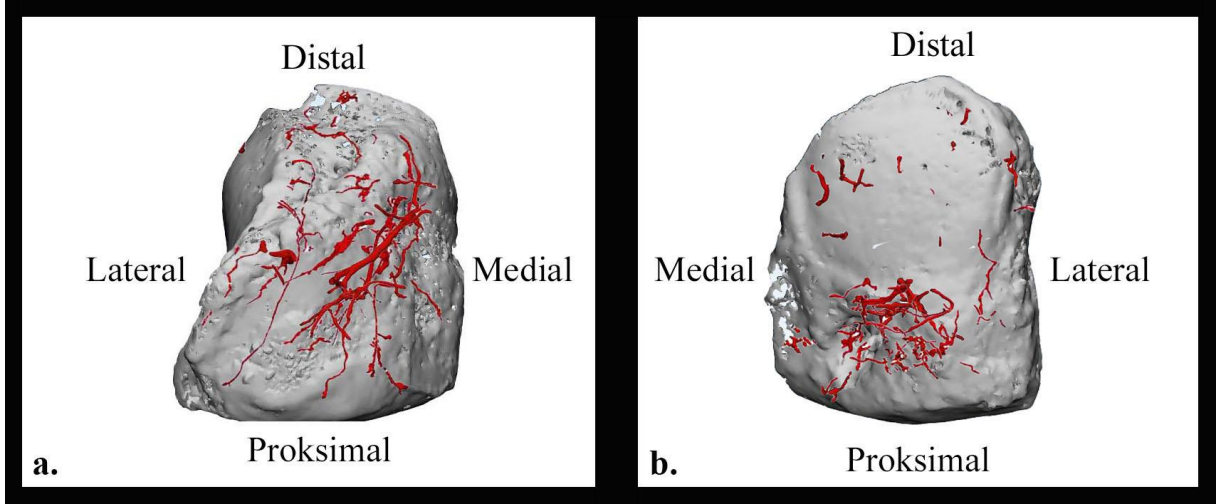
Materialise 3-matic programında kemik modeli şeffaflaştırılarak içerideki damarlar gösterilmiştir. PD, palmar-dorsal; PP, palmar-proksimal; DD, dorsal-distal; DP, dorsal-proksimal kadrantlar.

Dorsal ve palmar bölgelerde kemik hacimleri arasında anlamlı fark bulunmasa da kemiğin damarsal yoğunluğunu ölçmek amacıyla birim kemik hacmi başına düşen damar hacmi hesaplandı. Damar yoğunluğu dorsal bölgede anlamlı olarak fazlaydı ($p < 0,05$) (Şekil 6.5.).



Şekil 6.6. Os triquetrum'lardaki birim kemik hacmi başına düşen damar hacmi (damar yoğunluğu)SD, standart sapma.

Materialise 3-matic programında tüm kadavralardan elde edilen görüntüler Adobe Photoshop programı ile ayna görüntüleri alınarak ve yeniden boyutlandırılarak düzenlendikten sonra damarlar izole edilip bir sağ os triquetrum üzerine yansıtıldı. Elde edilen şekil üzerinde herhangi bir ölçüm yapılmadı. Bu görsel tüm kemiklerdeki damarları bir arada görerek dorsal damarların palmar damarlardan daha yoğun yerleşimli olduğu yorumunun yapılmasını sağladı (Şekil 6.6.).

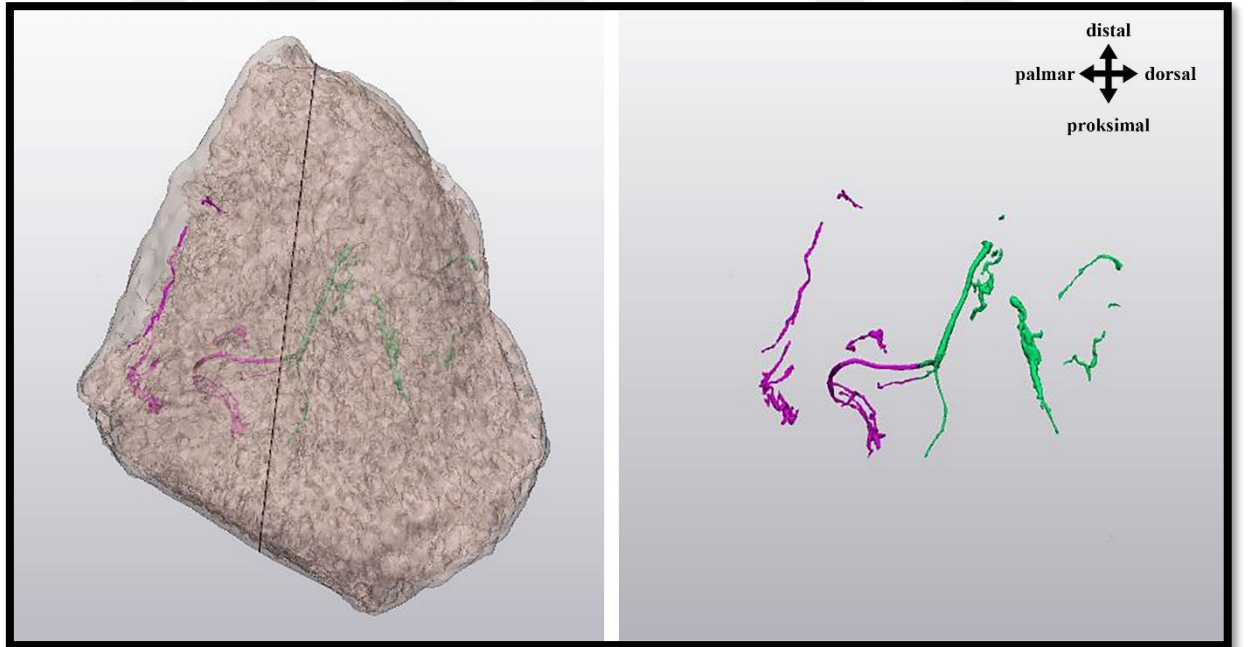


Şekil 6.7. Tüm kemiklerdeki dorsal ve palmar yüzlerden damar görünümeleri
a, dorsal yüzden görünüm; b, palmar yüzden görünüm.

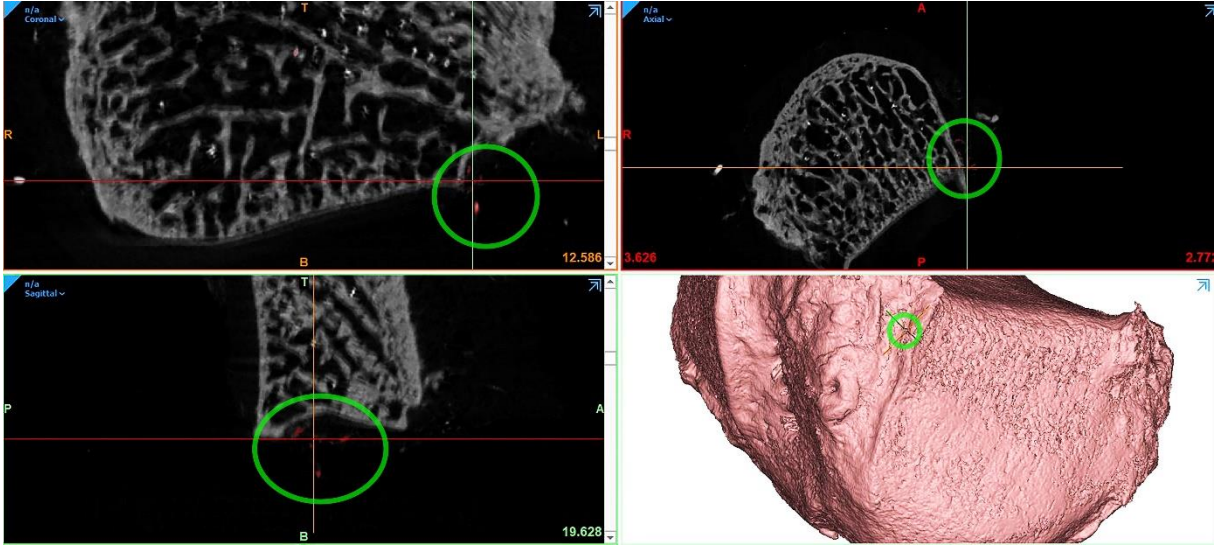
Kemiklerin %57'sinde dorsal ve palmar yüzlerden giren damarlar arasında anastomoz mevcuttu (Şekil 6.7.). Anastomozların hepsi kemiğin proksimal bölgesinde görüldü. Kemiklerin tümünde ligamentum lunotriquetrum interosseum'un os triquetrum'a tutunma yerinde damarlar tespit edildi. Bu damarlar kemiklerin %86'sında kemiğin içinde devamlı değildi (Tablo 6.9.) (Şekil 6.8., 6.9).

Tablo 6.9. Anastomoz ve ligamentum lunotriquetrum'da damar varlığı

Kemik No	Anastomoz varlığı	Ligamentum lunotriquetrum interosseum'un tutunma yerinde damar varlığı	Ligamentum lunotriquetrum interosseum'un tutunma yerindeki damarların kemik içinde devamlılığı
1	Var	Var	Var
2	Yok	Var	Yok
3	Var	Var	Yok
4	Yok	Var	Yok
5	Yok	Var	Yok
6	Var	Var	Yok
7	Yok	Var	Yok



Şekil 6.8. Os triquetrum'un dorsal ve palmar bölgelerindeki damarlar arasındaki anastomoz
Pembe damarlar palmar, yeşil damarlar dorsal bölgede bulunmaktadır.



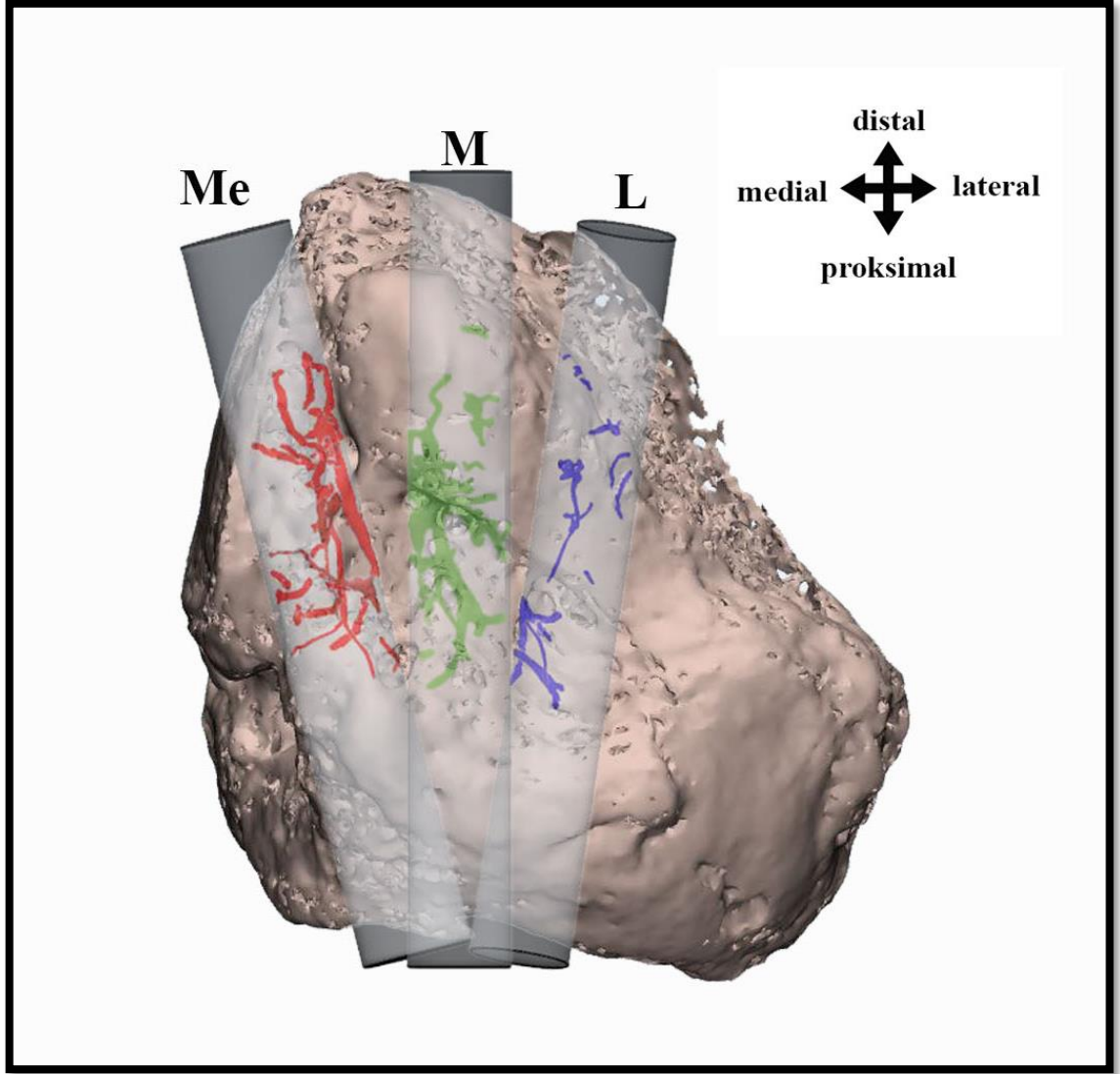
Şekil 6.9. Ligamentum lunotriquetrum'un os triquetrum'a tutunma yerinde bulunan damarlar
Damarlar kırmızı renkli olup yeşil halkalarla vurgulanmıştır.

Bunlara ek olarak os triquetrum'un dorsal yüzündeki 3 nokta ve os lunatum'la eklemin ortasındaki orta noktasını birleştirerek oluşturduğumuz 3 mm'lik tünel modellemesinde medial, median ve lateral eksenlerde bulunan damar hacimlerinin kemikteki tüm damar hacmine oranı sırasıyla ortalama $25,86 \pm 18,4$, $32,78 \pm 22,8$ ve $8,13 \pm 8,7$ bulundu. Lateral eksenindeki damar yüzdesi diğerlerine göre anlamlı olarak düşük bulundu ($p=0,016$) (Tablo 6.10) (Şekil 6.10.).

Tablo 6.10. 3 eksenindeki damar yüzdeleri ve ortalamaları

Kemik No	Eksenler		
	Medial (%)	Median (%)	Lateral (%)
1	35,00	49,31	9,73
2	49,87	62,82	18,50
3	26,86	33,82	2,47
4	1,92	5,51	3,38
5	0,27	18,48	21,44
6	36,58	51,88	0,00
7	30,53	7,64	1,43
Ortalama	$25,86 \pm 18,4$	$32,78 \pm 22,8$	$8,13 \pm 8,7$

Adobe photoshop programında ayna görüntüleri ve yeniden boyutlandırma ile bir kemik üzerindeki eksenlere yansıtılan damarlar Şekil 6.10.'da gösterilmiştir. Bu görüntüde ölçüm yapılmamış olup lateral eksendeki damar yoğunluğunun azlığı görülmektedir.



Şekil 6.10. Tüm kemiklerde 3 eksendeki damarların gösterimi.

Kırmızı damarlar medial eksen, yeşil damarlar median eksen, mavi damarlar ise lateral eksen de yer almaktadır.

7. TARTIŞMA

Literatürde yapılan çalışmalarda genel olarak os triquetrum, os scaphoideum'dan sonra %15 oranla ikinci en sık kırılan karpal kemik olarak gösterilmesine rağmen Oh ve ark.'nın çalışmasında os triquetrum kırıklarının tüm karpal kemikler arasında en sık kırılan olduğu (%28 oranla) iddia edilmiştir (71, 73, 74, 100, 101). Bazı popülasyonlarda insidansı %31'e kadar çıkabilmektedir (100). Kırıkları %79 oranla kemiğin dorsal tarafında, %15'i palmar tarafında, %6'sı ise gövdesinde görülmektedir. Dorsal kırık etyolojisinde temel olarak 3 durum öne çıkar. Bunlardan ilki kemiğin hiperekstensiyonda processus styloideus ulnae ile os pisiforme arasına sıkışmasıdır. Bu pozisyonda os pisiforme, os triquetrum üzerinde distale kaydığı için kemik daha çok distal taraftan kırılır. İkinci durum, yine hiperekstensiyonda os hamatum'un os triquetrum üzerindeki keski etkisidir. Bu etki de os hamatum'un konumu sebebiyle os triquetrum'un distalinde görülür. Son olarak ise os triquetrum'un dorsal çıkıntısına tutunan ligamentum scaphotriquetrum dorsale ve ligamentum radiocarpum dorsale fleksiyonda gerilerek avulsiyon kırıklarına sebep olmaktadır (56, 76). Üç durumda da kemiğin dorsal bölgesi risk altındadır. Çalışmamızın sonuçlarına göre os triquetrum'u besleyen damarların %72'si kemiğe dorsal taraftan girmektedir. Kemiğin dorsal bölgesindeki damar yoğunluğu palmar tarafa göre daha fazladır. Dorsalden giren damarlar palmardakilere göre daha geniştir ve daha geniş foramenlere sahiptir. Damarların hacimsel olarak %65'i kemiğin dorsal bölümünde, %35'i ise palmar bölgesinde bulunmaktadır. Bunlardan yola çıkarak os triquetrum'un vasküler paterninde dorsal baskınlığı olduğu söylenebilir. Kırık paternleri göz önüne alındığında kemiğin fazla beslenen tarafı daha fazla kırığa maruz kalmaktadır. Bu da kemiğin beslenmesini etkileyebilecek bir durumdur. Fakat os triquetrum'un kırıklarının genellikle konservatif tedaviyle iyileşmesi, ileri tedavi seçeneklerine ihtiyaç duyulmaması ve avasküler nekrozunun az görülmesi, iyi kanlanmanın iyileşme sürecindeki pozitif etkilerini akla getirmektedir.

Kemiğin yeniden kanlanması kırık iyileşmesinin başarısında önemli yer tutmaktadır. Bu sayede kırık bölgesinde matriks oluşumunu başlatacak olan, sonrasında osteoblast ve kondroblastlara dönüşen prekürsör hücrelerin göçü; ayrıca hasarlı dokuları uzaklaştıran osteoklast ve makrofajların bölgeye ulaşması sağlanır. Bölgedeki damar endoteli, damarlanmada çok önemli rol oynayan vasküler endotelyal büyüme faktörü salgılar. Bu da endotelyal mezenkimal hücre proliferasyonunu uyararak damarların kemiğe invazyonunu sağlar. Sonuç olarak, avasküler kırık dokusu vasküler kemik dokusu haline gelir (102). Os triquetrum kırıklarının daha çok konservatif tedaviyle düzelmesi, vidalama gibi cerrahi

müdahalelere az gereksinim duyulması kemiğin iyileşme kapasitesinin yüksek olduğunu göstermektedir. Bu kapasite de kemiğin zengin vasküler paterniyle doğru orantılıdır. Bu vasküler zenginlik sayesinde kırık dokusu kemik dokuya dönüşür ve kemikte iyileşme kolaylaşır. Çalışmamızın bulgularına göre, os triquetrum dorsal ve palmar bölgelerden giren damarlar sayesinde iki taraflı beslenmekteydi. Ayrıca inceleyebildiğimiz damar çapına kadar kemiklerin %57'sinde dorsal ve palmar bölgelerden giren damarlar arasında anastomoz mevcuttu. Bunlardan yola çıkarak kemiğin bir tarafında kan akımını engelleyecek bir patoloji olduğunda karşı taraftan gelen damarların yaptığı anastomozlar sayesinde bu kesintiyi kompanse edebileceğini düşündürmektedir. Bu patern os triquetrum'un intraosseöz kanlanması zengin olduğunu ve bu sayede kırık sonrası iyileşmenin hızlı olduğunu göstermektedir.

Os triquetrum kırıkları kliniğe başvurularda gözden kaçabilmekte, radyografik incelemelerde ancak %20 oranında saptanabilmektedir (103). Kaynamama görülen vakalar incelendiğinde çoğunun gövde kırığı olduğu görülmüştür. Bu kırıkların çoğunda vidalama tedavisine ihtiyaç duyulmuştur (14, 15, 16, 104, 105, 106). Anastomozların kemiğin ortasında olması ve gövde kırıklarının da kemiğin orta kısmını içeren kırıklar şeklinde tanımlanması sonucu dorsal ve palmar damar anastomozlarının hasar görme olasılığının yüksek olduğunu söyleyebiliriz (16). Bu şekilde damar anastomozlarına zarar verecek gövde kırıklarında kırık iyileşmesinin gerçekleşmemesi veya gecikmesinin kırık bölgesindeki kanlanma azlığını kompanse edecek damar paterninin bozulması olduğu söylenebilir. Ek olarak kaynamama görülen bu kemiklerin çalışmamızdaki kemiklerin %43'ünde olduğu gibi anastomoz içermediği de olasıdır.

Avasküler nekroz, kemik vaskülaritesinin azalmasına bağlı olarak kemik ve kemik iliği hücrelerinin ölümüne ve neticede mekanik yetmezliğe yol açan patolojik bir süreçtir. Lokal avasküler nekroz lokal iskemiye sebep olacak travma, kırık ve mikro-travmalara bağlı gelişir (17, 39). Literatürde os triquetrum'un avasküler nekrozuna az sayıda çalışmada değinilmiştir. Os triquetrum'un avasküler nekroz olgularından üçü daha önce geçirilmiş el bileği travması sonucu oluşmuştur (17-19). Os triquetrum'un avasküler nekrozunun az görülmesi kırık paternleriyle ilişkili olabilir. Kırıkların daha çok dorsal bölgeden olması ve kemikte görülen avasküler nekroz insidansının düşük olması dorsal bölgedeki damar hasarlarının kompanse edilebildiğini göstermektedir (56, 76). Dorsal kırıkların patogenezi incelendiğinde kemiğin dorsal-distal bölgesinin daha çok risk altında olduğu görülmüştür. Çalışmamızın sonuçlarına göre os triquetrum'a ortalama 7,14 damar girerken bunların %72'si dorsal yüzden

sokulmaktaydı. Dorsalden giren bu damarlar dallara ayrıldıktan sonra daha çok palmar-proksimal seyir göstermekte ve kemiklerin %57'sinde proksimal bölgede anastomoz yapmaktaydı. Kemiklerin dorsal bölgedeki damar hacmi palmar bölgeye göre fazlaydı. Bu da dorsal kısmın daha iyi beslendiğini, bu vasküler zenginliğin de bu bölgede meydana gelecek kırıkların iyileşmesinde olumlu rol oynadığını göstermektedir. Aynı zamanda dorsal-distal bölgenin kırıklarından sonra proksimal bölgedeki anastomozlar distal bölgede kesilen kan akımını kompanse edebilir ve kırık iyileşmesini etkin hale getirebilir. Bu da os triquetrum'da kırık sonrası avasküler nekrozun neden az görüldüğünü açıklayabilir.

Manohara ve arkadaşlarının çalışmasında perilunat dislokasyon tedavisi için os triquetrum'a uyguladıkları Kirschner telinden sonra kemikte avasküler nekroz görülmüş, hastanın takiplerinde kemiğin proksimal kısmında iyileşme görülmüştür. Çalışmamızda anastomozların kemiğin proksimalinde görülmesi Manohara ve arkadaşlarının çalışmasındaki bu proksimal iyileşmenin dorsal ve palmar damarlar arasındaki anastomozlar sayesinde o bölgenin yeniden kanlanması sonucu olduğunu düşündürmektedir (19).

Literatürde os triquetrum'un intraosseöz vasküler anatomisini inceleyen iki çalışmaya rastlanmıştır. 1955'te Grettve ve arkadaşları, 1982'de Panagis ve arkadaşları çalışmalarında arteria radialis ve arteria ulnaris'i salin solüsyonuyla temizledikten sonra civa sülfat, Baryum Sülfat, lateks ve akrilik maddeleriyle doldurmuş, sonrasında kemikleri nitrik asit ve formik asitle dekalsifiye edip stereoskopik röntgenogramda fotoğraflayarak ekstra ve intraosseöz kanlanma paternini incelemişlerdir. Bu çalışmalarda uygulanan damarların temizliği, doldurulması ve kemik dekalsifikasyonunu içeren Spalteholz tekniği, çok sayıda işlem ve 6 haftayı bulan uzun uygulama süreci nedeniyle uygulaması zor bir yöntemdir (20-22). Çalışmamızda taze donmuş kadavralara uyguladığımız Microfil MV-117 maddesi, uygulama sonrası en fazla 24 saat içine damar içinde katılaşmakta, aynı zamanda x ışını altında kontrast vermektedir. Uygulaması kolaydır ve sonrasındaki görüntüleme yöntemleri için kemik dekalsifikasyonu gerektirmez. Bu sayede dekalsifikasyon ve kemikten kesit alma işlemlerindeki gibi kemiğe ve bunun yanında damarlara verilecek olası hasar riski ortadan kalkmıştır. Bu da hem uygulama kolaylığı hem de kemik içindeki damarların daha eksiksiz görüntülenmesini sağlamaktadır. Microfil MV-117 kullanılarak yapılan karpal kemik vaskülaritesini inceleyen çalışmalarda damar çapları en düşük 0,02 mm bulunmuştur. Bizim çalışmamızda da ortalama damar çapı 0,088 iken en düşük damar çapı 0,04 mm bulunmuştur. Bu da Microfil MV-117 maddesinin çok ince damarlara dahi nüfuz edebildiğini göstermektedir. Bunun yanında Mikro-bilgisayarlı tomografi ile diğer karpal kemikler üzerinde yapılan

alışmalar ile bizim çalışmamızdaki damar çapları arasındaki farklılık birkaç sebeple açıklanabilir. Bunlardan ilki bahsedilen çalışmaların os triquetrum üzerinde yapılmamış olmasıdır (22-28). Os triquetrum hakkında farklı maddeler kullanılarak yapılan diğerk çalışmalarda ise damar çapları hakkında bir bulgu ve yorum bulunmamaktadır (20, 21). Bu sebeple os triquetrum'un intraosseöz damarlarını çalışmış ve damar çaplarını karşılaştırabileceğimiz başka bir çalışma bulunmamaktadır. İkincisi ise Microfil MV-117 her ne kadar çok küçük çaplı damarlara nüfuz edebilme özelliğine sahip olsa da yapay bir basınçla ölü bir dokuya uygulandığı için kemiğın içine girdikten sonra bütün damar trasesi boyunca yayılmamış olabilir. Çalışmamızda ana arter dallarından gelmeyen ve kontrast vermesine rağmen damar trasesi görölmeyen yapılar değerkendirmeye alınmadı. Xiao ve arkadaşları çalışmalarında ana arter dallarından bağımsız çok sayıda serbest damar tanımlamış ve ana damardan dallanmayan serbest damarların çaplarını daha küçük bulmuştur (23). Bu çalışmanın görselleri incelendiğinde bizim kemik korteksin verdiği kontrasttan kaynaklandığını düşündüğümüz kümelenmeleri serbest damar olarak değerkendirdikleri ve bu damarların çaplarının ana damardan gelen dallardan daha düşük olduğu göröldü. Morsy ve arkadaşlarının çalışmasında ise daha düşük çözünürlükte görüntüleme yapılmasına rağmen (20 µm) bizim alışmamızdakinden daha küçük çaplı damarlar görölmüştür. Fakat bu çalışmada damarları nasıl segmente ettiklerine dair herhangi bir bilgi ve fotoğraf bulunmadığı için aradaki farklılığı yorumlamak zordur (27). Xiao ve arkadaşlarının çalışması ile bizim çalışmamızın çözünürlük değeri çok yakın olmasına rağmen (12 µm) bizim çalışmamızda daha küçük damar çapları göremememizin bir sebebi de damar trasesi göstermeyen serbest damarları segmentasyon dışı bırakmamız olabilir. Nihayetinde alışmamızda serbest damarları fazla göremesek de esas önemli olan damarların hangi ana daldan geldiğidir. Bu sayede intraosseöz ve ekstraosseöz damarlanma arasındaki ilişki değerkendirilip ekstraosseöz damarların kollapsında intraosseöz beslenmenin nasıl etkileneceğı, ek olarak kırıklarda etkilenecek ana arter dallarının kemiğın hangi bölgesinde ve hangi oranda avasküler nekroza sebebiyet vereceğı öngörölebilmektedir.

Grettve ve Panagis'in çalışmalarında os triquetrum'a dorsal yüzdeki çıkıntıdan giren 2-4 adet damar, kemiğın dorsal %60'ını, palmar tarafta os pisiforme'yle eklem yaptığı yüzün proksimal ve distalinden giren 1-2 damarın ise kemiğın palmar %40'sını beslediğı belirtilmiştir. Kemiklerin %86'sında anastomoz tanımlanmıştır fakat bu anastomozların hangi çaptaki damarlarda ve kaç dal arasında göröldüğüne dair bir bilgi yoktur (20, 21). Yine Panagis'in çalışmasında intraosseöz damarlanmaya göre yapılan sınıflamada avasküler nekroz riski en yüksek olan ve 1. grupta incelenen os scaphoideum'un intraosseöz damarları arasında anastomoza rastlanmazken os capitatum'da %30 oranında rastlanmıştır. Bu oran arttıkça

avasküler nekroz riskinin azaldığı belirtilmiştir (21, 42). Bizim çalışmamızda kemiğe dorsalden ortalama 5 damar, palmardan ise ortalama 2 damar girdiği gözlemlenmiştir. Kemiğe dorsalden giren damarların kemiğin palmar-proksimal bölgesine ilerlediği ve kemiklerin %57'sinde dorsal ve palmar damarların dalları arasında anastomoz olduğu görülmüştür. Ayrıca çalışmamızda Grettve ve Panagis'in çalışmalarında bahsedilmeyen bir alan olan os hamatum ve os pisiforme'nin eklem yüzlerinin arasından palmar damarlar girdiği gösterilmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkarak kemiğin beslenmesinin zengin olduğu söylenebilir. En sık ikinci kırılan karpal kemik olmasına rağmen avasküler nekrozunun az görülmesinin sebebinin birden fazla bölgeden giren damarlarla etkin biçimde beslenmesi olduğu çıkarımı yapılabilir. Bu sayede neden kırık sonrası iyileşmesinin hızlı olduğu ve komplikasyon görülme sıklığının az olduğu açıklanabilir. Çalışmamızda Panagis ve arkadaşlarının çalışmasına göre daha az anastomoz görülmesi, görüntüleme yöntemindeki çözünürlükten, Microfil'in tüm damar traselerine yayılmamış olma ihtimalinden veya çalışmamızın daha az kemik üzerinde yapılmasından kaynaklanıyor olabilir. Fakat os triquetrum üzerinde anastomozları inceleyen başka bir çalışma olmadığı için çalışmamızdaki anastomoz oranı Panagis ve arkadaşlarının çalışmasına göre az olsa da 1. gruptaki karpal kemiklerle karşılaştırıldığında fazladır.

Panagis ve arkadaşlarının çalışmasında kemiklerin %60'ında dorsal beslenme, %20'sinde palmar beslenme baskındır, geri kalan kemiklerde eşit baskınlık vardır (21). Bizde de kemiğin dorsalindeki damar hacmi palmardakilerden anlamlı olarak büyük bulundu. Bu verilere dayanarak kemiğin dorsal beslenmesinin baskın olduğunu söyleyebiliriz. Bunun yanında, Panagis ve arkadaşları bu tiplendirmeyi 25 kadavrada yapmıştır. Bizim çalışmamızda 7 kadavra kullanılması tiplendirme yorumu yapmamızı kısıtlamaktadır.

Os triquetrum kırıkları sonrası vidalama tedavisine nadiren başvurulsa da mevcut bir perilunat dislokasyon durumunda karpal kemikleri doğru pozisyona getirmek için os lunatum ve os triquetrum vida ile sabitlenmektedir (107, 108). Başka bir vakada travma sonrası perilunat dislokasyonu olan hastada Kirschner teli ile ligament onarımı sonrasında os scaphoideum, os lunatum ve os triquetrum'da avasküler nekroz görülmüştür (19). Literatürde aynı şekilde os scaphoideum'un vida ile tedavileri sonrasında nekroz görülen vakalar mevcuttur (109, 110). Os triquetrum'a yapılan invaziv girişimlere benzeyen bu metotlarda avasküler nekroz görülmesi, os triquetrum'da da operasyon sonrası avasküler nekroz komplikasyonu olabileceğini düşündürmektedir. Bunun bir örneği Manohara ve arkadaşlarının 1,1 mm çapında Kirschner teli uygulamasından sonra os scaphoideum, os lunatum ve os triquetrum'da avasküler nekroz gördükleri vakadır (19). Kirschner telinin yumuşak doku diseke edilmeden transkutanöz

uygulan bir tel olması bu vakalardaki avasküler nekrozların çevre doku kanlanması değil intraosseöz kanlanmanın bozulması sonucu olabileceğini düşündürmektedir. Bunun yanında literatürde el bileği bağlarının karpal kemiklere tüneller açılarak yapılan onarımlarından sonra görülen avasküler nekrozlar da not edilmiştir. Örneğin ligamentum lunotriquetrum rekonstrüksiyonunda kullanılan yöntemde os triquetrum'a 3 mm'lik tünel açılarak musculus extensor carpi ulnaris ve musculus palmaris longus'un tendonları bu tünellerden geçirilmekte ve dikilerek yeni bir ligamentum lunotriquetrum yapılmaktadır (111, 112). Bu işlemler sırasında kemiğin intraosseöz damarlanmasının zarar görme ihtimali vardır. Morsy ve arkadaşları da çalışmalarında, 4 farklı ekseninde intraosseöz damarlanma paterni saptamış, bu sonuçların os scaphoideum kırıklarının vida ile tedavilerinde kullanılabileceği gibi, ilerleyen zamanlarda gelişen yeni yöntemlerle, ligamentum scapholunatum onarımında kemik tünelleri oluştururken de kullanılabileceğini vurgulamıştır (27, 113). Çalışmamızda bağ rekonstrüksiyonu ve vidalama için kullanılan eksenleri 3 paternde inceledik. Cerrahin ameliyat sırasında kemiğe en uygun yaklaşımını belirlemek için kemiğin dorsal yüzünde 3 nokta belirleyip bunları os lunatum ile eklem yaptığı yüzün orta noktasıyla birleştirdik. Bu eksenlerde 3'er mm çapında tünel şeklinde kesitler alıp bu kesitler içindeki damar hacmini hesapladık. Sonuç olarak lateral ekseninde en az damara denk geldik. Bu sonuç kemiğe vida ve tünel uygulamalarında lateral hattan yapılacak girişimin kemikteki intraosseöz damar hasarı riskini en aza indirebileceğini göstermektedir.

Günümüzde 3 boyutlu tomografi gibi yeni inceleme yöntemlerinin kullanılmasıyla, eski yöntemlerle yapılan çalışmalara ek ve bazen de zıt yeni bilgilere rastlanmıştır. Örneğin; 1988 yılında Botte, os scaphoideum kırıkları tedavisinde kullanılan vidalama yöntemi için, kemiği besleyen damarların en az zarar gördüğü yaklaşımın palmar yaklaşım olduğunu belirtmiştir. Bunun aksine; 2019 yılında Morsy ve arkadaşları os scaphoideum'un vasküler anatomisini mikro bilgisayarlı tomografi ile 3 boyutlu olarak inceledikleri çalışmada, vidalama için teorik olarak 4 yaklaşım tanımlamış, internal vaskülariteye en az zarar veren yaklaşımın santral ekseninden uygulanacak teknik olduğunu, ayrıca kemiği besleyen damarların dorsal yaklaşımda palmar yaklaşıma göre daha az zarar göreceğini belirtmiştir. Bu bilgiler rutin tedavide kullanılan vidalama tekniklerinin tekrar gözden geçirilmesini gündeme getirmiştir (27, 114). Yine Gelberman ve arkadaşları os scaphoideum'un dorsal ve volar kısmını besleyen arteria radialis dalları arasında anastomoz olmadığını söylerken, Morsy ve arkadaşları palmar belden giren ve dorsal çıkıntıdan giren damarlar arasında anastomoz olduğunu belirtmiştir (27, 115). Başka bir örnek olarak, Panagis ve arkadaşlarının çalışmasında os hamatum'un esas olarak palmar tarafta hamulus ossis hamati'nin tabanından giren damarla beslendiği görülürken, bunun

aksine Xiao ve arkadaşlarının mikro bilgisayarlı tomografi çalışmalarında dorsal bölgedeki arter sayısı daha fazla bulunmuş, dorsal bölgedeki kan dolaşımının daha baskın olabileceğini belirtmiştir (21, 24). Yine os capitatum'un Grend ve arkadaşları tarafından tanımlanan retrograd beslenme paterninde proksimal kutbun beslenmesi distalden proksimale gelen damarlar tarafından sağlanır (116). Kadar ise mikro bilgisayarlı tomografi ile yaptığı çalışmada %70 örnekte os capitatum'un proksimal kısmında bu kutbu direk besleyen bir damar tanımlamıştır (26). Xiong ve arkadaşları da mikro-bilgisayarlı tomografi ile yaptıkları çalışmada os capitatum'u besleyen esas damar dallarının çoğunlukla orta hattan çıktığını, bu damarların zarar görmemesi için Kienböck hastalığında kullanılan os capitatum osteotomisi yönteminin daha distalden yapılması gerektiğini belirtmiştir (25). Çalışmamızda da Panagis ve Grettve'nin çalışmalarındaki gibi dorsal bölge kanlanması daha çok bulunmuştur. Dorsal çıkıntı ve os pisiforme ile eklem yüzünün yanından giren damarlara ek olarak os pisiforme ve os hamatum'la eklem yüzlerinin arasından giren damarlara da rastlanmıştır. Bunlara ek olarak ligamentum lunotriquetrum'un yapışma yerinde damarlar tanımlanmıştır.

Araştırmalarımıza göre güncel literatürde os scaphoideum, os lunatum, os capitatum ve os hamatum'a ait hem 2 boyutlu, hem de yeni damar doldurma maddeleri ve görüntüleme teknikleriyle 3 boyutlu olarak çalışılan toplamda 7 adet çalışmaya rastlanmıştır. Özellikle karpal kemikler için radyokontrast madde enjeksiyonu sonrası kemiklerin izole mikro bilgisayarlı tomografi görüntülerinin alınmasıyla kemik içi damarlanma net bir şekilde ortaya konmaktadır (22-24, 26-28). Bu yöntem 10 µm kadar ince kesitler alabilmekte, radyografi ve klasik bilgisayarlı tomografiye göre daha ince damarları ve anastomozları tanımlayabilmektedir (91). Ne var ki, os triquetrum ile ilgili, bu kemiklerdeki gibi damarsal desteğinin hangi arterlerden kaynaklandığını ve ne derecede olduğunu gösteren, yeni 3 boyutlu yöntemlerle yapılmış bir çalışma bulunmamaktadır. İkinci en sık kırılan karpal kemik olmasına rağmen avasküler nekrozu az görüldüğü için os triquetrum'un intraosseöz vasküler paterninin ortaya koyulması çok önemlidir. Çalışmamız os triquetrum'un vasküler yapısı hakkında mikro bilgisayarlı tomografi ve 3 boyutlu modelleme kullanılarak yapılan ilk çalışma olması açısından önemlidir.

Tüm os triquetrum'larda ligamentum lunotriquetrum'un tutunma yeri seviyesinde damarlara rastlandı, fakat kemiklerin %86'sında bu damarlar kemik içinde devam etmemekteydi. Buradan yola çıkarak bu damarların kemiğin beslenmesinde bir rolü olmadığını ve ligamentum lunotriquetrum'da meydana gelecek hasarlarda kemiğin vaskülaritesinin

etkilenmeyeceğini, bu sebeple de avasküler nekroz veya kanlanma azlığına bağlı kırık iyileşmesinin gecikmesi gibi komplikasyonlara yol açmayacağını düşündük.

Çalışmamızda kullandığımız Microfil MV-117 maddesi kurşun bazlı silikonlu bir radyokontrast maddedir. Bu madde sıklıkla hayvan deneylerinde kullanılmaktadır. Özellikle küçük boyutlu hayvanlara perfüzyonla verilip dokulardaki ve organlardaki damarlanma paternleri incelenmektedir. Microfil MV-117 Baryum Sülfat'a göre daha düşük viskoziteli olması sayesinde, kemik içindeki yaklaşık 1 μm 'ye kadar düşebilen boyuttaki damarları göstermede daha etkindir (91, 96, 99). Daha önce aynı yöntemle yapılan ve os scaphoideum, os lunatum, os hamatum ve os capitatum'un intraosseöz damarlanmasını gösteren çalışmalarda minimum 20 μm olan kemik içi damarlar Microfil MV-117 ile görüntülenebilmiştir (26-28). Bizim çalışmamızda da 40 μm kadar küçük damarlar tanımlanabilmiştir. Microfil MV-117 yapısındaki silikon sayesinde de 90 dakika içinde katılaşmaya başlamaktadır. Katılaşma özelliği sayesinde bu amaçla kullanılan kurşunlu bazı maddeler gibi işlem sonrası fiksasyon gerektirmemektedir. Ayrıca kurşunlu bileşiklerle aynı çözünürlükteki görüntüleme yöntemiyle yapılan benzer çalışmalara göre Microfil MV-117 daha küçük çaplı damarları göstermekte başarılı olmuştur (23, 27). Fakat diseksiyonlarımızda da gördüğümüz üzere bu madde venlere de dolum göstermektedir. Bu özelliği kemik içi kılcal damarları inceleyen çalışmamızda herhangi bir zorluğa sebep olmamış olsa da ekstraosseöz kanlanmayı değerlendirecek çalışmalarda karışıklığa sebebiyet verebilir.

Çalışmamızda incelenen damarların çaplarının küçük olması ve kemik içi damarların seyrinin araştırılması sebebiyle en uygun materyal taze kadavradır. Fakat taze kadavra temininin zorluğu ve maliyetinin de yüksek olması sebebiyle kadavra sayımız sınırlı kalmıştır. Daha fazla kadavra üzerinde aynı yöntemle yapılacak bir çalışmanın istatistiksel analizinde verilerin normal dağılımlı çıkma ihtimali daha yüksek olacaktır. Fazla örnek sayısı aynı zamanda tiplendirme yorumu yapılmasına da olanak sağlayacaktır. Çalışmamızın diğer bir kısıtlılığı ise ölçümlerin tek bir gözlemci tarafından yapılmış olmasıdır.

8. SONUÇ ve ÖNERİLER

Sonuç olarak os triquetrum dorsal ve palmar olmak üzere iki bölgeden beslenmektedir. Dorsal beslenme baskın olmakla beraber dorsal ve palmar bölgelerden giren damarlar arasında anastomozlar mevcuttur. Çalışmamız os triquetrum'un intraosseöz beslenmesinin zengin olduğunu göstermiş olup, kemiğin bir bölgesini etkileyen patolojilerde diğer bölgeden giren damarların durumu kompanse edip kemiğin hasarlı bölgesindeki beslenmenin devamını sağlayacağını ve bu sayede kırıkların konservatif tedaviyle iyileşmesini ve avasküler nekroz gibi komplikasyonların az görüldüğünü ortaya koymuştur.

Aynı zamanda ligamentum lunotriquetrum'un kemiğe tutunma yerinde bulunan damarların %86'sı kemiğin içine girmemektedir. Bundan yola çıkarak bu bağın zedelenmelerinde os triquetrum'un intraosseöz beslenmesinin etkilenmeyeceği sonucuna varılmaktadır.

Çalışmamızda ayrıca vidalama ve kemik tünelleri açılarak ligamentum lunotriquetrum rekonstrüksiyonu uygulamalarında kullanılabilecek 3 eksen tanımlanmıştır. Lateral eksen daha az intraosseöz damar içermesi sebebiyle bu operasyonlarda uygulanması en uygun eksenidir. Kırıkları azımsanamayacak oranda görülen, sonrasında oluşan komplikasyonlar sonucu iş gücü kaybına sebep olabilecek ve el bileği biyomekaniğinde önemli role sahip olan os triquetrum'un intraosseöz kanlanma paterninin ve kemiğe invaziv girişimlerde kullanılan eksenlerden en uygun olanının bilinmesinin bu girişimlerde cerraha yol gösterici olacağı öngörülmektedir.

Çalışmamızda kullanılan mikro-bilgisayarlı tomografi görüntülemesi, os triquetrum gibi küçük kemiklerin intraosseöz beslenmesinin tanımlanmasında uygun bir yöntemdir. Tanımlanan damarlar çok küçük çaplı damarlar olduğu için, veriler yapılandırıldıktan sonra 3 boyutlu modelleme aşamasında manuel olarak damarları takip edip maskeleme işlemi uygulanması gerekmektedir. Hem bu işlem hem de sonrasındaki çap, alan ve hacim ölçümleri için de Materialize Mimics Innovation Suite™ programının kullanılması uygun bir yöntemdir. Bu programla damarlar hem gözle görülebilmekte hem de modelin şekli üzerine uygulanan işlemlerde hata payı en aza indirgenmektedir.

Bir kemiğin beslenmesinde intraosseöz patern kadar ekstraosseöz patern de önemli olduğundan ileride os triquetrum'un ekstraosseöz paternini ortaya koyan çalışmalara ihtiyaç vardır. Buna ek olarak çalışmamızda Microfil MV-117 maddesinin kemik içindeki küçük

damarlara invazyonda etkin olmakla beraber, venöz sisteme dönüp venleri de doldurması sebebiyle ekstraosseöz damarlanma çalışmalarında etkin sonuç vermeyebileceğini düşünmekteyiz.

Taze kadavra temininin zorluğu ve maliyetinin de yüksek olması sebebiyle çalışmamızdaki kadavra sayısı sınırlı kalmıştır. Çalışma daha fazla kadavra ile tekrarlanırsa istatistiksel olarak verilerin dağılımı normal olacaktır.



9. KAYNAKLAR

1. Angermann P, Lohmann M. Injuries to the hand and wrist. A study of 50,272 injuries. J Hand Surg Br. 1993;18(5):642-4.
2. Sanal HT. El ve el bileği kemik doku yaralanmaları: nedenler, işgücü kaybı. Gülhane Tıp Dergisi. 2006(48):215-7.
3. Didden K, De Smet L, Vandenberghe L, Sciot R, Degreef I. Avascular necrosis of the proximal carpal row of the wrist. A possible complication of bisphosphonate administration. Chir Main. 2012;31(6):355-7.
4. Geissler WB. Carpal fractures in athletes. Clin Sports Med. 2001;20(1):167-88.
5. Raghupathi AK, Kumar P. Nonscapoid carpal injuries - Incidence and associated injuries. J Orthop. 2014;11(2):91-5.
6. Sharifi MD, Moghaddam HZ, Zakeri H, Ebrahimi M, Saeedian H, Hashemian AM. The Accuracy of Pain Measurement in Diagnosis of Scaphoid Bone Fractures in Patients with Magnetic Resonance Imaging: Report of 175 Cases. Med Arch. 2015;69(3):161-4.
7. Yip HS, Wu WC, Chang RY, So TY. Percutaneous cannulated screw fixation of acute scaphoid waist fracture. J Hand Surg Br. 2002;27(1):42-6.
8. Smith ML, Bain GI, Chabrel N, Turner P, Carter C, Field J. Using computed tomography to assist with diagnosis of avascular necrosis complicating chronic scaphoid nonunion. J Hand Surg Am. 2009;34(6):1037-43.
9. Kazmers NH, Thibaudeau S, Levin LS. A Scapholunate Ligament-Sparing Technique Utilizing the Medial Femoral Condyle Corticocancellous Free Flap to Reconstruct Scaphoid Nonunions With Proximal Pole Avascular Necrosis. J Hand Surg Am. 2016;41(9):e309-15.
10. Malizos KN, Dailiana Z, Varitimidis S, Koutalos A. Management of scaphoid nonunions with vascularized bone grafts from the distal radius: mid- to long-term follow-up. Eur J Orthop Surg Traumatol. 2017;27(1):33-9.

11. Kim J, Park JW, Chung J, Jeong Bae K, Gong HS, Baek GH. Non-vascularized iliac bone grafting for scaphoid nonunion with avascular necrosis. *J Hand Surg Eur Vol.* 2018;43(1):24-31.
12. Tyson S, Hatem SF. Easily Missed Fractures of the Upper Extremity. *Radiol Clin North Am.* 2015;53(4):717-36.
13. Durbin FC. Non-union of the triquetrum; report of a case. *J Bone Joint Surg Br.* 1950;32-B(3):388.
14. Kawakami Y, Fujioka H, Kurosaka M. Treatment of non-union of a triquetral body fracture. *J Hand Surg Eur Vol.* 2007;32(6):717-8.
15. Sin CH, Leung YF, Ip SP, Wai YL, Ip WY. Non-union of the triquetrum with pseudoarthrosis: a case report. *J Orthop Surg (Hong Kong).* 2012;20(1):105-7.
16. Rasoli S, Ricks M, Packer G. Isolated displaced non-union of a triquetral body fracture: a case report. *J Med Case Rep.* 2012;6:54.
17. Albtoush OM, Esmadi M, Al-Omari MH. Cystic avascular necrosis of the triquetrum. *Clin Imaging.* 2013;37(2):393-7.
18. Por YC, Chew WY, Tsou IY. Avascular necrosis of the triquetrum: a case report. *Hand Surg.* 2005;10(1):91-4.
19. Manohara R, Sebastin SJ, Puhaindran ME. Post Traumatic Avascular Necrosis of the Proximal Carpal Row--A Case Report. *Hand Surg.* 2015;20(3):466-70.
20. Grettve S. Arterial anatomy of the carpal bones. *Acta Anat (Basel).* 1955;25(2-4):331-45.
21. Panagis JS, Gelberman RH, Taleisnik J, Baumgaertner M. The arterial anatomy of the human carpus. Part II: The intraosseous vascularity. *The Journal of Hand Surgery.* 1983;8(4):375-82.
22. Xiao Z-R, Zhang W-G, Xiong G, Zhang Y-L. Three-dimensional Intralunate Arteries Visualization with Red Lead (Pb(3)O(4)) Angiography. *Chinese medical journal.* 2017;130(21):2575-8.
23. Xiao Z, Xiong G, Zhang W. New findings about the intrascaphoid arterial system. *J Hand Surg Eur Vol.* 2018;43(10):1059-65.

24. Xiao ZR, Zhang WG, Xiong G. Features of intra-hamate vascularity and its possible relationship with avascular risk of hamate fracture. *Chin Med J (Engl)*. 2019;132(21):2572-80.
25. Xiong G, Xiao ZR, Zhang WG. Vascular anatomy of the capitate determined by micro-computed tomography angiography. *J Hand Surg Eur Vol*. 2017;42(9):966-7.
26. Kadar A, Morsy M, Sur YJ, Laungani AT, Akdag O, Moran SL. The Vascular Anatomy of the Capitate: New Discoveries Using Micro-Computed Tomography Imaging. *J Hand Surg Am*. 2017;42(2):78-86.
27. Morsy M, Sabbagh MD, van Alphen NA, Laungani AT, Kadar A, Moran SL. The Vascular Anatomy of the Scaphoid: New Discoveries Using Micro-Computed Tomography Imaging. *J Hand Surg Am*. 2019;44(11):928-38.
28. van Alphen NA, Morsy M, Laungani AT, Kadar A, Vercnocke AJ, Lachman N, et al. A Three-Dimensional Micro-Computed Tomographic Study of the Intraosseous Lunate Vasculature: Implications for Surgical Intervention and the Development of Avascular Necrosis. *Plast Reconstr Surg*. 2016;138(5):869e-78e.
29. Breeland G, Sinkler MA, Menezes RG. *Embryology, Bone Ossification*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing LLC.; 2023.
30. Moore KL, Persaud TVN. *The developing human : clinically oriented embryology* [10th ed.]. 10th edition ed: Elsevier; 2016.
31. Durand S, Delmas V, Ho Ba Tho MC, Batchvarova Z, Uhl JF, Oberlin C. Morphometry by computerized three-dimensional reconstruction of the human carpal bones during embryogenesis. *Surg Radiol Anat*. 2006;28(4):355-8.
32. Oztuna V, Coşkun B, Polat A, Kuyurtar F. The development of the wrist joint in the fetal period. *Acta Orthop Traumatol Turc*. 2003;37(3):254-60.
33. Reddy KSN. *The Essentials of Forensic Medicine and Toxicology*. Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers; 2017.
34. Platzer W. *Color Atlas of Human Anatomy, Vol. 1*. Stuttgart: Thieme Medical Publishers, Incorporated; 2014.

35. Hita-Contreras F, Martínez-Amat A, Ortiz R, Caba O, Alvarez P, Prados JC, et al. Development and morphogenesis of human wrist joint during embryonic and early fetal period. *J Anat.* 2012;220(6):580-90.
36. Gelberman RH, Panagis JS, Taleisnik J, Baumgaertner M. The arterial anatomy of the human carpus. Part I: The extraosseous vascularity. *J Hand Surg Am.* 1983;8(4):367-75.
37. Standring S, 42nd Edition. *The Anatomical Basis of Clinical Practice.* Elsevier, Amsterdam, 2021.
38. Freedman DM, Botte MJ, Gelberman RH. Vascularity of the carpus. *Clin Orthop Relat Res.* 2001(383):47-59.
39. Shah KN, Racine J, Jones LC, Aaron RK. Pathophysiology and risk factors for osteonecrosis. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2015;8(3):201-9.
40. Afshar A, Tabrizi A. Avascular Necrosis of the Carpal Bones Other Than Kienböck Disease. *J Hand Surg Am.* 2020;45(2):148-52.
41. Assouline-Dayana Y, Chang C, Greenspan A, Shoenfeld Y, Gershwin ME. Pathogenesis and natural history of osteonecrosis. *Semin Arthritis Rheum.* 2002;32(2):94-124.
42. Gelberman RH, Gross MS. The vascularity of the wrist. Identification of arterial patterns at risk. *Clin Orthop Relat Res.* 1986(202):40-9.
43. Lin JD, Strauch RJ. Preiser disease. *J Hand Surg Am.* 2013;38(9):1833-4.
44. Daly CA, Graf AR. Kienböck Disease: Clinical Presentation, Epidemiology, and Historical Perspective. *Hand Clin.* 2022;38(4):385-92.
45. De Smet L. Avascular necrosis of multiple carpal bones. A case report. *Chir Main.* 1999;18(3):202-4.
46. Amsallem L, Serane J, Zbili D, Marion B, Boyer P. Idiopathic bilateral lunate and triquetrum avascular necrosis: A case report. *Hand Surg Rehabil.* 2016;35(5):367-70.
47. Bayley J, Simmons B. Avascular necrosis of the proximal carpal row. A case report. *Ann Chir Main.* 1987;6(3):210-5.
48. Arıncı K, Elhan A, *Anatomi. 1. Cilt.* Ankara: Güneş Tıp Kitabevi; 2016. p. 130 - 223.

49. Balci A, Yildiran G, Kendir S, Karahan ST, Apaydin N. The morphologic and morphometric features of the triquetrum. *Hand Surg Rehabil.* 2023;42(1): 40-4.
50. Taleisnik J. The ligaments of the wrist. *J Hand Surg Am.* 1976;1(2):110-8.
51. Bateni CP, Bartolotta RJ, Richardson ML, Mulcahy H, Allan CH. Imaging key wrist ligaments: what the surgeon needs the radiologist to know. *AJR Am J Roentgenol.* 2013; 200(5):1089-95.
52. Ritt MJPF, Bishop AT, Berger RA, Linscheid RL, Berglund LJ, An K-N. Lunotriquetral ligament properties: A comparison of three anatomic subregions. *The Journal of Hand Surgery.* 1998; 23(3): 425-31.
53. Berger RA, Landsmeer JM. The palmar radiocarpal ligaments: a study of adult and fetal human wrist joints. *J Hand Surg Am.* 1990;15(6):847-54.
54. Waschke J BT, Böckers T, Paulsen F, 1st Edition, Sobotta Anatomy Textbook, Elsevier, Munich.
55. Van der Post AS, Jens S, Daams JG, Obdeijn MC, Maas M, Oostra RJ. The triangular fibrocartilage complex in the human wrist: A scoping review toward uniform and clinically relevant terminology. *Clin Anat.* 2022;35(5):626-48.
56. Höcker K, Menschik A. Chip Fractures of the Triquetrum. *Journal of Hand Surgery.* 1994;19(5):584-8.
57. Kihara H, Short WH, Werner FW, Fortino MD, Palmer AK. The stabilizing mechanism of the distal radioulnar joint during pronation and supination. *J Hand Surg Am.* 1995;20(6):930-6.
58. Wessel LE, Kim J, Morse KW, Loisel F, Koff MF, Breighner RE, et al. The Dorsal Ligament Complex: A Cadaveric, Histology, and Imaging Study. *J Hand Surg Am.* 2022;47(5):480.e1-.e9.
59. Tang JB. General concepts of wrist biomechanics and a view from other species. *J Hand Surg Eur Vol.* 2008;33(4):519-25.
60. Rainbow MJ, Wolff AL, Crisco JJ, Wolfe SW. Functional kinematics of the wrist. *J Hand Surg Eur Vol.* 2016;41(1):7-21.

61. Wolfe SW, Crisco JJ, Orr CM, Marzke MW. The dart-throwing motion of the wrist: is it unique to humans? *J Hand Surg Am.* 2006;31(9):1429-37.
62. Kamal RN, Starr A, Akelman E. Carpal Kinematics and Kinetics. *J Hand Surg Am.* 2016;41(10):1011-8.
63. Werner FW, Green JK, Short WH, Masaoka S. Scaphoid and lunate motion during a wrist dart throw motion. *J Hand Surg Am.* 2004;29(3):418-22.
64. Green DP, Wolfe SW. *Green's operative hand surgery.* Philadelphia: Elsevier/Churchill Livingstone; 2011.
65. Linscheid RL, Dobyns JH. Dynamic carpal stability. *Keio J Med.* 2002;51(3):140-7.
66. Mayfield JK, Johnson RP, Kilcoyne RK. Carpal dislocations: pathomechanics and progressive perilunar instability. *J Hand Surg Am.* 1980;5(3):226-41.
67. Hagert E. Proprioception of the Wrist Joint: A Review of Current Concepts and Possible Implications on the Rehabilitation of the Wrist. *Journal of Hand Therapy.* 2010;23(1):2-17.
68. Fan S, Padmore C, Kadar A, Chambers S, Langohr GDG, Suh N. The effect of four-corner fusion and proximal row carpectomy on uniplanar and multiplanar wrist motion: A biomechanical study. *J Orthop.* 2021;24:102-10.
69. Chim H, Moran SL. Long-term outcomes of proximal row carpectomy: a systematic review of the literature. *Journal of wrist surgery.* 2012;1(2):141-8.
70. Wall LB, Didonna ML, Kiefhaber TR, Stern PJ. Proximal row carpectomy: minimum 20-year follow-up. *J Hand Surg Am.* 2013;38(8):1498-504.
71. Oh E, Kim HJ, Hong S, Hwang J, Lim H, Park S, et al. Evaluation for fracture patterns around the wrist on three-dimensional extremity computed tomography, especially focused on the triquetrum. *J Med Imaging Radiat Oncol.* 2015;59(1):47-53.
72. Cansü E. Skafoïd harici karpal kemik kırıkları. *TOTBİD Dergisi.* 2014;13(2).
73. Levy M, Fischel RE, Stern GM, Goldberg I. Chip fractures of the os triquetrum: the mechanism of injury. *J Bone Joint Surg Br.* 1979;61-B(3):355-7.

74. Garcia-Elias M. Dorsal fractures of the triquetrum—avulsion or compression fractures? *The Journal of Hand Surgery*. 1987;12(2):266-8.
75. Marchessault J, Conti M, Baratz ME. Carpal fractures in athletes excluding the scaphoid. *Hand Clin*. 2009;25(3):371-88.
76. Bartone NF, Grieco RV. Fractures of the triquetrum. *J Bone Joint Surg Am*. 1956;38-a(2):353-6.
77. Smith DK, Murray PM. Avulsion fractures of the volar aspect of triquetral bone of the wrist: a subtle sign of carpal ligament injury. *AJR Am J Roentgenol*. 1996;166(3):609-14.
78. Bryan RS, dobyns JH. Fractures of the Carpal Bones Other than Lunate and Navicular. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 1980;149:107-11.
79. Ademoğlu E, Özdemir S, Eroğlu SE. Özel Radyografi Bulgusu ile Bilateral Triquetrum Kırığı. 2022.
80. Athanasiou V, Panagopoulos A, Iliopoulos ID, Vrahnis I, Diamantakis G, Kraniotis P, et al. Intra-articular Fracture of the Distal part of the Triquetrum within the Pisotriquetral Joint: Case Report and Review of Literature. *Open Orthop J*. 2018;12:84-90.
81. Christodoulou L, Palou CH, Chamberlain ST. Proximal Row Transcarpal Fracture from a Punching Injury. *Journal of Hand Surgery*. 1999;24(6):744-6.
82. Thomsen NO. A dorsally displaced capitate neck fracture combined with a transverse shear fracture of the triquetrum. *J Hand Surg Eur Vol*. 2013;38(2):210-1.
83. Porter ML, Seehra K. Fracture-dislocation of the triquetrum treated with a Herbert screw. *J Bone Joint Surg Br*. 1991;73(2):347-8.
84. Odgaard A. Three-dimensional methods for quantification of cancellous bone architecture. *Bone*. 1997;20(4):315-28.
85. Odgaard A, Linde F. The underestimation of Young's modulus in compressive testing of cancellous bone specimens. *Journal of Biomechanics*. 1991;24(8):691-8.
86. Carbon RJ. Exercise, amenorrhoea and the skeleton. *Br Med Bull*. 1992;48(3):546-60.

87. Hounsfield GN. Computerized transverse axial scanning (tomography). 1. Description of system. *Br J Radiol.* 1973;46(552):1016-22.
88. Sürmen HK. Bilgisayarli Tomografi Ile Üç Boyutlu (3b) Tarama. 4. 2023.
89. Feldkamp LA, Goldstein SA, Parfitt AM, Jesion G, Kleerekoper M. The direct examination of three-dimensional bone architecture in vitro by computed tomography. *J Bone Miner Res.* 1989;4(1):3-11.
90. Chen K-C, Arad A, Song Z-M, Croaker D. High-Definition Heart Visualization Using Micro-CT Scanning on Experimental Rats. *Journal of Clinical & Experimental Cardiology.* 2018;09.
91. Leyssens L, Pestiaux C, Kerckhofs G. A Review of Ex Vivo X-ray Microfocus Computed Tomography-Based Characterization of the Cardiovascular System. *Int J Mol Sci.* 2021;22(6).
92. Modi YK, Sanadhya S. Design and additive manufacturing of patient-specific cranial and pelvic bone implants from computed tomography data. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering.* 2018;40(10):503.
93. Renard Y, Hossu G, Chen B, Krebs M, Labrousse M, Perez M. A guide for effective anatomical vascularization studies: useful ex vivo methods for both CT and MRI imaging before dissection. *J Anat.* 2018;232(1):15-25.
94. Blery P, Pilet P, Bossche AV, Thery A, Guicheux J, Amouriq Y, et al. Vascular imaging with contrast agent in hard and soft tissues using microcomputed-tomography. *J Microsc.* 2016;262(1):40-9.
95. Grabherr S, Grimm J, Baumann P, Mangin P. Application of contrast media in post-mortem imaging (CT and MRI). *Radiol Med.* 2015;120(9):824-34.
96. Hong SH, Herman AM, Stephenson JM, Wu T, Bahadur AN, Burns AR, et al. Development of barium-based low viscosity contrast agents for micro CT vascular casting: Application to 3D visualization of the adult mouse cerebrovasculature. *J Neurosci Res.* 2020;98(2):312-24.

97. Sarhaddi D, Poushanchi B, Merati M, Tchanque-Fossuo C, Donneys A, Baker J, et al. Validation of Histologic Bone Analysis Following Microfil Vessel Perfusion. *J Histotechnol*. 2012;35(4):180-3.
98. Jorgensen SM, Demirkaya O, Ritman EL. Three-dimensional imaging of vasculature and parenchyma in intact rodent organs with X-ray micro-CT. *Am J Physiol*. 1998;275(3):H1103-14.
99. Hansen CC. Vascular anatomy of the human temporal bone. A preliminary report. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 1970;79(2):269-73.
100. Shah MA, Viegas SF. Fractures of the carpal bones excluding the scaphoid. *Journal of the American Society for Surgery of the Hand*. 2002;2(3):129-40.
101. Suh N, Ek ET, Wolfe SW. Carpal Fractures. *The Journal of Hand Surgery*. 2014;39(4):785-91.
102. Remedios A. Bone and Bone Healing. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. 1999;29(5):1029-44.
103. Welling RD, Jacobson JA, Jamadar DA, Chong S, Caoili EM, Jebson PJL. MDCT and Radiography of Wrist Fractures: Radiographic Sensitivity and Fracture Patterns. *American Journal of Roentgenology*. 2008;190(1):10-6.
104. Abboud, J, Beredjiklian, PK, Bozentka, DJ. Nonunion of a Triquetral Body Fracture: A Case Report. *The Journal of Bone & Joint Surgery* 2003; 85(12):p 2441-2444.
105. Al Rashid M, Rasoli S, Khan WS. Non-union of isolated displaced triquetral body fracture--a case report. *Ortop Traumatol Rehabil*. 2012 Jan-Feb;14(1):71-4.
106. Horras N, Barthlen W, Wildbrett P. A rare case of an isolated triquetrum body fracture in a 14-year-old boy. *Afr J Paediatr Surg*. 2012 May-Aug;9(2):157-8.
107. Riederer JM, Adler T, Vögelin E, Haug L. Dorsal Bone-Ligament-Bone Reconstruction of Chronic Lunotriquetral Instability: Biomechanical Testing. *J Hand Surg Glob Online*. 2021;3(1):47-55.
108. Huang HK, Tsai TY, Wang JP. Reduction and Association of the Lunotriquetral Ligament for Reverse Perilunate Dislocation. *J Wrist Surg*. 2019;8(6):508-12.

109. Vitale MA, Shin AY. Avascular necrosis of the scaphoid following a scapholunate screw: a case report. *Hand (N Y)*. 2013;8(1):110-4.
110. De Smet L, Sciort R, Degreef I. Avascular necrosis of the scaphoid after three-ligament tenodesis for scapholunate dissociation: case report. *J Hand Surg Am*. 2011;36(4):587-90.
111. Shin AY, Weinstein LP, Berger RA, Bishop AT. Treatment of isolated injuries of the lunotriquetral ligament. A comparison of arthrodesis, ligament reconstruction and ligament repair. *J Bone Joint Surg Br*. 2001;83(7):1023-8.
112. Harper CM, Iorio ML. Lunotriquetral Ligament Reconstruction Utilizing a Palmaris Longus Autograft. *J Hand Surg Asian Pac Vol*. 2017;22(4):544-7.
113. Yao J, Zlotolow DA, Lee SK. ScaphoLunate Axis Method. *J Wrist Surg*. 2016;5(1):59-66.
114. Botte MJ, Mortensen WW, Gelberman RH, Rhoades CE, Gellman H. Internal vascularity of the scaphoid in cadavers after insertion of the Herbert screw. *J Hand Surg Am*. 1988;13(2):216-20.
115. Gelberman RH, Menon J. The vascularity of the scaphoid bone. *The Journal of Hand Surgery*. 1980;5(5):508-13.
116. Vander Griend R, Dell PC, Glowczewskie F, Leslie B, Ruby LK. Intraosseous blood supply of the capitate and its correlation with aseptic necrosis. *J Hand Surg Am*. 1984;9(5):677-83.