



T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ
ANABİLİM DALI

**EL BİLEK SLAK VE SNAK LEZYONU SONRASI FARKLI
İTERKARPAL ARTRODEZ TEKNİKLERİNİN EL BİLEK
BİYOMEKANİĞİNE ETKİLERİ: FİNİTE ELEMENT ANALİZ
ÇALIŞMASI**

TIPTA UZMANLIK TEZİ

Dr. Mehmet Kemal GÜRSOY

Antalya, 2023



T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ
ANABİLİM DALI

EL BİLEK SLAK VE SNAK LEZYONU SONRASI FARKLI
İNTERKARPAL ARTRODEZ TEKNİKLERİNİN EL BİLEK
BİYOMEKANİĞİNE ETKİLERİ: FİNİTE ELEMENT ANALİZ
ÇALIŞMASI

TIPTA UZMANLIK TEZİ

Dr. Mehmet Kemal GÜRİSOY

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Haluk ÖZCANLI

'Kaynak Gösterilerek Tezimden Yararlanılabilir'

Antalya, 2023

TEŞEKKÜR

Asistanlık sürecimin her aşamasında değerli fikir ve görüşleriyle desteğini esirgemeyen, cerrahi yetilerimin ve güvenimin gelişmesi için beni destekleyen, kendisinden çok şey öğrendiğim ve öğrenmeye devam edeceğim tez danışmanım Prof. Dr. Haluk ÖZCANLI'ya büyük saygı ve şükranlarımı sunarım.

Asistanlık sürecim boyunca her türlü bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan ve desteklerini her zaman hissettiren kıymetli hocalarım Prof. Dr. Hakan ÖZDEMİR'e Prof. Dr. Mustafa ÜRGÜDEN'e, Doç. Dr. Tayyar Kürşat DABAK'a, Doç. Dr. Osman CİVAN'a; asistanlığımın bir bölümünde birlikte çalışma fırsatı bulduğum Prof. Dr. Serdar TÜZÜNER'e, Prof. Dr. Yetkin SÖYÜNCÜ'ye, Prof. Dr. Mehmet Serhan ER'e sonsuz saygı ve şükranlarımı sunarım.

Bugünlere gelmemde emeği olan, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, babam Süleyman Alp GÜRSOY, annem Şenay GÜRSOY, kardeşim Şule Zuhal DURAK'a ömür boyu sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Gece gündüz birlikte çalıştığım tüm zorluklar karşısında hep birlikte mücadele ettiğimiz bana her konuda desteklerini esirgemeyen asistan arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Asistanlık hayatımın bir kısmında beraber çalışma fırsatı bulduğum, bana olan sevgisi ve desteğini her zaman hissettiğim ve ömrümün sonuna kadar birlikte geçirmek istiyim Duygu AK'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Simgeler ve Kısaltmalar Dizini	vi
Şekiller Dizini	viii
Tablolar Dizini	xiv
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. El Bilek Anatomi	3
2.1.1. El Bilek Kemikleri	3
2.1.2. El Bileği Bağları	5
2.2. El Bilek Biyomekaniği	7
2.2.1. El Bileği Kararlı Dengesi	9
2.2.2. El Bileği Bağlarının Biyomekanik Özellikleri	10
2.2.3. El Bileği Kinetiği	11
2.2.4. El Bilek Kineziyoloji	12
2.3. El Bilek Biyomekanik Modellemeler	12
2.4. Karpal İnstabilite	15
2.5 Skafalunat İleri Kollaps (SLAK) ve Skafoid Kaynamama İleri Kollaps (SNAK) El Bilek Artrozu	20
2.5.1. Giriş	20
2.5.2. Etiyoloji	20

2.5.3. Klinik Değerlendirme	22
2.5.4. Görüntüleme	22
2.5.5. Ameliyatsız Tedavi	22
2.5.6. Cerrahi Tedavi Seçenekleri	23
2.5.6.1. El Bilek Denervasyonu	23
2.5.6.2. Radyal Stiloidektomi	24
2.5.6.3. Distal Kutup Skafoid Eksizyonu	25
2.5.6.4. Kısmi El Bilek Artrodezleri	25
Dört Köşe Artrodez K Telleri ve Vidalar	26
Dört Köşe Artrodez Dairesel Plaklar	27
Kapitolunat Artrodez	28
2.5.6.5. Proksimal Sıra Karpektomi	29
Evre III SLAK/SNAK El Bileğinde PRK	31
PRK'ya Karşı Dört Köşeli Artrodez	32
2.5.6.6. Total El Bilek Artrodezi	33
3. GEREÇ VE YÖNTEM	35
3.1.  Boyutlu Modelin Hazırlanması	35
3.2. Sonlu Elemanlar Modellerinin Oluşturulması	36
3.3. Sınır Koşullarının Belirlenmesi	37
3.4. Füzyon Modellerinin Oluşturulması	41

4. SONUÇLAR	44
4.1. Referans El Bilek Modeli	44
4.2. Lunokapitat Füzyon Modeli	45
4.3. Kapitolunat Füzyon Modeli	47
4.4. Lunokapitat Triquetrohmat Füzyon Modeli	49
4.5. Kapitolunat Lunotriquetral Triquetrohmat Füzyon Modeli	50
4.6. Lunokapitat Hamatokapitat Füzyon Modeli	52
4.7. Triquetrium Olmadığı Lunokapitat Füzyon Modeli	54
4.8. Triquetrium Olmadığı Kapitolunat Füzyon Modeli	55
4.9. Triquetrium Olmadığı Lunokapitat Hamatokapitat Füzyon Modeli	57
5. TARTIŞMA	61
6. ÖZET	65
7. ABSTRACT	66
8. KAYNAKLAR	67

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AEHA	Aktif Eklem Hareket Açıklığı
AIN	Anterior Interosseöz Sinirin
ANSYS	Workbench Version 21, Ansys Inc. USA
AxRI	Aksial Radial İnstabilite
AxUI	Aksial Ulnar İnstabilite
BT	Bilgisayarlı Tomografi
CPPD	Kalsiyum Pirofosfat Dehidrat Depozisyon Hastalığı
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
DISI	Dorsal Intercalated Segmental Instability
DT	Dorsal Translasyon
EKRB	Ekstansör Karpi Radialis Brevis
EKRL	Ekstansör Karpi Radialis Longus
EKU	Ekstansör Karpi Ulnaris
EHA	Eklem Hareket Açıklığı
FKR	Fleksör Karpi Radialis
FKU	Fleksör Karpi Ulnaris
K	Kirschner
KKI	Kompleks Karpal İnstabilite
KIA	Karpal Instability Adaptive

KIC	Karpal Instability Combined or Complex
KID	Karpal Instability Dissociative
KIND	Karpal Instability Nondissociative
MKI	Mid Karpal İnstabilite
MIMICS®	Materialize's Interactive Medical Image Control System
MR	Manyetik Rezonans
PIN	Posterior İnterosseöz Sinirin
PRK	Proksimal Sıra Karpektomi
PT	Proksimal Translasyon
ROM	Range of Motion
RSC	Palmar Radyoskafokapitat
RT	Radial Translasyon
SLAK	Skafolunat Advance Kollaps
SNAK	Skafoid Nonunion Advance Kollaps
STL	Stereolithography
UT	Ulnar Translasyon
VISI	Volar Intercalated Segmental Instability

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 1	El bileğinin dorsal görünümü	4
Şekil 2	El bileğinin volar görünümü	5
Şekil 3	El bileği bağları	6
Şekil 4	XYZ koordinat sistemi üzerinde el bileği kinematik eksenleri (x eksen: fleksiyon-ekstansiyon, y eksen: pronasyon- supinasyon, z eksen: ulnar-radial deviasyon)	9
Şekil 5	El bileği stabilitesinden sorumlu temel bağlar	10
	1 - Triquetrohamatokapitat bağ	10
	2 - Radiolunotriquetral bağ	10
	3 - Radioskafokapitat bağ	10
	4 - Skafotrapeziotrapezoid bağ	10
Şekil 6	Metakarplardan gelen yüklerin karpal kemikler üzerinden önkola aktarılması	12
Şekil 7	Geleneksel teori	13
Şekil 8	Kolon teorisi	13
Şekil 9	Taleisnik teorisi	14
Şekil 10	Oval ring teorisi	14
Şekil 11	Uzunlamasına kolon teorisi	15
Şekil 12	Watson sınıflandırması (SLAK)	21

Evre 1: Skafoid ve radyal stiloid arasındaki artroz	21
Evre 2: Skafoid ile yarıçapın tüm skafoid faseti arasındaki artroz	21
Evre 3: Kapitat ve lunat arasındaki artroz	21
Şekil 13 SNAK radyografik sınıflama	21
Evre 1: Skafoidin radyal tarafında ve radyal stiloidde lokalize artroz	21
Evre 2: Evre 1'e ek olarak skafokapitat artroz	21
Evre 3: Periskafoid artroz (proksimal lunat ve kapitat korunabilir)	21
Şekil 14 MIMICS® programında verilerden üç boyutlu model oluşturulması	35
Şekil 15 Referans modelin 3 boyutlu katı modeli	36
Şekil 16 Referans el bileği modelin ağ yapısı	37
Şekil 17 El bileği koordinat sistemleri	38
Şekil 18 Sonlu elemanlar modeli sınır şartları	40
Şekil 19 Füzyon modellerinde modellere uygun boyutlarda gösterildiği gibi 32 ve 26 mm uzunluklarında $\emptyset 3.5$ 'luk iki farklı başsız kanüllü vida kullanılmıştır	41
Şekil 20 Lunokapitat füzyon'un 3 boyutlu katı modeli ($\emptyset 3.5$ 'luk başsız kanüllü vida 32 mm'lik vida ile füzyon)	41
Şekil 21 Kapitolunat füzyon'un 3 boyutlu katı modeli ($\emptyset 3.5$ 'luk başsız kanüllü vida 32mm'lik vida ile füzyon)	42

Şekil 22	Lunokapitat triquetrohamat füzyon'un 3 boyutlu katı modeli (2 adet ø3.5'luk başsız kanüllü vida 32 mm'lik vida ile füzyon)	42
Şekil 23	Kapitolunat lunotriquetral triquetrohamat füzyon'un 3 boyutlu katı modeli	42
Şekil 24	Lunokapitat hamatokapitat füzyon'un 3 boyutlu katı modeli	42
Şekil 25	Triquetrimun çıkarıldığı lunokapitat füzyon'un 3 boyutlu katı modeli	43
Şekil 26	Triquetrimun çıkarıldığı kapitolunat füzyon'un 3 boyutlu katı modeli	43
Şekil 27	Triquetrimun çıkarıldığı lunokapitat hamatokapitat füzyon'un 3 boyutlu katı modeli	43
Şekil 28	Referans el bilek modelinde ekstansiyon değeri	44
Şekil 29	Referans el bilek modelinde fleksiyon değeri	44
Şekil 30	Referans el bilek modelinde pronasyondaki elin radial deviasyon değeri	45
Şekil 31	Referans el bilek modelinde pronasyondaki elin ulnar deviasyon değeri	45
Şekil 32	Lunokapitat füzyon modelinde ekstansiyon hareketi	46
Şekil 33	Lunokapitat füzyon modelinde fleksiyon hareketi	46
Şekil 34	Lunokapitat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğin radial deviasyonu	46

Şekil 35	Lunokapitat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğın ulnar deviasyonu	47
Şekil 36	Kapitolunat füzyon modelinde ekstansiyon hareketi	47
Şekil 37	Kapitolunat füzyon modelinde fleksiyon hareketi	48
Şekil 38	Kapitolunat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğın radial deviasyonu	48
Şekil 39	Kapitolunat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğın ulnar deviasyonu	48
Şekil 40	Lunokapitat triquetrohamat füzyon modelinde ekstansiyon hareketi	49
Şekil 41	Lunokapitat triquetrohamat füzyon modelinde fleksiyon hareketi	49
Şekil 42	Lunokapitat triquetrohamat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğın radial deviasyonu	50
Şekil 43	Lunokapitat triquetrohamat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğın ulnar deviasyonu	50
Şekil 44	Kapitolunat lunotriquetral triquetrohamat füzyon modelinde ekstansiyon hareketi	51
Şekil 45	Kapitolunat lunotriquetral triquetrohamat füzyon modelinde fleksiyon hareketi	51
Şekil 46	Kapitolunat lunotriquetral triquetrohamat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğın radial deviasyonu	51
Şekil 47	Kapitolunat lunotriquetral triquetrohamat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğın ulnar deviasyonu	52

Şekil 48	Lunokapitat hamatokapitat füzyon modelinde ekstansiyon hareketi	52
Şekil 49	Lunokapitat hamatokapitat füzyon modelinde fleksiyon hareketi	53
Şekil 50	Lunokapitat hamatokapitat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğin radial deviasyonu	53
Şekil 51	Lunokapitat hamatokapitat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğin ulnar deviasyonu	53
Şekil 52	Triquetrium olmadığı lunokapitat füzyon modelinde ekstansiyon hareketi	54
Şekil 53	Triquetrium olmadığı lunokapitat füzyon modelinde fleksiyon hareketi	54
Şekil 54	Triquetrium olmadığı lunokapitat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğin radial deviasyonu	55
Şekil 55	Triquetrium olmadığı lunokapitat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğin ulnar deviasyonu	55
Şekil 56	Triquetrium olmadığı kapitolunat füzyon modelinde ekstansiyon hareketi	56
Şekil 57	Triquetrium olmadığı kapitolunat füzyon modelinde fleksiyon hareketi	56
Şekil 58	Triquetrium olmadığı kapitolunat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğin radial deviasyonu	56
Şekil 59	Triquetrium olmadığı kapitolunat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğin ulnar deviasyonu	57

Şekil 60	Triquetrium olmadığı lunokapitat hamatokapitat füzyon modelinde ekstansiyon hareketi	57
Şekil 61	Triquetrium olmadığı lunokapitat hamatokapitat füzyon modelinde fleksiyon hareketi	58
Şekil 62	Triquetrium olmadığı lunokapitat hamatokapitat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğin radial deviasyonu	58
Şekil 63	Triquetrium olmadığı lunokapitat hamatokapitat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğin ulnar deviasyonu	59



TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo</u>		<u>Sayfa</u>
Tablo 1	Mayo klinik karpal instabilite sınıflaması	18
Tablo 2	Larsen'in karpal instabilite sınıflaması (modifiye edilmiş haliyle)	19
Tablo 3	Radiusa göre normal karpal kemik hareketleri	39
Tablo 4	Sınırlı koşullara sahip elbilek modeli üzerinde gerçekleştirilen füzyon modellerinin EHA sonuçları	59
Tablo 5	Sınırlı koşullara sahip elbilek modeli üzerinde gerçekleştirilen füzyon modellerinde ekstansiyon, fleksiyon, ulnar ve radial devasyonlar sırasında vidalarda oluşan maksimum gerilme kuvvetleri	60

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Eklem stabilitesi; hareketler esnasında eklem kararlı dengesinin korunması ve eklem hareket açıklığının (EHA) tam olması olarak tanımlanabilir. El bileği kemikleri için bu durumun korunamaması el bileği instabilitesi olarak adlandırılır. El bileği kararlı yapısının korunması günlük aktiviteler için gerekli olan EHA'nın sağlanması yaşam kalitesi için önemlidir. Karpal kemiklerde oluşan patolojiler veya el bileği bağlarının rüptürü, yaralanmaları ya da dejenerasyonu sonucu karpal yük dağılımında ve hareketlerde oluşan düzensizlik ise karpal instabilite olarak adlandırılır. Skafoid kaynamaması, skafoid avasküler nekrozu, Kienböck Hastalığı gibi el bileği patolojileri esnasında el bileğinde instabilite gelişebilir (1). Bu hastalıklarda ortak semptomlar el bileğinde ağrı, hassasiyet ve EHA'nın kısıtlılığıdır. Bunların bir sonucu olarak da el bileği fonksiyonlarının tam yerine getirilememesidir. Semptomların giderilmesi ve el bileğinin fonksiyonlarının tekrar kazanabilmesi için bazı cerrahi uygulamalar yapılmaktadır. Sınırlı Karpal Füzyonlar da bu amaçla uygulanan işlemlerdendir. Skafotrapeziotrapezoid Füzyon, Dört Köşe Füzyon, Kapitoamat Füzyon, Skafolunat Füzyon, Radioskafolunat Füzyon Sınırlı Karpal Füzyonlara verilebilecek örneklerdendir. Sınırlı Karpal Füzyonlar üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalar; füzyonlar sonrası eklem aralıklarına gelen basınç değişikliklerinin incelendiği biyomekanik çalışmalar, füzyonlarla diğer cerrahi işlemlerin (Örn: Proksimal Sıra Karpektomi - Dört Köşe Füzyon) karşılaştırıldığı, klinik takiplerin derlendiği çalışmalar ve füzyonlarda kullanılan farklı implantların (Dört Köşe Füzyonda Plak - Kirschner Teli Kullanımı) klinik sonuçlarının karşılaştırıldığı çalışmalardır. Biz Sınırlı Karpal Füzyonlar sonrası yapılan çalışmalarda daha önce biyomekanik olarak incelenmemiş sorulara cevap bulmak için bu çalışmayı planladık. Çalışmayı planlarken; skafoid nonunion advance kollaps (SNAK) ve skafolunat advance kollaps (SLAK) ilerleyici el bilek artrozu sonucu ağrı ve EHA kaybı ile sonuçlanan hastalıklardır. Biz bu hastalıkların tedavileri için kullanılan (Lunokapitata, Lunokapitoamat, için 3D bilgisayar modelle tabanlı biyomekanik çalışma ile ROM'un karşılaştırıldığı bir çalışma tasarladık. Bu çalışmamızdaki amacımız farklı cerrahi tekniklerin modellemeleri ile oluşturduğumuz sınırlı karpal füzyonların

EHA'larını karşılaştırmak, daha az füzyon materyali kullanarak daha yüksek ROM ve kararlı el bilek ekleminin nasıl oluşturulabileceğini araştırmaktır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. El Bilek Anatomi

El bileği eklemi 8 karpal kemik, bunlarla eklem yapan 5 metakarp, radius ve ulnayı da kapsayan 15 kemikten oluşur. 15 kemiğin birbiriyle yaptığı eklemler, 15 tendon ve yaklaşık 30 bağla beraber el bileği vücudun karmaşık eklemidir.

2.1.1. El Bilek Kemikleri (Şekil 1, 2)

Radius: Önkol iskeletini yapan iki kemiğin anatomik planda lateralde bulunanıdır. El bileğinde skafoid, lunatum ve ulnaya eklem yapar (1).

Ulna: Önkol iskeletini yapan iki kemiğin anatomik planda medialde bulunanıdır. El bileğinde lunatum, triquetrum ve radiusla eklem yapar. Lunatum ve triquetrumla ulnanın arasını diskus artikularis (triangularis) ile doldurulur. El bileğinden kola geçen yüklere karşı ulnayı ve dirseği koruyan önemli bir yapıdır (2).

Karpal kemikler 8 tanedir. Proksimal sıra anatomik planda lateralden mediale skafoid, lunatum, triquetrum ve pisiform kemikten oluşur. Distal sıra anatomik planda lateralden mediale trapezium, trapezoideum, kapitatium ve hamatumdan oluşur.

Proksimal Sıra

Skafoid: Proksimal sıranın en lateralindeki kemiktir. Proksimal sıranın en büyük kemiğidir. Radius, lunatum, kapitatium, trapezium ve trapezoideumla eklem yapar.

Lunatum: Skafoidin hemen medialinde bulunur. Radius, ulna, skafoid, triquetrum, kapitatium ve hamatumla eklem yapar.

Triquetrum: Lunatum, pisiform, hamatum ve diskus artikularis ile ulnaya eklem yapar.

Pisiform: Proksimal sıranın en medialindeki kemiktir. Yalnızca triquetrumla eklem yapar. Fleksör karpi ulnaris (FKU) tendonu içerisine gömülmüş sesamoid bir kemiktir.

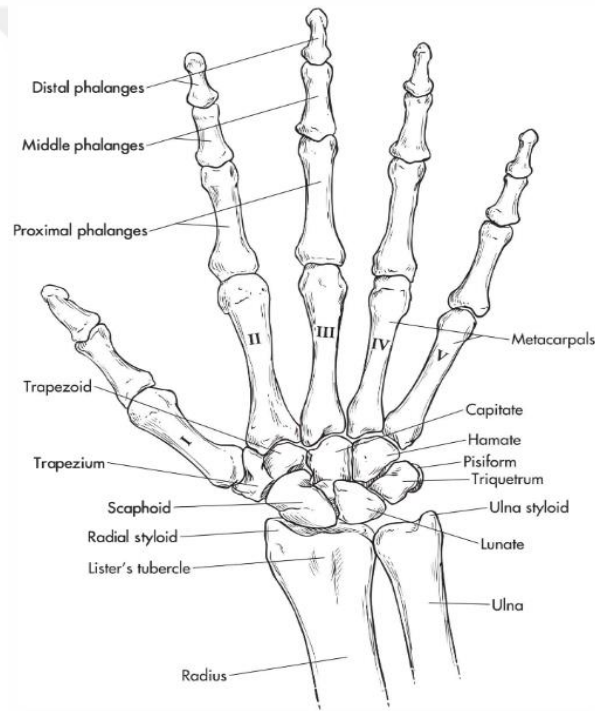
Distal Sıra

Trapezium: Distal sıranın en lateralindeki kemiktir. Skafoid, trapezoideum ve birinci metakarpla eklem yapar.

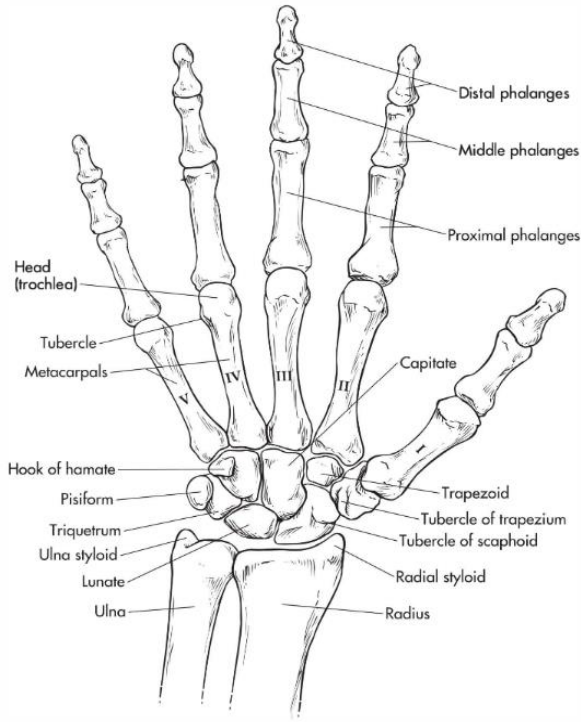
Trapezoideum: Skafoid, trapezium, kapitatum ve ikinci metakarpla eklem yapar.

Kapitatum: Karpal kemiklerinin en büyüğüdür. Skafoid, lunatum, trapezoideum, hamatum ikinci, üçüncü ve dördüncü metakarpla eklem yapar (2).

Hamatum: Distal sıranın en medialindeki kemiktir. Lunatum, triquetrum, kapitatum, dördüncü ve beşinci metakarpla eklem yapar.



Şekil 1: El bileğinin dorsal görünümü



Şekil 2: El bileğinin volar görünümü

2.1.2. El Bileği Bağları

El bileği bağları için çok farklı tanımlamalar kullanılmıştır. Aynı bağın farklı tanımlamalarda farklı isimler aldığı görülebilmektedir.

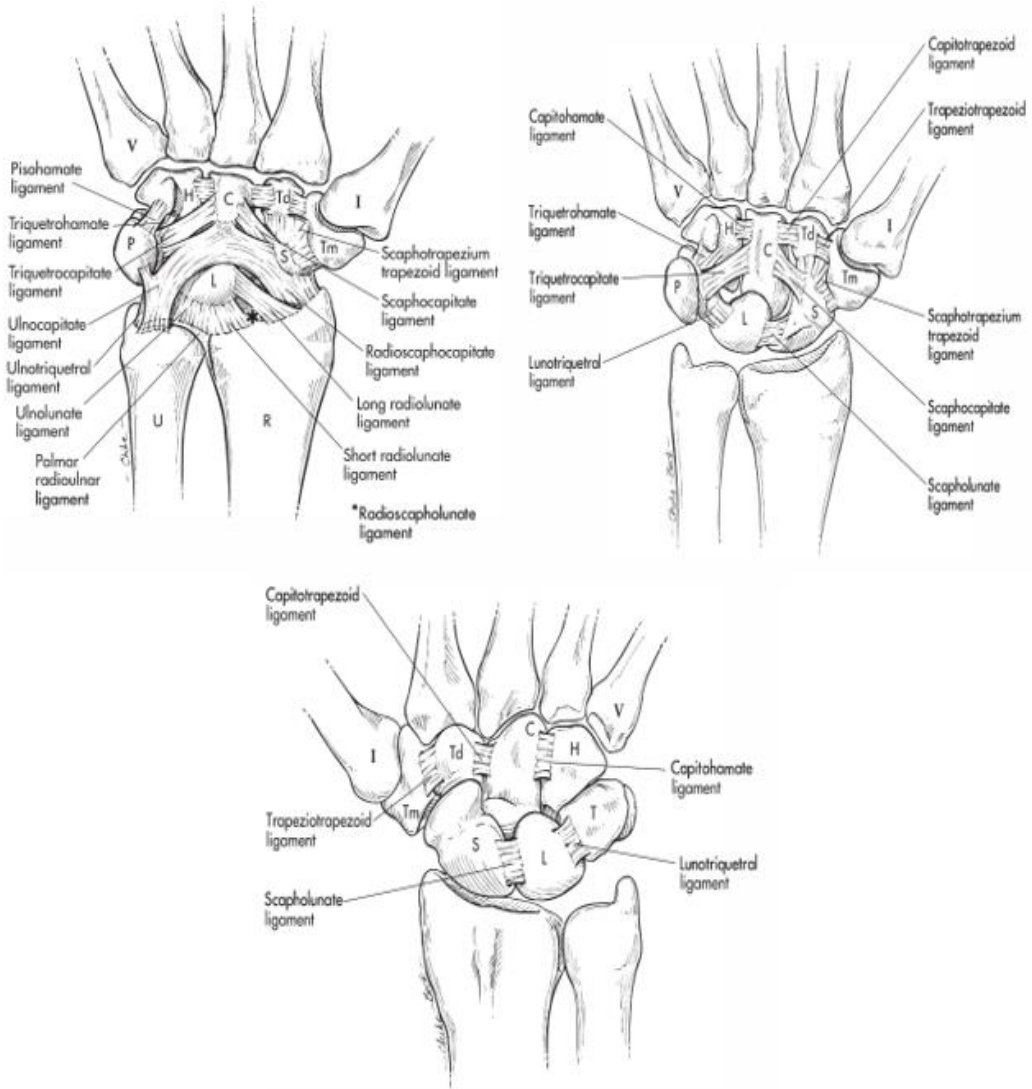
Anatomik yerlerine göre: Palmar, dorsal bağlar olarak ikiye; palmar bağlar da kendi içinde yüzeysel ve derin olarak ikiye ayrılır (3, 4) (Şekil 3).

Palmar yüzeysel bağlar 7 tanedir. Radioskafoid, Radiokapitat, uzun Radiolunat, Ulnokapitat, Skafokapitat, Pisolamat, Transvers Karpal Bağ palmar yüzeysel bağlardır. Palmar yüzde derin yerleşimli 8 bağ bulunmaktadır. Kısa Radiolunat, Ulnolunat, Ulnolunotriquetral, Skafolunat (Palmar lifler), Lunotriquetral (Palmar lifler), Triquetrohamatokapitat, Skafotrapezoid, distal sıranın palmar transvers interosseöz bağı palmar tarafın derin bağlarıdır. Dorsal yüzün bağları da 5 adettir. Radiotriquetral, Triquetroskafotrapezotrapezoid, Skafolunat (Dorsal lifler), Lunotriquetral (dorsal lifler), distal sıranın dorsal transvers interosseöz bağı dorsal yüzdeki bağlardır. El bileği bağlarının tanımlanmasında kullanılan başka bir yöntem de önkolla ilişkilerine göre yapılan sınıflamadır. Bu sınıflamaya göre el bileği bağları ekstrinsek ve intrinsek bağlar

olarak ikiye ayrılır (5, 6). Ekstrinsek bağların başlangıç veya bitiş noktaları önkoldayken, intrinsik bağlar yalnız el bileğiyle sınırlıdır.

Ekstrinsek Bağlar: Radioskafoid, Radioskafokapitat, Radiotriquetral, Radioskafolunat, uzun Radiolunat, kısa Radiolunat, Ulnotriquetral, Ulnolunat, Ulnokapitat bağlardır (Bazı tanımlayıcılara göre Lunotriquetral bağ Radiolunotriquetral kompleks olarak değerlendirilir ve ekstrinsek kabul edilir) (5, 6).

İntrinsik Bağlar: Skafolunat, Skafokapitat, Skafotrapeziotrapezoid, Lunotriquetral, Triquetrokapitohamat, bağlardır (5, 6).



Şekil 3: El bileği bağları

2.2. El Bilek Biyomekaniği

El bileği sagittal planda fleksiyon-ekstansiyon, frontal planda ulnar-radial deviasyon hareketlerine sahiptir. Ayrıca tüm önkolu ilgilendiren supinasyon-pronasyon hareketine de dâhil olur (Şekil 4). El bileği hareketlerini değerlendirmede el gonyometrisi, röntgen spektrofotometri, düşük frekanslı manyetik alan veya Bilgisayarlı Tomografi (BT) rekonstrüksiyonu gibi yöntemler kullanılabilir. Çeşitli yöntemlerle yapılan el bileği EHA ölçümlerinde elde edilen sonuçlar birbirlerine yakındır.

Fleksiyon-ekstansiyon: El bileğinde ortalama aktif ekstansiyon 80° , aktif fleksiyon 85° ; pasif EHA'lar ise beşer derece daha fazladır. Dominant el bileğinde bu değerler biraz daha yüksektir (7). El bileği radial, ulnar deviasyona getirildiğinde veya önkol pronasyonunda fleksiyon-ekstansiyon hareket miktarı azalmaktadır. Her iki duruma da el bileği bağlarının gerginliğinin artmasının yol açtığı bilinmektedir. Fleksiyon hareketi %40 radiokarpal eklemden, %60 midkarpal eklemden sağlanır. Ekstansiyonda ise hareketi %65 radiokarpal eklemden, %35 midkarpal eklemden sağlanır (8).

Radial-ulnar deviasyon: Radial deviasyon 15° , ulnar deviasyon 35° kadardır. Toplamda 50° 'lik radioulnar deviasyon miktarı vardır. Önkol supinasyondayken ulnar deviasyon daha fazladır. El bileği fleksiyon veya ekstansiyondayken radioulnar deviasyon yine bağların gerilmesine bağlı en kısıtlı halini alır. Deviasyon esnasında distal ve proksimal sıra ayrı yönlerde hareket eder. Radial deviasyonda distal sıra radiale, proksimal sıra ulnare kayar. Ulnar deviasyon esnasında tersi söz konusudur.

Ulnar deviasyonun radial deviasyondan daha fazla olması radial stiloidin kısıtlayıcı etkisine bağlıdır. Radioulnar deviasyon kişiler arasında da farklılık gösterebilir. Örneğin ulna minusların ulnar deviasyonu toplum ortalamasının üstündedir, ulna plusların da radial deviasyonu toplum ortalamasının üstündedir. Radioulnar deviasyonda pasif hareketlerde daha fazladır. Radial deviasyon dominant tarafta daha fazladır (9).

Fleksiyon, ekstansiyon, radial ve ulnar deviasyon hareketlerinin birleşmesiyle sirkümdiksiyon hareketi ortaya çıkar. Bu sikümfleksiyon hareketiyle

karıştırılmamalıdır. Sirkümdiksiyonda el bileği ekstansiyon ve radial deviasyondan, fleksiyon ve ulnar deviasyona doğru ilerler (10).

El bileği hareketlerinin incelendiği çalışmalar sonucunda 5° fleksiyon, 30° ekstansiyon, 10° radial deviasyon ve 15° ulnar deviasyonun günlük yaşam için yeterli olduğu bulunmuştur (11, 12).

El bileği hareketleri sırasında karpal kemiklerde de farklı hareketler görülmektedir.

Skafoid: El bileği fleksiyonunda skafoid fleksiyon ve ulnar deviasyona gelir. El bileği ekstansiyonunda skafoid ekstansiyona ve radial deviasyona gelir.

Lunatum: Skafoidle aynı hareketleri yapar. Ancak el bileğinin en az hareket eden kemiğidir.

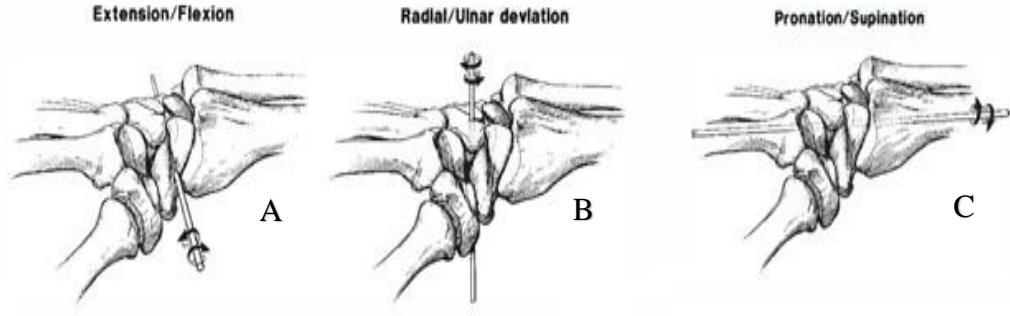
Kapitatum: Kapitatum el bileği hareketlerinin aynısını yapar. Uzun aksı el bileğine dik kalır.

Hamatum: Kapitatumla aynı hareketleri yapar, hareket miktarı daha azdır.

Triquetrum: El bileği ekstansiyonunda ekstansiyon, radial deviasyon, supinasyon yapar; el bileği fleksiyonunda fleksiyon, ulnar deviasyon, pronasyon yapar. Radial ve ulnar deviasyonda aynı hareketleri yapar (14).

Trapezium-trapezoideum: Birinci metakarpın hareketlerini yapar. Karpal kemiklerin kendi hareketlerine ek olarak birbirleri arasında da hareketleri vardır.

Dönme Merkezi: Youm ve ark. (15), yaptıkları çalışmada el bileği hareketleri dönme merkezinin fleksiyon-ekstansiyon hareketi sırasında kapitatumun yukarı korteksinde ve uzun ekseninin üzerinde, radial-ulnar deviasyon esnasında ise uzun eksenin hemen ulnar tarafında ve 1/4 yukarı kısmında olduğunu belirlemişlerdir (15). Daha sonra dönme merkezi kavramının yerini anlık dönme merkezi kavramının almasıyla; dönme merkezinin skafoid üzerinden radiusa doğru, açıklığı radiale bakan bir eğri çizdiği gösterilmiştir (16).



Şekil 4: XYZ koordinat sistemi üzerinde el bileği kinematik eksenleri (x eksen: fleksiyon-ekstansiyon, y eksen: pronasyon-supinasyon, z eksen: ulnar-radial deviasyon)

2.2.1. El Bileği Kararlı Dengesi

El bileğinin kararlı dengesi, yükler karşısında karpal kemiklerin tüm hareket genişliği boyunca birbirleriyle olan ilişkilerini ve uyumlarını kaybetmemeleridir. Bunun sağlanmadığı durumlar ise el bileği kararsızlığıdır. Kararlı dengeyi eklem yüzeyleri ve bağlar sağlar. El bileği dengesi konusunda hala birçok cevaplanamamış soru vardır. Bunun asıl sebebi bağlar konusunda yeterli bilgiye sahip olmamamızdır.

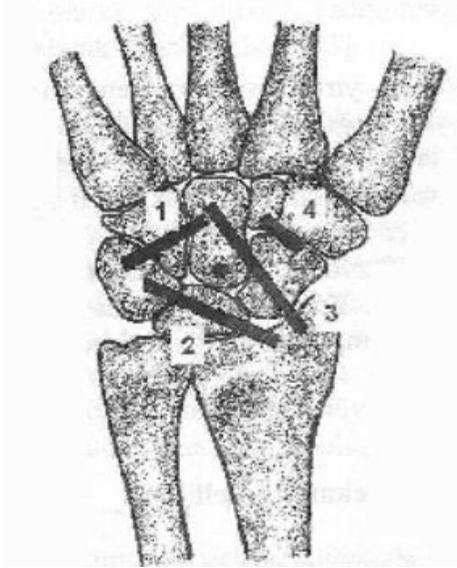
El bileği bağları dorsal, palmar ve interosseöz bağlar olarak üç gruba ayrılır. Bağların tam sayısı belli değildir. Klasik kaynaklarda el bileği bağlarının sayısı, hatta isimleri bile farklıdır. 30-35 arası bağ tariflenmiştir. Bu bağların zedelenmesi sonucu el bileği kararsız dengesi olduğu öne sürülmektedir (17). Ancak bir taraftan da, tüm bağların gerçek anlamıyla bağ yapısı taşımadığı, bazılarının kapsülün belirli bölgelerde kalınlaşması sonucu oluştuğunu gösteren çalışmalar vardır (18).

El bileği kararlı dengesini sağlamada en önemli bağ skafolunat bağıdır. Bu bağın zedelenmesi, ciddi bir instabilite olan skafolunat ayrılmaya yol açar ve bu el bileği için kararsız bir durumdur.

Radiolunotriquetral, Skafotrapeizotrapezoid, Triquetrohmatokapitat, Radioskafokapitat bağların zedelenmesi de kararsız dengeye yol açmaktadır. Bu bağlar pisiform kemik dışında tüm karpal kemikleri ve radiusu birbirine bağlamaktadır (Şekil 5) (18).

Sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılan el bileği çalışmalarında 143 Newton çekme kuvveti sırasında en fazla yüklenmenin sırasıyla lunotriquetral, radiokapitat, ulnokapitat ve skafolunat bağlarda olduğu bulunmuştur (19). Radiotriquetral bağda ise hiç yüklenme saptanmamıştır. Yapılan bir çalışmada bağlar çıkarılarak yük dağılımı incelenmiştir. Bu çalışmada bağların çıkarılmasıyla saptanan en önemli bulgu, interosseöz bağların tek başına yokluğunun sorun yaratmadığı, ancak bunları örten palmar bağların çıkarılmasının kararsız denge ile sonuçlandığı gerçeğidir (19).

El bileğinde bir bağın veya kemiğin eksize edilmesi durumunda kararsız denge ile görülmekle beraber, tam tersi durumda da yani aksesuar kemik olması durumunda da kararsız denge oluşabilmektedir.



Şekil 5: El bileği stabilitesinden sorumlu temel bağlar (13)

- 1- Triquetrohamatokapitat bağ
- 2- Radiolunotriquetral bağ
- 3- Radioskafokapitat bağ
- 4- Skafotrapeziotrapezoid bağ

2.2.2. El Bileği Bağlarının Biyomekanik Özellikleri

El bileğindeki bağların özelliklerini incelemeye yönelik çalışmalar, invitro yapılan germe, direnç, uzama gibi verilerle yapılmaktadır. Ancak invitro çalışmalarda bağlar uzunlamasına çekilerek değerlendirildiği için bulunan değerler,

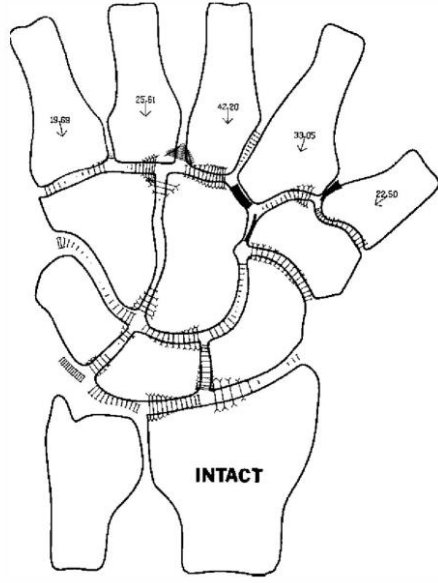
hiçbir zaman bağların yapıştığı karpal kemiklerin çok farklı eksenlerde yaptığı hareketlere uymamaktadır.

İnterosseöz bağlar diğer bağlara göre daha dirençli kabul edilmektedir. Ancak interosseöz bağlar aynı zamanda çok kısa bağlardır. Palmar bağlara kıyasla uzama miktarları çok daha fazla olsa da; uzunlukları palmar bağların 1/10'u kadar olduğu için interosseöz bağların yırtıldığı değerlerde palmar bağlarda yalnızca dejenerasyon oluşmaktadır.

El bileği bağlarının direnç özellikleri aynı zamanda el bileği kararlı dengesini sağladığı için, bu bağların herhangi birinin rüptüre olması durumunda kararlı dengenin sağlanabilmesi için rüptüre olan bağın taşıdığı yük başka bağlar tarafından üstlenilmektedir. Aynı şekilde el bileğinde füzyonlar sonrası hem kırıkdağların kaldırılıp kemiklerin birleştirilmesinden, hem de bağların eksize edilmesinden kaynaklı bağların taşıdıkları yükler değiştirilebilmektedir.

2.2.3. El Bileği Kinetiği

El bileği yük aktarımı kompleks bir yapıya sahiptir. Normal bir el bileğinde nötral pozisyonda yüklerin %80'i radiustan, %20'i ulnadan iletilir (20-21) (Şekil 6). Radial deviasyonda radius yükün %85 kadarını alırken, ulnar deviasyonda radius ve ulna %50 yük taşır. Ulnar ve radial deviasyonda fark olduğu gibi; ulna plus ve ulna minus el bileklerinde de yük dağılımında fark vardır.



Şekil 6: Metakarplardan gelen yüklerin karpal kemikler üzerinden önkola aktarılması (13)

2.2.4. El Bilek Kineziyoloji

El bileğinde mevcut kasların beş tanesi yalnızca el bileği hareketi yaptırır. Ekstansör karpi ulnaris (EKU), ekstansör karpi radialis longus (EKRL), ekstansör karpi radialis brevis (EKRB), fleksör karpi ulnaris (FKU), fleksör karpi radialis (FKR). El bileğinde mevcut diğer kas ve tendonlar da el bileği hareketinde rol oynar. Hangi kasın daha fazla etkisi olacağı kasların momentlerine bağlıdır. Momenti etkileyen iki faktör kasın kesit alanı ve anlık dönme merkezine uzaklığıdır. Bu mantıkla yapılan hesaplamalar sonucu el bileğinde en etkin hareket fleksör karpi ulnariste bulunmuştur.

2.3. El Bilek Biyomekanik Modellemeler

El bileği hareketlerini ve yüklenmelerini biyomekanik olarak anlamak için farklı teoriler öne sürülmüştür. Bunların içinde en çok kabul gören beş önemli teori vardır.

- 1) Geleneksel Teori: Karpal kemikleri, pisiformu dâhil etmeyerek üç gruba ayırır. Kapitatum, hamatum, trapezium, trapezoideum distal sıra, lunatum ve triquetrum proksimal sıra olarak kabul edilmekte, skafoid tek başına üçüncü

grubu oluşturmaktadır (Şekil 7) (22). El bileği hareketlerini kabaca açıklayabilen bu teori, yük dağılımını açıklamakta yeterli olamamaktadır.



Şekil 7: Geleneksel teori

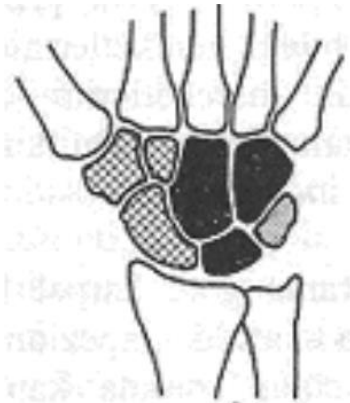
- 2) Kolon Teorisi: Navarro tarafından tanımlanmıştır. El bileğini üç kolona ayırır (Şekil 8) (22).

Santral Kolon: Kapitatum, hamatum ve lunatumdan meydana gelir. El bileği fleksiyon- ekstansiyonundan sorumludur.

Dış Kolon: Skafoid, trapezium ve trapezoideumdan meydana gelir. Lateralde yük aktarımından sorumludur.

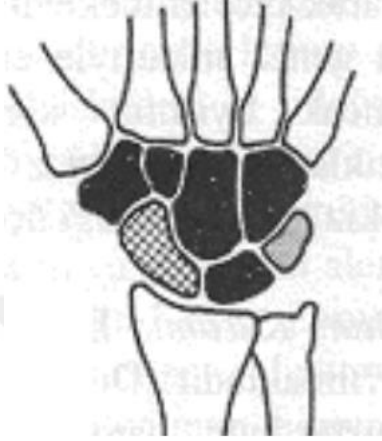
İç Kolon: Triquetrum ve pisiformdan oluşur. İç-dış rotasyondan sorumludur.

Geleneksel teoriye göre daha detaylı değerlendirmeler yapılmış olmasına karşın yük dağılımını açıklamada yeterli bir teori değildir.



Şekil 8: Kolon teorisi

- 3) Telaisnik Teorisi: Taleisnik, kolon teorisinde değişiklikler yaptığı bu teoriye kendi adını vermiştir. Trapezium ve trapezoideum santral kolona eklenmiş ve pisiform tamamen sistemden çıkarılmıştır (Şekil 9) (22). Ama bu teoride el bilek yük dağılımını tam anlamıyla açıklayamamıştır.



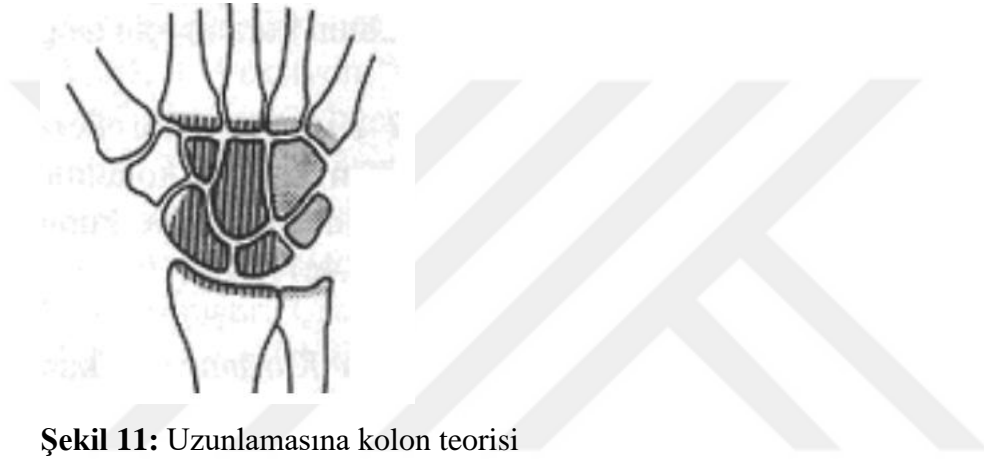
Şekil 9: Telaisnik teorisi

- 4) Oval Ring Teorisi: Lichtman tarafından tanımlanmıştır. Trapezium, trapezoideum, kapitatum, hamatumdan oluşan distal sıra; skafoid, lunatum ve triquetrumdan oluşan proksimal sıraya triquetrohamat ve skafotrapeziotrapezoid eklemler vasıtasıyla bağlanmaktadır (Şekil 10) (22). Bu teoriye göre el bileği hareketleri ve yük dağılımı bu iki eklem üzerinden sağlanır. Diğer üç teoriye göre daha üstün bir teoridir.



Şekil 10: Oval ring teorisi

- 5) Uzunlamasına Kolon Teorisi: Weber tarafından tanımlanmıştır. Weber el bileğini iki kolona ayırmıştır. Birinci kolon trapezoideum, kapitatum, skafoid ve lunatumun bir kısmından oluşur, yük taşıyan kolon olarak kabul edilir. İkinci kolon ise hamatum, triquetrum ve lunatumun bir kısmını kapsar ve kontrol kolonunu oluşturur. Trapezium ve skafoidin bir kısmı sistem dışında tutulmuştur (Şekil 11) (23). El bileği yük dağılımını bu iki kolonun ilişkileriyle açıklayan bu teori, yük dağılımını en iyi açıklayan teoridir, ancak hareket konusunda yeterli bilgi vermemektedir.



2.4. Karpal İnstabilite

Eklemlerin stabilitesi; yüklenmeler esnasında eklemin kararlı halinin devamı ve el bilek EHA'nın tam olması olarak tanımlanabilir. El bileği stabilitesi radius, ulna, karpal kemikler, metakarplar arasında normal yük aktarımı ve hareketlerin sağlanabilmesidir. El bileği kemikleri için bu durumun korunamaması el bileği instabilitesi olarak adlandırılır. Karpal kemiklerde meydana gelen patolojiler veya el bileği bağlarının rüptürü ya da dejenerasyonu sonucu karpal yük dağılımında ve hareketlerde gelişen düzensizlik ise karpal instabilite adını alır. Karpal instabilitenin sebepleri arasında travma (en sık sebep), iatrojenik durumlar, tümörler, inflamatuvar hastalıklar, konnektif doku hastalıkları, konjenital laksite ve aksesuar kemikler sayılabilir.

Karpal instabilite için farklı sınıflandırmalar yapılmış olsa da birçoğu klinik pratikte kullanılmamaktadır.

İlk olarak Dobyns 1972’de karpal instabiliteyi DISI, VISI ve radial epifizin dorsal deplasmanına neden olan kırıklara bağlı karpal instabilite olarak üçe ayırmıştır (24). Bu üç grubu radyolojik değerlendirmeye dayanarak yapmıştır.

DISI (Dorsal İnterkaler Segment İnstabilitesi): Skafotrapezoidal bağ, skafolunat bağ zedelenmesi veya skafoid psödoartrozu sonucu gelişen değişikliklerin sebep olduğu instabiliteleri tanımlamada kullanılmıştır. Skafolunat ayrılma bu grubun en önemli örneğidir.

VISI (Volar İnterkaler Segment İnstabilitesi): Skafotriquetral, lunotriquetral, radiotriquetral bağ zedelenmesi veya lunatum, skafoid psödoartrozları sonucunda gelişen instabiliteleri tanımlar. Lunotriquetral ayrılma bu grubun örneğidir.

El bileği biyomekaniği konusunda önemli çalışmalar yapmış olan Taleisnik 1984’te yeni bir sınıflama yapmıştır. Karpal instabiliteyi statik ve dinamik instabilite olarak ikiye ayırmıştır (25).

Statik İnstabilite: İnterosseöz bağların total rüptürü (Skafolunat bağ zedelenmesi) sonrası lunatum ve skafoidin ayrılmasının görüldüğü instabilitelerdir. Dobyns’in DISI olarak tarif ettiği durumdur.

Dinamik İnstabilite: Skafolunat ya da lunotriquetral bağların kısmi rüptürüne bağlı instabiliteleri tarif eder.

Dobyns 1994’te karpal instabilitede yeni bir sınıflamaya gitmiştir. İnstabiliteyi Karpal Disosiatif İnstabilite (KID), Disosiatif Olmayan Karpal İnstabilite (KIND), Kompleks Karpal İnstabilite (KIC) ve Adaptif Karpal İnstabilite (KIA) olarak dört gruba ayırmıştır (26).

KID (Karpal Disosiatif İnstabilite): Aynı sıra içindeki karpal kemiklerin ilişkisinin bozulduğu instabilitelerdir. İnterosseöz bağların rüptürü ya da skafoid, lunatum psödoartrozları sonucu gelişir. Skafolunat ayrılma bu grupta değerlendirilebilecek bir örnektir. DISI ve VISI bu gruba dâhil edilir.

KIND (Disosiatif Olmayan Karpal İnstabilite): Distal ve proksimal sıra her ikisi de kendi içlerinde dengeli bir durumdayken, birbiri aralarındaki ilişki bozulmuştur. İnflamatuar süreçler ve bağların (interkarpal uzun bağlar) zedelenmesi bu duruma yol açan en sık sebeplerdir.

KKI (Kompleks Karpal İnstabilite): KID ve KIND özelliklerinin görüldüğü gruptur. Mevcut patoloji sonrası proksimal ya da distal sıra kendi içinde ve diğer

sırayla dengeli ilişkisini koruyamamaktadır. Lunatum dislokasyonu bu gruba bir örnektir.

KIA (Adaptif Karpal İnstabilite): İnstabiliteyle sonuçlanan bu durum ilk üç grubun aksine, karpal kemikler dışında bir yapıdan kaynaklanmaktadır. Dobyns'in ilk yaptığı sınıflamada tanımladığı üçüncü gruba uymaktadır.

Cooney de Dobyns'in sınıflamasına eklemeler yapmıştır. Mayo Klinik Dobyns'in yaptığı sınıflamayı modifiye ederek kendi sınıflamasını yapmıştır. Mayo Klinik Sınıflaması günümüzde en sık kullanılan sınıflamadır (Tablo 1).



Tablo 1: Mayo klinik karpal instabilite sınıflaması (27)

İsmi, Tipi	Radyografik Paterni
I - KID	
1.1. Proksimal Karpal Sıra KID	
a. İnstabil Skafoid Kırığı	DISI
b. Skafolunat Ayrışma	DISI
c. Lunotriquetral Ayrışma	VISI
1.2. Distal Karpal Sıra CD	
a. Aksial Radial Bozulma	RT veya PT
b. Aksial Ulnar Bozulma	UT veya PT
c. Kombine AR ve AU Bozulma	
1.3. Kombine Proximal and Distal KID	
II - KIND	
2.1. Radiokarpal KIND	
a. Palmar Ligament Yırtığı	DISI, Tüm Proksimal Karpal Sıranın UT'u, SL Aralığın Artması ile Beraber UT; PT (Aslında Bir KIC)
b. Dorsal Ligament Yırtığı	VISI, DT
c. Radius Malunion Sonrası, Madelung Deformitesi, Skafoid Malunionu, Lunat Malunionu Sonrası (Adaptif Karp'a Bakın)	
2.2. Midkarpal KIND	
a. Palmar Ligament Hasarına Bağlı Ulnar MKI	VISI
b. Palmar Ligament Hasarına Bağlı Radial MKI	VISI
c. Kombine UMKI ve RMKI, Palmar Ligament	VISI
d. Dorsal Ligament Hasarına Bağlı MKI	DISI
2.3. Kombine Radiokarpal-Midkarpal KIND	
a. Kapitolunat İnstabilite Paterni	VISI, DISI, Değişken
b. Radial ve Santral Ligamentlerin Bozulması	VISI veya DISI ile Birlikte ya da Birlikte Olmayan UT
III - KIC	
a. Radiokarpal İnstabilite ile Beraber Perilunat İnstabilite	DISI ve UT
b. Aksial İnstabilite ile Beraber Perilunat İnstabilite	AxUI ve UT
c. Aksial İnstabilite ile Beraber Radiokarpal İnstabilite	AxRI ve UT
d. UT ile Beraber Skafolunat Ayrışma	DISI ve UT
IV - Adaptif Karp	
a. Distal Radius Malunionu ile Birlikte Karpların Malpozisyonu	DISI veya DT
b. Skafoid Nonunionu ile Birlikte Karpların Malpozisyonu	DISI
c. Lunat Malunionu ile Birlikte Karpların Malpozisyonu	DISI veya VISI
d. Madelung Deformitesi ile Birlikte Karpların Malpozisyonu	UT, DISI, PT

KID (Karpal İnstabilite Dissosiatif), KIND (Karpal İnstabilite Nondissosiatif), KIC (Karpal İnstabilite Kombine), DISI (Dorsal İnterkale Segment İnstabilitesi), VISI (Volar İnterkale Segment İnstabilitesi), RT (Radial Translasyon), PT (Proksimal Translasyon), DT (Dorsal Translation), UT (Ulnar Translasyon), AxUI (Aksial Ulnar İnstabilite), AxRI (Aksial Radial İnstabilite), MKI (Mid Karpal İnstabilite).

Yukarıda sayılan sınıflamalarda hastalar yalnız gruplandırılmaktadır. Larsen karpal instabilite sınıflamasına farklı bir yaklaşım getirmiştir. Larsen yaptığı değerlendirmeler sonucu karpal instabiliteyi süreleri, nedenleri, klinikleri ve yerleri dikkate alarak şematize etmiştir (28,29). Bu şema sayesinde instabilite hastalarının kendi spesifik durumları değerlendirebilir ve hastalara uygun yaklaşım seçilebilir (Tablo 2).

Tablo 2: Larsen'in karpal instabilite sınıflaması (modifiye edilmiş haliyle) (29)

SÜRE	SABİTLİK	SEBEP	LOKALİZASYON	YÖNELİM	BİÇİM
Akut	Statik	Travmatik	Radiokarpal	VISI Rotasyon	KID
Subakut	(Düzeltilbilir)	İatrojenik	Proksimal İnterkarpal	DISI Rotasyon	KIND
Kronik	(Düzeltilmez)	Konjenital	Midkarpal	Ulnar Yönelim	KIC
	Dinamik	Tümörler	Distal İnterkarpal	Radial Yönelim	KIA
	Predinamik	Konnektif Doku Hst.	Karpometakarpal	Palmar Yönelim	
		İnflamatuar Hst.	Özel Kemikler	Dorsal Yönelim	
		Artritik		Proksimal Yönelim	
		Aksesuar Kemikler		Distal Yönelim	

KID (Karpal İnstabilite Dissosiatif), KIND (Karpal İnstabilite Nondissosiatif), KIC (Karpal İnstabilite Kombine), KIA (Karpal İnstabilite Adaptif)

2.5. Skafalunat İleri Kollaps (SLAK) ve Skafoid Kaynamama İleri Kollaps (SNAK) El Bilek Artrozu

2.5.1. Giriş

El bileği artrozunun SLAK ve SNAK çeşitleri, el cerrahları tarafından görülen en yaygın el bilek artropatilerinden ikisidir. (30,31) SLAK olan ve 7000 yıl öncesine dayanan tıbbi kayıtlar mevcuttur. Bu kayıtlar sürecin tüm zamanlarda yaygın olduğunu göstermektedir.(32) Bu koşullar gözönüne alındığında bu sürecin teşhis, tedavi ve takipleri özenli bir şekilde yapılmalıdır.

2.5.2. Etiyoloji

SLAK bilek, skafolunat bağı travmatik veya travmatik olarak yaralanması ya da zayıflaması sonucu gelişir. Atravmatik SLAK'ın nedenleri arasında kalsiyum pirofosfat dehidrat depozisyon hastalığı (CPPD), romatoid artroz, nöropatik hastalıklar ve β 2-mikroglobülin ilişkili amiloid depozisyon hastalıkları yer alır (33, 34). SNAK el bileği ise kaynamamaya ilerlemiş bir skafoid kırığı takiben gelişir. Bu işlemlerin her ikisi de anormal eklem kinematiğine yol açar, çünkü lunat kemik distal skafoid bağlantısı kalmaz ve bu nedenle ekstansiyonda bir duruş alır. Zamanla bu, dorsal interkalasyonlu segment instabilite (DISI) deformitesi ile sonuçlanabilir, bu da her zaman radyoskafoid ekleminde dejeneratif artroza ilerler, bunu karpal kollaps ve midkarpal artroz takip eder (35). Uzun süredir devam eden skafoid kaynamamasına veya skafolunat ayrılmasına ikincil olarak, Watson ve meslektaşları tarafından dört aşamalı ilerleyici bir artroz modeli tanımlanmıştır (30, 31). Evre I, radyalstiloid-distal skafoid (stiloskafoid) eklem yüzünde artroz ile karakterize edilir; bu, SLAK el bileklerinde proksimal radyoskafoid eklemin evre II tutulumuna ve SNAK bileklerinde radyokapitat artroza ilerler. Bunu, orta karpal eklemi, özellikle de kapitolunat eklemi (ve SLAK bileklerinde skafokapitat eklemi) içeren evre III dejeneratif değişiklikler izler. Son olarak, evre IV bileklerde radyolunat eklemin korunduğu pankarpal artroz vardır. Bu durumun varlığı farklı el bilek artrozu etiyojilerine yönelmemizi sağlamalıdır (Şekil 12, 13).

Genellikle, SNAK ve SLAK el bilek artrozu arasındaki tek fark, SNAK bileklerinde skafoidin proksimal kutbu ile radius arasındaki eklem korunur. Skafoid

proksimal kutbunda artroz görülmez ve lunat kemiğin bir uzantısı gibi davranır. Bu durum bozulmamış skafolunat bağ yoluyla olur (36).



Şekil 12: Watson sınıflandırması (SLAK)

Evre 1: Skafoid ve radyal stiloid arasındaki artroz

Evre 2: Skafoid ile radiusun tüm skafoid eklemi arasındaki artroz

Evre 3: Kapitat ve lunat arasındaki artroz



Şekil 13: SNAK radyografik sınıflama

Evre 1: Skafoidin radyal tarafında ve radyal stiloidde lokalize artroz

Evre 2: Evre 1'e ek olarak skafokapitat artroz

Evre 3: Periskafoid artroz (proksimal lunat ve kapitat korunabilir)

SLAK ve SNAK bileklerindeki semptomlar, hastalarda asemptomatik tesadüfen bulunandan sınırlı hareket ve güç kaybından zayıflatıcı el bilek ağrısına kadar değişir. Sıklıkla, yaşlı ve düşük talepli hastalarda, SLAK veya SNAK el

bileğinin radyografik bulguları tesadüfen veya karpaltünel sendromu gibi diğer patolojilerle birlikte bulunabilir. Aslında, asemptomatik el bileğinin kontralateral el bilek grafileri sıklıkla artrozun radyografik bulgularını ortaya koyar, bu da bazı yazarların rutin olarak bilateral radyografiler alınmasını önermelerine yol açar (39). Bu nedenle, el bileği ağrısı, SLAK ve SNAK bilek artrozunda her zaman bulunan bir bulgu değildir; ancak, başvuran vakaların çoğunda baskın bulgudur.

2.5.3. Klinik Değerlendirme

SLAK ve SNAK el bileği tanısı öykü, fizik muayene ve yeterli radyografi temelinde konulabilir. Hastalar sıklıkla bilek ağrısı, dorsoradial şişlik ve sınırlı el bilek hareket açıklığı ile başvururlar. Muayenede, bu ağrı radyokarpal ekleme de orta karpal ekleme de ortaya çıkabilir. Benzer bir dağılımda şişme olabilir veya olmayabilir. Scaphotrapeziotrapezoidal eklem ağrısı ve başparmak bazal eklem ağrısının yanı sıra karpal tünel, tetik parmaklar ve DeQuervain veya fleksör karpiradialis tendiniti dâhil olmak üzere artrit olmayan ağrı kaynaklarının radyal el bilek ağrısı kaynağı olarak ayırt edilmesine özen gösterilmelidir.

2.5.4. Görüntüleme

Fizik muayene bulgularını doğrulamak ve tedavi planına yardımcı olmak için bilateral biplanar el bilek grafileri alınmalıdır. SNAK ve SLAK el bileğini ayırt etmenin yanı sıra, radyografilerin ayrıntılı değerlendirmesi, evre I hastalıkta skafoidin distal kutbu ile radyal stiloid eklemin evre IV hastalıkta pankarpal artroz izole tutulumunu belirleyerek artrit sürecin evrenmesine yardımcı olabilir (40). Bununla birlikte, kondrokalsinoz ve eşlik eden bazal eklem artrozu gibi diğer radyografik bulgular da bu radyografilerde klinik değerlendirme ve tedaviye yardımcı olmak için görülebilir. Bilgisayarlı tomografi veya manyetik rezonans görüntüleme şeklindeki ileri görüntüleme nadiren gerekir.

2.5.5. Ameliyatsız Tedavi

Başlangıçta, semptomatik SLAK ve SNAK el bileğinin cerrahi olmayan tedavisi standardize edilmelidir. Bu, splintler, antiinflamatuvar ilaçlar ve

kortikosteroid enjeksiyonları ile bilek immobilizasyonunu içerebilir. Hastalığın ilerlemesiyle semptomlar kötüleşirse, çeşitli cerrahi tedavi seçenekleri değerlendirilir.

2.5.6. Cerrahi Tedavi Seçenekleri

Semptomlar konservatif tedaviye dirençli olduğunda, klinik tablonun düzeltilebilmesi için çeşitli cerrahi tedavi yöntemleri gerekebilir. Bunlar radyal stilloidektomi, distal kutup skafoid eksizyonu (SNAK el bileğ için), el bilek denervasyonu, kısmi bilek artrodezi, proksimal sıra karpektomisi (PRK) ve total bilek artrodezi olabilir. Spesifik tedavi süreci, kişisel tercihe, hastanın yaşı, aktivite düzeyi, artrozun evresine ve hastanın beklentilerine göre değişiklik gösterecektir. Çoğu zaman, intraoperatif kararlar, kapitat eklem yüzeyinin durumu belirlendikten sonra verilmelidir. Ek olarak, birden fazla cerrahi teknik sıklıkla birleştirilir, özellikle diğer listelenen uygulamalara radyal stilloidektomi ve el bilek denervasyonu eklenir.

2.5.6.1. El Bilek Denervasyonu

Kronik el bilek ağrısının cerrahi tedavisinde diğer cerrahi uygulamalarla birlikte veya tek başına bilek denervasyonu bir seçenektir. Bu, SLAK ve SNAK el bileklerine sekonder kronik bilek ağrısı durumunda geç erlidir. Anterior interosseöz sinirin (AIN)ve posterior interosseöz sinirin (PIN) terminal dallarının el bilekte ağrılı uyarandan sorumlu olduğu gösterilmiştir (41,42). Denervasyon, en sık PIN nörektomisini içeren inkomplet ya da komplet şekilde olabilir. Bilek denervasyonu için çok sayıda teknik geliştirilmiştir. Lin ve ark. bir kadavra çalışmasında AIN nörektomisi ile ilgili anatomik değerlendirmeleri incelemiştir. Berger tarafından tarif edildiği gibi 2 cm'lik bir dorsal bir insizyon yoluyla nörektomide AIN'nin denervasyonunun pronator quadratus giden motor dalları için risk oluşturduğunu göstermiştir (43, 44).

Schweizer ve ark. (45). Total el bilek denervasyonu yapılan 70 hastayı 9.6 yıl gözlemledi. Hastaların üçte ikisinde ağrıda sübjektif uzun süreli iyileşme görüldü. Yarısında ağrı tamamen veya belirgin şekilde azaldı. En iyi sonuçlar SLAK olan

hastalarda görüldü. Yazarlar, bu basit hızlı uygulamanın EHA'yı azaltmadığı ve diğer tüm cerrahi seçenekleri de açık bıraktığı sonucuna varmışlardır.

El bilek denervasyonunun özellikle evre II ve evre III SLAK/ SNAK bilek için uzun dönem sonuçlarını inceleyen bir çalışmada, tam bilek denervasyonundan ortalama 6,3 yıl sonra 32 hasta değerlendirilmiş. Hastaların %59'u denervasyondan sonra subjektif iyileşme bildirmiştir. Bu çalışmada el bilek EHA üzerinde minimum etki ile ortalama %51'lik kavrama gücü iyileşmesi gözlemlenmiş (46).

Radu ve ark.'nın ortalama 4.3 yıllık takipte 43 hastada komplet ve inkomplet el bilek denervasyonunun sonuçlarının değerlendirdiği çalışmada ise, lokal anestezi yoluyla pozitif test denervasyonunun, cerrahi denervasyondan sonra postoperatif ağrı azalmasını garanti etmediğini gösterdiler (47). Otuz hasta (%70) denervasyondan sonra ağrıda azalma olmuş ve bunlardan 20'si (%66) son takipte el bilek ağrısının tamamen geçtiğini belirtmiş. Son kontrolde sadece bilek artrozu olmayan hasta alt grubunda ağrı istatistiksel olarak anlamlı derecede azalmış. Tam denervasyonu olanların %76'sı, kısmi denervasyonu olanların %57'si ağrıda azalma bildirmiştir (47).

2.5.6.2. Radyal Stiloidektomi

SLAK ve SNAK el bileğindeki erken semptomatik artroz, radyal stiloid ve skafoid arasında ortaya çıkar. Çoğu hasta, cerrahi müdahale gerektirdiğinde genellikle evre I düzeyini aşmış olsa da, bu erken semptomatik hastalar için radyal stiloidektomi gibi cerrahi seçenekler mevcuttur (48). Ek olarak, radyokarpal temas yüzü sorun olmaya devam ederse, daha ileri hastalık için radyal stiloidektomi diğer cerrahi tedavilerle birleştirilebilir.

Radyal stiloidektomi alanındaki önceki araştırmalar, radyal stiloidin el bileğinin dorsal ve palmar radyokarpal bağları ile anatomik ilişkilerini göstermiştir. Klinik olarak en önemli radyal temelli bağlar, dorsal radyokarpal, radyal kollateral, palmar radyoskafokapitat (RSC) ve palmar uzun ve kısa radyolunat ligamanlardır. Siegel ve Gelberman, bu bağların üç spesifik radyal stiloidektomi tipiyle ilişkisini göstermiştir: kısa oblik, dikey ve yatay. Tüm stiloidektomi tipleri belli bir dereceye kadar radyo karpal bağları çıkarmış olsa da, kısa oblik osteotomi el bileğinin en dışındaki bağ desteğini korumuştur (48). Daha yakın zamanlı, Nakamura ve ark.

yaptığı bir çalışmada artan karpal instabiliteyi önlemek için oblik osteotomi ile 3-4 mm'den fazla osteotomi önerilmemektedir (49). Artroskopik radyal stiloidektomi çalışmaları vardır; ancak, bu teknik ile açık teknik arasındaki sonuçların karşılaştırması mevcut değildir (50).

2.5.6.3. Distal Kutup Skafoid Eksizyonu

Erken SNAK el bilekteki radyoskafoid ağrı, SLAK bileğinden farklı şekilde yönetilebilir. Kapitolunat eklem iyi korunmuşsa, distal skafoid fragmanın radyal stilloidektomi ile birlikte veya tek başına eksizyonu düşünülebilir. Downing (51) ve daha yakın zamanda Malerich (52) tarafından bildirildiği gibi, proksimal fragmanın yarısından fazlasının kaldığı ve kapitolunat artroz olmadığı sürece skafoidin distal kutbu eksize edilebilir. Bu çalışmada 19 hastanın 13'ünde EHA ve kavrama gücünün arttığı ağrının azaldığı görülmüştür. Ancak aynı çalışmada, kapitolunat artrozlu 4 hastanın 2'sinde kalıcı semptomlar ve 3'ünde ilerleyici dejeneratif değişiklikler görülmüştür. Yazarlar distal kutup eksizyonunun parsiyel el bilek artrodezine bir alternatif olduğu sonucuna varmışlardır (52). Soejima ve ark. (53) skafoid kaynamaması olan hastalarda distal kutup eksizyonu ile ağrının azaldığını, el bilek kavrama gücü ve EHA'yı iyileştirdiğini bildirmiştir. Yazarlar, tip II lunatı olan hastalarda dikkatli olunması gerektiğini belirtmişlerdir, çünkü bu hastalarda lunatın radioulnar translasyonu artmıştır ve bu nedenle teorik olarak skafolunakapitat eklemde kümülatif travmatik aşınması artmıştır (53).

Son zamanlarda, Ruch ve ark. (54) SL ligamanı zayıflamadan önce, skafoid kaynamaması için daha önceki cerrahi tedavilerinde başarısız olduğu hastalarda skafoid distal kutup eksizyonunun yararlı olduğunu bildirmişlerdir (54).

2.5.6.4. Kısmi El Bilek Artrodezleri

SNAK/SLAK el bilek artrozu varlığında, kısmi el bilek artrodezi en yaygın yapılan cerrahi uygulamalardan biridir.

Artrodez tipi ve kısmi artrodezin PRK gibi hareket koruyucu prosedürlerle karşılaştırılması konusunda çok sayıda çalışma yapılmıştır. Aslında, SLAK/ SNAK el bileğinin cerrahi tedavisindeki güncel literatürün çoğu, skafoid eksizyonu ve dört köşeli artrodez sonuçlarını PRK ile karşılaştırması şeklindedir.

Konuyla ilgili çok sayıda literatür bulunmasına rağmen, bu konuda hâlâ bir fikir birliği yoktur.

Dört Köşe Artrodez K Telleri ve Vidalar

İlk olarak Watson ve Ballet tarafından tanımlanan bir teknik olarak literatüre geçmiştir. Kapitat ve lunat arasındaki artrodezin K-teli ile sabitlenmesiyle skafoidin eksizyonunu içerir. Prosedür distal radiustan kemik grefti kullanımını ve skafoidi bir silikon implantla değiştirilmesini de içerir. Ama daha sonra implant yer değiştirmeleri olması nedeniyle artık önerilmemektedir (30). Ameliyatı, biri artrodez için ve ikincisi distal radiustan kemik grefti almak için olmak üzere iki ayrı enine insizyon yoluyla gerçekleştirilmektedir. El bileği immobilize edilir ve gömülü K-telleri 6 hafta sonra çıkarılır. Benzer bir tekniği kullanan Dacho ve ark. (55) ortalama 47 ay takip edilen 49 hastayı içeren çalışmasında, Postoperatif AEHA %56 ve kontralateral el bileğe oranla kavrama kuvvetini %76 olarak raporladı. 45 hastada (%92) x-ray ile doğrulanmış kemik füzyonu vardı ve 6 hastada (%12) ağrı veya kemik füzyonunun olmaması nedeniyle uzun dönem takiplerinde total artrodez yapılması gerekmiştir (55). Bu çalışmasının sonuçlarının yayınlanmasından bu yana, teknikte birçok değişiklik yapıldı, ancak ameliyatın genel prensipleri değişmeden kaldı.

Gracia-López ve ark. (56) otolog kortikokanselloz iliak kanat “kemikgrefti” ve vida fiksasyonu kullanılarak modifiye dört köşeli artrodez uygulanan 16 hastada hakkında yaptığı çalışmada. Post operatif 3 hafta immobilize edildikten sonra progresif EHA başlanan hastalarda ortalama 3 yıllık takipte, 13 mükemmel sonuç ve 3 iyi sonuç raporladılar. 16 hastanın tümü önceki mesleklerine geri dönebilmişti ama el bilek ağrılarından dolayı ağrı kesici almaya devam etmiştir (56). Tespit için u staplerlerin kullanıldığı yakın tarihli uzun dönemli bir takip çalışmasında, Bain ve Watts ortalama 10 yıllık sürede 31 hastayı takip etti. Kavrama kuvvetinin değişmediğini ve bilek fleksiyonunun %22 oranında azaldığını belirtmişlerdir (57). Ameliyat sonrası 1 ila 10 yıl arasında ağrı, el bilek işlevi, memnuniyet veya EHA’da anlamlı bir değişiklik olmamıştı. Hastalardan ikisi devam eden ağrı nedeniyle total bilek artrodezin gitmiştir (57).

Richards ve ark. SLAK/SNAK el bilek için açık bir teknikle başsız kompresyon vidaları kullanarak dört köşeli artrodez sonuçlarını bildirdiler. Bu fiksasyonun yararının, postoperatif 10-14. günlerde izin verdikleri erken aktif EHA'ya izin verme yeteneği olduğunu savundular. %95 füzyon oranı gözlemlendi ve çoğu füzyon 6-8 hafta içinde görüldü. Üç hastada vida gevşemesi gelişti; ancak bunlardan sadece 1'i kaynamama ile sonuçlanmıştı (58).

Özyüreköglü ve Türker tarafından yakın zamanda yapılan bir çalışmada, 33 hasta perkütan başsız kompresyon vidası tekniği kullanılarak modifiye skafoid eksizyonu ve dört köşeli artrodezden sonra ortalama 8 ay takip edildi. Kıkırdak ve subkondral kemiğin çıkarılması için sınırlı artrotomi yapıldıktan sonra perkütan retrograd transmetakarpal başsız kompresyon vidası ile kapitolunat fiksasyon, triquetrohamate fiksasyonu için perkütan antegrad vida kullanıldı. İşlemden sonra skafoid kemik grefti kullanıldı. 33 el bileğinin 31'inde (%94) kaynama bildirdiler ve sadece 1 hastada total artrodez uygulandı. AEHA, ameliyat öncesi 83°'ye karşı 71° idi ve kavrama gücü, ameliyattan sonra kontralateral tarafta %41'den %80'e yükselmiştir (59).

Dört Köşe Artrodez Dairesel Plaklar

K-teli fiksasyonu kullanan dört-köşe artrodezinin orijinal tanımından sonra, alternatif olarak daha stabil fiksasyonun daha düşük kaynamama oranlarına yol açtığı iddia edilen dairesel plak geliştirildi. Birkaç çalışma bu implantlar ile ilgili olumlu sonuçlar göstermiş olsa da çoğunluğu komplikasyon oranlarının yüksek olduğunu ve daha az başarılı sonuçlar elde edildiğini göstermiştir (60).

Kendal ve ark. ortalama 20 aylık takip ile 8 hasta üzerinde yaptığı çalışmada. Bu hastaların sadece 3'ünde radyografik kaynama sağlandığını (%63 kaynamama oranı) ve EHA, kontralateralin %46'sı ve kavrama kuvveti, kontralateralin %56'sı, olduğunu gösterdi. Bu K-teli tespiti için bildirilen sonuçlardan daha düşüktü (60).

Vance ve ark. (61) tarafından bildirildiği üzere, plak fiksasyonu veya geleneksel fiksasyon ile dört köşe artrodezi uygulanan 58 hasta karşılaştırıldı. Geleneksel grupta %3'e karşılık plak fiksasyon grubunda %26 kaynamama oranı görüldü. Bununla birlikte dorsal eklem yüzünde olan sıkışma ve buna bağlı yakınmalar, plak grubunun %22'sinde, geleneksel grubun %3'ünde görüldü (61).

Benzer şekilde Chung ve ark. ortalama 1 yıllık takipte birinci nesil Spider plak kullanılan 10 hasta üzerinde prospektif olarak yaptığı çalışmada, bozulmuş fiksasyona sahip 3 hastada işlev, ağrı veya hasta memnuniyetinde kayda değer bir gelişme olmadığını bildirdiler (62). Aynı plaktan kullanan Shindle ve ark. (63) ortalama takip süresi 16 ay olan 16 hastayı retrospektif olarak analiz ettiği çalışmada %56'lık bir komplikasyon oranı ve %25'lik bir kaynamama oranı bildirdiler, her ikisi de dört köşeli artrodez için daha önce yayınlanmış tekniklerle elde edilenden sonuçlardan oldukça yüksekti (63). Daha yakın tarihli bir çalışmada, Collins, Nolla, De Smet ve ark. (64, 65) dairesel plakların geleneksel implantlarla karşılaştırılmasının, daha önce gösterilenden daha yüksek kaynamama oranıyla birlikte, plak grubunda azalmış bilek hareketi gösterdiğini gösterdiler (64, 65).

İkinci nesil implantları kullanan Merrell ve ark. (66) dairesel plaka yapıları ile gelişmiş sonuçlar gösterdi. Ortalama 46 aylık takip süresinde 28 hastanın analiz edildiği çalışmada. Kavrama kuvveti kontralateral tarafın ortalama %82'si ve EHA kontralateral tarafın ortalama %45'iydi. Bu çalışmada tüm vakalarda füzyon olduğu, iki vakada da implanta bağlı komplikasyon bildirilmiştir. Bu sonuçlar için distal radius kemik greftinin alınması, yeterli eklem hazırlığı ve her kemikte iki vidalı tespit ile titiz bir teknik gerektiğini vurgulanmıştır (66). Benzer şekilde Bedford ve Yang, ortalama 11 aylık takipte bu plakla pozitif sonuçlar bildirdiler.

Sadece bir postoperatif komplikasyonla birlikte 15 hastada %100 kaynama oranı elde ettiler (67).

Kapitolunat Artrodez

Dört köşeli artrodez tekniğinin merkezinde stabil bir kapitolunat füzyona ihtiyaç vardır. Orijinal teknikte tanımlandığı gibi, kaynamama olasılığını azaltmak için hamatum ve triquetrum artrodez bir parçasıydı. Yıllar boyunca birçok araştırmacı, postoperatif EHA'yı teorik olarak iyileştirmek için skafoid ve/veya triquetral eksizyon ile veya bunlar olmadan izole bir kapitolunat artrodez rolünü değerlendirmiştir. Scobercea ve ark. (68) tarafından biyomekanik çalışmalarda gösterildiği gibi, skafoid ve triquetrum eksizyonu, artan bir radyolunat temas pahasına radyal translasyonu %44 arttırdığını gösterdi (68).

Kirschenbaum ve ark. tarafından yapılan ilk çalışmalarda. Skafoid eksizyon ve K-teli fiksasyonu kullanılarak kapitolunat artrodez ile artan kaynamama oranları gösterildi. Serilerinde, 18 hastadan 6'sı (%33), geleneksel dört köşe artrodezinden oldukça yüksek oranda psödoartroza gitti (69). Kadji ve ark. ayrıca izole kapitolunat füzyona karşı standart dört köşeli artrodezi karşılaştırdığı çalışmada. 10° volar fleksiyon ve 12° radyal translasyon olduğunu ve artan EHA'sını bildirdiler; yaptıkları kohort çalışmasından standart dört köşeli artrodezde %18'lik bir oranda bir iş gücü kaybı olmaya devam ettiğini gösterdiler (70). Calandruccio ve ark. (71) skafoid ve triquetrum eksizyonu ile kapitolunat artrodez uygulanan 14 hasta üzerinde yaptıkları çalışmada. Artrodez bölgesinin kompresyon vidalı fiksasyonunu kullandılar ve sadece %14 kaynamama oranıyla daha iyi sonuçlar elde ettiler. Kavrama gücü ve EHA, standart dört köşeli artrodezile hemen hemen aynı olarak bildirilmişti (71). Calandruccio ile aynı tekniği kullanan Gaston ve ark. kapitolunat artrodezli 16 hasta ile dört köşe artrodezli 18 hastayı retrospektif olarak karşılaştırdığı çalışmalarında iki grup arasında ROM, güç, VAS veya DASH açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulamamıştır. Kapitolunat grubunun tamamı füzyon olurken, dört köşe grubunda iki kaynamama vardı; ancak kapitolunat grubunda 5 hastada migrasyona sekonder vida çıkarılması gerektiğini bildirmiştir. Kapitolunat artrodezin yararlarının, triquetrum eksizyonundan sonra lunat kemiğin daha kolay redüksiyonu ve olası vida yerdeğiştirmesi pahasına semptomatik pisotriquetral artrozdan kaçınmanın yolu olduğunu belirtmiştir (72).

2.5.6.5. Proksimal Sıra Karpektomi

İlk olarak T. T. Stamm tarafından tanımlanan proksimal sıra karpektomi (PRK), radyokarpal artroz için kabul görmüş bir cerrahi tedavidir (73). PRK'nın avantajları, cerrahi tekniğin görece basit olması, implant gereksinimi ve kemik füzyon sürecinin olmamasıdır. Doğal post operatif stabilite göz önüne alındığında, Jacobs ve ark. son zamanlarda, immobilize el bileklere benzer sonuçlar bildirerek, postoperatif hemen mobilizasyon izin verdiğini buldular (74). Klasik olarak tanımlandığı gibi, kapitatın eklemin hareketli yüzeylerinde evre I ve II SLAK/SNAK el bileği vakalarında PRK düşünülebilir.

Kapitatumun yanı sıra distal radiusun lunat faseti iyi korunmuş olmalıdır. Buna ek olarak, el bileğinin postoperatif ulnar translokasyonunu önlemek için radioskafokapitat (RSC) bağın korunması gerekir. PRK için çok merkezli çalışmalar SLAK/SNAK tedavisinde olumlu sonuçlar göstermiştir.

Jebson ve ark. el bilek artrozu için PRK'nın uzun vadeli sonuçlarını bildiren çalışmasında, ortalama 13.1 yıllık takipte el bilek EHA'sı %63 ve kontralateral el bileğine göre kavrama gücü %83 idi. Bu çalışmada radyokapitat artroz %76'sında yoktu veya minimaldi, %24'ünde orta şiddetteydi; ancak radyokapitat artrozun, hasta memnuniyeti veya el bilek ağrısı ile ilişkili saptanmamıştır. İki hastada (%10) kalıcı ağrı vardı ve radyokapitat artrodezi uygulanması gerekti (75). Benzer şekilde, DiDonna ve ark. ortalama takip süresi 14 yıl olan 21 hasta üzerinde yaptıkları çalışmada; 35 yaşından küçük hastalarda ameliyattan ortalama 7 yıl sonra füzyon gerektiren dört hasta (%18) bildirilmiştir. PRK yapılan diğer hastalarda kontralateral tarafla karşılaştırıldığında ortalama %91'lik bir kavrama gücü kuvvetiyle 72°'lik bir ortalama fleksiyon/ekstansiyon arka vardı. Radyokapitat eklem dejenerasyonun olduğu 14 olgu radyografik olarak görülmesine rağmen, subjektif veya objektif fonksiyon ile ilişkisi yoktu ve başarılı bir klinik sonuç üzerine bu durumun etkisinin olmadığı görüldü. Araştırmacılar, 35 yaşından küçük hastalarda PRK yapılmaması konusunda görüş bildirdi (76). PRK'nın en son uzun vadeli sonuçları, Ali ve ark. (77) tarafından bildirilmiştir, ortalama 19.8 yıl takip edilen 81 hasta, ameliyat öncesi değerlerden farklı olmayan el bilek hareketi ve kavrama gücünün olduğunu bulmuşlardır. %74, kalıcı el bilek ağrısı veya önceki mesleğine dönememe nedeniyle sonuçlarından memnun değildi. %64 el bilekleri için günlük ağrı kesici ilaç kullanmak zorunda kaldı. %15'i total el bilek artrodeziye gitti. Yazarlar, PRK'nın uzun vadeli sonuçlarının zayıf olabileceğini; genç hastalarda ve yüksek el bilek fonksiyonu ve gücü gerektiren mesleklerde çalışanlarda alternatif tedaviler aranması gerektiği sonucuna varmışlardır. Çalışmaya dâhil edilen hastaların yalnızca %46'sında SLAK/SNAK bilek tanısı mevcuttu. Verilerin çoğu anket takiplerinden elde edildiğinden ve gelişmiş el bilek ekstansiyonu için PRK uygulanan nöromüsküler hastalar (%15) dâhil olmak üzere hasta popülasyonu heterojen olduğundan, bu sonuçlar dikkatli bir şekilde ele alınmalıdır (%52) (77).

Evre III SLAK/SNAK El Bileğinde PRK

Daha önce belirtildiği gibi geleneksel öğretisi, kişide Kapitolunat eklem dejenerasyonunun PRK için bir kontrendikasyon olduğunu savunur. Bununla birlikte, yukarıdaki uzun vadeli incelemelerde görülebileceği gibi, radyokapitat eklemdeki radyografik değişiklikler mutlaka daha kötü sonuçlarla ilişkili değildir. PRK yapılacak hastalarda kapitat artrozu için tedavi seçeneklerine yönelik birçok araştırma yapılmıştır. Kwon ve ark. ileri kapitolunat artrozlu PRK ve dorsalkapsüler interpozisyon artroplastisi ile tedavi edilen 8 hastayı retrospektif olarak inceledi. Ortalama 41 aylık takipten sonra, EHA ve kavrama kuvveti ameliyat öncesi seviyelerde olduğu ve ağrının önemli ölçüde düzeldiği görüldü. El bilek artrozunun progresyonu 3 hastada görüldü; ancak, bu durumun olumsuz sonuçlarla ilişkili olmadığı bulundu (78).

Bunu bir adım daha ileri götüren Salomon ve Eaton, kapsül interpozisyonu ile birlikte hamat ile uyumlu olarak kısmi kapitate rezeksiyonunu savundu. Rezeke proksimal kapitat ve hamat psödoartrozu için distal radiusa daha üniform bir eklem yüzeyi oluşturduğundan, bu tekniğin temas streslerini daha geniş bir alana dağıttığına inanılıyordu (79). Benzer bir teknikte, Placzek ve ark. tarafından kapitat baş rezeksiyonu ve dorsal kapsüler interpozisyon ile tedavi edilen evre II ve III SLAK el bilekli 8 hastanın sonuçlarını gözden geçirdi. EHA ve kavrama kuvveti ameliyat öncesi değerlere benzerdi; bununla birlikte, 1 yıllık takipte hastaların %75'inde ağrının düzelmiş olduğunu buldular (80). Son olarak, Tang ve Imbriglia tarafından yakın zamanda yapılan bir çalışmada, rezeke edilen karpal kemiklerden toplanan greftlerin kullanıldığı osteokondral yeniden yüzeyletirmeyi içeren bir cerrahi teknikte, çapı 10 mm'den küçük olan önemli ölçüde kapitatum fokal artrozu olan hastalarda tekniği PRK ile birleştirildi. 8 hasta ortalama 18 ay takip edildi. Ameliyat sonrası EHA 75° ve kavrama gücü kontralateral tarafın %71'i kadardı. Hastaların %88'inde ağrı iyileşme görüldü ve takip radyografileri, hastaların %75'inde hafif veya dejenerasyon olmadığını gösterdi. Bununla birlikte, postoperatif 21. aydaki MR görüntülemelerinde greft inkorporasyonunu gösterdi (81).

PRK'ya Karşı Dört Köşeli Artrodez

SLAK/SNAK bilek tedavisi ile ilgili son literatürün çoğu, PRK ile dört köşe artrodezin karşılaştırılmasına odaklanmıştır. Birçok çalışma ile bu iki uygulamayı doğrudan karşılaştırmıştır. Dört köşe artrodezi eleştirenler kaynamama, implant sıkışması ve füzyon kitlesi içinde lunatın malpozisyonuna sekonder harekette azalma gibi PRK'da görülmeyen komplikasyonlara işaret etmektedir. PRK'yı eleştirenler ise, daha genç hastalarda PRK yapıldığında yaşam kalitesinin azaldığını ve ayrıca kapitatumun distal radiusun lunat faseti ile anatomik olmayan artikülasyonunun ilerleyici artroza yol açtığını belirtmiştir.

Wyrick ve ark. ortalama 31 aylık takipte dört köşe artrodez ile tedavi edilen 17 hastayı ve SLAK el bileği için PRK ile tedavi edilen 10 hastayı karşılaştırmıştır. PRK grubu, dört köşe artrodez ile karşılaştırıldığında, postoperatif EHA'da (115°'ye karşı 95°) ve kavrama kuvvetinde (%94'e karşı kontralateral el bileğinin %74'ü) daha sonuçlar verdiği görüldü. Dört köşe artrodez grubundaki 5 hastanın (%29) tedavisi başarısız olarak sonuçlandı ve bunlardan 3'ünde total el bilek füzyonuna geçildi. PRK grubunda başarısız sonuç gözlenmedi (82). Cohen ve Kozin, ayrı merkezlerde yaptığı iki kohort çalışmasında 38 hastadan oluşan birleşik bir gruba ait çalışmasında; EHA, kavrama gücü veya fiziksel sağlık sonuç ölççeği puanlarında anlamlı bir fark olmadığını belirtmişlerdir (83). Vanhove ve ark. ortalama 3,5 yıllık takip süresi olan ve 30 hastayı içeren çalışmasında; ağrı veya fonksiyonel sonuç açısından anlamlı bir fark olmadığını belirtmişlerdir. Ancak, fiksasyon ihtiyacı nedeniyle dört köşe artrodezde daha yüksek komplikasyon oranı bildirmişlerdir (84). Dacho ve ark. 47 hastadan oluşan bir çalışmasında; PRK ile el bilek arkında 14°'lik artış olduğunu göstermişlerdir. Bununla birlikte, dört köşe artrodez ile de kavrama kuvvetinde artış olduğu sonucuna ulaşmışlardır (%72'ye karşı %50 kontralateral taraf). Bu yapılan çalışmada, çalışma sırasında daha az kavrama gücüne ihtiyaç duyan hastalar için PRK'nın daha uygun bir seçenek olduğu sonucuna araştırmacılar tarafından varılmıştır (85). Literatürün sistematik bir incelemesinde, Mulford ve ark. PRK sonuçlarını dört köşe artrodez sonuçlarıyla karşılaştırmak için 52 çalışmayı gözden geçirdikleri çalışmalarında. Kavrama gücü, ağrının giderilmesi ve subjektif sonuç skorlarının iki grup arasında benzer olduğunu

belirtmişlerdir. PRK grubunda postoperatif EHA artmış olmasına rağmen; asemptomatik de olsa artan progresif artroz oranlarına sahipti.

Dört köşe artrodez grubunda kaynamama, implant sorunları ve impingementa atfedilen komplikasyonlar daha yüksekti. Kiefhaber bu bulgular ışığında şu sonuçlara vardı: Ağrının giderilmesi her iki prosedürde de benzerdi ve %85 oranında önemli bir ağrı azalması post op dönemde sağlandı. Hareket arkı benzerdi; ancak, dört köşe artrodezin genellikle PRK'dan 10° daha az postoperatif arkı vardı. Her iki prosedürde el bilek kavrama gücünü kontralateral tarafın %80'i kadar geri kazandırdığı görüldü. Total bilek artrodezine dönüş riski her iki işlem içinde %5 olduğu gözlemlendi. PRK'nın lunat fossada artan ilerleyici artroz oranlarına sahip olduğu gösterildi; ancak bu klinik olarak ağrı veya buna bağlı cerrahi işlemler ile ilişkilendirilmedi. Genel komplikasyonlar iki teknik arasında benzerdi; ancak, dört köşe artrodeze özgü komplikasyonlar arasında kaynamama (%5.5), dorsal impingment (%2.6) ve implant sorunları (%3.3) bulunmakta olduğu görüldü. Kiefhaber'in tercihi, 35 yaşından küçük hastalar ve kırklı ve ellili yaşların başındaki yüksek talepli hastalar için dört köşe artrodezi tercih etmek, aynı yaş grubundaki daha az aktif hastalar için PRK'yı tercih etmek gerektiğini savundu (86).

2.5.6.6. Total El Bilek Artrodezi

Herhangi bir hareket koruyucu prosedür için nihai kurtarıcı cerrahi uygulama total el bilek artrodezidir. Daha önce belirtildiği gibi, dört köşe artrodezin ve PRK'nın total bilek artrodezine dönüşüm oranları %5'dir. Gohritz ve ark. dört köşe artrodezi sonrası total el bilek artrodezine geçilen 20 hastayı içeren çalışmasında; hastaların 2'si hariç hepsinin (%90) ikincil prosedürden memnun olduğunu göstermiştir. Hastaların miktar artık ağrıyla birlikte ağrı düzeylerinde önemli ölçüde azalma olduğunu kaydetmiştir (87).

SLAK ve SNAK el bileği artrozunun tedavisi şikâyetlerin büyüklüğü, hastanın yaşı, fiziksel aktivite düzeyi ve radyografik evre gibi birçok faktöre bağlıdır. Denervasyon nadiren izole bir uygulama olarak tercih edilir ve geleneksel kurtarıcı cerrahi yöntemler (PRK ve dört köşe artrodez) ile birlikte yapılır. Hem PRK'da hem de dört köşe artrodezde gereksiz olduğu için nadiren styloidektomi uygulanır. Palmar yaklaşımla distal kutup skafoid eksizyonunu evre I SNAK el

bilek için tercih etmek en uygun yaklaşımlardan biridir. Uygulanması basittir ve ağrıyı hafifletmede başarısız olursa veya dejeneratif süreç ilerlerse diğer teknikler hala daha uygulanabilir durumda kalır. PRK genel olarak tüm cerrahlar tarafından kabul edilmiş bir cerrahi tekniktir, uygulaması basittir ve çok az rehabilitasyon gerektirir. Kapitolunat artroz veya ilerlemiş karpal çökmesi olan bir el bilekte PRK uygulanamaz. Ek olarak, fonksiyonel beklentisi düşük, en az 40 yaşındaki hastalar için PRK iyi bir seçenektir.

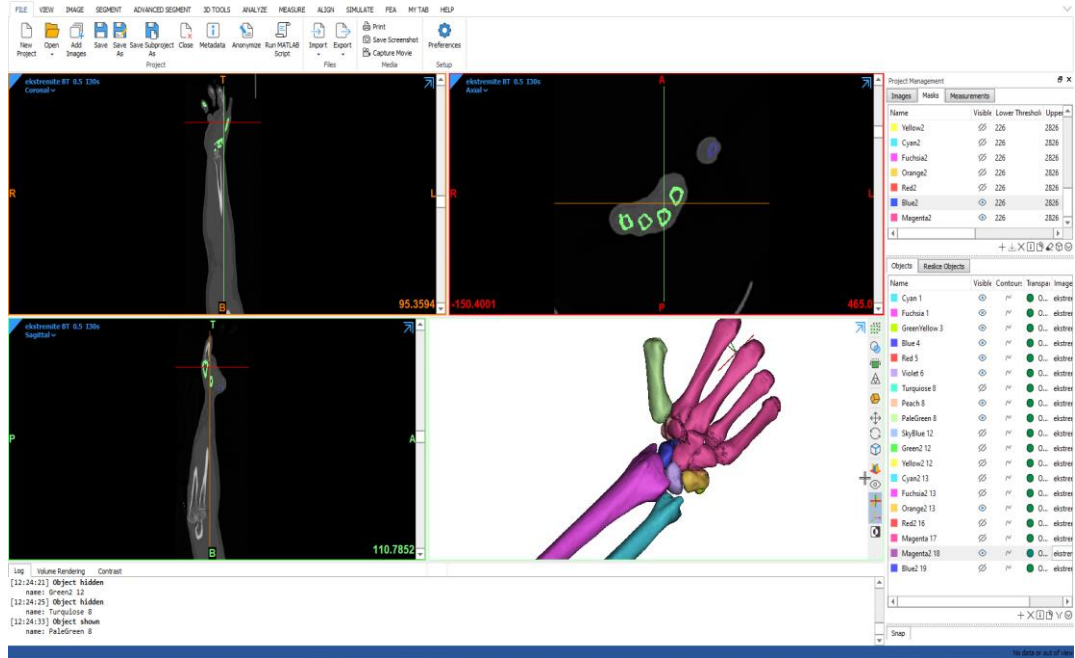
Dört köşe artrodez, özellikle kapitolunat artroz mevcutsa, daha genç, aktif hastalarda tercih edilmesi gereken bir prosedürdür. Tespit için artık sirküler plakların kullanımı terk edilmiş bir yöntemdir. Lunat ekstansiyonun (DISI) düzeltilmesi gerekir. Artrodezi desteklemek için distal radius ve/veya Gerty'nin tüberkülü nden bol miktarda kemik greftinin alınması zorunludur.

SLAK/SNAK el bilek artrozu, el cerrahının sık karşılaştığı hastalıklardandır. Tedavi seçeneklerine sistematik bir değerlendirme ve kanıta dayalı bir yaklaşım gerektirir Hastanın fiziksel gereksinimlerine ve yaşam süresine göre uyarlanmış tedaviler başarılı bir sonuç için en iyi potansiyeli sağlar. Yaşın, altta yatan etiyolojinin, başvuru şikâyetinin ve artrozun evresinin yanı sıra postoperatif aktivite beklentilerinin dikkatli bir şekilde belirlenmesi, hekimin yalnızca sonuçları değil, aynı zamanda hasta memnuniyetini de optimize edecek bir tedavi planı seçmesine yardımcı olabilir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Üç Boyutlu Modelin Hazırlanması

Analizlerde doğru sonucu elde etmek için en önemli konuların başında doğru geometrinin oluşturulması gelmektedir. Bunun için, çalışmamızda daha önce herhangi bir travma öyküsü olmayan 180 cm boyunda ve 80 kg ağırlığında 30 yaşındaki sağlıklı erkek hastanın el bileği tomografisi görüntüleri kullanıldı. BT görüntüsü yüksek çözünürlüklü Toshiba Aquilion BT aygıtıyla el bileği pronasyon pozisyonunda 0,701 mm kalınlığındaki kesitlerle 311x296 piksel çözünürlüğü ile tarama yapılarak elde edildi. Toplam da 1601 katmandan oluşan BT görüntüleri görselleştirme ve segmentasyon işlemleri için BT görüntülerini kullanan interaktif bir yazılım olan MIMICS®'e (Materialise's Interactive Medical Image Control System/ Materialise NV, Belgium) aktarıldı. Şekil 1'de görüldüğü gibi MIMICS programı ile el bileğini oluşturan karpal kemikler, metakarpal kemikler, ulna ve Radius kemikleri 3 boyutlu olarak modellendi.



Şekil 14: MIMICS® programında verilerden üç boyutlu model oluşturulması

Doğru geometrinin elde edilmesi için MIMICS® yazılımından el bileğini oluşturan kemik yapılar STL (stereolithography) formatına dönüştürülerek tersine

mühendislik yazılımı olan Geomagic® Studio (Raindrop Geomagic programına Inc.) gönderildi. Burada istenmeyen çekim kaynaklı meydana gelen artefactlar, modellemede oluşan sivriliklerin giderilmesi, boşlukların doldurulması, yüzey çakışmaların giderilmesi ile yüzey düzenleme işlemi yapıldı. Bu işlemlerin sonrasında elde edilen 3 boyutlu el bileği modelinin belli noktalarından ölçümler yapılarak BT görüntüleme sistemi PACS programında karşılaştırılarak modelin validasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen model SolidWorks® (Dassault Systems, USA) yazılımına gönderilerek şekil 15’de görüldüğü gibi referans model elde edildi.



Şekil 15: Referans modelin 3 boyutlu katı modeli

3.2. Sonlu Elemanlar Modellerinin Oluşturulması

El bileği hareketlerinde fiksasyon tekniklerinin rotasyon açısına etkisinin incelenmesi için SolidWorks programında oluşturulan modeller ANSYS Workbench (Version 21, Ansys Inc., USA) programına gönderilmiştir. Çalışmamızda optimum element boyutlarını belirlemek amacıyla yakınsama çalışması yapılmıştır. Mesh convergence için kemik yapılarda 0.5 mm aralıklarla 3 mm’den 0,5 mm’ye ayarlanarak ağ yakınsaması yapılmıştır. Kemikler arasında ki temas bölgelerinde ve kemik vida arasındaki temas bölgelerinde ek ağ iyileştirilmesi yapılmıştır. Optimum sonuçlar için en uygun eleman boyutları kemik modellerde 2 mm, vidada eleman boyutu 1 mm olarak belirlenmiştir. Eleman tipi olarak Solid 187 (tetrahedron) model kabul edilmiştir. Referans modelde 181927 tetrahedral eleman ile 115175 düğüm noktası bulunmaktadır. Şekil 16’da referans

el bileğinin ağ yapısı görülmektedir. Analizler Newton-Raphson metoduna göre non-lineer olarak yapılmıştır.



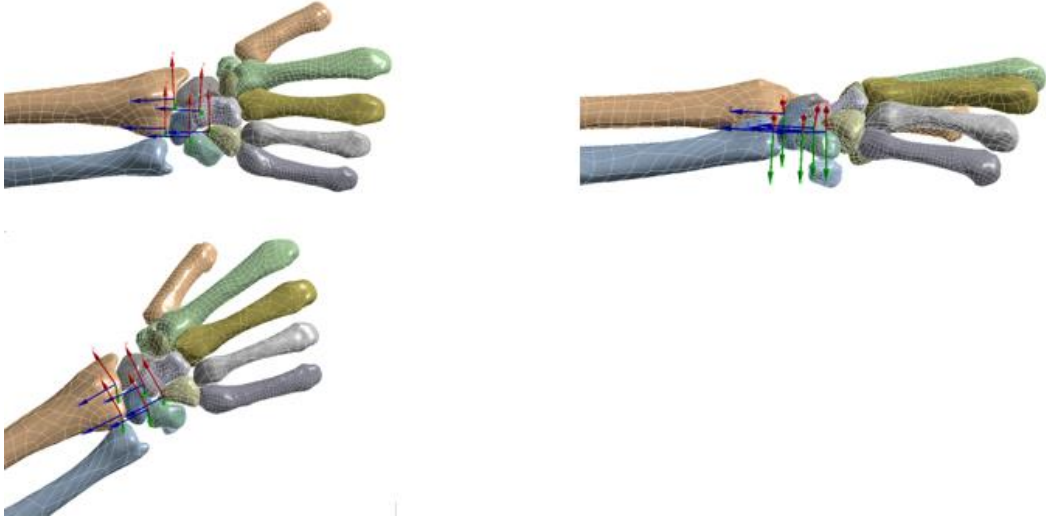
Şekil 16: Referans el bileği modelin ağ yapısı

Literatürde yer alan çalışmalar temel alınarak kemik ve vida için mekanik özellikleri tanımlanmıştır. Kemik için 17000 MPa ve 0,3 Poison's ratio(ν), Titanyum vida (Ti6Al4V) vida için ise 106000 MPa ve 0,33 Poison's ratio(ν) atanmıştır. Tüm malzeme özellikleri izotropik malzeme olarak seçildi ve lineer elastik olarak tanımlandı (88, 89).

3.3. Sınır Koşullarının Belirlenmesi

El bileği hareketlerini tasarlamadan önce, işlevselliğini ve yapısını gözlemlemek için doğal modeli incelemek gerekir. El bileği, radyokarpal, distal radioulnar, midkarpal ve karpometakarpal eklemleri içeren insan vücudundaki en karmaşık eklemlerden biridir. Fleksiyon-ekstansiyon, radyal ve ulnar deviasyon, pronasyon-supinasyon ve sirkumdüksiyon dâhil olmak üzere altı eksenli çok yönlü hareketlere izin verir. El bilek, yükü iki eleman arasında iletmek ve dağıtmak için eli ve ön kolu birbirine bağlar. Ayrıca önkol ve elin stabilitesini sağlayabilir.

Analizlerde el bileği Fleksiyon, ekstansiyon, radyal deviasyon ve ulnar deviasyon olmak üzere 4 yönde analizler gerçekleştirilmiştir. El bileği hareketlerinin analizlerinin yapılabilmesi için Skapfoid, Lunat, Triquetrum, Kapitat ve Hamatum kemiklerine anatomik koordinat sistemleri tanımlanmıştır (Şekil 17). Trapeziyum ve trapezoideum bu modellemede hareketsiz olarak referans edilmiştir. El bileğinin hareketleri pronasyondaki el bileği için oluşturulmuştur.



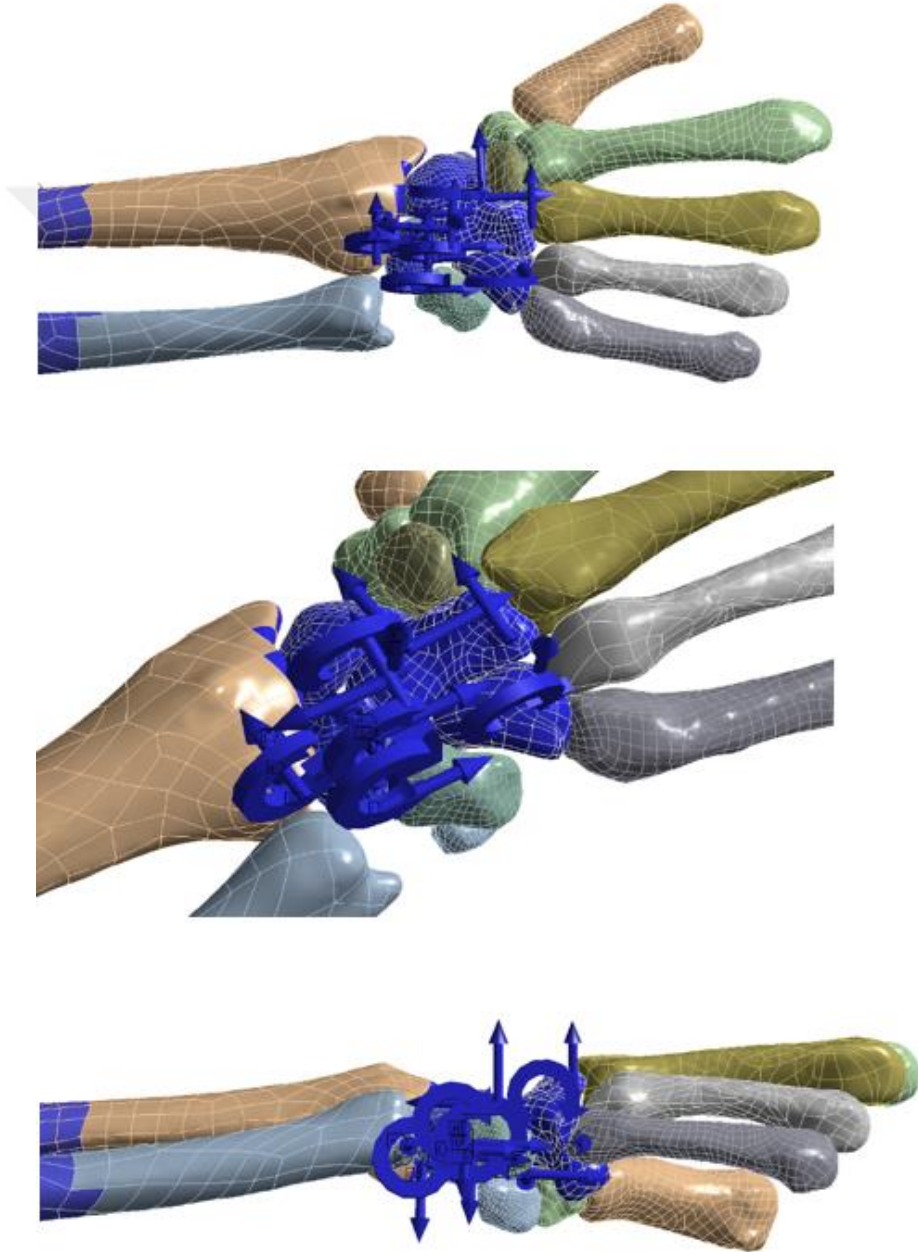
Şekil 17: El bileği koordinat sistemleri

Hareketlerin yapılmasında literatürde yer alan kadavra çalışmalarından Skapfoïd, Lunat, Triquetrum, Kapitat ve Hamatum kemiklerinin x, y ve z eksenlerindeki yer değişimleri ve rotasyon dereceleri yapılan kadavra çalışmalarıyla belirlenmiştir (90). El bileği eksenleri Şekil 17’de görölmektedir. Bu değerler tablo 3’de gösterilmektedir.

Tablo 3: Radiusa göre normal karpal kemik hareketleri

		x(mm)	y(mm)	z (mm)	Rotasyon Derecesi (°)
Extension	Skapfoid	0.1	0.98	0.05	56.1 ±9.2
	Lunat	0.09	0.98	0.15	31.2 ±4.9
	Triquetrum	0.12	0.98	0.05	41.6 ±5.1
	Kapitat	0	0.99	0.03	64.2 ±6.8
	Hamatum	- 0.01	0.99	0.00	65.0 ±5.7
Flexion	Skapfoid	- 0.04	- 0.96	- 0.23	55.41 ±6.9
	Lunat	0.01	- 0.90	- 0.35	45.1 ±1 9.8
	Triquetrum	- 0.01	- 0.92	- 0.30	47.7 ±21.2
	Kapitat	0.02	- 0.99	- 0.10	77.0 ±17.0
	Hamatum	0.04	- 0.99	- 0.10	72.2 ±17.0
Radial Deviation	Skapfoid	0.24	- 0.72	0.62	12.8 ±6.9
	Lunat	0.14	0.78	0.63	1 3.0 ±6.9
	Triquetrum	0.16	- 0.49	0.83	11.8 ±7.2
	Kapitat	0.10	0.06	0.97	24.2 ±8.3
	Hamatum	0.15	0.15	0.97	23.9 ±7.3
Ulnar Deviation	Skapfoid	- 0.24	0.74	- 0.55	22.7 ±6.0
	Lunat	- 0.13	0.80	- 0.54	25.4 ±7.3
	Triquetrum	0.01	0.64	- 0.84	23.3 ±7.3
	Kapitat	- 0.21	- 0.15	- 0.95	28.7 ±8.8
	Hamatum	0.16	- 0.08	- 0.96	28.0 ±9.7

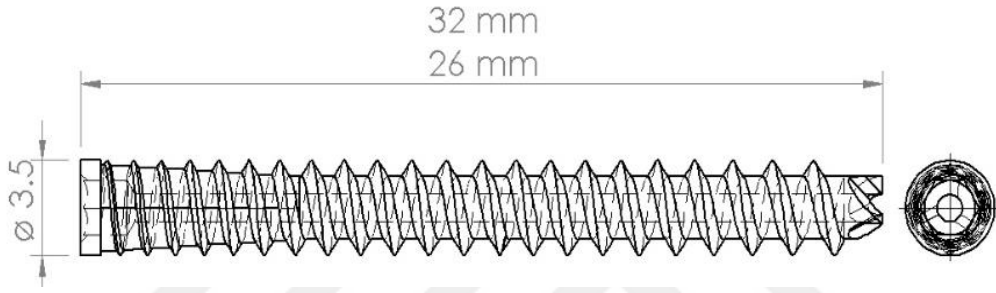
Ulna ve radius distalinden sabit kabul edilmiştir. Tablo 3’de verilen hareket ve rotasyon değerleri tüm modellere uygulandı (Şekil 18). Kemikler arasında sürtünmesiz (frictionless) kontak tanımlaması yapılmıştır. Vida ve kemik model arasında ise sürtünlü (frictional) kontak tanımlaması yapılarak 0,3 sürtünme katsayısı tanımlanmıştır (91, 92). Modelleme içine yumuşak doku elemanları dahil edilmemiştir.



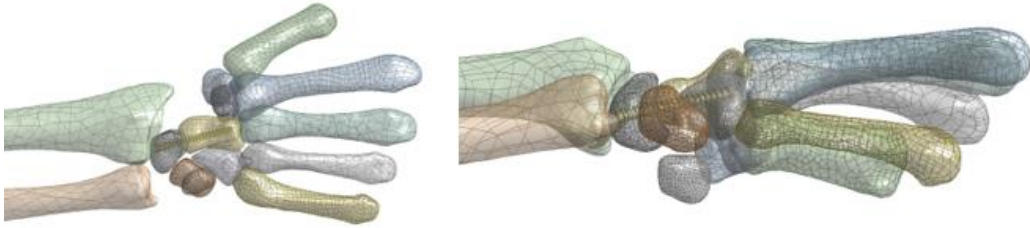
Şekil 18: Sonlu elemanlar modeli sınır şartları

3.4. Füzyon Modellerinin Oluşturulması

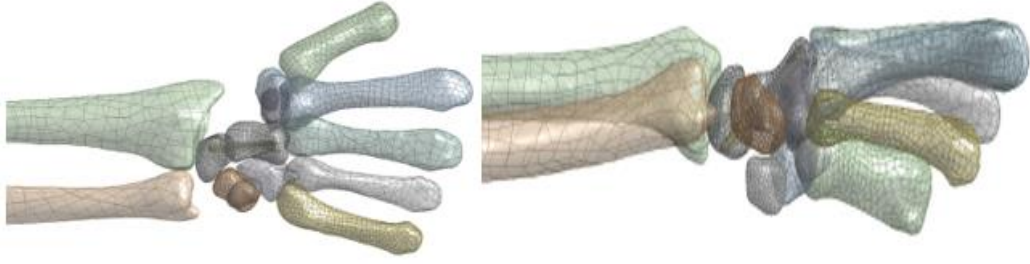
Litaratürde birçok farklı kombinasyonda füzyon tekniği bulunmaktadır. Biz bu çalışmamızda SLAK ve SNAK sonrasında yapılacak füzyon modellerini 1-Lunokapitat, 2-Kapitolunat, 3-Lunokapitat Triquetrohamat, 4-Kapitolunat Lunotriquetral Triquetrohamat, 5-Lunokapitat Hamatokapitat ve 1., 2.ve 5. füzyon modellerinden triquetrimun çıkartılmasya oluşan 3 füzyon modeli ile birlikte toplamda 8 füzyon modeli belirledik. Bu füzyon modellerindeki tespit materyali olarak 3,5'lik akutrak (acumed®) kullanıldı.



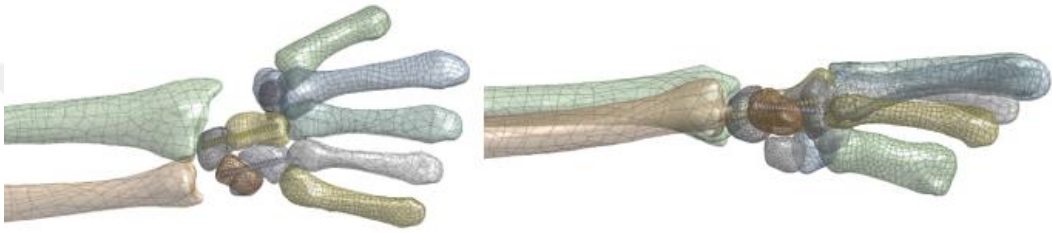
Şekil 19: Füzyon modellerinde modellere uygun boyutlarda gösterildiği gibi 32 ve 26 mm uzunluklarında 3.5'lik iki farklı başsız kanüllü vida kullanılmıştır



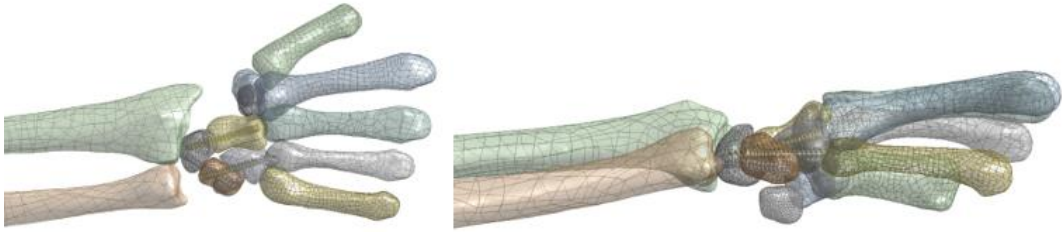
Şekil 20: Lunokapitat füzyon'un 3 boyutlu katı modeli (3.5'lik başsız kanüllü vida 32mm'lik vida ile füzyon)



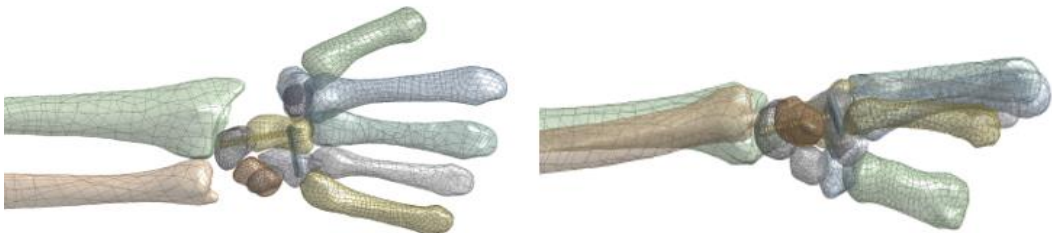
Şekil 21: Kapitolunat füzyon'un 3 boyutlu katı modeli (ø3.5' luk başsız kanüllü vida 32mm'lik vida ile füzyon)



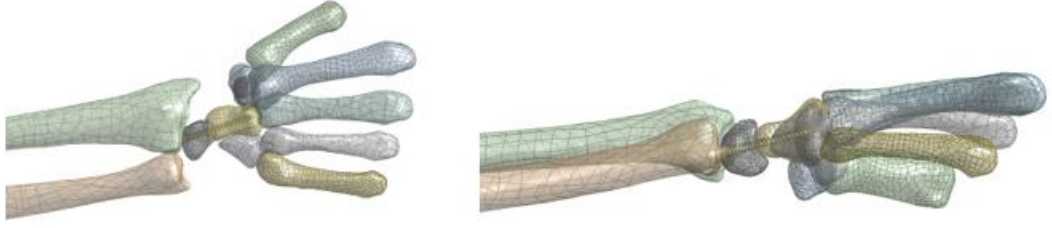
Şekil 22: Lunokapitat ve triquetrohamat füzyon'un 3 boyutlu katı modeli (2 adet ø3.5luk başsız kanüllü vida 32mm'lik vida ile füzyon)



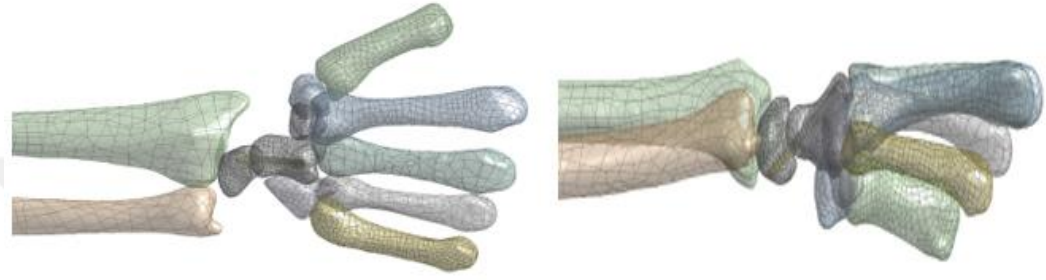
Şekil 23: Kapitolunat ve lunotriquetral triquetrohamat füzyon'un 3 boyutlu katı modeli



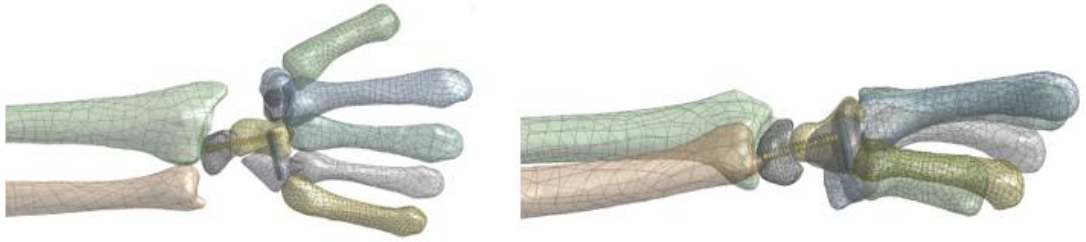
Şekil 24: Lunokapitat ve hamatokapitat füzyon'un 3 boyutlu katı modeli



Şekil 25: Triquetrumun çıkarıldığı lunokapitat füzyon'un 3 boyutlu katı modeli



Şekil 26: Triquetrumun çıkarıldığı kapitolunat füzyon'un 3 boyutlu katı modeli



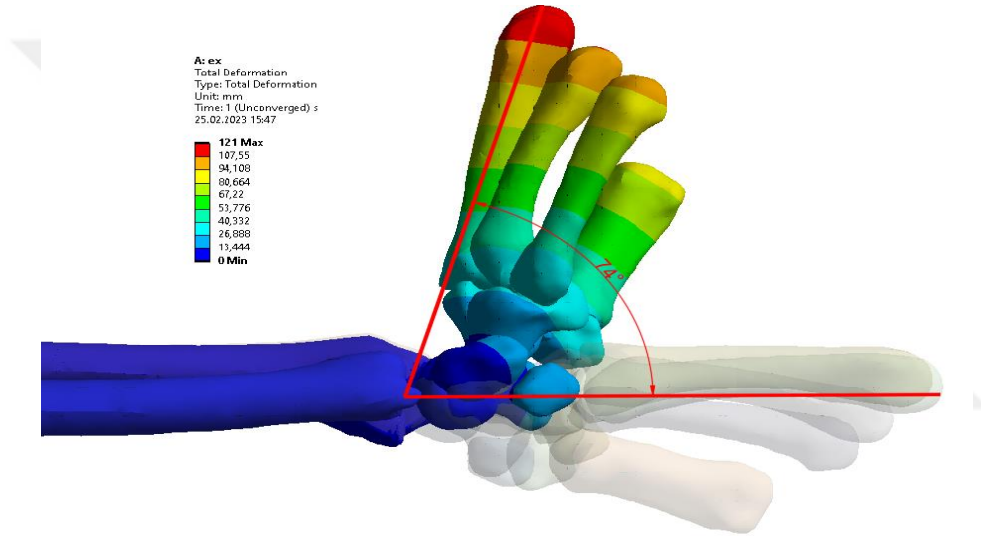
Şekil 27: Triquetrumun çıkarıldığı lunokapitat hamatokapitat füzyon'un 3 boyutlu katı modeli

Tüm füzyon modelleri belirlenen sınırlı modelleme referansları ile test edildi.

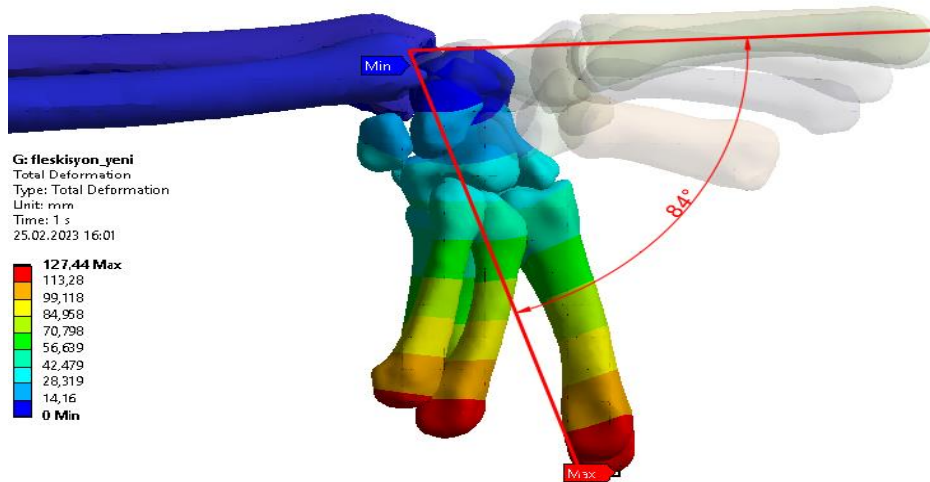
4. SONUÇLAR

Sınırlı el bileği modellemesinin ardından SNAK ve SLAK lezyon sonrasında skafoid kemiğin çıkartılarak oluşturulduğu füzyon modellerinde el bileği pronasyonda iken fleksiyon, ekstansiyon, ulnar deviasyon, radial deviasyon değerlerini inceledik. Füzyon modellerinde hareketin sonlanması, oluşturduğumuz sınırlı koşullar çerçevesinde vidanın maksimum gerimi oluşması ile sonlandı.

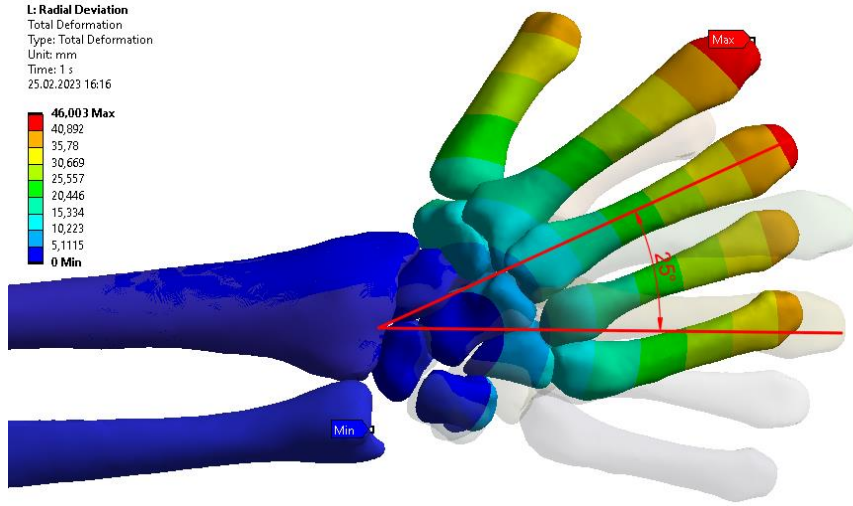
4.1. Referans El Bilek Modeli



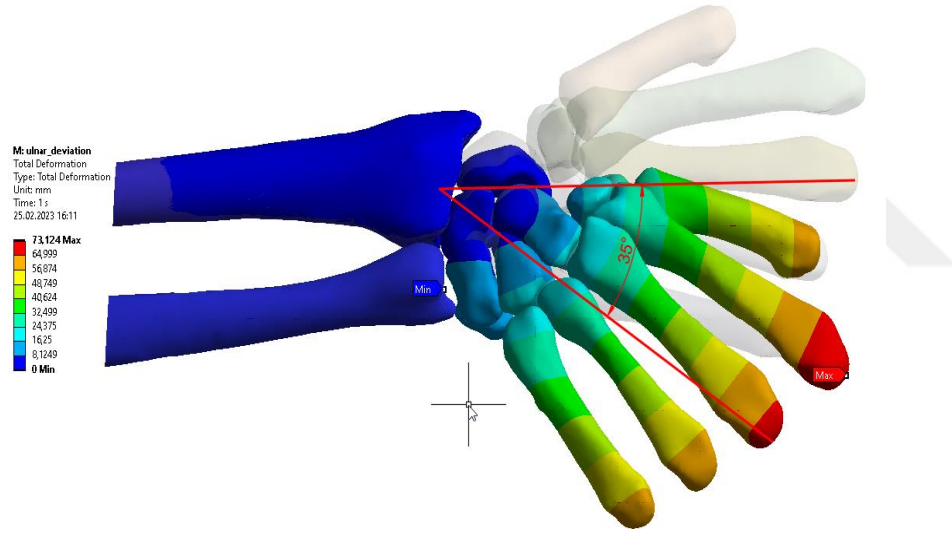
Şekil 28: Referans elbilek modelinde ekstansiyon değeri



Şekli 29: Referans elbilek modelinde fleksiyon değeri



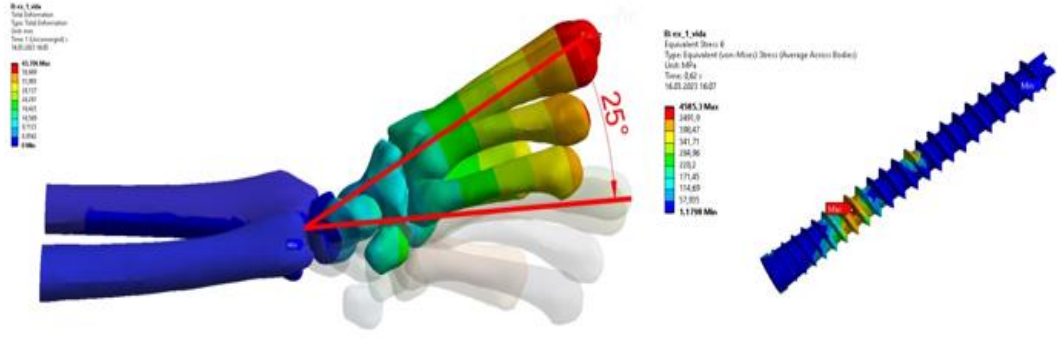
Şekli 30: Referans elbilek modelinde pronasyondaki elin radial deviasyon değeri



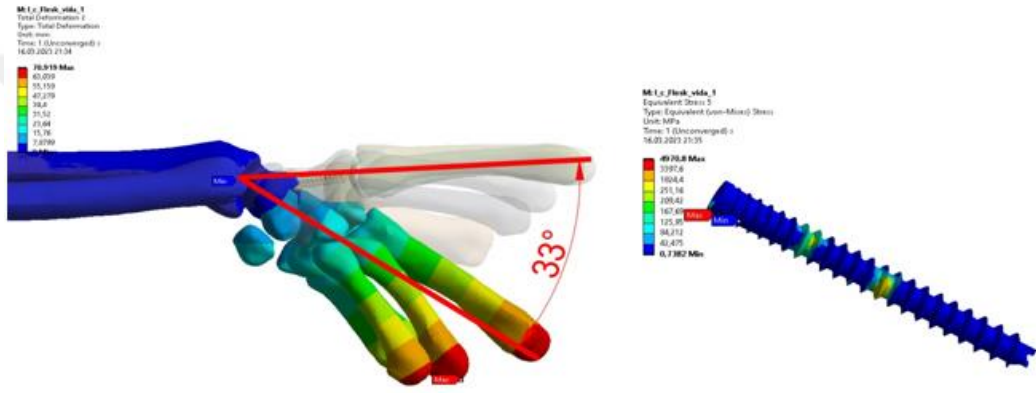
Şekli 31: Referans elbilek modelinde pronasyondaki elin ulnar deviasyon değeri

4.2. Lunokapitat Füzyon Modeli

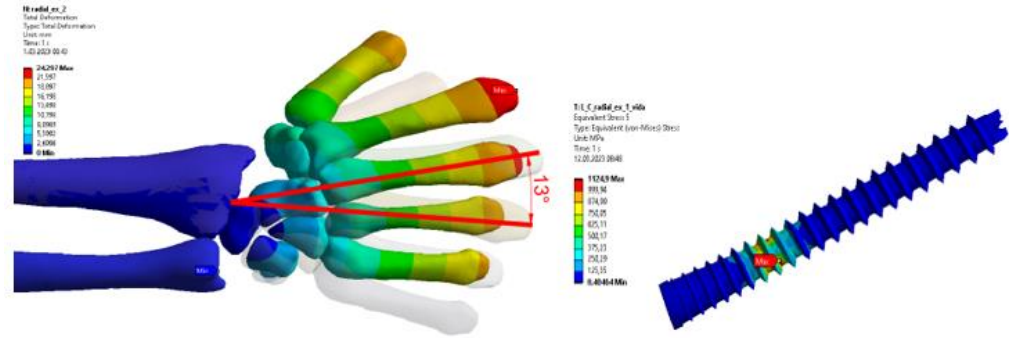
Lunokapitat füzyon modelinde sırasıyla ekstansiyon, fleksiyon, radial deviasyon, ulnar deviasyon hareketleri gösterilmektedir. Bu füzyon modelinde fleksiyon-ekstansiyon arkını 58° radial ve ulnar deviasyon arkını 39° olarak bulduk.



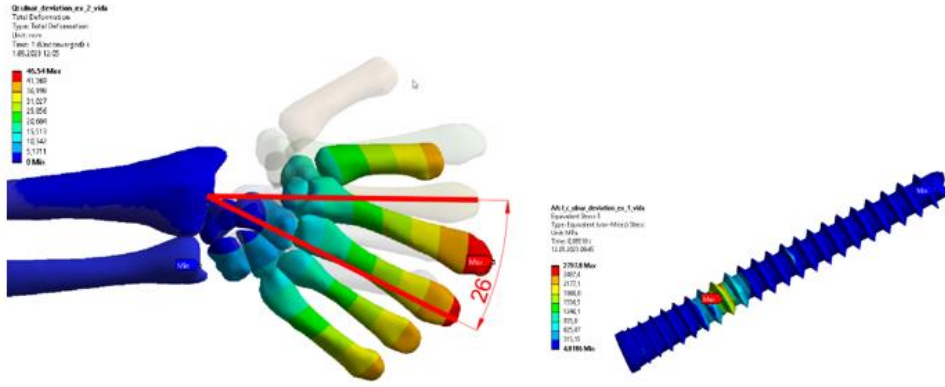
Şekil 32: Lunokapitat füzyon modelinde ekstansiyon hareketi



Şekil 33: Lunokapitat füzyon modelinde ekstansiyon hareketi



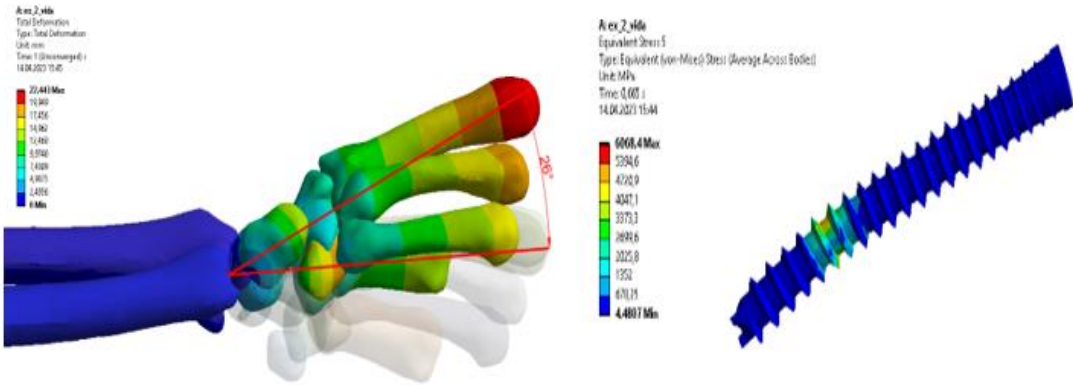
Şekil 34: Lunokapitat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğin radial deviasyonu



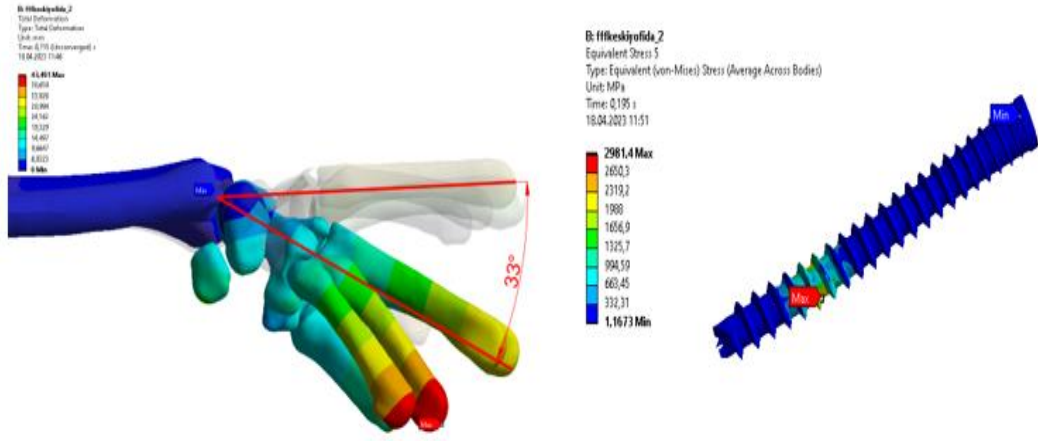
Şekil 35: Lunokapitat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğin ulnar deviasyonu

4.3. Kapitolunat Füzyon Modeli

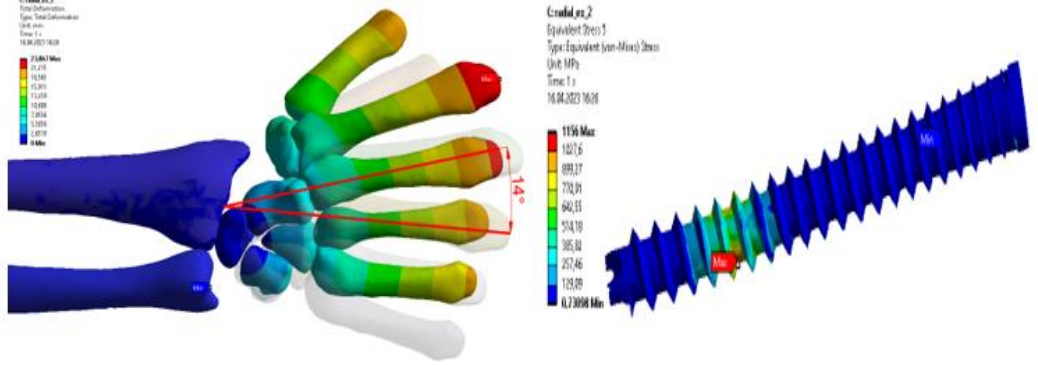
Kapitolunat füzyon modelinde sırasıyla ekstansiyon, fleksiyon, radial deviasyon, ulnar deviasyon hareketleri gösterilmektedir. Bu füzyon modelinde fleksiyon-ekstansiyon arkını 59° radial ve ulnar deviasyon arkını 40° olarak bulduk.



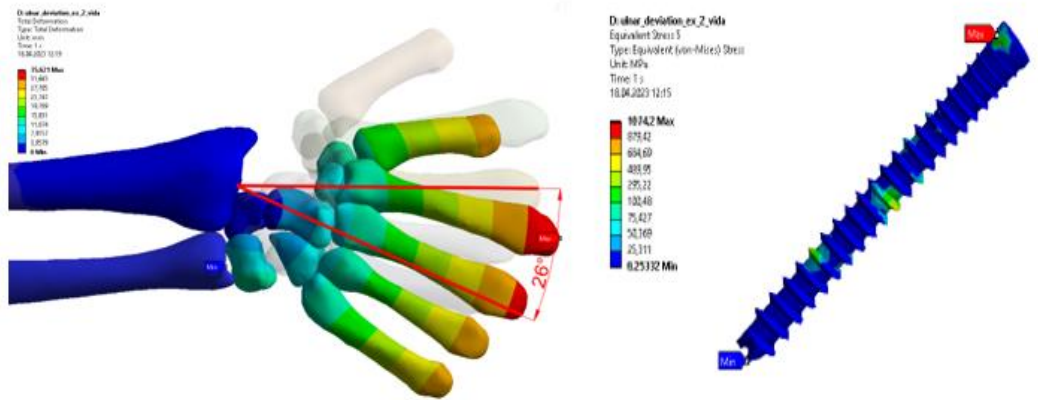
Şekil 36: Kapitolunat füzyon modelinde ekstansiyon hareketi



Şekil 37: Kapitolunat füzyon modelinde fleksiyon hareketi



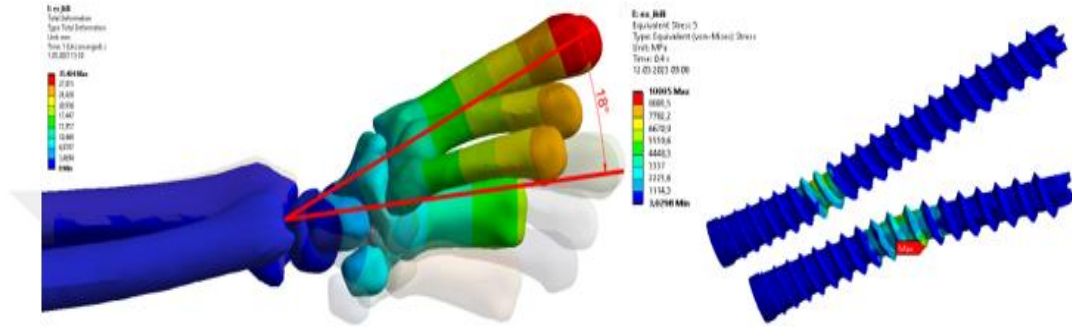
Şekil 38: Kapitolunat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğin radial deviasyonu



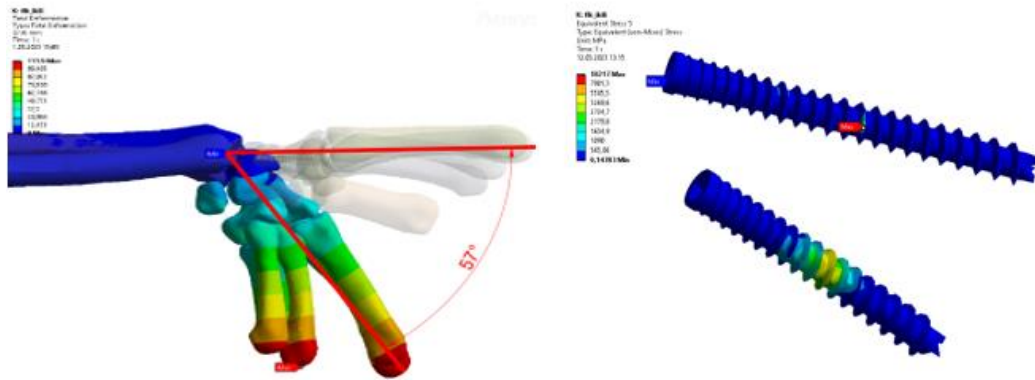
Şekil 39: Kapitolunat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğin ulnar deviasyonu

4.4. Lunokapitat Triquetrohamat Füzyon Modeli

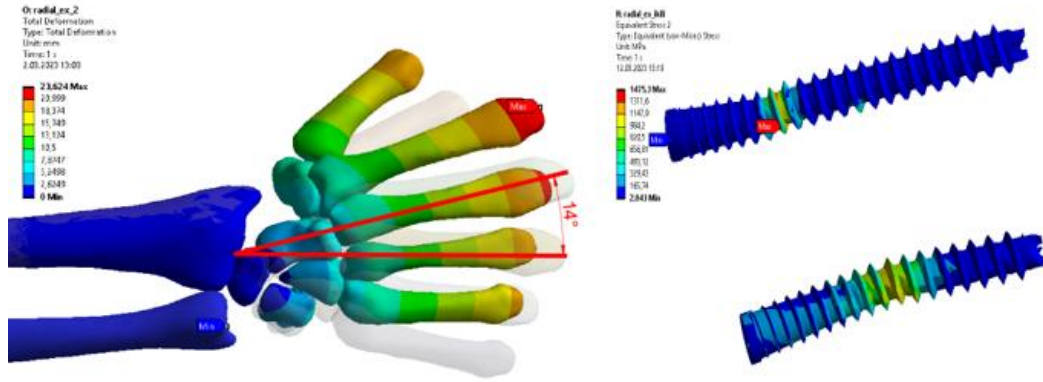
Lunokapitat Triquetrohamat füzyon modelinde sırasıyla ekstansiyon, fleksiyon, radial deviasyon, ulnar deviasyon hareketleri gösterilmektedir. Bu füzyon modelinde fleksiyon-ekstansiyon arkını 75° radial ve ulnar deviasyon arkını 39° olarak bulduk.



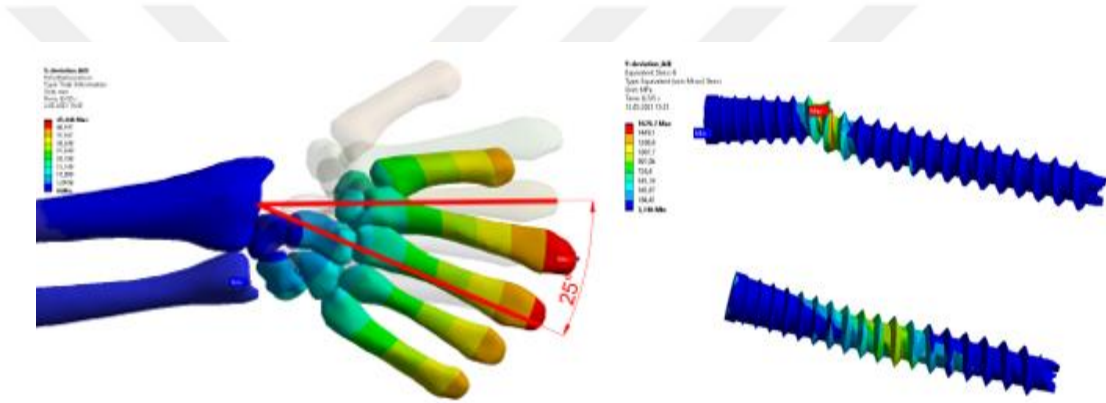
Şekil 40: Lunokapitat triquetrohamat füzyon modelinde ekstansiyon hareketi



Şekil 41: Lunokapitat triquetrohamat füzyon modelinde ekstansiyon hareketi



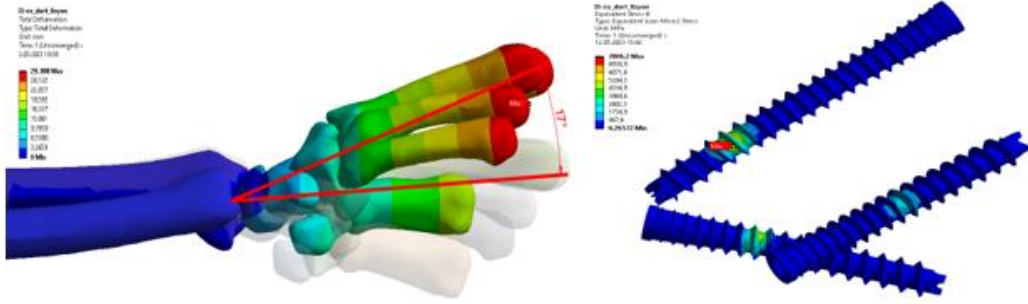
Şekil 42: Lunokapitat triquetrohamat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğin radial deviasyonu



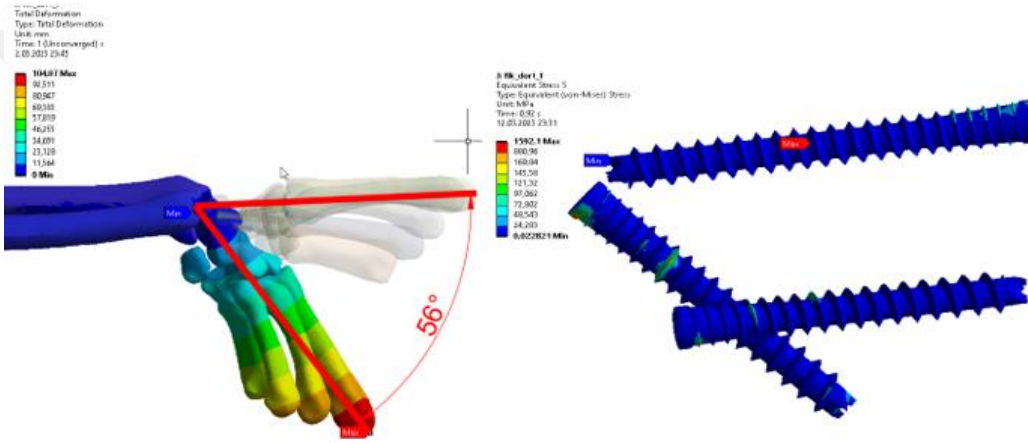
Şekil 43: Lunokapitat triquetrohamat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğin ulnar deviasyonu

4.5. Kapitolunat Lunotriquetral Triquetrohamat Füzyon Modeli

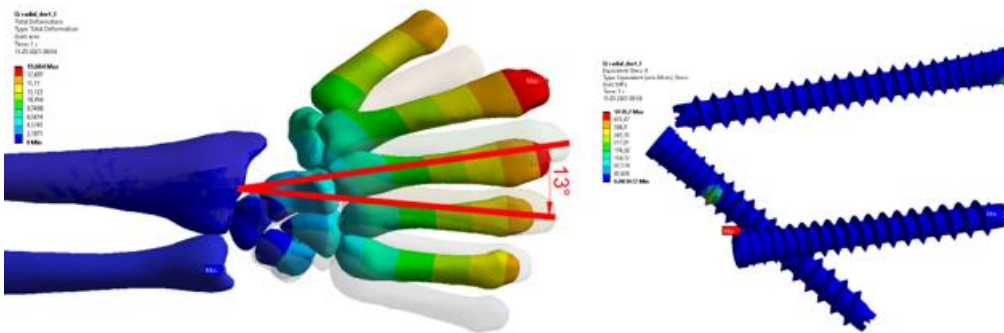
Kapitolunat Lunotriquetral Triquetrohamat füzyon modelinde sırasıyla ekstansiyon, fleksiyon, radial deviasyon, ulnar deviasyon hareketleri gösterilmektedir. Bu füzyon modelinde fleksiyon-ekstansiyon arkını 73° radial ve ulnar deviasyon arkını 29° olarak bulduk.



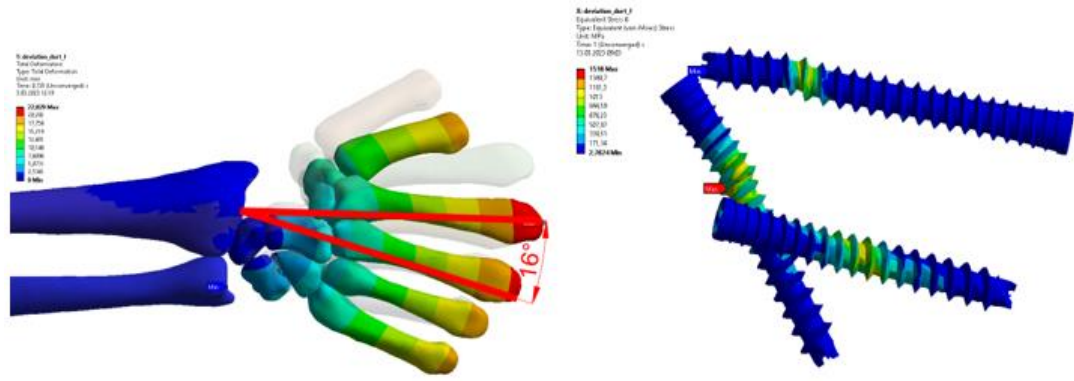
Şekil 44: Kapitolunat lunotriquetral triquetrohamat füzyon modelinde ekstansiyon hareketi



Şekil 45: Kapitolunat lunotriquetral triquetrohamat füzyon modelinde fleksiyon hareketi



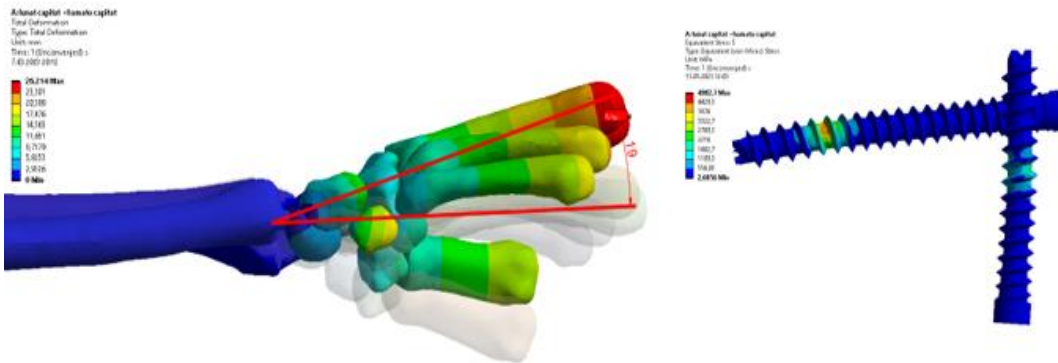
Şekil 46: Kapitolunat lunotriquetral triquetrohamat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğin radial deviasyonu



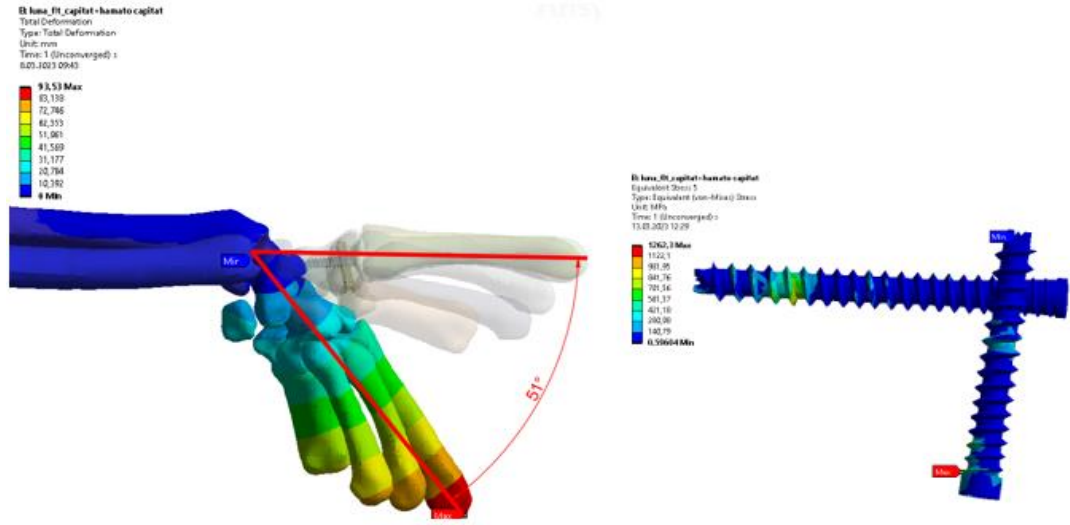
Şekil 47: Kapitolunat lunotriquetral triquetrohamat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğin ulnar deviasyonu

4.6. Lunokapitat Hamatokapitat Füzyon Modeli

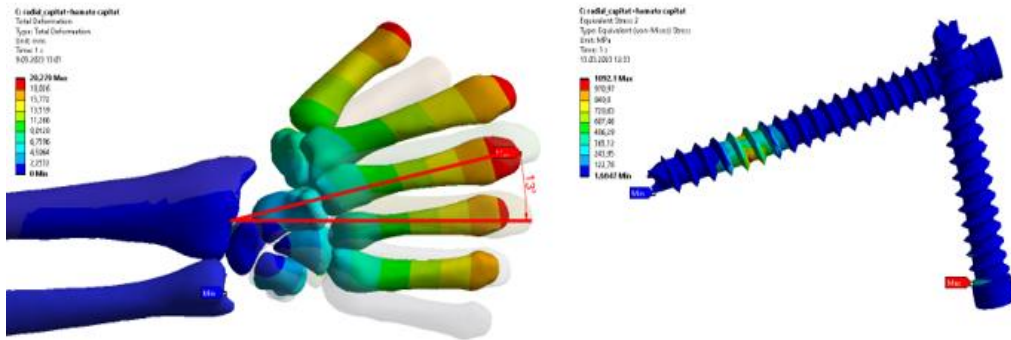
Lunokapitat Hamatokapitat füzyon modelinde sırasıyla ekstansiyon, fleksiyon, radial deviasyon, ulnar deviasyon hareketleri gösterilmektedir. Bu füzyon modelinde fleksiyon-ekstansiyon arkını 70° radial ve ulnar deviasyon arkını 30° olarak bulduk.



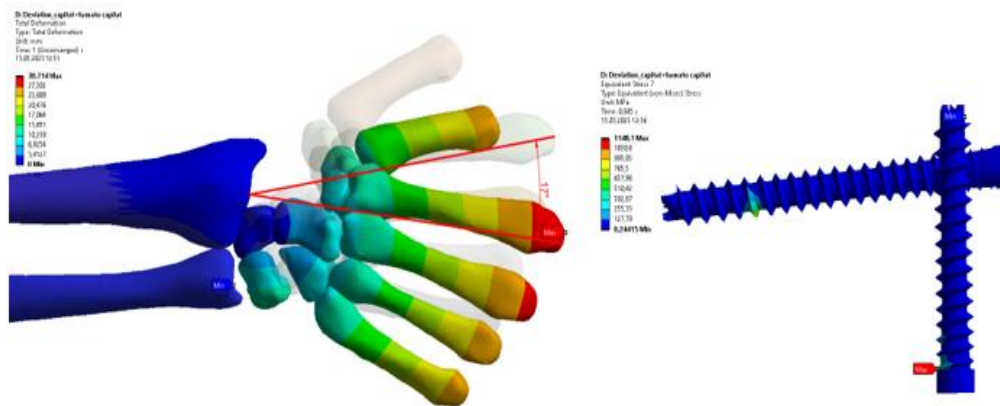
Şekil 48: Lunokapitat hamatokapitat füzyon modelinde ekstansiyon hareketi



Şekil 49: Lunokapitat hamatokapitat füzyon modelinde fleksiyon hareketi



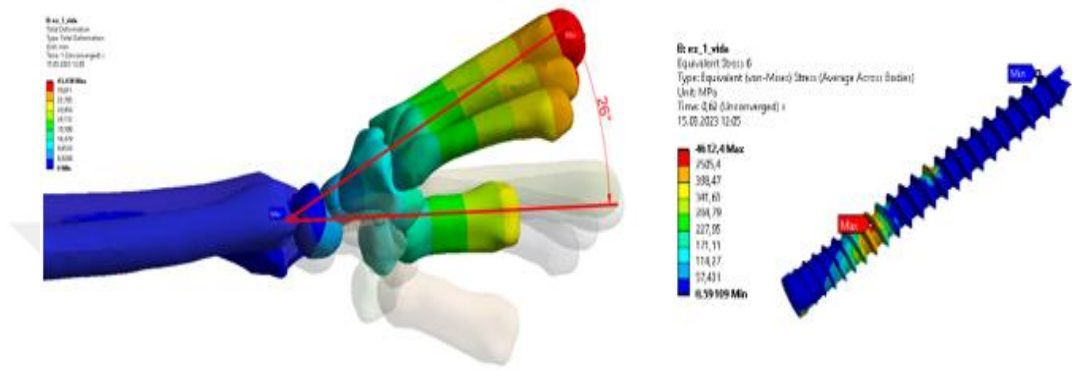
Şekil 50: Lunokapitat hamatokapitat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğin radial deviasyonu



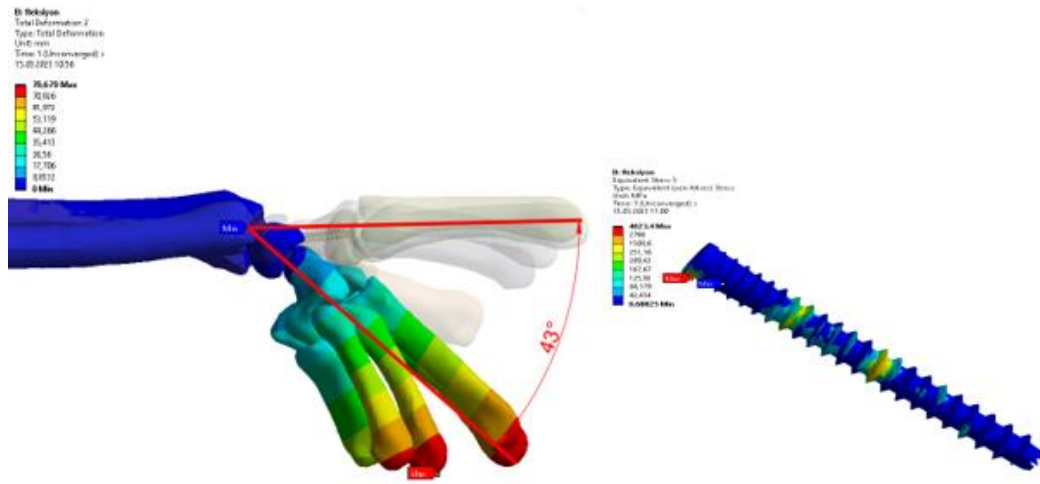
Şekil 51: Lunokapitat hamatokapitat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğin ulnar deviasyonu

4.7. Triquetrium Olmadığı Lunokapitat Füzyon Modeli

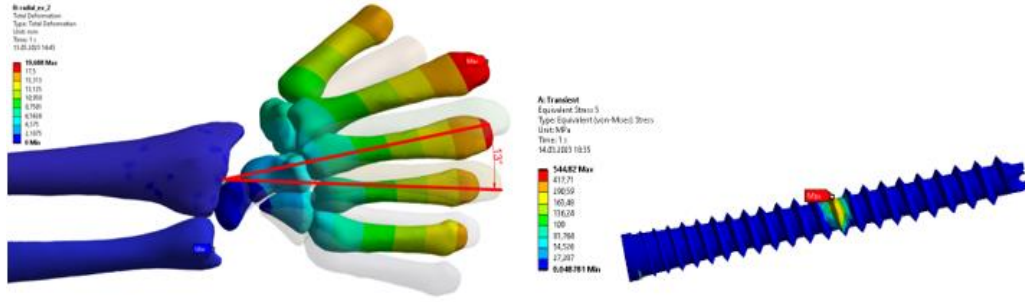
Triquetrium olmadığı Lunokapitat füzyon modelinde sırasıyla ekstansiyon, fleksiyon, radial deviasyon, ulnar deviasyon hareketleri gösterilmektedir. Bu füzyon modelinde fleksiyon-ekstansiyon arkını 69° radial ve ulnar deviasyon arkını 43° olarak bulduk.



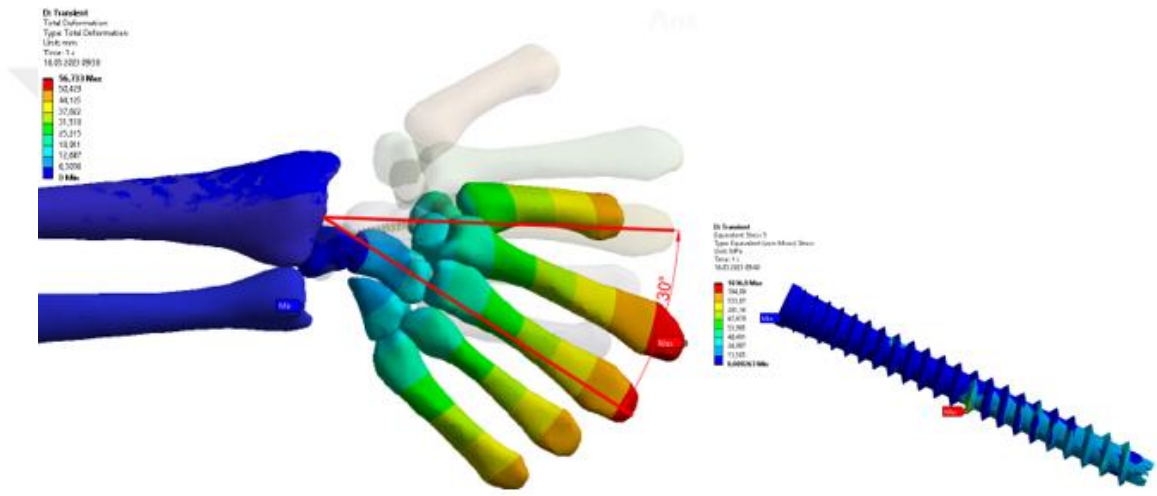
Şekil 52: Triquetrium olmadığı lunokapitat füzyon modelinde ekstansiyon hareketi



Şekil 53: Triquetrium olmadığı lunokapitat füzyon modelinde fleksiyon hareketi



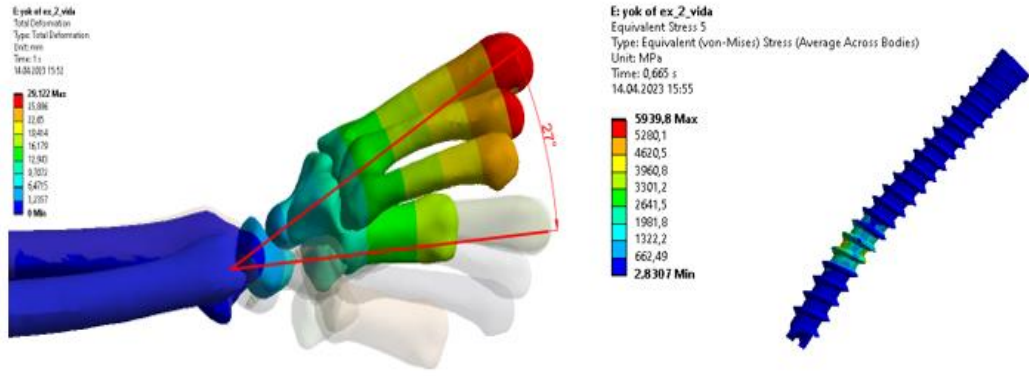
Şekil 54: Triquetrium olmadığı lunokapitat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğin radial deviasyonu



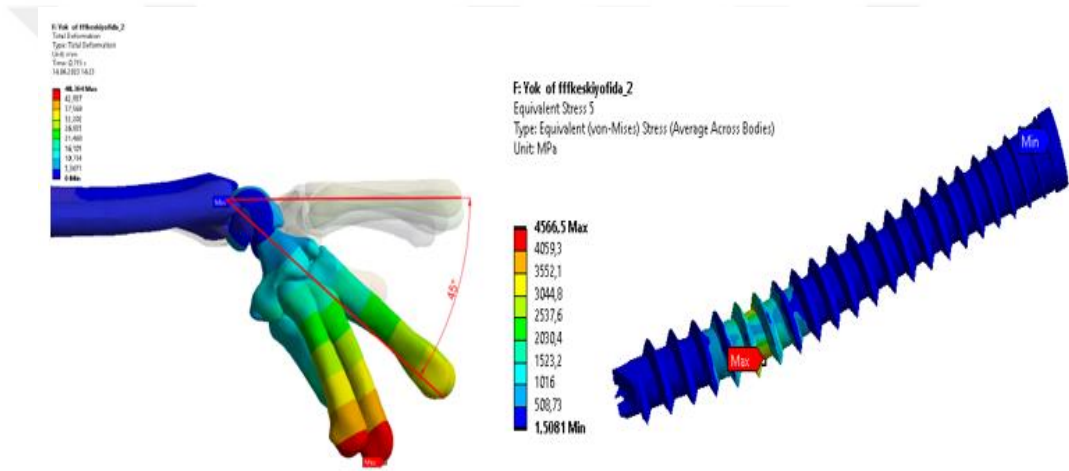
Şekil 55: Triquetrium olmadığı lunokapitat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğin ulnar deviasyonu

4.8. Triquetrium Olmadığı Kapitolunat Füzyon Modeli

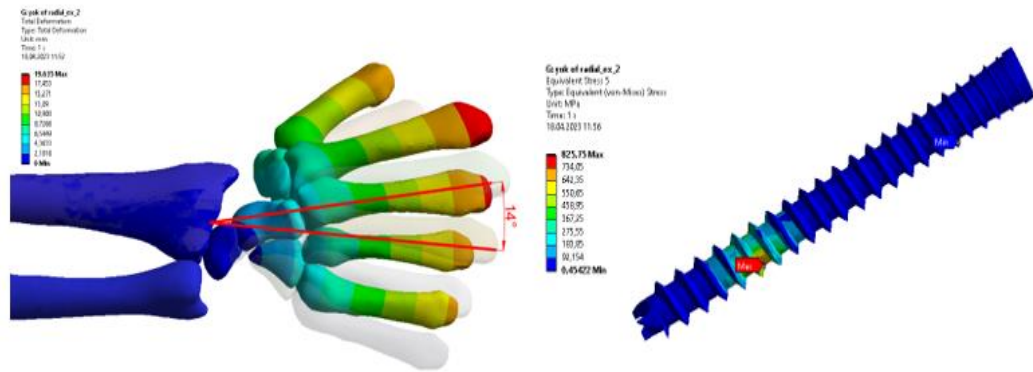
Triquetrium olmadığı Kapitolunat füzyon modelinde sırasıyla ekstansiyon, fleksiyon, radial deviasyon, ulnar deviasyon hareketleri gösterilmektedir. Bu füzyon modelinde fleksiyon-ekstansiyon arkını 72° radial ve ulnar deviasyon arkını 48° olarak bulduk.



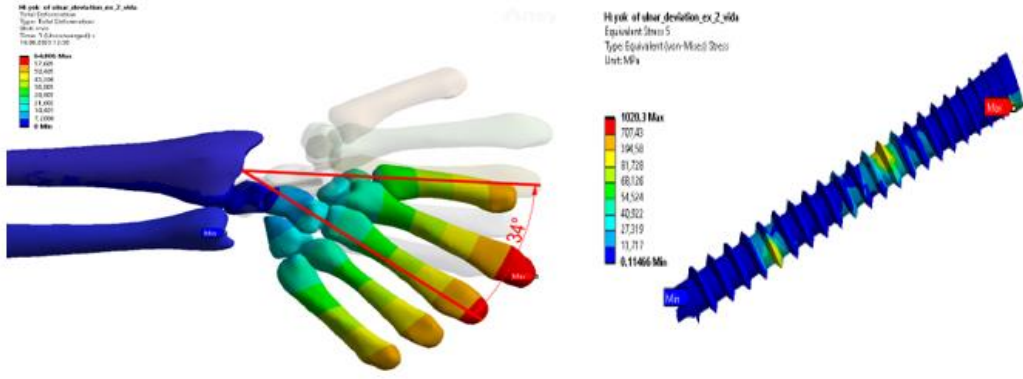
Şekil 56: Triquetrium olmadığı kapitolunat füzyon modelinde ekstansiyon hareketi



Şekil 57: Triquetrium olmadığı kapitolunat füzyon modelinde fleksiyon hareketi



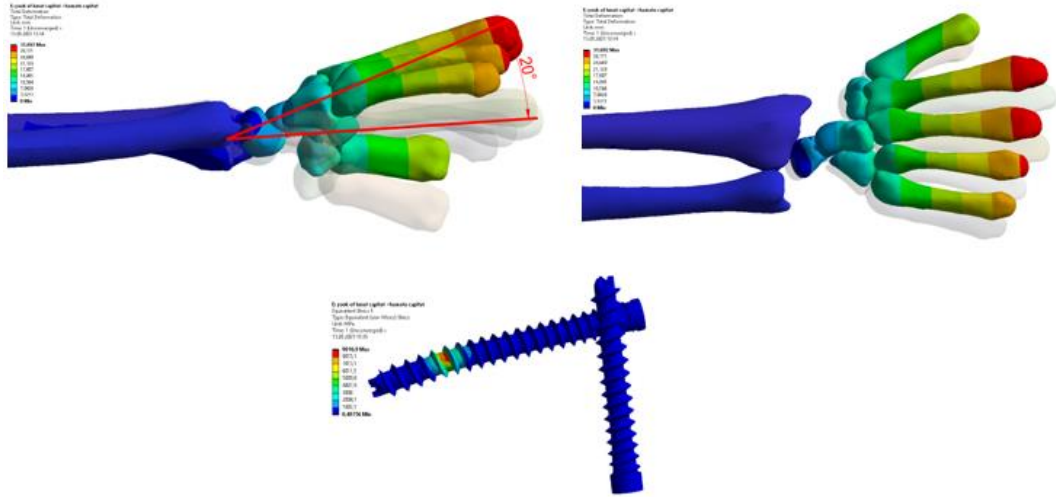
Şekil 58: Triquetrium olmadığı kapitolunat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğin radial deviasyonu



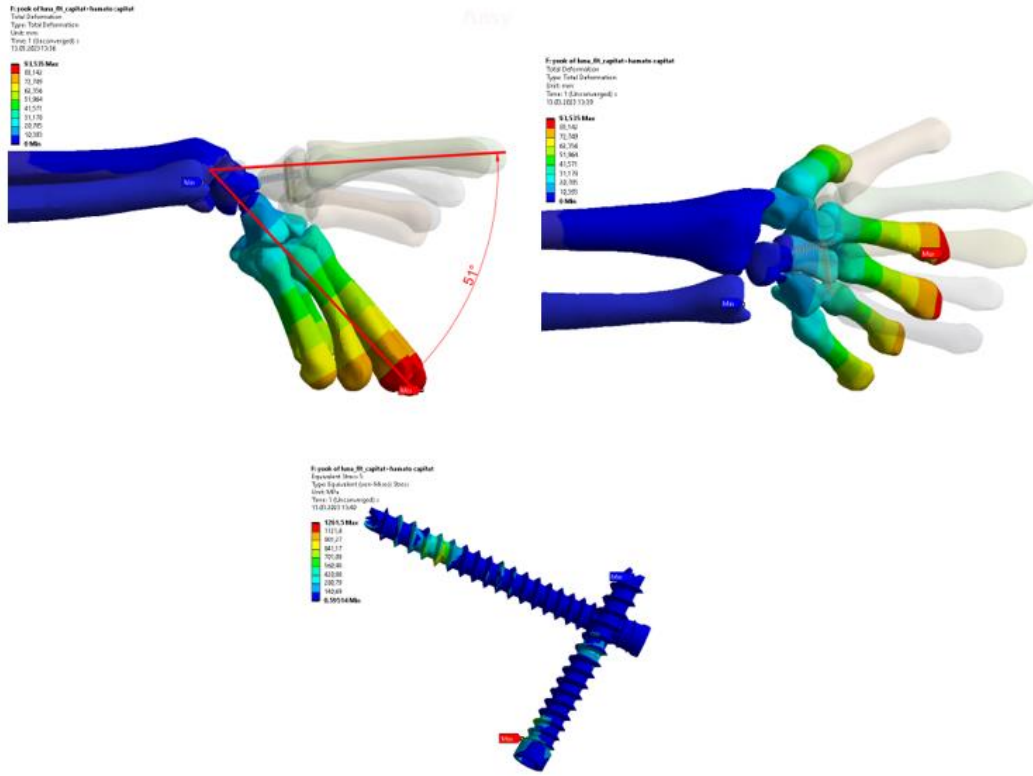
Şekil 59: Triquetrium olmadığı kapitolunat füzyon modelinde pronasyondaki e bileğin ulnar deviasyonu

4.9. Triquetrium Olmadığı Lunokapitat Hamatokapitat Füzyon Modeli

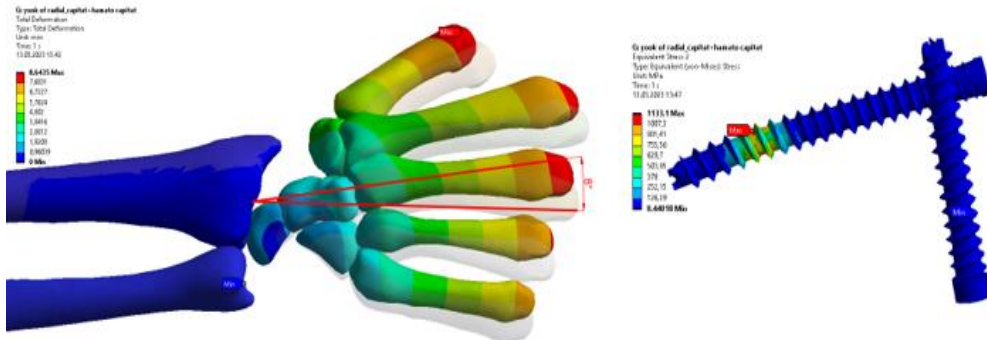
Triquetrium olmadığı Lunokapitat Hamatokapitat füzyon modelinde sırasıyla ekstansiyon, fleksiyon, radial deviasyon, ulnar deviasyon hareketleri gösterilmektedir. Bu füzyon modelinde fleksiyon-ekstansiyon arkını 71° radial ve ulnar deviasyon arkını 33° olarak bulduk.



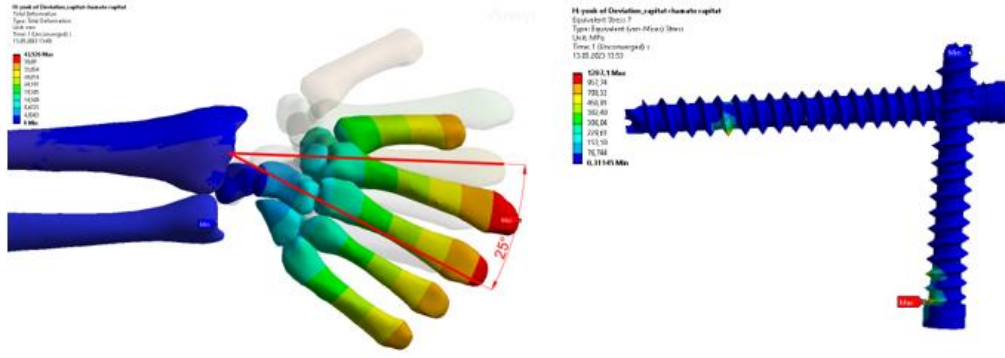
Şekil 60: Triquetrium olmadığı lunokapitat hamatokapitat füzyon modelinde ekstansiyon hareketi



Şekil 61: Triquetrium olmadığı lunokapitat hamatokapitat füzyon modelinde fleksiyon hareketi



Şekil 62: Triquetrium olmadığı lunokapitat hamatokapitat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğin radial deviasyonu



Şekil 63: Triquetrium olmadığı lunokapitat hamatokapitat füzyon modelinde pronasyondaki el bileğin ulnar deviasyonu

Tablo 4: Sınırlı koşullara sahip elbilek modeli üzerinde gerçekleştirilen füzyon modellerinin EHA sonuçları

Modeller		Extansiyon	Fleksiyon	Extansiyon - Fleksiyon Arkı	Ulnar Deviasyon	Radial Deviasyon	Ulnar - Radial Deviasyon Arkı
Referans Model		74	84	158	35	25	60
Skafoid Yok El Bilek EHA	Lunokapitat	25	33	58	26	13	39
	Kapitolunat	26	33	59	26	14	40
	Lunokapitat + Triquetrohamat	18	57	75	25	14	39
	Lunokapitat + Hamatokapitat	19	51	70	17	13	30
	Kapitolunat + Lunotriquetral + Triquetrohamat	17	56	73	16	13	29
Skafoid + Triquetrum Yok El Bilek EHA	Lunokapitat	26	43	69	30	13	43
	Kapitolunat	27	45	72	34	14	48
	Lunokapitat + Hamatokapitat	20	51	71	25	8	33

Tablo 5: Sınırlı koşullara sahip elbilek modeli üzerinde gerçekleştirilen füzyon modellerinde ekstansiyon, fleksiyon, ulnar ve radial deviasyonlar sırasında vidalarda oluşan maksimum gerilme kuvvetleri

Vida Maksimum Gerilme (Mpa)					
Modeller		Extansiyon	Fleksiyon	Ulnar Deviasyon	Radial Deviasyon
Referans Model					
Skafoid Yok	Lunokapitat	4585	4865	2797	1124
	Kapitolunat	7831,6	3754,3	2208	1071
	Lunokapitat + Triquetrohamat	10005	10217	1629,7	1475,3
	Lunokapitat + Hamatokapitat	4982,7	1262,3	1148,1	1092,1
	Kapitolunat + Lunotriquetral + Triquetrohamat	7806	1592	1518	1039,2
Skafoid + Triquetrum Yok	Lunocapitat	4612,4	4023,4	1036,9	544,82
	Kapitolunat	7712,5	1329,1	1110,6	938,94
	Lunokapitat + Hamatokapitat	9016,9	1261,5	1207,1	1133,1

Yaptığımız füzyon modellerinde en düşük fleksiyon ekstansiyon arkı 58° ile Lunokapitat füzyon modelinde olmaktadır. En yüksek fleksiyon ekstansiyon arkı ise 75° ile Lunokapitat - Triquetrohamat füzyon modelindedir. Ortalama fleksiyon ekstansiyon arkını $68,4^\circ$ bulduk. Yaptığımız füzyon modellerinde en düşük ulnar radial deviasyon arkı 30° ile Lunokapitat-Hamatokapitat füzyon modelinde olmaktadır. En yüksek ulnar radial deviasyon arkı ise 48° ile Kapitolunat füzyon modelindedir. Ortalama ulnar radial deviasyon arkını $37,6^\circ$ bulduk.

5. TARTIŞMA

El bileği insan vücudaki en karmaşık eklemlerden birisidir. Sağlıklı ve fonksiyonel bir yaşam içinde eklem stabilitesi çok önemlidir. SLAK ve SNAK lezyonları el bilek stabilitesini bozan ve el cerrahisi pratiğinde oldukça sık görülen bir durumdur. Bu lezyonlar için ilk adım, ilgili primer patolojinin boyutlarının tam olarak değerlendirilmesidir. Cerrahi tekniklerde ortak amaç hastanın günlük işlerini rahat bir şekilde yapmasını sağlayacak ağrısız bir el bilek hareketine sahip olmasıdır. Bunun için yapılan cerrahi uygulamanın kaynama ile sonuçlanması gerekmektedir. Ameliyat sonrası dönemde el bilek EHA'ları üzerine ameliyat esnasında oluşturulan yumuşak doku hasarı, yapılan fiksasyonun stabil olması ve radyolunat eklem yüzeyinin korunması etki etmektedir. Bu ameliyatların başarısı, öncelikle kalan eklem yüzeylerinin bütünlüğüne sonrasında ise minimum fibrotik iyleşme süreci ile sonuçlanan yumuşak doku iyleşmesi ve artrodezi tam olarak sağlayacak bir fiksasyona bağlıdır.

De Carli ve ark. (98), lunatum pozisyonunun postoperatif el bilek fleksiyon ve ekstansiyonunu etkilediğini bulmuştur. Fleksiyonda bir lunatum pozisyonu postoperatif el bilek ekstansiyonunu artırır ve el bilek fleksiyonunu kısıtlar. Ekstansiyonda bir lunatum pozisyonu ise fleksiyonu iyileştirir ve ekstansiyonu sınırlar. Çalışmamızda el bilek artrodez modellerini oluştururken bu bilgiler doğrultusunda lunat kemiğini uzaysal konumunu nötralde ve inter karpal eklem konumlarını anatomik planda olacak şekilde tasarladık (99).

Intrakarpal artrodez için K-telleri, başsız kompresyon vidaları, u-staplırlar veya dairesel plaklar dâhil olmak üzere çeşitli fiksasyon yöntemleri önerilmiştir. Bu fiksasyon yöntemlerini karşılaştıran çalışmalarda, fiksasyon yöntemleri arasında ağrı, kavrama gücü, aktif hareket açıklığı ve artrodez hızı açısından anlamlı bir fark bulunamamıştır. Tespiti gerçekleştirmek için mevcut her implant ile yüksek kaynama oranları elde edilmiştir (100-102). Literatüre baktığımızda doğru materyalin hangisi olduğu konusunda fikir birliği yoktur. K-telleri ve u-staplırların yeterli tespit ve kompresyonun sağlamaması, dorsal kilitli plakların ise dorsal sıkışma ve ek komplikasyonlarının olması nedeniyle, biz çalışmamızda oluşturduğumuz artrodez modellerinde başsız kompresyon vidalarını tercih ettik.

4 köşe artrodezin birincil amacı, lunatum ile kapitatum arasındaki eklemin hareketsizleştirilmesidir. 2'li artrodezin farklı bir türü olan kapitolunat artrodezde; kullanılan teknikler arasındadır. Bu uygulamada artrodez; skafoid, triquetrum (+/-) eksizyonunu içerir (110-111). İzole kapitolunat artrodezinine ilişkin eski çalışmalar daha yüksek kaynamama oranlarına sahip olduğundan triquetrum ve hamatum artrodezleri bu artrodeze eklenmişti (103-104). Bununla beraber Merrell ve ark. (105), dairesel plak kullanan 28 hastada kapitolunat eklem için %100 kaynama oranı bildirmişlerdir. Kirschenbaum ve ark. (106), u-stapler ve k-teli kombinasyonu ile kapitolunat artrodez uygulanan hastalarda yalnızca %67'lik (12/18) bir kaynama oranı bildirmiştir. Calandruccio ve ark. (107), skafoid ve triquetrum eksizyonu ile kompresyon vidası kullanılarak izole kapitolunat artrodez uygulanan 14 hastalık çalışmalarında %86'lık bir kaynama oranı bildirmişlerdir. Gaston ve ark. (108), kapitolunat artrodez uygulanan 16 hastayı geleneksel 4 köşe artrodez uygulanan 18 hastayla karşılaştırdıkları çalışmada. Kapitolunat grup %100 kaynama oranına sahipti ve diğer sonuç ölçütlerinde herhangi bir fark yoktu ve izole kapitolunat artrodezin genel klinik sonuçları 4 köşe artrodeze benzer bulundu. Acar ve ark. (109), tarafından 17 hastada yapılan 4 köşe artrodezin farklı bir formu (Lunokapitat ve triquetrohmat artrodez kombinasyonu) ile %100 kaynama oranı bildirmişlerdir. Bu çalışmalar bize izole kapitat ve lunat kemik artrodezin güvenli olduğunu göstermektedir. Bizde çalışmamızda izole kapitolunat eklem artrodezi içeren modellemeler yaptık ve bu modellemelerin sonucu günlük el bilek hareketleri için yeterli bir EHA sağlamıştır.

Artrodez modelleri fleksiyon ekstansiyon hareketini değerlendirmek üzere incelendiğinde triquetrumu çıkartmak EHA'yı artırmaktadır. Proksimal ve distal sıra arasındaki bağlantının artırılması aynı şekilde fleksiyon ekstansiyon arkını artırmaktadır. Triquetrumun dahil olmadığı artrodezlerde triquetrumu çıkarmamak fleksiyon ekstansiyon arkını azaltmaktadır. Bu çalışmamızda artrodez modellerini oluştururken literatürdeki mevcut teknikleri ve literatürde henüz çalışması olmayan tekniklerle (Lunokapitat-Kapitolunat artrodez farkı, Lunokapitat-Hamatokapitat artrodez) karşılaştırdık. Sınırlı artrodezde kilit artrodez olan lunatum ve kapitatumun artrodezinde kapitat kemikten lunat kemiğe doğru yönlendirilmiş bir artrodez tercihinde fleksiyon ekstansiyon arkı artmaktadır. Kapitatumun

lunatumdan daha büyük bir kemik olmasından dolayı kapitatumdan lunatuma olacak şekilde artrodez yapılan artrodez modellerinde vida başı ve vida gövdesinin büyük kısmının kapitatum içinde olması bu artrodez modelindeki hareketlerin daha büyük gerim kuvvetlerine dayanmasını sağlamıştır. Çalışmamızdaki hareketi sınırlayıcı faktörde maksimum vida gerimi olduğundan kapitolunat artrodezdeki artmış EHA'yı bu durum açıklar. Bu da bize SLAK ve SNAK için yapılan ve kilit artrodez modeli olan lunatum ve kapitatumun artrodezinde vida yönünün el bilek EHA'sı üzerine bir fark oluşturduğunu göstermiştir.

Viegas sınıflaması, lunatumun distal eklemine anatomik varyasyonlarını tanımlar. Tip 1'de kapitatum için tek bir eklem yüzü vardır. Tip 2'de kapitatum için bir eklem yüzü ve hamatum içinde bir aksesuar eklem yüzü vardır (112). Bu nedenle, tip 1'de lunatumu konumlandırmak 2'li artrodez ile daha kolaydır. Tip 2'de ise lunatumu 3'lü artrodez ile konumlandırmak daha kolaydır. Ama tip 2 de yapılan 3'lü artrodez lunat kemik üzerinden 2 vida ile yapılmaktadır. Bu durum 3'lü artrodez yapılırken lunat kemik üzerindeki hasarı artırmaktadır. Bu uygulamanın savunucuları, teknik olarak 4 köşe artrodeze daha kolay olduğunu ve 4 köşe artrodeze kıyasla radioulnar sapmayı iyileştirebileceklerini iddia etmişlerdir, ancak ikinci iddia doğrulanmamıştır (113-116). Bu literatür bilgileri doğrultusunda biz çalışmamızda orjinal teknikten farklı olarak bu sorunları ortadan kaldıran farklı bir artrodez tanımladık. Bu artrodez modelinde klasik literatür bilgisinde lunat kemikten hamatum ve kapitatuma giden başsız kompresyon vidaları ile yapılan artrodez modelini kullanmak yerine, lunat kemiğin hamatuma olan anatomik varyasyonlarından etkilenmeyen ve geniş tabanlı Lunokapitat-Hamatokapitat artrodez modelini oluşturduk. Tanımladığımız 3'lü artrodez modeli lunat kemik anatomik varyasyonlarından kaynaklı oluşan fiksasyon zorluğunu ortadan kaldırırken; aynı zamanda günlük el bilek hareketleri için yeterli EHA'yı elde ettik. Bulduğumuz değerler bu artrodez tekniğinin, oluşturduğumuz modellemede geniş tabanlı, uygulaması kolay ve stabil bir tespit yöntemi olduğunu göstermektedir. Bu tekniğin vadettiği el bilek EHA'ları da günlük aktiviteler için yeterli seviyededir.

Bu modellere ek olarak yapılan 2'li ve 3'lü artrodez modellerinden triquetrumu çıkartarak el bilek EHA 'sındaki değişiklikleri araştırdık. Triquetrumun çıkarıldığı 3 tip artrodez modelinde ulnar deviasyonun artması

amaçlanmaktaydı. Triquetrumun çıkarılmadığı artrodez modellerinde ortalama ulnar deviasyon arkı ile triquetrumun çıkarıldığı artrodez modellerindeki ortalama ulnar deviasyon arkı arasında triquetrumun olmadığı modeller lehine 6,7°'lik bir fark vardı. Ayrıca modellerin ulnar-radial deviasyonu arkları arasında ise 5°'lik triquetrumun olmadığı modeller lehine bir fark vardı. Bu da bize triquetrumu çıkarmanın ulnar deviasyonda artışla sonuçlandığını ama ulnar-radial deviasyon arkınında kayda değer bir fark oluşturmadığını gösterdi. Bununla beraber ulnar deviasyonun en çok arttığı modellere baktığımızda bunun distal karpal sıra ile proksimal karpal sıra arasında artrodez yapılan kemik sayısı artışı ile azaldığını gördük. Lunotriquetral artrodezlerin eklendiği modellerde azaldığını gördük. Vida başının lunat kemikte olduğu artrodez modellerinde, lunatum ve triquetrum oryantasyonundaki rijiditeyi arttırmasından dolayı ulnar deviasyonda azalma gördük. Bu bilgiler triquetrumun artrodez sonrasında aslında ulnar deviasyonu azaltan bir kemik blok olmadığını düşündürmektedir.

Çalışmamızda; yumuşak dokular, yumuşak dokunun ameliyat içi oluşan hasarı ve ameliyat sonrası iyileşme esnasında oluşan fibrotik süreçleri dâhil edilmemiştir. Tanımladığımız Lunokapitat-Hamatokapitat artrodez için bulduğumuz sonuçlarının klinik çalışmalar ile desteklenmesi önemlidir. Lunokapitat ve kapitolunat arasındaki EHA farkları bilgisayar ortamında tanımlanan ve non-lineer analiz yöntemi ile yapılan sınırlı el bilek modelinde oluşmaktadır. Bu nedenle, bu artrodez sonrasında tek bir kemik gibi hareket etmesi beklenen kemiklerin bu çalışmada farklı sonuçlar vermesi biyomekanik ve klinik çalışmalar ile desteklenmelidir.

Sonuç olarak yapılan artrodez modellerinde; kilit artrodez olan lunatum ile kapitatum arasındaki artrodezin vida yönünün EHA üzerine etkisi olduğunu tesbit ettik. Triquetrumun çıkartılmasının ulnar radial deviasyon arkında artış yapmadığını saptadık. Tanımladığımız 3'lü artroz ile lunatumun interkarpal eklem yüzündeki anatomik varyasyonlardan kaynaklı fiksasyon zorluğunu ortadan kaldırmış ve günlük aktiviteler için yeterli bir EHA elde ettik.

6. ÖZET

Bu çalışmada SLAK ve SNAK lezyonu sonrasında uygulanan sınırlı karpal artrodez kombinasyonları arasında EHA farkı olup olmadığını araştırdık. Aynı zamanda implant sayısının ve implantın el bilek kemiklerindeki pozisyonunun el bilek EHA'sına etkisini bulmayı planladık. En az implant ile en stabil ve en çok EHA'yı sağlayan el bilek artrodezinin ulaşmayı amaçladık.

Sağlam el bilek modellemesini; sonlu elemanlar analiz yöntemini kullanarak el bilek pronasyonda iken kadarva çalışmadaki karpal kemik hareketlerini referans alarak yaptık. Yumuşak dokuları dâhil etmeden modellemeyi oluşturduk. SLAK ve SNAK sonrasında skafoidin eksiz edilip başta lunatum ve kapitatumun artrodezi olmak üzere; çeşitli artrodez modelleri artrodez oluşturduk. Ulnar deviasyonu artıracığını düşündüğümüz triquetrumunda çıkarıldığı artrodez modellerini de ekleyerek toplam 8 adet sınırlı el bilek artrodezi modelledik. Sınırlı koşulları belirlenmiş el bilek modeli doğal sınırlayıcı iken, oluşturduğumuz bu artrodez modellerini değerlendirdik.

Oluşturduğumuz sınırlı koşullu ek bilek modelinde fleksiyonu 84° ekstansiyonu 74° ulnar deviasyonu 35° radial deviasyonu 25° bulduk. SNAK ve SLAK lezyonu için belirlediğimiz modellerde fleksiyon-ekstansiyon arkı, ulnar-radial deviasyon arkı sırasıyla, Lunokapitat 58° - 39° , Kapitolumat 59° - 40° , Lunokapitat – Triquetrum 75° - 39° , Kapitolumat - Lunotriquetrum – Triquetrum 73° - 29° , Lunokapitat-Hamatokapitat 70° - 30° , Triquetrum olmadığı Lunokapitat 69° - 43° , Triquetrum olmadığı Kapitolumat 72° - 48° , Triquetrum olmadığı Lunokapitat - Hamatokapitat 71° - 33° olarak bulduk.

Sonuç olarak yapılan artrodez modellerinde; kilit artrodez olan lunatum ile kapitatum arasındaki artrodezin vida yönünün, EHA üzerine etkisi olduğunu, triquetrumun çıkartılmasının ulnar radial deviasyon arkında artış yapmadığını ama fleksiyon ekstansiyon arkında artış yaptığını, tanımladığımız 3'lü artrodez ile lunatumun interkarpal eklem yüzündenki anatomik varyasyonlardan kaynaklı fiksasyon zorluğunu ortadan kaldırmış ve geniş tabanlı, uygulaması kolay stabil bir tespit yöntemi olduğunu göstermiş olduk. Bu 3'lü artrodez ile günlük aktiviteler için yeterli bir EHA elde ettik.

7. ABSTRACT

In this study, we investigated whether there is a difference in ROM between limited carpal arthrodesis combinations applied after SLAC and SNAC lesion. At the same time, we planned to find the effect of the number of implants and the position of the implant in the wrist bones on the wrist ROM. We aimed to achieve the most stable wrist fusion providing the most ROM with the least amount of implants.

Robust wrist modeling; Using the finite element analysis method, while the wrist is in pronation, we made reference to the carpal bone movements in the tillva studies. We created the modeling without including soft tissues. After SLAC and SNAC, the scaphoid is excised and primarily the lunate and capitatum fusion; We have created various fusion models fusion. We modeled a total of 8 limited wrist fusions by adding the fusion models in which the triquetrum is removed, which we think will increase the ulnar deviation. While the wrist model with limited conditions is natural limiting, we evaluated these fusion models that we created.

We found flexion 84° , extension 74° , ulnar deviation 35° , and radial deviation 25° in the limited conditional additional wrist model we created. Flexion- extension arc, ulnar-radial deviation arc in the models we have determined for the SNAC and SLAC lesion, respectively, Lunocapitate 58° - 39° , Kapitolute 59° - 40° , Lunocapitate-Triquetrum 75° - 39° , Kapitolute-Lunotriquetrum-Triquetrum 73° - 29° , Lunocapitate-Hamocapitate 70° - 30° , as we found. In models without triquetrum, we found flexion-extension arc, ulnar-radial deviation arc, respectively, Lunocapitate 69° - 43° , Capitolute 72° - 48° , Lunocapitate – Hamocapitate 71° - 33° .

As a result, in the fusion models; The fusion between the lunate and capitatum, which is the key fusion, has an effect on the screw direction, the removal of the triquetrum does not increase the ulnar radial deviation arc, but increases the flexion extension arc. We have shown that it is a stable detection method that is easy to apply. With this three-corner fusion, we have achieved a sufficient ROM for daily activities.

8. KAYNAKLAR

1. Lewis OJ, Hamshere RJ, Bucknill TM: The anatomy of the wrist joint. *J Anatomy* 1970 106 (3): 539-552
2. Gökmen FG: Sistematik anatomi. Sayfa: 67-73, 114-117. Güven Kitabevi, İzmir, 2003.
3. Marc GE, Geissler WB. Carpal Instability Green DP (ed). *Operative Hand Surgery Fifth Edition*. Page 14 535-605.
4. Mayfield JK: Wrist ligamentous anatomy and pathogenesis of carpal instability. *Orthop Clin North Am*. 1984 Apr; 15(2):209-216.
5. Ekenstam F, Hagert CG. Anatomical studies of the geometry and stability of the DRUJ. *Scand J Plast Surg* 1985; 19 (1):17-25.
6. Snell RS. *Clinical Anatomy*. Page 381-507. Little, Brown and Company 1998.
7. Gunal I, Köse N, Erdogan O, Gokturk E, Seber S. Normal range of motion of the joints of the upper extremity in male subjects, with special reference to side. *J Bone Joint Surg Am*. 1996 Sep; 78 (9): 1401-1404.
8. Sarrafian SK, Melamed JK, Goshgarian GM. Study of wrist motion in flexion and extension. *Clin Orthop Relat Res*. 1977 Jul-Aug; (126): 153-159.
9. Unver B, Gocen Z, Sen A, Gunal I, Karatosun V. Normal ranges of ulnar and radial deviation with reference to ulnar variance. *J Int Med Res*. 2004 May-Jun; 32 (3): 337-340.
10. Li ZM, Kuxhaus L, Fisk JA, Christopher TH. Coupling between wrist flexion-extension and radial-ulnar deviation. *Clin Biomech (Bristol Avon)*. 2005 Feb; (2) 20:177-183.
11. Palmer AK, Werner FW, Murphy D, Glisson R. Functional wrist motion: a biomechanical study. *J Hand Surg Am*. 1985 Jan; 10 (1): 39-46.
12. Ryu J, Cooney WP, Askew LJ. Functional ranges of motion of the wrist joint. *J Hand Surg Am*. 1991 May; 16 (3): 409-419.
13. Gunal I. El Bileği Biyomekaniği. Akçalı İD, Ün K, Gülşen M (eds). *Kas İskelet Sistemi Biyomekaniği*. Sayfa:879-896. Nobel Tıp Kitapevleri, Ankara, 2009

14. Moojen TM, Senl JG, Ritt MJPF, Kauer JM, Venema HW, Bos KE. Three-dimensional carpal kinematics in vivo. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2002 Aug; 17 (7) :506-514.
15. Youm Y, Murty RY, Flatt AE, Gillespie TE. Kinematics of the wrist. I. An experimental study of radial-ulnar deviation and flexion-extension. *J Bone Joint Surg Am*. 1978 Jun; 60 (4): 423-431.
16. Evans JS, Blair WF, Andrews JG, Crowninshield RD. The in vivo kinematics of the rheumatoid wrist. *J Orthop Res*. 1986; 4 (2) :142-151.
17. Mayfield JK, Gilula LA, Totty WG. Static carpal instabilities. In: Gilula LA (ed) *The traumatized hand and wrist. Radiographic and anatomic correlation*. WB Saunders, Philadelphia 1992, p: 315.
18. Ozcelik A, Gunal I, Köşe N, Seber S, Omeroglu H. Wrist ligaments: their significance in carpal instability. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg*. 2005 Apr; 11 (2): 115-120.
19. Seber S, Gokdemir H, Ozcelik A, Gunal I, Aydin R, Köse N. A two-dimensional wrist model for carpal instability and force transmission. *Joint Dis Rel Surg* 2008; 19 (3): 127-132.
20. Nowak MD, Logan SE. Distinguishing biomechanical properties in intrinsic and extrinsic human wrist ligaments. *J Biomech Eng*. 1991 Feb; 113 (1): 85-93.
21. Mayfield JK. Mechanism of carpal injuries. *Clin Orthop Relat Res*. 1980 Jun; (149): 45- 54.
22. Lichtman DM, Schneider JR, Swafford AR, Mack GGR. Ulnar midcarpal instability. Clinical and laboratory analysis. *J Hand Surg Am*. 1981 Sep; 6 (5): 515-523.
23. Weber ER. Concepts governing the rotational shift of the intercalated segment of the carpus. *Orthop Clin North Am*. 1984 Apr; 15 (2): 193-207.
24. Linscheid RL, Dobyns JH, Beabout JW, Bryan RS. Traumatic instability of the wrist. Diagnosis, classification, and pathomechanics. *J Bone Joint Surg Am*. 1972 Dec; 54(8):1612- 1632.
25. Taleisnik J. Classification of carpal instability. *Bull Hosp Jt Dis Orthop Inst*. 1984 Fall; 44 (2): 511-531.

26. Wright TW, Dobyns JH, Linscheid RL, Macksoud W, Siegert J. Carpal instability non- dissociative. *J Hand Surg Br.* 1994 Dec; 19 (6):763-773.
27. Wright EP. Wrist Disorders. Canale ST(ed). *Campbell's Operative Orthopaedics* 10th edition. Page: 3543-3607. Mosby, 2003
28. Larsen CF, Amadio PC, Gilula LA, Hodge JC. Analysis of carpal instability: I. Description of the scheme. *J Hand Surg Am.* 1995 Sep; 20 (5): 757-764.
29. Garcia-Elias M. The treatment of wrist instability. *J Bone Joint Surg Br.* 1997 Jul; 9 (4): 684-690.
30. Watson HK, Ballet FL. The SLAK wrist: scapholunate advanced collapse pattern of degenerative arthritis. *J Hand Surg (Am).* 1984; 9A: 358–65.
31. Watson H, Ryu J. Evolution of arthritis of the wrist. *Clin Orthop Relat Res.* 1986; 202: 57–67.
32. Masmajejan E, Dutour O, Touam C, et al. Bilateral SLAC (scapho- lunate advanced collapse) wrist: an unusual entity. Apropos of a 7000-year-old prehistoric case. *Ann Chir Main Memb Super.* 1997; 16(3): 207–14.
33. Stäbler A, Baumeister RG, Berger H. Carpal instability and sec- ondary degenerative changes in lesions of the radio-carpal liga- ments with various etiology. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 1990; 22(6): 289–95.
34. Saffar P. Chondrocalcinosis of the wrist. *J Hand Surg (Br).* 2004;29B:486–93.
35. Harrington RH, Lichtman DM, Brockmole DM. Common path- ways of degenerative arthritis of the wrist. *Hand Clin.* 1987; 3 (4): 507–27.
36. Weiss KE, Rodner CM. Osteoarthritis of the wrist. *J Hand Surg.* 2007; 32A: 725–46.
37. Fassler PR, Stern PJ, Kiefhaber TR. Asymptomatic SLAK wrist: does it exist? *J Hand Surg.* 1993; 18A: 682–6.
38. Vance RM, Gelberman R, Braun RM. Chronic bilateral scapholunate dissociation without symptoms. *J Hand Surg.* 1979; 4A: 178–80.
39. Vitello W, Gordon DA. Obvious radiographic scapholunate disso- ciation: x- ray the other wrist. *Am J Orthop (Belle Mean NJ).* 2005; 34: 347–51.
40. Stäbler A, Heuck A, Reiser M. Imaging of the hand: degeneration, impingement and overuse. *Eur J Radiol.* 1997; 25(2): 118–28.

41. Dellon AL, Mackinnon SE, Daneshvar A. Terminal branch of anterior interosseous nerve as source of wrist pain. *J Hand Surg Br.* 1984; 9(3): 316–22.
42. Dellon AL, Seif SS. Anatomic dissections relating the posterior interosseous nerve to the carpus, and the etiology of dorsal wrist ganglion pain. *J Hand Surg.* 1978; 3(4): 326–32.
43. Lin DL, Lenhart MK, Farber GL. Anatomy of the anterior inter-osseous innervation of the pronator quadratus: evaluation of structures at risk in the single dorsal incision wrist denervation technique. *J Hand Surg.* 2006; 31(6): 904–7.
44. Berger RA. Partial denervation of the wrist: a new approach. *Tech Hand Up Extrem Surg.* 1998; 2(1): 25–35.
45. Schweizer A, von Känel O, Kammer E, Meuli-Simmen C. Long-term follow-up evaluation of denervation of the wrist. *J Hand Surg.* 2006; 31(4): 559–64.
46. Rothe M, Rudolf KD, Partecke BD. Langzeitergebnisse nach Handgelenkdenervation bei fortgeschrittenem karpalem Kollaps (SLAC-/SNAC-Wrist Stadium II und III). *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 2006; 38(4): 261–6.
47. Radu CA, Schachner M, Tränkle M, et al. Functional results after wrist denervation. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 2010.
48. Siegel DB, Gelberman RH. Radial styloidectomy: an anatomical study with special reference to radiocarpal intracapsular ligamentous morphology. *J Hand Surg.* 1991; 16(1): 40–4.
49. Nakamura T, Cooney WP, Lui WH, Haugstvedt JR, Zhao KD, Berglund L, et al. Radial styloidectomy: a biomechanical study on stability of the wrist joint. *J Hand Surg.* 2001; 26(1): 85–93.
50. Yao J, Osterman AL. Arthroscopic techniques for wrist arthritis (radial styloidectomy and proximal pole hamate excisions). *Hand Clin.* 2005; 21(4): 519–26.
51. Downing FH. Excision of the distal fragment of the scaphoid and styloid process of the radius for nonunion of the carpal scaphoid. *West J Surg Obstet Gynecol.* 1951; 59(3): 217–8.

52. Malerich MM, Clifford J, Eaton B, Eaton R, Littler JW. Distal scaphoid resection arthroplasty for the treatment of degenerative arthritis secondary to scaphoid nonunion. *J Hand Surg.* 1999; 24 (6): 1196–205.
53. Soejima O, Iida H, Hanamura T, Naito M. Resection of the distal pole of the scaphoid for scaphoid nonunion with radioscaphoid and intercarpal arthritis. *J Hand Surg.* 2003; 28(4): 591–6.
54. Ruch DS, Papadonikolakis A. Resection of the scaphoid distal pole for symptomatic scaphoid nonunion after failed previous surgical treatment. *J Hand Surg.* 2006; 31A(4): 588–93.
55. Dacho A, Grundel J, Holle G, Germann G, et al. Long-term results of midcarpal arthrodesis in the treatment of scaphoid nonunion advanced collapse (SNAC-wrist) and scapholunate advanced collapse (SLAC-wrist). *Ann Plast Surg.* 2006; 56(2): 139–44.
56. Garcia-López A, Perez-Ubeda MJ, et al. A modified technique of four-bone fusion for advanced carpal collapse (SLAC/SNAC wrist). *J Hand Surg (Br).* 2001; 26B(4): 352–4.
57. Bain GI, Watts AC. The outcome of scaphoid excision and four-corner arthrodesis for advanced carpal collapse at a minimum of ten years. *J Hand Surg (Am).* 2010;
58. Richards AA, Afifi AM, Moneim MS. Four-corner fusion and scaphoid excision using headless compression screws for SLAK and SNAK wrist deformities. *Tech Hand Up Extrem Surg.* 2011;
59. Ozyurekoglu T, Turker T. Results of a method of 4-corner arthrodesis using headless compression screws. *J Hand Surg.* 2012;
60. Kendall CB, Brown TR, Millon SJ, Rudisill LE, et al. Results of four-corner arthrodesis using dorsal circular plate fixation. *J Hand Surg (Am).* 2005; 30A: 903–7.
61. Vance MC, Hernandez JD, DiDonna ML, et al. Complications and outcome of four-corner arthrodesis: circular plate fixation versus traditional techniques. *J Hand Surg (Am).* 2005; 30A: 1122–7.
62. Chung KC, Watt AJ, Kotsis S. A prospective outcomes study of four-corner wrist arthrodesis using a circular limited wrist fusion plate for stage II

- scapholunate advanced collapse wrist deformity. *Plast Reconstr Surg.* 2006; 118: 433.
63. Shindle MK, Burton KJ, Weiland AJ, et al. Complications of circular plate fixation for four-corner arthrodesis. *J Hand Surg (Br).* 2007; 32: 50–3.
 64. Collins ED, Nolla J. Spider plate fixation: no significant improvement in limited wrist arthrodesis. *Tech Hand Upper Extrem.* 2008; 12(2): 94–9.
 65. De Smet L, Deprez P, et al. Outcome of four-corner arthrodesis for advanced carpal collapse: circular plate versus traditional techniques. *Acta Orthop Belg.* 2009;
 66. Merrell GA, McDermott EM, Weiss A. Four-corner arthrodesis using a circular plate and distal radius bone grafting: a consecutive case series. *J Hand Surg.* 2008; 33A: 635–42.
 67. Bedford B, Yang SS. High fusion rates with circular plate fixation for four-corner arthrodesis of the wrist. *Clin Orthop Relat Res.* 2010;
 68. Scobercea RG, Budoff JE, Hipp JA. Biomechanical effect of triquetral and scaphoid excision on simulated midcarpal arthrodesis in cadavers. *J Hand Surg (Am).* 2009;
 69. Kirschenbaum D, Schneider LH, Kirkpatrick WH, et al. Scaphoid excision and Kapitollunate arthrodesis for radioscaphoid arthritis. *J Hand Surg.* 1993; 18A: 780–5.
 70. Kadji O, Duteille F, Dautel G, Merle M. Arthrodeèse carpienne des quatre os versus arthrodeèse capitollunaire. À propos de 40 patients. *Chir Main.* 2002; 21(1): 5–12.
 71. Calandruccio LH, Gelberman RH, Duncan SFM, Goldfarb CA, Pae R, Gramig W. Original communications: Kapitollunate arthrodesis with scaphoid and triquetrum excision. *J Hand Surg.* 2000; 25 (5): 824–32.
 72. Gaston RG, Greenberg JA, Baltera RM, Mih A, et al. Clinical outcomes of scaphoid and triquetral excision with Kapitollunate arthrodesis versus scaphoid excision and four-corner arthrodesis. *J Hand Surg.* 2009;
 73. Stamm TT. Excision of the proximal row of the Carpus. *Proc R Soc Med.* 1944; 38(2): 74.

74. Jacobs R, Degreeef I, De Smet L. Proximal row carpectomy with or without postoperative immobilization. *J Hand Surg (Br)*. 2008; 33: 768.
75. Jebson PJJ, Hayes EP, Engber WD. Proximal row carpectomy: a minimum 10-year follow-up study. *J Hand Surg*. 2003; 28 (4): 561–9.
76. DiDonna ML, Kiefhaber TR, Stern PJ. Proximal row carpectomy with a minimum of ten years of follow-up. *J Bone Joint Surg Br*. 2004; 86-A(11): 2359–65.
77. Ali MH, Rizzo M, Shin AY, Moran SL. Long-term outcomes of proximal row carpectomy: a minimum of 15-year follow-up. *Hand Springer*; 2012: 1–7. 81
78. Kwon BC, Choi SJ, Shin J, et al. Proximal row carpectomy with capsular interposition arthroplasty for advanced arthritis of the wrist. *J Bone Joint Surg Br*. 2009; 91-B(12):
79. Salomon GD, Eaton RG. Proximal row carpectomy with partial capitate resection. *J Hand Surg*. 1996; 21(1): 2–8.
80. Placzek JD, Boyer M, Raaii F, Freeman DC, et al. Proximal row carpectomy with capitate resection and capsular interposition for treatment of scapholunate advanced collapse. *Orthopedics* 2008; 31(1).
81. Tang P, Imbriglia JE. Osteochondral resurfacing (OCRPRC) for capitate chondrosis in proximal row carpectomy. *J Hand Surg*. 2007; 32A: 1334–42.
82. Wyrick J. Proximal row carpectomy and intercarpal arthrodesis for the management of wrist arthritis. *J Am Acad Orthop Surg*. 2003;11(4):277–81.
83. Cohen MS, Kozin S. Degenerative arthritis of the wrist: proximal row carpectomy versus scaphoid excision and four-corner arthrodesis. *J Hand Surg (Am)*. 2001; 26A: 94–104.
84. Vanhove W, Vil JD, Van Seymortier P, et al. Proximal row carpectomy versus four-corner arthrodesis as a treatment for SLAC (scapholunate advanced collapse) wrist. *J Hand Surg (Br)*. 2008; 33E(2): 118–25.
85. Dacho AK, Baumeister S, Germann G, et al. Comparison of proximal row carpectomy and midcarpal arthrodesis for the treatment of scaphoid nonunion advanced collapse (SNAC-wrist) and scapholunate advanced collapse (SLAC-wrist) in stage II. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2008; 61: 1210-12-18.

86. Kiefhaber TR. Management of scapholunate advanced collapse pattern of degenerative arthritis of the wrist. *J Hand Surg.* 2009; 34 (8): 1527–30. Summary article discussing treatment options for SLAC wrist. Kiefhaber's preference was to favor 4-corner arthrodesis for patients younger than 35 years and high-demand patients in their forties and early fifties with PRC used for the less active patients in this same age group.
87. Gohritz A, Gohla T, Stutz N, Moser V, et al. Special aspects of wrist arthritis management for SLAC and SNAC wrists using midcarpal arthrodesis: results of bilateral operations and conversion to total arthrodesis. *Bull Hosp Jt Dis.* 2005; 63(1–2): 41–8.
88. Walke W, Paszenda Z, Kaczmarek M. Biomechanical analysis of tibia-double threaded screw fixation. *Archives of Materials Science and Engineering.* 2008; 30: 41-4.
89. Gray HA, Taddei F, Zavatsky AB, Cristofolini L, Gill HS. Experimental validation of a finite element model of a human cadaveric tibia. *Journal of biomechanical engineering.* 2008; 130.
90. Bolson RM. *The Wrist: Diagnosis and Operative Treatment*, William P. Cooney III, Lippincott, Williams & Wilkins, Philadelphia (2010), 1219 pages, WB Saunders; 2011.
91. Shirazi-Adl A, Dammak M, Paiement G. Experimental determination of friction characteristics at the trabecular bone/porous-coated metal interface in cementless implants. *Journal of biomedical materials research.* 1993; 27: 167-75.
92. Chang C-W, Chen C-H, Li C-T, Chen Y-N, Yang T-H, Chang C-J, et al. Role of an additional third screw in the fixation of transverse patellar fracture with two parallel cannulated screw and anterior wire. *BMC Musculoskeletal Disorders.* 2020; 21: 1-11.
93. R.A. Berger, A.T. Bishop, P.C. Bettinger. New dorsal capsulotomy for the surgical exposure of the wrist *Ann Plast Surg*, 35 (1995), pp. 54-59.
94. R.E. Anakwe, S.D. Middleton, M.J. Hayton. A modified dorsal capsulotomy for improved radiocarpal exposure *J Hand Surg Eur*, 38 (2013), pp. 805-806.

95. R.A. Berger, A.T. Bishop. A fiber-splitting capsulotomy technique for dorsal exposure of the wrist *Tech Hand Up Extrem Surg*, 1 (1997), pp. 2-10.
96. E. Hagert, A. Ferreres, M. Garcia-Elias. Nerve-sparing dorsal and volar approaches to the radiocarpal joint *J Hand Surg Am*, 35 (2010), pp. 1070-1074.
97. L. Athlani, M.C. Sapa, Y.K. De Almeida, M. Braun, G. Dautel. A new capsulotomy-based dorsal approach to the wrist: a cadaver study *Hand Surg Rehabil*, 40 (2021), pp. 134-138.
98. P. De Carli, AG Donndorff, VA Alfie, JG Boretto, JM López Ovenza, GL Gallucci. Four-corner arthrodesis: effect of lunate position on postoperative wrist movement: cadaver study.
99. Özyürekoğlu T., Türker T.: Results of the 4-corner arthrodesis method using headless compression screws. *J Hand Surg Am* 2012; 37: p. 486-492. *J Hand Surg Am*, 32 (2007), p. 1356-1362
100. L. De Smet, I. Degreef, F. Robijns, J. Truyen, P. Deprez. Rescue procedures for degenerative wrist osteoarthritis due to advanced wrist depression *Acta Orthop Belg*, 72 (2006), p. 535–540.
101. JF Hernekamp, A. Reinecke, F. Neubrech, B. Bickert, U. Kneser, T. Kremer. Four-corner fusion: comparison of patient satisfaction and functional outcome of a new locking plate and traditional K-wire technique. *Arch Orthop Trauma Surg*, 136 (2016), p. 571–578.
102. MC Vance, JD Hernandez, ML DiDonna, PJ Stern. Complications and outcome of quadrangular arthrodesis: circular plate fixation versus conventional techniques. *J Hand Surg Am*, 30 (2005), p. 1122-1127.
103. Watson HK, Ballet FL: SLAK wrist: scapholunate advanced collapse pattern of degenerative arthritis. *J Hand Surg Am* 1984; 9: p. 358-365.
104. Peterson HA, Lipscomb PR: Intercarpal arthrodesis. *Arch Surg* 1967; 95: p. 127-134.
105. Merrell GA, McDermott EM, Weiss A.-PC: Quadrangular arthrodesis using a circular plate and distal radius bone graft: a sequential case series. *J Hand Surg Am* 2008; 33: p. 635-642.

106. Kirschenbaum D., Schneider LH, Kirkpatrick WH, et. al.: Scaphoid excision and capitulate arthrodesis for radioscaphoid arthritis. *J Hand Surg Am* 1993; 18: p. 780-785.
107. Calandruccio JH, Gelberman RH, Duncan SF, et. al.: Capitulate arthrodesis with excision of the scaphoid and triquetrum. *J Hand Surg Am* 2000; 25: p. 824-832.
108. Gaston RG, Greenberg JA, Baltera RM, et. al.: Clinical outcomes of capitulate arthrodesis versus scaphoid and triquetral excision versus scaphoid excision and quadrangular arthrodesis. *J Hand Surg Am* 2009; 34: p. 1407-1412.
109. Treatment Results of All Arthroscopic 4 Corner Arthrodesis Techniques with 2 Headless Screws by Mehmet Ali Acar MD, Ali Özdemir MD and Ebubekir Eravsar MD. *Journal of Hand Surgery*, Copyright © 2022 American Society for Hand Surgery.
110. O. Delattre, P. Dupont, AF Reau, JL Rouvillain, H. Mousselard, Y. Catonné Arthrodesis, shortening of the three wrist bones. *Ann Chir Main Member Super*, 16 (1997), p. 292-299.
111. D. Kirschenbaum, LH Schneider, WH Kirkpatrick, DC Adams, RP Cody Scaphoid excision and capitulate arthrodesis for radioscaphoid arthritis *J Hand Surg Am*, 18 (1993), p. 780 – 785.
112. SF Viegas Lunohamate articulation of the midcarpal joint *Arthroscopy*, 6 (1990), p. 5 – 10.
113. JH Calandruccio, RH Gelberman, SF Duncan, CA Goldfarb, R. Pae, W. Gramig Capitulate arthrodesis with scaphoid and triquetrum excision *J Hand Surg Am*, 25 (2000), p. 824 – 832.
114. O. Delattre, G. Goulon, J. Vogels, G. Wavreille, A. Lasnier. Triangular arthrodesis with scaphoid and triquetrum excision for wrist arthritis *J Hand Surg Am*, 40 (2015), p. 2176-2182.
115. RG Gaston, JA Greenberg, RM Baltera, A. Mih, H. Hastings. Clinical outcomes of capitulate arthrodesis with scaphoid and triquetral excision compared with scaphoid excision and square arthrodesis. *J Hand Surg Am*, 34 (2009), p. 1407-1412.

- 116.** RP Van Riet, GI Bain. Triangular wrist fusion using memory staples. Tech Hand Upper Extremity Surgery, 10 (2006), p. 259-264.

