



T.C.

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

TIP FAKÜLTESİ

ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ

ANABİLİM DALI

**AKUT DİSTAL RADİOULNAR EKLEM SAGİTTAL PLAN
İNSTABİLİTESİNİN TEDAVİSİ AMAÇLI UYGULANAN
ULNORADİAL TRANSFİKSİYONUN; İDEAL YERLEŞİM
SEVİYESİNİN VE İŞLEVSEL OLDUĞU EN PROKSİMAL
SEVİYENİN DİSTAL RADİOULNAR EKLEME
UZAKLIĞININ BELİRLENMESİ
“SONLU ELEMAN ANALİZİ ÇALIŞMASI”**

UZMANLIK TEZİ

Dr. Selim TAŞKIN

Antalya, 2022



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

**AKUT DİSTAL RADİOULNAR EKLEM SAGİTTAL PLAN
İNSTABİLİTESİNİN TEDAVİSİ AMAÇLI UYGULANAN
ULNORADİAL TRANSFİKSİYONUN; İDEAL YERLEŞİM
SEVİYESİNİN VE İŞLEVSEL OLDUĞU EN PROKSİMAL
SEVİYENİN DİSTAL RADİOULNAR EKLEME
UZAKLIĞININ BELİRLENMESİ**

“SONLU ELEMAN ANALİZİ ÇALIŞMASI”

UZMANLIK TEZİ

Dr. Selim TAŞKIN

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Hakan ÖZDEMİR

“Kaynak gösterilerek tezimden yararlanılabilir”

Antalya, 2022

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim süresince desteğini ve yakınlığını esirgemeyen, saygı ve sevgisinden çok şey öğrendiğim, bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Hakan ÖZDEMİR'e,

Asistanlık sürecim boyunca her türlü bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, sabır ve hoşgörülerini esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Mustafa ÜRGÜDEN'e, Prof. Dr. Haluk ÖZCANLI'ya, Doç. Dr. Tayyar Kürşat DABAK'a, Prof. Dr. Mehmet Serhan ER'e, Doç. Dr. Osman CİVAN'a ve asistanlığımın bir bölümünde birlikte çalışma fırsatı bulduğum Prof. Dr. Alpay Merter ÖZENÇİ'ye, Prof. Dr. Yetkin SÖYÜNCÜ'ye,

Gecelerimizi gündüzlerimize katarak birlikte çalıştığımız, tek yürek olup her türlü zorluğu birlikte aştığımız, yoğun asistanlık sürecime renk katan ve eğitimime katkıda bulunan, birlikte çalışma imkânı bulduğum tüm asistan arkadaşlarım ile beraber çalıştığımız hemşire, personel ve sekreter arkadaşlarıma,

Bu günlere gelmemi sağlayan annem Rukiye Güler TAŞKIN ve babam Mehmet TAŞKIN'a, deyim yerinde ise elimde büyüyüp her zaman yanımda olan kardeşim Selin TAŞKIN'a, gerek asistanlık sürecimde gerekse öncesinde benden desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen; başta Muhteber TAŞKIN, Güven YENİCELİ, Mukadder UZUN, Güneş TAŞKIN ve Fatma Gülümser TAŞKIN olmak üzere geniş ailemin tüm üyelerine,

Tanıştığımız an yaşantımı sihirli bir değnek değmişçesine değiştirip bana ışık tutan, sevgisini ve desteğini her zaman hissettiğim sevgili eşim Seren TAŞKIN'a ve beni ailelerinin bir üyesi yapan Aydoğan ERSOY, Aynur ERSOY ile İrem ERSOY'a

En içten sevgi ve saygılarımla birlikte teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR	i
SİMGELER VE KISALTMALAR	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. DRUE Anatomisi	4
2.1.1. Kemik Yapı	4
2.1.2. Yumuşak Doku Stabilizörleri	6
2.2. DRUE Biyomekaniği	9
2.3. Epidemiyoloji	12
2.4. Sınıflandırma	12
2.4.1. İzole DRUE Dislokasyonu	14
2.4.2. Radius Kırıklarına Eşlik Eden DRUE Dislokasyonu	16
2.5. Tanı	17
2.5.1 Fizik Muayene	17
2.5.2. Radyolojik Tetkikler	21

2.5.3 Artroskopi	25
2.6. Tedavi	25
2.6.1. Ulnoradial Transfiksasyon	28
3. GEREÇ VE YÖNTEM	29
3.1. Üç Boyutlu Modelin Hazırlanması	29
3.2. Ligamentlerin Modellenmesi	31
3.3. K Tellerinin Yerleştirilmesi	33
3.4. Ağ Yapısı ve Malzeme Özellikleri	34
3.5. Yaralanma Modelleri	37
3.6. Fiksasyon Modelleri	38
3.7. Anatomik Koordinat Sisteminin Tanımlanması	40
3.8. Ulna Başına Kuvvet Uygulanması	41
4. BULGULAR	43
4.1. Palmar DRUE Yaralanma Modeli	43
4.2. Dorsal DRUE Yaralanma Modeli	48
5. TARTIŞMA	53
6. SONUÇLAR	57
ÖZET	59
ABSTRACT	61
KAYNAKLAR	63

SİMGELER VE KISALTMALAR

BT	Bilgisayarlı tomografi
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
DRUE	Distal radioulnar eklem
DRUL	Dorsal radioulnar ligament
EKU	Ekstensör karpi ulnaris
IGES	The Initial Graphics Exchange Specification
İOM	İnterosseöz membran
K	Kirschner
MIMICS®	Materialize's Interactive Medical Image Control System
MRG	Manyetik rezonans görüntüleme
N	Newton
NURBS	Non-Uniform Rational B-Splines
PA	Posteroanterior
PRUL	Palmar radioulnar ligament
TFKK	Triangular fibrokartilaj kompleks
ULL	Ulnolunat ligament
UTL	Ulnotriquetral ligament

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1: Sol radius ve ulna distal eklem yüzleri: 1) Radius styloid çıkıntısı, 2) Lister tüberkülu, 3) ECU tendonu oluşu, 4) Ulna styloid çıkıntısı, 5) Scaphoid faset, 6) Lunat faset, 7) Radioulnar eklem inferioru, 8) TFKK artiküler diskinin oturduğu alan, 9) TFKK artiküler diskinin yapıştığı alan.	5
Şekil 2.2: Önkol kemikleri ve önkol kemiklerinin birbirleri ile ilişkisinde rol alan yumuşak doku yapıları.	5
Şekil 2.3: DRUE ilişkili yumuşak doku yapıları ve TFKK'nin nutrisyoel arterleri.	7
Şekil 2.4: İOM'un distal oblik demeti (beyaz oklar), radius (R), ulna (U).	8
Şekil 2.5: Akut DRUE yaralanmalarının prognozunu öngörmek ve yönetimini planlamak amaçlı geliştirilen sınıflama sistemi.	14
Şekil 2.6: İzole palmar DRUE dislokasyonu. A) Posteroanterior grafi, B) Yan grafi.	15
Şekil 2.7: İmpingement testi.	18
Şekil 2.8: Ulnar fovea bulgusu.	19
Şekil 2.9: Piyano tuşu testi.	20
Şekil 2.10: DRUE ballotman testi. Kırmızı ok uygulanan kuvvetin yönünü göstermektedir.	21
Şekil 2.11: DRUL yaralanmasını gösteren T2 ağırlıklı MRG görüntüsü.	23
Şekil 2.12: Ulnar taraflı el bilek ağrısı olan farklı iki hastanın T2 ağırlıklı MRG görüntüleri. (A) Foveal yapışma yerinden parsiyel olarak yırtılmış TFKK. (B) Foveadan tamamen ayrılmış TFKK.	23

Şekil 2.13: Bilateral ulnar taraflı el bilek ağrısı olan hastanın her iki radiokarpal ekleminde nonspesifik tutulum gösteren kemik sintigrafisi.	24
Şekil 2.14: DRUE'nin palmar distal radioulnar portalden görünümü. Prob dorsal, distal DRUE portalinde (DDRUI). DRUL ve PRUL ulnar foveaya (f) tutunmakta.	25
Şekil 2.15: Akut DRUE yaralanmalarının yönetim algoritması.	26
Şekil 3.1: MIMICS® programında verilerden üç boyutlu model oluşturulması.	29
Şekil 3.2: Supinasyon modelinin üç boyutlu katı modeli.	30
Şekil 3.3: Pronasyon modelinin üç boyutlu katı modeli.	31
Şekil 3.4: Anatomik yapışma yerleri kullanılarak modellenen ligamentler.	33
Şekil 3.5: Sonlu elemanlar modelinin mesh yapısı.....	35
Şekil 3.6: Palmar instabil yaralanma modeli.	37
Şekil 3.7: Dorsal instabil yaralanma modeli.	38
Şekil 3.8: Pronasyon modelinde K tellerinin yerleşimi.	39
Şekil 3.9: Supinasyon modelinde K tellerinin yerleşimi.	39
Şekil 3.10: Pronasyon modelinde anatomik koordinat sistemi.....	40
Şekil 3.11: Supinasyon modelinde anatomik koordinat sistemi.	41
Şekil 3.12: Önkol supinasyonda iken sağlam DRUE'yi temsil eden modelde ulna başının yer değiştirmesi.	43
Şekil 3.13: Önkol supinasyonda iken palmar DRUE yaralanmasını temsil eden modelde ulna başının yer değiştirmesi.	44

Şekil 3.14: 1. palmar DRUE yaralanması modelinde ulna başının yer değiştirmesi.	46
Şekil 3.15: 4. palmar DRUE yaralanması modelinde ulna başının yer değiştirmesi.	46
Şekil 3.16: 4. modelde kullanılan K telinin DRUE'ye uzaklığı (21 mm.).	47
Şekil 3.17: 10. palmar DRUE yaralanması modelinde ulna başının yer değiştirmesi.	47
Şekil 3.18: Önkol pronasyonda iken sağlam DRUE'yi temsil eden modelde ulna başının yer değiştirmesi.	48
Şekil 3.19: Önkol pronasyonda iken dorsal DRUE yaralanmasını temsil eden modelde ulna başının yer değiştirmesi.	49
Şekil 3.20: 1. dorsal DRUE yaralanması modelinde ulna başının yer değiştirmesi.	51
Şekil 3.21: 4. dorsal DRUE yaralanması modelinde ulna başının yer değiştirmesi.	51
Şekil 3.22: 10. dorsal DRUE yaralanması modelinde ulna başının yer değiştirmesi.	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1: Modellenen bağların kalınlık ve genişlikleri.	32
Çizelge 3.2: Çalışmada kullanılan üç boyutlu modeller.	34
Çizelge 3.3: Kemik ve K teli materyallerinin biyomekanik özellikleri.	36
Çizelge 3.4: Çalışmada kullanılan ligamentlerin mekanik özellikleri.	36
Çizelge 3.5: Supinasyondaki önkol modellerinde ulna başının dorsalden palmare yer değiştirme miktarı (mm.).	45
Çizelge 3.6: Pronasyondaki önkol modellerinde ulna başının palmardan dorsale yer değiştirme miktarı (mm.).	50

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Distal radioulnar eklem (DRUE); ulna başı ile distal radius sigmoid çentiği arasında oluşan, önkol pronasyonu ve supinasyonunda görev alan kompleks yapıları bir eklemdir.

Ulna başının çevresinin, karşısındaki sigmoid çentiğın çevresinden daha küçük olmasından kaynaklanan uyumsuzluk nedeni ile kemik yapı DRUE stabilitesine %20'ye kadar katkıda bulunabilmektedir. Önkol rotasyonu sırasında stabiliteyi sağlayan statik ve dinamik yumuşak doku yapıları mevcuttur. Statik yapılar; triangular fibrokartilaj kompleks (TFKK), palmar radioulnar ligament (PRUL), dorsal radioulnar ligament (DRUL), ulnar kollateral ligament, interosseöz membran (İOM) ve eklem kapsülüdür. Dinamik stabilizörler; ekstensör karpi ulnaris (EKU) tendonu ve pronator quadratus kasıdır.

Önkol rotasyonunun longitudinal aksını; radius başının merkezi ile ulnar styloid tabanında bulunan foveal sulcus arasında çizilen çizgi oluşturmaktadır. Önkol rotasyonu; radiokarpal yapıların fikse ve stabil durumdaki ulna etrafında rotasyonunu içermektedir. Kişiler arası farklılıklar olmakla birlikte önkol toplam rotasyonu 150° ile 180° arasında değişmekte ve radiokarpal ve midkarpal eklemler üzerinden de yaklaşık 30°'lik rotasyon gerçekleştirebilmektedir (1).

DRUE'de soruna neden olan yaralanmalar genellikle kendi seviyesinden düşme sonrası gelişmektedir. Sıklıkta el bileği ekstensiyonda, önkol supinasyonda düşme sonrası; palmar yapılar, el bileği ekstensiyonda, önkol pronasyonda düşme sonrası; dorsal yapılar hasar görmektedir (2).

DRUE yaralanması sonucu oluşan instabilite nedeni ile ulna başı ve sigmoid çentik arasındaki uyum bozulmakta; bu durum her iki kemiğın temas yüzeylerinin ve maruz kaldıkları kuvvetin dağılımını değiştirerek DRUE artrit gelişimine neden olmaktadır (3). Aynı mekanizma ile DRUE yaralanması sonucu ortaya çıkan instabilite ulnar taraflı el bilek ağrısı, kavrama gücünde azalma ve önkol

rotasyonunun kısıtlanmasına neden olabilmektedir (4-6). DRUE stabilitesinin yaklaşık %80'lik kısmını yumuşak doku yapıları sağlamakta olup; akut instabil DRUE yaralanmalarında immobilizasyonu sağlayarak, yumuşak doku yapılarının iyileşmesine fırsat vermek amacıyla ulnoradial transfiksiyon uygulanmaktadır.

Ulnoradial transfiksiyon ile DRUE'nin redükte, stabilizan yumuşak doku yapılarının da doğal anatomik pozisyonlarında kalması amaçlanmaktadır. Bu amaçla ulnoradial transfiksiyon: palmar DRUE dislokasyonu saptanması durumunda; önkol pronasyonda, dorsal DRUE dislokasyonu saptanması durumunda; önkol supinasyonda iken ulnadan radiusa doğru, DRUE'ye transvers düzlemde paralel, dört korteks geçen, iki mm. kalınlıkta Kirschner (K) teli kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

DRUE ile ilişkili yaralanmaların mekanizmaları ve tedavi yöntemlerinin etkinlikleri; kadavra deneyleri, kinematik çalışmalar ve bilgisayar destekli modellemeler gibi çeşitli yaklaşımlarla incelenebilir.

Kadavra deneylerinin avantajı; DRUE'yi etkileyen kuvvetlerin ve hareketlerin hassasiyetle kontrol edilip ölçülebilmesi yanında, testlerden sonra yapılacak diseksiyonlar ile ligament ve kemik yaralanmalarının incelenmesine olanak sağlamalarıdır. Kadavra deneylerinin dezavantajları ise; kadavra örneklerinin genellikle büyük bireysel farklılıklar göstermesi ve fizyolojik fonksiyon sergileyememeleridir.

Sonlu elemanlar analiz çalışmaları dokuların, organların ve eklemlerin biyomekanik performanslarının kantitatif olarak değerlendirilmesine yönelik tamamlayıcı çalışmalar olarak kabul edilmektedirler. Dinamik üç boyutlu simülasyonlar; DRUE ile ilişkili kemik yapıların hareketlerini tanımlamak, harekete dayalı mekaniği hızlı bir şekilde çözmek, fizyolojik ve patolojik hareketler sırasında ligamentlerin gerilimlerini belirlemek gibi oldukça önemli avantajlara sahiptirler (3, 7-9).

Bu çalışmada, yukarıda özetlenen bilgilerden hareketle, sonlu elemanlar analizi yöntemi kullanılarak K teli ile ulnoradial transfiksasyon uygulanan statik tespitte, özellikle DRUE'nin sagittal plandaki suprafizyolojik palmar - dorsal translasyon ve aksiyel plandaki rotasyon hareketini kısıtlayarak fizyolojik ligamentöz iyileşmeyi mümkün kılacak en stabil tespitin elde edildiği ve K telinin işlevsel olduğu en proksimal seviyenin DRUE'ye uzaklığının tespit edilmesi amaçlanmıştır.



2. GENEL BİLGİLER

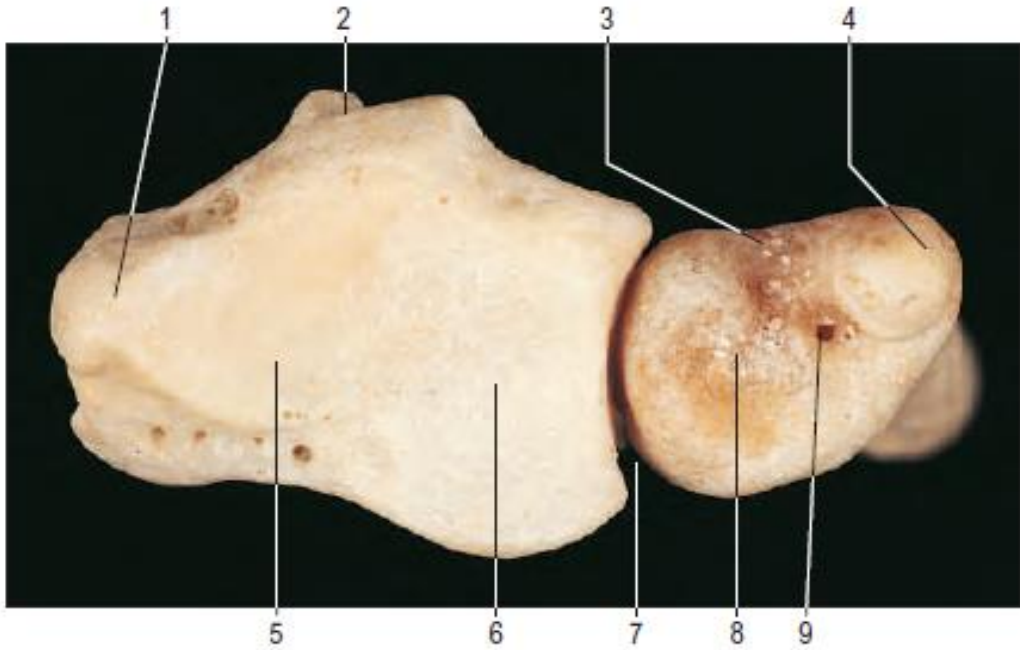
2.1. DRUE Anatomisi

2.1.1. Kemik Yapı

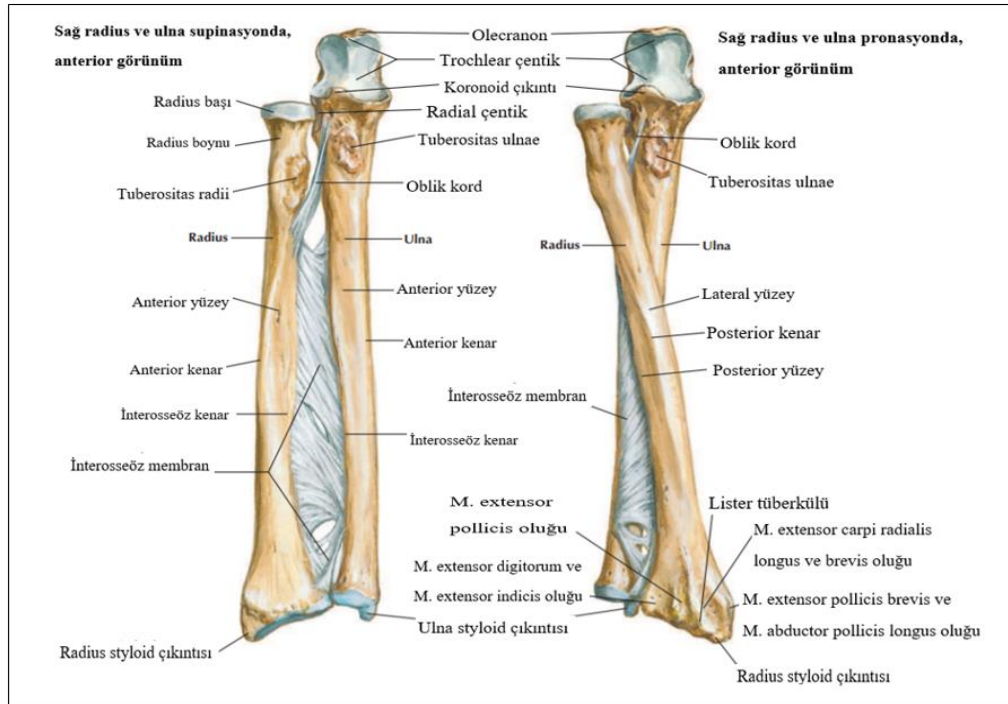
DRUE; konkav yüzeyi radius sigmoid çentiğı, konveks yüzeyi ulna başı tarafından oluşturulan trochoid tipte bir eklemdir.

Radius sigmoid çentiğı ortalama 15 mm. genişliğinde sığ bir eklem yüzeyi olup, ulna başının sigmoid çentik ile ilişkili yüzeyi ortalama 10 mm. genişliğindedir. Ortalama 71°'lik bir yay şeklinde olan sigmoid çentiğın karşısında ulna başının 111°'lik kısmı bulunmaktadır. Eklem yüzleri arasındaki bu uyumsuzluk DRUE'nin rotasyonel ve translasyonel hareketlerine olanak sağlamaktadır (10).

Distal ulna eklem yüzeyi neredeyse düz ve hemisferik yapılıdır (Şekil 2.1). Ulnar styloid, ulnanın subkutanöz devam eden 2-6 mm. uzunluktaki parçası olup; ulnar kollateral ligament, ulnokarpal ligamentler ile radioulnar ligamentlerin yüzeyel lifleri bu bölgeye yapışmaktadır. Ulnar styloidin tabanında "fovea" isimli hafif konkav bir alan mevcuttur; bu alan kıkırdaktan mahrum ancak vasküler yapılar açısından zengindir. Fovea DRUE'nin rotasyonunun geometrik merkezidir. Fovea aynı zamanda derin radioulnar ligamentlerin yapışma alanıdır. Ulnar styloidin dorsoradialinde ECU tendonunun yerleştiğı bir oluk bulunmaktadır (Şekil 2.2) (1).



Şekil 2.1: Sol radius ve ulna distal eklem yüzleri: 1) Radius styloid çıkıntısı, 2) Lister tüberkülü, 3) ECU tendonu oluğu, 4) Ulna styloid çıkıntısı, 5) Scaphoid faset, 6) Lunat faset, 7) Radioulnar eklem inferioru, 8) TFKK artiküler diskinin oturduğu alan, 9) TFKK artiküler diskinin yapıldığı alan. (Gray'den, 11)



Şekil 2.2: Önkol kemikleri ve önkol kemiklerinin birbirleri ile ilişkisinde rol alan yumuşak doku yapıları (Netter'den, 12).

2.1.2. Yumuşak Doku Stabilizörleri

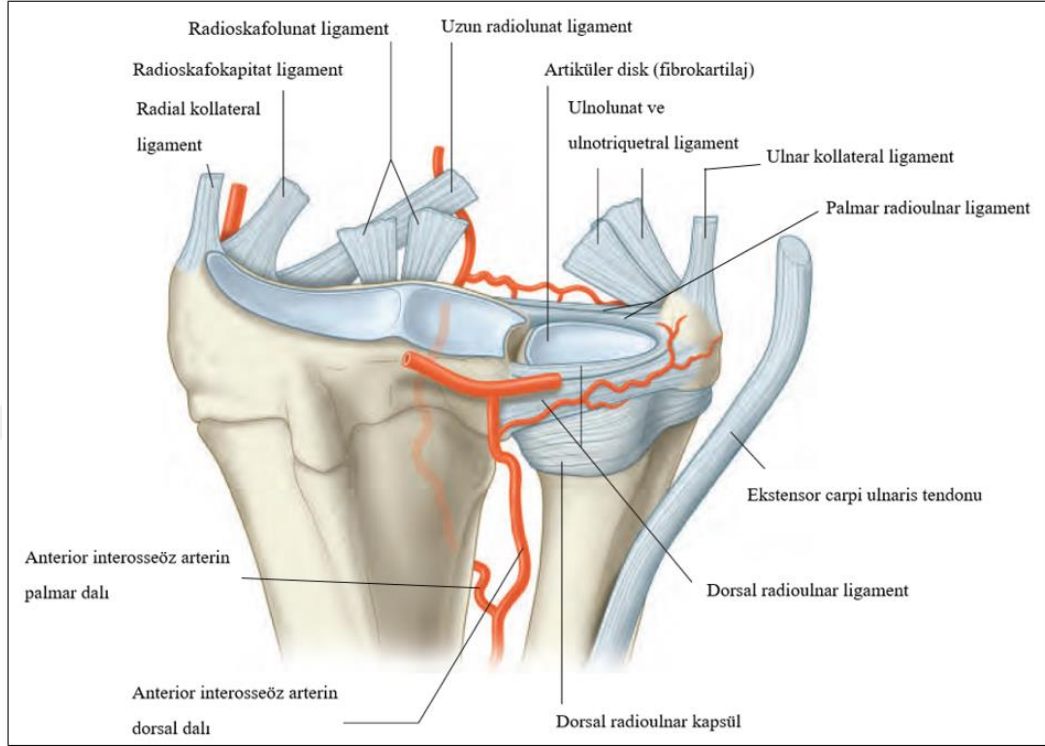
DRUE stabilitesine katkı sağlayan birçok yumuşak doku yapısı mevcuttur. TFKK, radioulnar ligamentler ve eklem kapsülü intrinsik yumuşak doku stabilizörleri olup; İOM, ECU tendonu ve pronator quadratus kası ekstremsel yumuşak doku stabilizörleridir.

TFKK; normal el bilek rotasyonunda DRUE'yi stabilize eden ligamentleri ve ulnokarpal eklemden yük aktarımı yapan fibrokartilaj komponentleri bulunan bir komplekstir. TFKK; DRUL, PRUL, ECU tendon kılıfı ve menisküs analogu artiküler diskten oluşur. TFKK'nin artiküler diski; radius sigmoid çentiğinin distal kenarı ile lunat fasetinin ulnar sınırından geçerek, DRUL ve PRUL ile birlikte birlikte ulnar styloide uzanır (1).

TFKK'nin arteriyel beslenmesi ulnar arterin radiokarpal dalları ile anterior interosseöz arterin dorsal ve palmar dalları aracılığı ile olmaktadır. Arteriyel beslenme büyük ölçüde ulnar arter tarafından sağlanmaktadır (Şekil 2.3). DRUL, PRUL ve artiküler diskin periferik %15-20'lik kısmı iyi kanlanmaktadır. Artiküler diskin merkezi %80 kısmı ve radial yapışma yeri tamamen avaskülerdir (13). TFKK'nin santral kısmı innerve olmaz iken; ulnar ve palmar kesimi ulnar sinirden, dorsal kesimi posterior interosseöz sinirden innerve olmaktadır (14). Serbest sinir uçları artiküler diskin ulnar tarafında, ulnar kollateral ligamentte ve menisküs analogunda mevcuttur (15). Ulnar sinirin dorsal duyu dalı DRUE ve üzerindeki cildi innerve etmektedir (16).

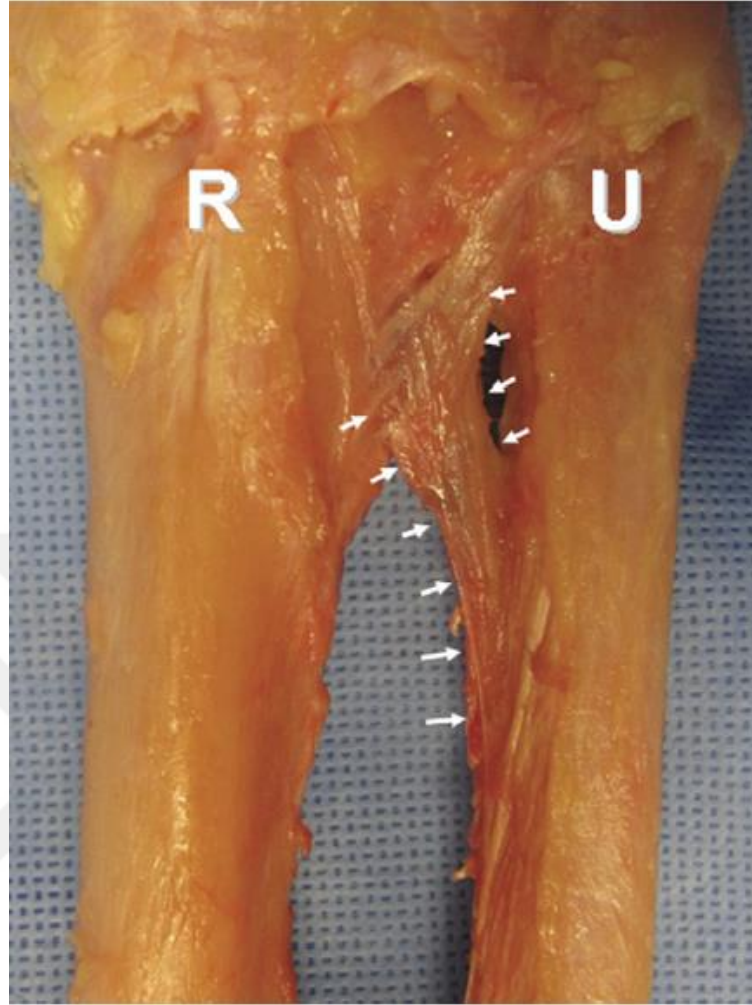
Radioulnar ligamentler, (DRUL ve PRUL) DRUE'nin primer stabilizörleridir. Longitudinal, paralel kollajen liflerinden oluşan radioulnar ligamentler; sigmoid çentiğin palmar ve dorsalinden ulnar styloide doğru bir üçgenin iki kenarını oluşturacak şekilde uzanırlar. Her iki ligamentin derin lifleri; radiustan ulnar foveaya, yüzeysel lifleri ise radiustan ulnar styloid tabanına uzanır. Derin ve yüzeysel liflerin yapışma yerleri arasındaki kanlanma açısından zengin yumuşak doku "Ligamentum subcruentum" adını alır. Ulnar styloid tabanında oluşan kırıklar radioulnar ligamentlerin yüzeysel liflerinin yaralanmasına neden

olabilmekte, ancak derin liflerin genellikle sağlam olması nedeni ile belirgin DRUE instabilitesi oluşmamaktadır (1).



Şekil 2.3: DRUE ilişkili yumuşak doku yapıları ve TFKK'nin nutrisyoel arterleri (Gray'den, 11).

İOM önkolda radius ile ulna arasında uzanan, sağlam bir ligamentöz komplekstir. İOM; distal membranöz, orta ligamentöz, proksimal membranöz kısımlardan meydana gelmektedir. Her kısım farklı ligamentöz komponentler içermektedir. Distal interosseöz membran (DİOM), pronator quadratus kasının altından geçerek radius ile ulna arasında uzanmaktadır (17). Kadavra çalışmaları sonucu DİOM içerisinde; ulna şaftının distal 1/6'sından radius sigmoid çentik inferioruna uzanan, ortalama genişliği 4,4 mm., ortalama kalınlığı 1,5 mm. olan, ulna şaftının distal 1/6'sından radius sigmoid çentik inferioruna uzanan, DRUE kapsülü ve radioulnar ligamanlar ile ilişkili bir demet olan distal oblik demetin DRUE'nin stabilizasyonuna katkı sağlayan statik yapılardan biri olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2.4) (18,19).



Şekil 2.4: İOM'un distal oblik demeti (beyaz oklar), radius (R), ulna (U). (Kitamura'dan, 20).

DRUE kapsülü; TFKK'den kaynaklanarak radioulnar ligmanlar ile birlikte dorsal ve palmar doğru seyretmektedir. Eklem kapsülü; inferior, dorsal ve palmar olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. İnferior kısım daha kalın ve kuvvetli olup, palmar ve dorsal kısımları daha incedir. Kapsülün palmar kısmının kalınlığı 0,5 ile 2,0 mm. arasında değişmekte olup distale doğru gittikçe incelmektedir. Kapsülün dorsal kısmı palmar kısmına göre daha tekdüze olup kalınlığı 0,75 ile 1,5 mm. arasında değişmektedir (21).

EKU tendonu; ulna distalinde kendi stabilitesine katkıda bulunan fibroosseöz tünelinin mevcudiyeti nedeni ile bu açıdan eşsiz bir tendondur. Fibroosseöz tünel 1,5-2 cm. uzunlukta olup ekstensör retinakulumun altına uzanmaktadır. EKU tendonunun sağlam ve tüneli içerisinde olması durumunda

TFKK'nin tüm ligamentleri eksize edilmiş olsa dahi DRUE'de komplet instabilite olmadığı kadavra disseksiyonlarında gösterilmiştir (22).

Çeşitli anatomik çalışmalar bir diğer ekstrensek yumuşak doku stabilizörü olan pronator quadratus kasının derin ve yüzeysel olmak üzere iki grup liften oluştuğunu göstermiştir. Ulna gövdesinden kaynaklanıp transvers şekilde uzanarak radiusa yapışan yüzeysel lifler önkolun primer pronatorudur. Derin lifler yüzeysel liflere göre daha proksimalden kaynaklanmakta ve oblik seyrederek radiusta yüzeysel liflere göre daha distale yapışmaktadır (23,24).

2.2. DRUE Biyomekaniği

DRUE önkol pronasyon ve supinasyonunda görev alan; ulna başı ve radius sigmoid çentiği arasında oluşan kompleks diartrodial bir eklemdir.

Önkol rotasyonunun longitudinal aksını; radius başının merkezi ile ulnar styloid tabanında bulunan foveal sulcus arasında çizilen çizgi oluşturmaktadır. Önkol rotasyonu; radiokarpal yapıların fikse ve stabil durumdaki ulna etrafında rotasyonunu içermektedir. Kişiler arası farklılıklar olmakla birlikte önkol rotasyonunun 150° ile 180°'lik kısmı DRUE üzerinden, yaklaşık 30°'lik kısmı ise radiokarpal ile midkarpal eklemler üzerinden gerçekleşmektedir (1).

Ulna başı çapının, karşılığındaki radius sigmoid çentiğinin çapından daha küçük olması nedeni ile kemik yapı DRUE stabilitesine sadece %20 oranında katkı sağlamaktadır (25).

Önkol rotasyonu sırasında stabiliteden statik ve dinamik yumuşak doku yapıları sorumludur. Önkol rotasyonu sırasında DRUE stabilitesini sağlayan statik yapılar; TFKK, radioulnar ligamentler, ulnar kollateral ligament ve eklem kapsülüdür. Önkol rotasyonu sırasında DRUE stabilitesini sağlayan dinamik stabilizörler; EKU tendonu ve pronator quadratus kasıdır.

DRUL ve PRUL'un DRUE stabilitesine etkileri konusunda tartışmalar devam etmektedir. Ekenstam ve Hagert (10) 1985'te yaptıkları kadavra çalışmasında PRUL'un önkol pronasyonu sırasında ulnanın dorsale subluksasyonunu, DRUL'un önkol supinasyonu sırasında ulnanın palmare subluksasyonunu kısıtladığı sonucuna ulaşmışlardır. Schuind ve arkadaşları (26) 1991'de yaptıkları biyomekanik çalışmada PRUL'un önkol supinasyonunda ulna palmare doğru yer değiştirdiğinde, DRUL'un önkol pronasyonunda, ulna dorsale doğru yer değiştirdiğinde gergin olduğunu saptamışlardır. Kihara ve arkadaşları (27) 1995'te yaptıkları kadavra çalışmasında DRUL'un önkol pronasyonu sırasında ulnanın dorsale subluksasyonunu önlemede, PRUL'un önkol supinasyonu sırasında palmare subluksasyonunu önlemede daha etkin olduğunu saptayarak Schuind ve arkadaşlarının çalışmasını desteklemiştir. Acosta ve arkadaşları (28) 1993'te yaptıkları kadavra çalışmasında DRUL'un pasif önkol supinasyonu sırasında, PRUL'un pasif önkol pasif supinasyonu sırasında hareketli olduğunu saptamışlardır. Klinik tecrübeler ve kadavra çalışmaları sonucunda dorsal DRUE instabilitesi durumunda dorsal ligamentlerin, palmar DRUE instabilitesi durumunda palmar ligamentlerin onarım veya rekonstrüksiyonunun gerekli olduğu kararına varılmıştır.

Ward ve arkadaşları (29) 11 kadavra spesmeni üzerinde yapmış oldukları biyomekanik çalışmada DRUL gerginliğinin önkol pronasyonu sırasında, PRUL gerginliğinin ise önkol supinasyonu sırasında tedrici arttığını göstermişlerdir. Yine aynı çalışmada DRUL'un eksize edilmesinin DRUE'de önkol pronasyonu sırasında dorsal instabiliteye, PRUL'un eksize edilmesinin DRUE'de önkol supinasyonu sırasında palmar instabiliteye neden olduğu görülmüştür.

Her ne kadar Ekenstam ve Hagert'in (10) yaptıkları çalışma ile Schuind ve arkadaşlarının (26) yaptıkları çalışma arasında çelişkiler bulunsun da günümüzde TFKK' nin ve bu kompleksi oluşturan yapıların rolleri literatürdeki biyomekanik çalışmalar ve analizler ile net bir şekilde ortaya konulmuştur. 1994'te Hagert daha önce yapmış olduğu çalışmalarda mevcut olan ve literatürdeki diğer çalışmalar ile çelişen bilgileri açıklığa kavuşturmuştur. Ekenstam ve Hagert yaptıkları çalışmada

sadece ulnar foveaya yapışan derin radioulnar ligamentleri incelemiş olup Schuind ve arkadaşları sadece yüzeysel radioulnar ligamentlerin gerginliğini ölçmüştür. Hagert (30) 1994'te yaptığı bu çalışmada radioulnar ligamentler hakkında birçok konuya ışık tutmuş olup; radioulnar ligamentlerin yüzeysel dorsal lifleri ile derin palmar liflerinin önkol pronasyonu sırasında dorsal stabilite, yüzeysel palmar lifleri ile derin dorsal liflerinin önkol supinasyonu sırasında palmar stabilite için önem arz ettiğini tespit etmiştir.

İOM radiustan ulnaya yük aktarımı sağlamakta olup, radius ile ulna arasında longitudinal stabiliteye de katkıda bulunmaktadır. Radius başının eksize edildiği olgularda, İOM'un santral bandı radiusun proksimale yer değiştirmesini önleyen yumuşak doku kuvvetlerinin %71'ini sağlamaktadır (31). İOM aynı zamanda DRUE stabilitesi için de önem arz etmektedir. Kihara ve arkadaşları (27) İOM'un sağlam olup DRUL ve PRUL'un eksize edilmesi durumunda DRUE'de kayda değer instabilite olmadığını göstermiştir. Pfaeffle ve arkadaşları (32) el üzerinden önkola kompresif kuvvetlerin aktarılması sonucu bu kuvvetlerin distal radius ve ulna arasında transvers düzlemde oluşturacağı distraksiyona İOM'un karşı koyduğunu göstermiştir. Watanabe ve arkadaşları (33) İOM'u eksize edip; önkol nötral pozisyonda, 60° pronasyonda ve 60° supinasyonda iken DRUE laksitesini test etmiş ve distal İOM'un tüm bu pozisyonlarda palmar ve dorsal laksiteye engel olduğunu göstermiştir. Kitamura ve arkadaşları (20) yaptıkları kadavra çalışmasında, önkol nötral pozisyonda iken DRUE stabilitesini önemli ölçüde distal İOM'un sağladığını göstermişlerdir.

DRUE kapsülü, DRUE stabilitesi açısından mühim bir yapıdır. Dorsal eklem kapsülünün eksizyonunun dorsal instabiliteye, palmar eklem kapsülünün eksizyonunun palmar instabiliteye neden olduğu gösterilmiştir (34).

DRUE'nin dinamik stabilizörlerinden olan ECU tendonu ulnar styloidin dorsoradialindeki oluğa yerleşmektedir. Önkol pronasyonu sırasında ulna başının palmar yer değiştirmesine karşın, ECU tendonu ulna gövdesini dorsale doğru destekleyerek dinamik stabilizör görevi görür (22).

M. pronator quadratusun derin lifleri önkolun aktif pronasyonu ve pasif supinasyonu sırasında distal ulna ile sigmoid çentik ilişkisini koruyarak DRUE stabilitesine katkı sağlamaktadır. Biyomekanik çalışmalar ile M. pronator quadratus eksizyonunun önkol pronasyonu sırasında DRUE’de palmar subluksasyona yol açtığı görülmüştür (35). On dört sağlıklı gönüllü üzerinde yapılan, elektromiyografik aktivite analizi çalışmasında M. pronator quadratus derin liflerinin önkol pronasyon ve supinasyonu sırasında DRUE’nin dinamik stabilizörü olduğu gösterilmiştir (37).

2.3. Epidemiyoloji

DRUE yaralanmaları sık görülmekte ancak sıklıkla tanısı atlanmaktadır. DRUE yaralanmalarına çoğunlukla distal radius kırıkları eşlik etmekte olup, izole DRUE yaralanmaları çok nadir görülmektedir. 1960 ile 2007 yılları arasında literatürde sadece 23 adet izole DRUE yaralanması tanımlanmıştır (37). Distal radius kırıkları ile birlikte DRUE yaralanması görülme insidansı %10 ile %19 olarak raporlanmıştır (38,39).

2.4. Sınıflandırma

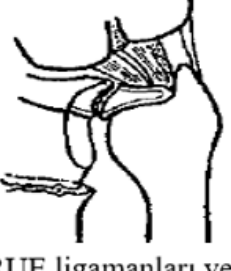
Akut DRUE yaralanması; eklem kıkırdağı, intrinsik ve ekstrinsik stabilizörler ile kemik yapının izole veya kombine olarak hasarlanması sonucu meydana gelmektedir. Travmanın şiddetine bağlı olarak yaralanmanın ciddiyeti de değişmekte ve ulnar styloid avülsiyon kırığı gibi küçük yaralanmalar veya şiddetli yumuşak doku hasarının eşlik ettiği parçalı radius ve ulna kırıkları gibi komplike yaralanmalar akut DRUE yaralanmalarına eşlik edebilmektedir. Bu durum akut DRUE yaralanmalarının prognozunu öngörmek ve yönetimini planlamak amaçlı bir sınıflama sistemi geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur.

Geissler ve arkadaşları 1996 yılında; akut DRUE subluksasyon veya ulna başı dislokasyonuna eşlik eden TFKK ve kapsüler ligament yaralanması bulunup bulunmaması, DRUE ilişkili kemik patoloji (sigmoid çentik, ulna başı veya her ikisi) olup olmaması gibi iki parametreye dayanan bir sınıflama geliştirmiştir. Bu iki parametre ışığında akut DRUE yaralanmaları; sigmoid çentik ile ulna başının anatomik ilişkisi ve DRUE stabilitesi göz önünde bulundurularak üç tipe ayrılmıştır (Şekil 2.5) (39).

Tip 1 akut DRUE yaralanmaları stabil lezyonları içermektedir. Eklem klinik olarak stabildir ve radyolojik görüntüler eklem uyumlu olduğunu göstermektedir. Ulnar styloid ucunun minimal deplase kırık veya sağlam olduğu, TFKK ve kapsüler ligamentlerin sağlam veya minimal hasarlı olduğu DRUE yaralanmaları Tip 1 akut DRUE yaralanmaları olarak kabul edilmektedir (39).

Tip 2 akut DRUE yaralanmaları; ulna başının klinik ve radyolojik olarak sublukse veya disloke olduğu yaralanmaları içermektedir. Tip 2 akut DRUE yaralanmalarında ulnar styloid tabanında kırık ile DRUE ligamentleri ve TFKK'de masif yırtık mevcuttur (39).

Tip 3 akut DRUE yaralanmalarında DRUE; sigmoid çentik veya radius başındaki kemik patolojiler nedeni ile potansiyel olarak instabildir (39).

TİP 1 STABİL (Radius kırığının redüksiyonunu takiben DRUE uyumlu ve stabildir.)	 Ulnar styloid uç kırığı	 Stabil ulnar boyun kırığı
TİP 2 ANSTABİL (Ulna başı sublukse veya dislokedir.)	 DRUE ligamanları veya TFKK'de masif yırtık	 Ulnar styloid tabanında kırık
TİP 3 POTANSİYEL OLARAK ANSTABİL (Kemik patolojiler nedeni ile DRUE subluksasyonu olasıdır.)	 Sigmoid çentik kırığı	 Ulna başı kırığı

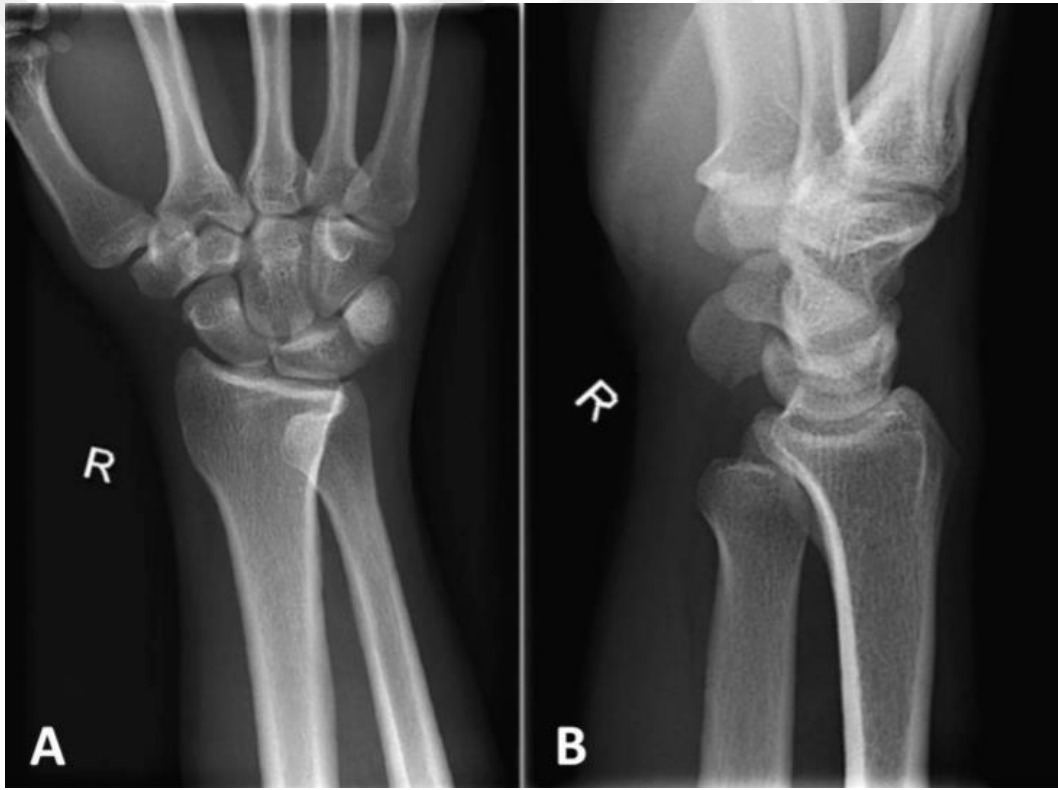
Şekil 2.5: Akut DRUE yaralanmalarının prognozunu öngörmek ve yönetimini planlamak amaçlı geliştirilen sınıflama sistemi (39). (Kaynak: Geissler WB, Fernandez DL, Lamey DM. Distal radioulnar joint injuries associated with fractures of the distal radius. Clinical Orthopaedics and Related Research 1996; 327:135-146'danTürkçe'ye çevrilmiştir.)

2.4.1. İzole DRUE Dislokasyonu

İzole DRUE dislokasyonu; travma sonrası distal radius kırığı, Galeazzi kırığı, distal radiokarpal eklemi ilgilendiren kırık gibi eşlik eden patolojiler görülmeksizin oluşan DRUE dislokasyonudur. TFKK yaralanması, İOM

yaralanması gibi yumuşak doku patolojileri; izole dorsal veya palmar DRUE dislokasyonuna neden olabilmektedir (2).

İzole palmar DRUE dislokasyonu nadir görülmektedir. Yaralanma mekanizması sıklıkta el bileği ekstensiyonda, önkol supinasyonda iken düşme şeklindedir. Fizik muayenede ulna başının el bileği dorsalindeki çıkıntısının kaybı ve önkol rotasyonunda kısıtlılık göze çarpmaktadır. Posteroanterior direkt grafilerde distal ulnanın, distal radius ile süperpoze olduğu görülmektedir. Yan direkt grafilerde ulna başının distal radiusa göre palmarde olduğu görülmektedir (Şekil 2.6) (2).



Şekil 2.6: İzole palmar DRUE dislokasyonu. A) Posteroanterior grafi, B) Yan grafi.

(Ellanti'den, 40)

Mulford ve arkadaşlarının (37) yirmi üç vaka üzerinde yaptığı retrospektif çalışmada akut tanı almış olan on bir hastadan dokuzunda kapalı redüksiyonun başarılı şekilde gerçekleştirilebildiği; kronik on iki vakadan ise sadece birinde kapalı redüksiyonun başarılı şekilde gerçekleştirilebildiği görülmüştür. Kapalı

redüksiyon başarısızlığı nedenleri arasında; TFKK'nin redüksiyonu engellemesi (41), M. pronator quadratus'un redüksiyonu engellemesi (42), ekstensör retinakulum ve ekstensör tendonların interpozisyonu (43), ulna başının sigmoid çentik palmarinde kilitlenmesi gösterilmiştir (44). Kapalı redüksiyon sağlanamaması durumunda açık redüksiyon uygulanmalıdır.

İzole dorsal DRUE dislokasyonu, izole palmar DRUE dislokasyonuna göre daha sık görülmektedir. Yaralanma mekanizması sıklıkta el bileği ekstensiyonda, önkol pronasyonda iken düşme şeklindedir. Fizik muayenede ulna başının el bileği dorsalindeki çıkıntısının normalden fazla olması ve önkol rotasyonunda kısıtlılık göze çarpmaktadır. Posteroanterior direkt grafiler izole palmar dislokasyon ile benzer olup; yan direkt grafilerde ulna başının distal radiusa göre dorsalde olduğu görülmektedir. Genellikle ulna başına dorsalden palmare doğru baskı uygulanarak önkolun supinasyona alınması ile kapalı redüksiyon sağlanabilmektedir. Kapalı redüksiyona engel olabilen durumlar izole palmar DRUE dislokasyonu ile aynıdır. Kapalı redüksiyon sağlanamaması durumunda açık redüksiyon uygulanmalıdır (2).

2.4.2. Radius Kırıklarına Eşlik Eden DRUE Dislokasyonu

DRUE yaralanmalarının eşlik edebildiği radius kırıkları; distal radius kırıkları ve Galeazzi kırıklarıdır.

Galeazzi kırıkları deplase distal radius kırıkları ve DRUE dislokasyonu ile karakterizedir. Galeazzi kırıklarında; radius kırığının distal segmentinin yer değiştirdiği yöne bağlı olarak DRUE her iki yöne disloke olabilmekle birlikte, çoğunlukla dorsale disloke olmaktadır.

Deplase radius kırıklarına çoğunlukla ulnar taraf el bilek yaralanmaları eşlik etmektedir. Bu yaralanmalar; ulna shaft, boyun, baş kırıkları ile DRUE instabilitesi, subluksasyonu ve dislokasyonunu içermektedir. Genellikle bu durumlarda DRUE instabilitesi nadir görülmektedir (45,46,47). Yakın zamanlı çalışmalarda distal

radius kırıklarına %3 - %37 ihtimalle ulnar taraf el bilek yaralanmalarının eşlik ettiği gösterilmiştir (39, 48-52).

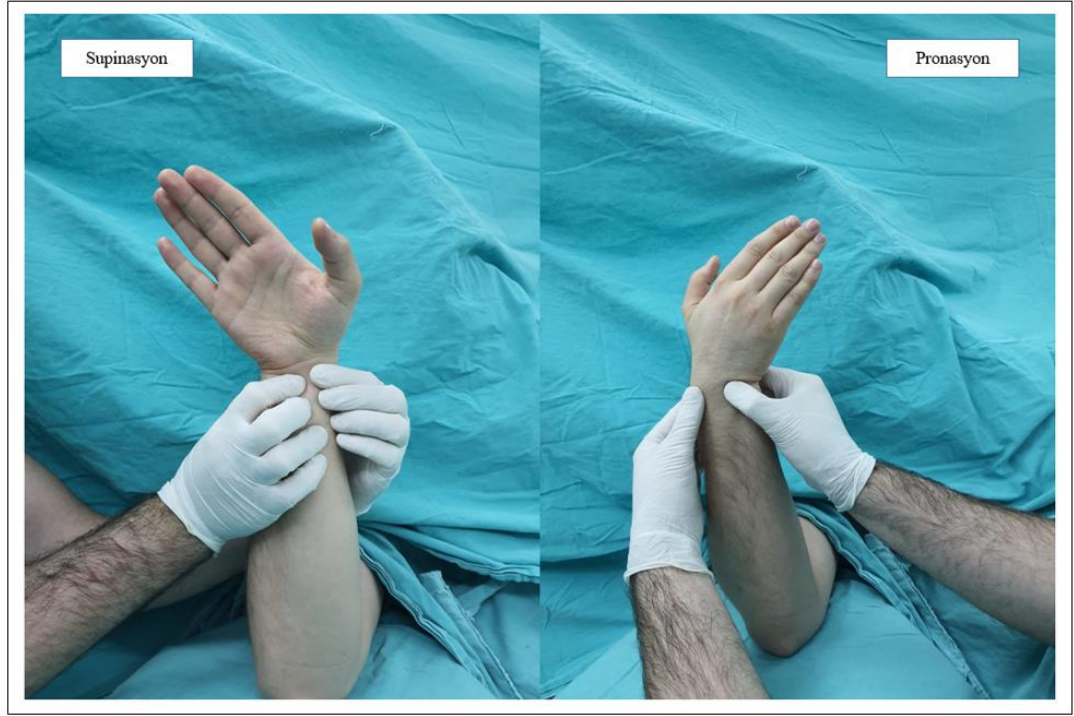
Ulnar taraf yaralanmalarından; büyük parçalı ulna styloid kırıkları sıklıkla DRUE instabilitesine neden olmaktadır (48, 50, 53). TFKK yaralanmasının eşlik ettiği birçok distal radius kırığında, eğer DRUE stabil ise hastaların asemptomatik seyrettiği görülmüştür (54). Distal radius kırıklarının değerlendirilmesi sırasında DRUE yaralanmaları ihtimalinin göz önünde bulundurulması, klinik ve radyolojik testler ile bu yaralanmaların teşhis edilmesi ve yönetimi açısından oldukça önemlidir.

2.5. Tanı

2.5.1 Fizik Muayene

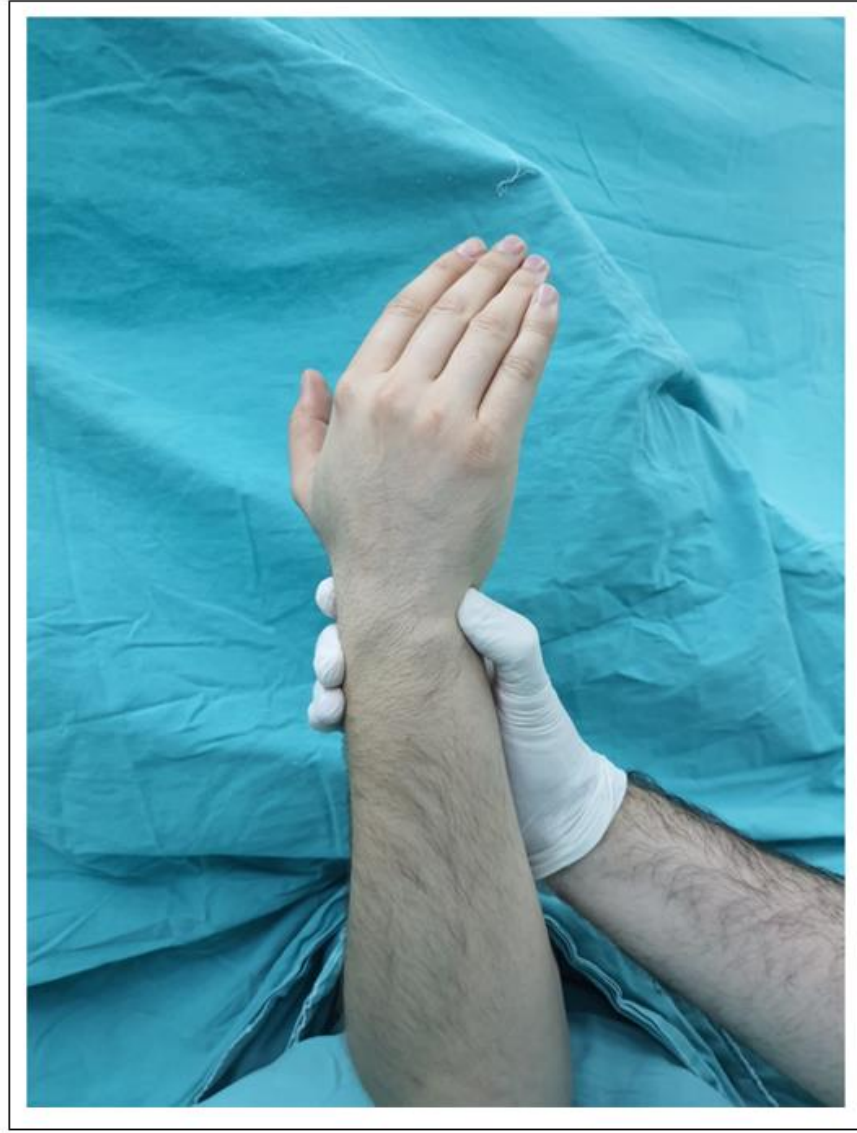
Hastaların en sık yakınması; travmayı takiben el üzerine yüklenme ve önkol rotasyonu sırasında gelişen ulnar taraflı el bilek ağrısıdır. Distal radius kırıklarının takiben el bileğinin ulnar tarafında hassasiyet ve süreklilik gösteren ulnar taraf el bilek ağrısı DRUE yaralanmasına işaret eder. El bileğinden gelen tıkırtı sesi, bariz instabilite, nesneleri kaldırırken güçsüzlük hastaların ortak şikayetleridir (55).

Hastanın dirseği bir masa üzerinde 90 derece fleksiyonda, el bileği ulnar deviasyonda iken el bileğinin pronasyon ve supinasyona getirilmesi ile yapılan impingement testi (Şekil 2.7); TFKK yaralanmalarında genellikle pozitif olup sadece TFKK yaralanmalarına özgü değildir. Test sırasında ulnar styloidin hemen distalinde görülen ağrı TFKK yaralanmasını akla getirmekte olup, ulna başının dorsal veya palmarinde görülen ağrı radioulnar ligament yaralanmalarını işaret etmektedir. Test sırasında pronasyon ve supinasyonda DRUE stabilitesi kontrol edilmelidir (55).



Şekil 2.7: İmpingement testi.

Ulnar fovea bulgusu, ulnotriquetral ligament ve radioulnar ligamentlerin hasarlanması durumunda görülmektedir. Hastanın dirseği bir masa üzerinde 90 derece fleksiyonda, önkol ve el bileği nötral pozisyonda iken; ulnar styloid çıkıntı, fleksör carpi ulnaris tendonu, os pisiforme ve ulna başı arasındaki yumuşak alana parmak ile bastırılması durumunda hastanın ağrı hissetmesi ulnar fovea bulgusunun pozitif olduğunu göstermektedir (Şekil 2.8). Ulnar fovea testinin pozitifliği; radioulnar ligamentler veya ulnotriquetral ligament hasarını düşündürmektedir. Radioulnar ligamentlerin hasarlanması durumunda DRUE’de instabilite görülmesi, ulnotriquetral ligament hasarında DRUE’de instabilite görülmemesi bu iki durum arasında ayrım yapılabilmesini mümkün hale getirmektedir (56).



Şekil 2.8: Ulnar fovea bulgusu.

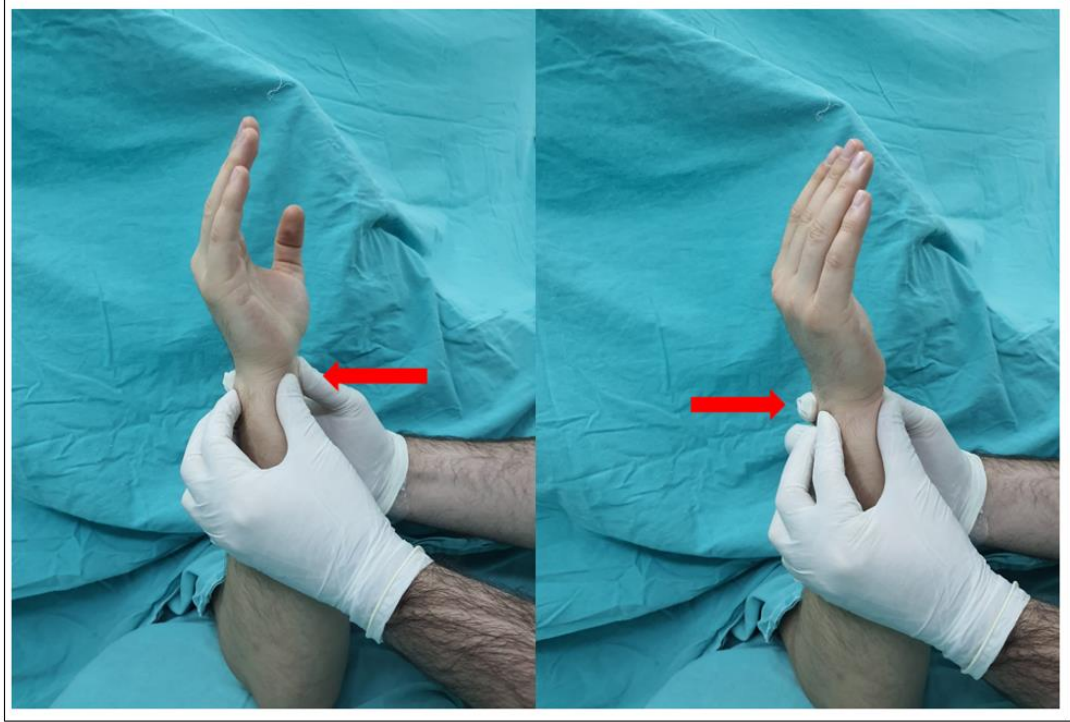
Önkol pronasyonda iken ulna başına dorsalden başparmak ile kuvvet uygulandığında ulna başının palmare yer değiştirmesi, başparmak ile uygulanan kuvvet kaldırıldığında ulna başının eski yerine dönmesi piyano tuşu bulgusu olarak adlandırılmaktadır (Şekil 2.9). Piyano tuşu testinin pozitifliği DRUE instabilitesini akla getirmektedir (55).



Şekil 2.9: Piyano tuşu testi.

Masaüstü testi; hastanın her iki önkolü pronasyonda iken her iki elini düz bir masaya bastırması ile yapılmaktadır. DRUE instabilitesi bulunması durumunda hastanın masaya doğru uyguladığı kuvvet arttıkça ulna başının hareket ettiği görülecektir (57).

DRUE ballotman testi; hastanın önkolü nötral pozisyonda iken bir hekimin bir eliyle radiusu sabitleyip diğer eliyle ulna başını dorsalden palmare ve palmardan dorsale doğru hareket ettirmesi ile yapılmaktadır (Şekil 2.10). Testin diğer el bileğine de uygulanması sonucu; hastanın şikayetlerinin olduğu tarafta ulnanın diğer tarafa göre belirgin şekilde daha fazla hareket etmesi DRUE yaralanmasını düşündürmektedir (58).



Şekil 2.10: DRUE ballotman testi. Kırmızı ok uygulanan kuvvetin yönünü göstermektedir.

2.5.2. Radyolojik Tetkikler

Direkt Grafi

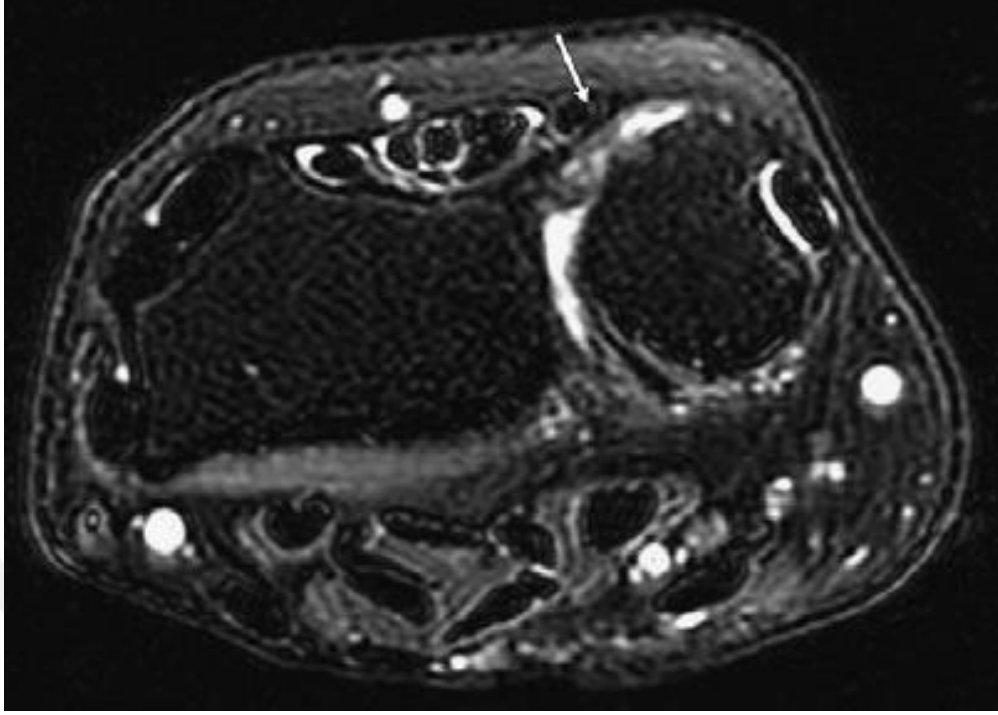
Birçok ortopedik patolojinin tanısında olduğu gibi DRUE yaralanması tanısında da ilk olarak değerlendirilecek radyolojik tetkik direkt grafilerdir. Karşılaştırmalı değerlendirme gerekliliği açısından her iki el bileğinin posteroanterior (PA) ve lateral grafileri çekilmelidir. PA grafilerde distal radius eklem yüzeyinin 7.5 cm. proksimaline kadar olan kırıklar, ulnar styloid kırıkları, radius sigmoid çentik ile ilişkili kırıklar, DRUE’de genişleme veya radius ile ulnanın üst üste binmesi, ulnanın radiusa göre 6 mm. ve üzeri kısalığı; yan grafilerde ulnanın radiusa göre palmar veya dorsale disloke olması olası DRUE yaralanmasını düşündürmektedir (59-61).

Bilgisayarlı Tomografi (BT)

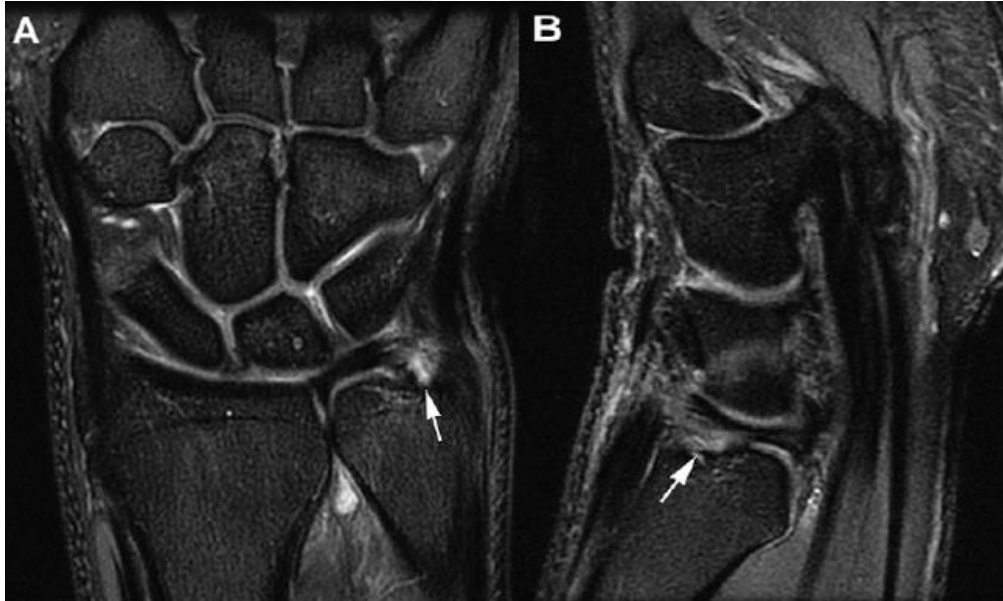
BT; DRUE yaralanmalarını tanımlama ve DRUE instabilitesini değerlendirme amacıyla kullanılmaktadır (63-65). BT ile intraartiküler distal radius kırıklarının sigmoid çentik ile ilişkisinin değerlendirilmesi, malunion gibi kemik patolojilerin saptanması ve operasyon planının yapılması mümkündür (62, 65, 66). BT kemik yapının değerlendirilmesi konusunda değerli olup, ligamentöz yapıların değerlendirilmesi konusunda manyetik rezonans görüntüleme (MRG) kadar efektif değildir.

MRG

MRG; DRUE yaralanması tanısı ve ilgili sorunların saptanmasında en önemli radyolojik görüntüleme yöntemidir (67,68). MRG; DRUE ile ilişkili ligamentler ve TFKK'nın rahatlıkla görüntülenmesini sağlamaktadır (Şekil 2.11). DRUE instabilitesi ve DRUE ile ilişkili ağrının sık nedenlerinden olan palmar veya dorsal radioulnar ligamentlerin, ulnokarpal ligamentlerin ve TFKK'nın yaralanmaları rutin MRG görüntülemeleri ile tespit edilebilmektedir (Şekil 2.12) (65).



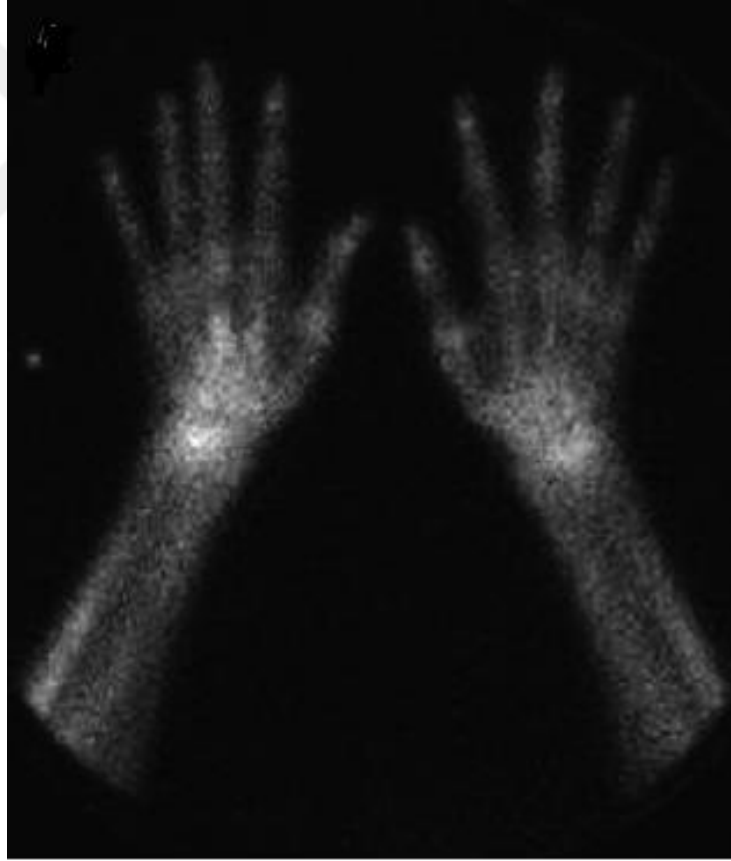
Şekil 2.11: DRUL yaralanmasını gösteren T2 ağırlıklı MRG görüntüsü (Amrami'den, 65).



Şekil 2.12: Ulnar taraflı el bilek ağrısı olan farklı iki hastanın T2 ağırlıklı MRG görüntüleri. (A) Foveal yapışma yerinden parsiyel olarak yırtılmış TFKK. (B) Foveadan tamamen ayrılmış TFKK (Amrami'den, 65).

Sintigrafi

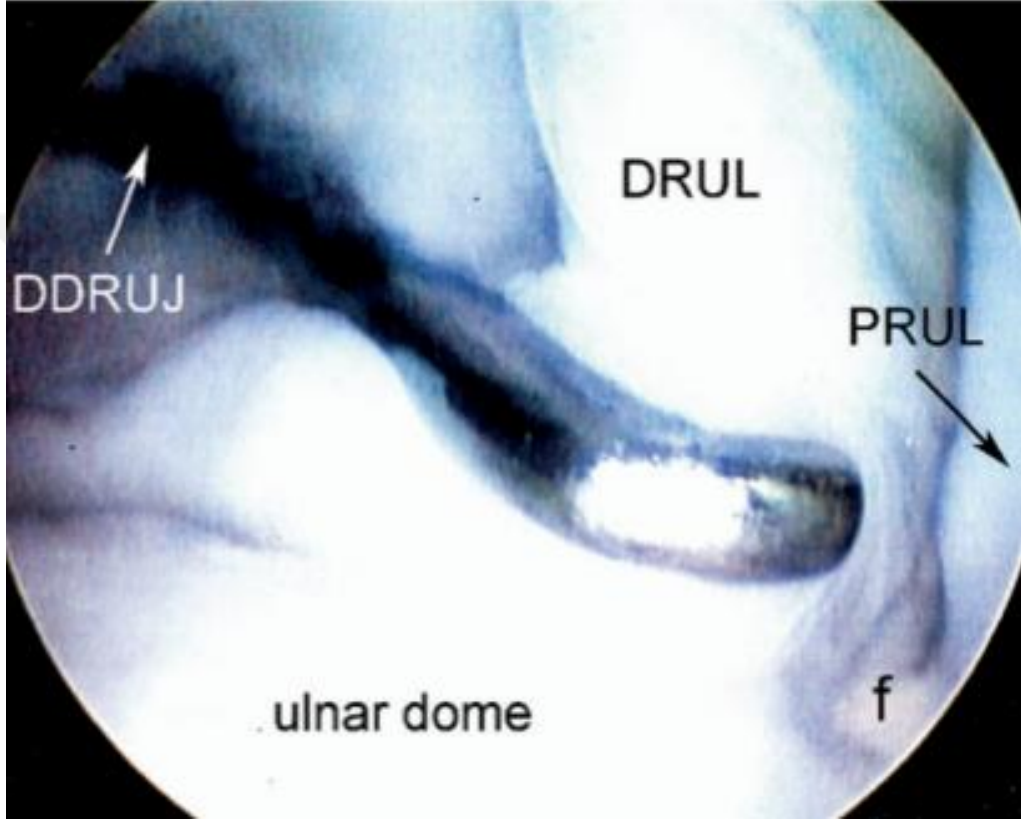
Sintigrafi ulnar taraflı el bilek ağrısının DRUE kaynaklı olup olmadığını ayırt etme konusunda ve özellikle radyolojik olarak tanı konulamamış dejeneratif artrit mevcutiyyetinde önemli role sahiptir. Sintigrafi ayrıca inflamatuvar artrit in erken tanısında kullanılmaktadır. Tek fazlı sintigrafi aktif kemik döngüsünü saptamada yüksek özgüllük ve duyarlılığa sahip olup, altta yatan patolojiyi saptayamamaktadır (Şekil 2.13). Üç fazlı (dolum, kan havuzu, geç statik) kemik taramaları inflamasyonu enfeksiyondan ayırma konusunda yardımcı olmaktadır, ancak DRUE enfeksiyonu çok nadir görülmektedir (65).



Şekil 2.13: Bilateral ulnar taraflı el bilek ağrısı olan hastanın her iki radiokarpal ekleminde nonspesifik tutulum gösteren kemik sintigrafisi (Amrami'den, 65).

2.5.3 Artroskopi

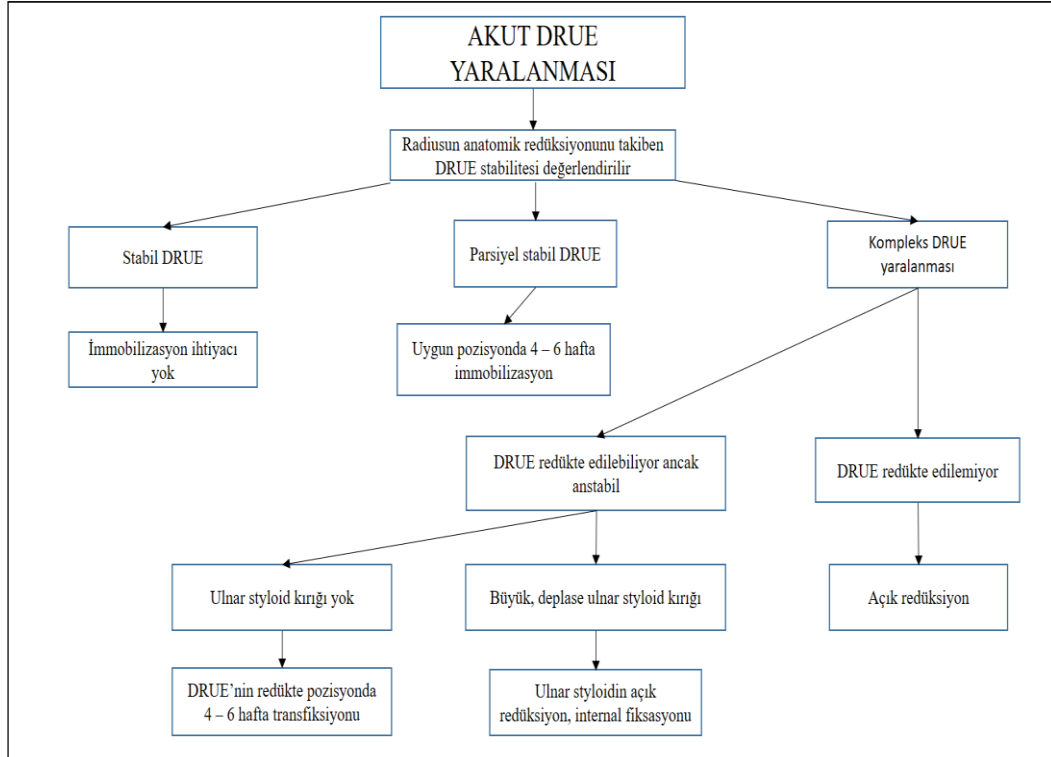
DRUE yaralanmaları için önerilen bir görüntüleme yöntemi olmamakla birlikte artroskopi TFKK yaralanmalarının değerlendirilmesinde altın standarttır (69). Radioulnar ligamentler, ulnar kollateral ligament ve trianguler fibrokartilaj; ulnar portaller aracılığı ile değerlendirilebilmektedir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14: DRUE'nin palmar distal radioulnar portalden görünümü. Prob dorsal, distal DRUE portalinde (DDRUI). DRUL ve PRUL ulnar foveaya (f) tutunmakta (Slutsky'den, 70).

2.6. Tedavi

Akut DRUE yaralanmalarında en iyi sonuçlar erken tedavi ile alınmaktadır (39, 50, 71). Akut DRUE yaralanmalarının yönetiminde Mulford ve Axelrod'un (2) birçok vakayı değerlendirerek literatüre kazandırdıkları algoritma günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 2.15).



Şekil 2.15: Akut DRUE yaralanmalarının yönetim algoritması (2). (Kaynak: Mulford JS, Axelrod TS. Traumatic injuries of the distal radioulnar joint. Hand Clinics 2010; 26(1):155-163'ten Türkçe'ye çevrilmiştir.)

DRUE yaralanması riski travma mekanizması ile ilişkili olup, yüksek enerjili ve rotasyonel komponentli olan travmalar ile DRUE yaralanma ihtimali yüksektir. Potansiyel DRUE yaralanmasının radyolojik belirteçleri; iki milimetreden fazla deplasmanı olan ulnar styloid tabanı kırıkları, radius sigmoid çentik kırıkları, radial kısıklık, DRUE'de ayrışma görülmesidir (39, 50, 72).

Operasyon sırasında ilk amaç olan radiusun anatomik redüksiyonu sağlandıktan sonra; önkol pronasyon, nötral ve supinasyonda iken piyano tuşu testi ile DRUE stabilitesi değerlendirilir (73). Piyano tuşu testi her zaman objektif sonuç verememekte olup, mutlaka hastanın her iki taraf DRUE değerlendirmesi birlikte

yapılarak değerlendirilmelidir. Piyano tuşu testi ile eklem stabil olduğuna karar verilmesi durumunda herhangi bir işleme gerek yoktur.

DRUE’de instabilite tespit edilmesi durumunda radius kırığının redüksiyonu tekrar değerlendirilmeli ve redüksiyonun yetersiz olması durumunda, redüksiyon revize edildikten sonra DRUE stabilitesi tekrar değerlendirilmelidir. DRUE instabilitesi bazı rotasyon derecelerinde devam ediyor ise atel ile tedavi edilebilir. Dorsal DRUE dislokasyonu supinasyonda, palmar DRUE dislokasyonu pronasyonda redükte olmaktadır ve dislokasyon yönüne uygun pozisyonda atelleme planlanmalıdır. Uygun pozisyonda dirseği geçen atel ile yumuşak doku yapıları stabilize olana kadar, dört – altı hafta, immobilizasyon tedavi için yeterlidir. DRUE’nin tüm rotasyon derecelerinde instabil olması kompleks DRUE yaralanmasına işaret etmekte olup, cerrahi tedavi planlanmalıdır.

DRUE hiçbir rotasyon derecesinde redükte olmuyor ise redüksiyona engel olan yumuşak doku veya kemik patolojiler söz konusudur. Bu patolojiler sıklıkla yumuşak doku kaynaklı olup, daha az sıklıkla kemik yapı kaynaklıdır. DRUE redüksiyonunun sağlanamadığı durumlarda artrotomi planlanmalı ve redüksiyona engel olan yapılar DRUE’den uzaklaştırılmalıdır.

DRUE redükte oluyor ancak stabil kalmıyor ise bu durum genellikle büyük, deplase ulnar styloid kırığına bağlıdır. Genellikle TFKK’nin ulnar styloid kırık fragmanına yapışıyor olması nedeni ile ulnar styloidin anatomik redüksiyonunu takiben DRUE stabilizasyonu sağlanır (53, 74). Ulnada herhangi bir kırık söz konusu değil ise TFKK’de periferik yırtık mevcudiyeti muhtemeldir. Bu durumda cerrahi seçenekler arasında DRUE’nin pinler yardımı ile ulnoradial transfiksasyonu (60, 75-77), TFKK onarımı (39,78-85), eksternal fiksasyon seçenekleri bulunmaktadır (86). Bu seçeneklerden hangisinin en iyi sonucu verdiğini gösteren yeterli çalışma bulunmamakla birlikte TFKK onarımı yapılan hastalarda yumuşak doku iyileşmesi tamamlanana kadar K telleri ile ulnoradial transfiksasyon önerilmektedir.

2.6.1. Ulnoradial Transfiksasyon

Ulnoradial transfiksasyon; DRUE'nin instabil olduğu durumlarda immobilizasyonunu sağlamak amacı ile uygulanmaktadır.

Ulnoradial transfiksasyon ulna medial korteksinden girip, ulna lateral korteksi ile radius medial korteksini geçtikten sonra, radius lateral korteksinden çıkan; 2 mm. kalınlığında K teli kullanılarak uygulanmaktadır (39). K telinin DRUE'nin hemen proksimaline yerleştirilmesi ve kırılması durumunda çıkartılmasının teknik olarak daha kolay olması nedeni ile dört korteksi geçmesi önerilmektedir (66, 87).

Dorsal DRUE dislokasyonunun supinasyonda, palmar DRUE dislokasyonunun pronasyonda redükte olması nedeni ile; ulna başı dorsale disloke ise önkol supinasyonda iken, ulna başı palmare disloke ise önkol pronasyonda iken K teli yerleştirilmelidir. Transfiksasyonu takiben 4 – 6 hafta sonra K teli çıkartılmalıdır (87).

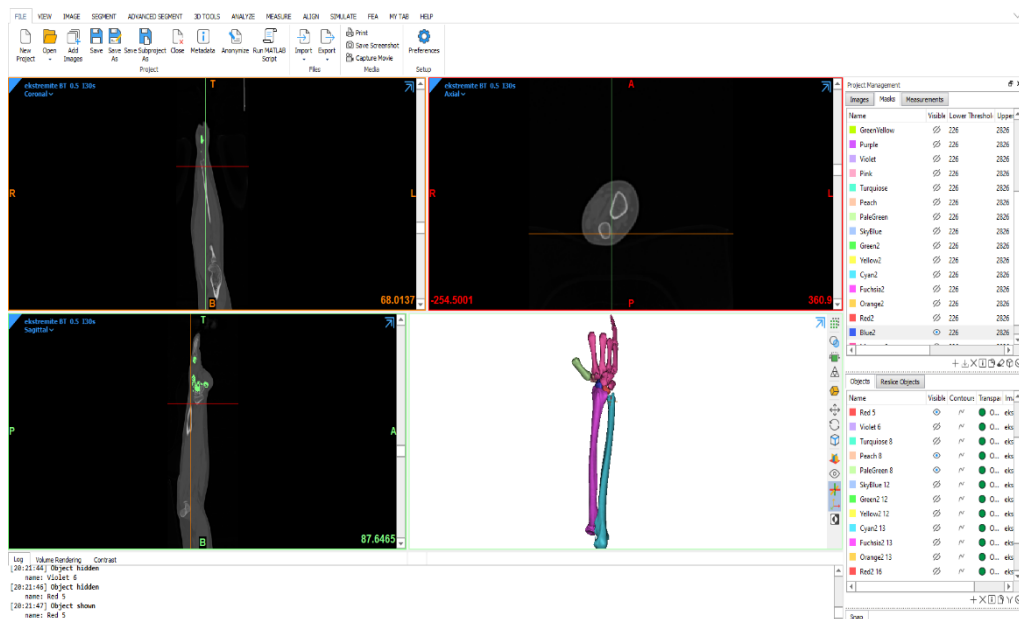
Ulnoradial transfiksasyonun olası komplikasyonları; pin dibi enfeksiyonu, termal hasar (özellikle yüksek devirli perforatör kullanılması durumunda), ulnar sinir dorsal duyu dalı hasarı, K telinin kırılması, DRUE artritidir (K telinin DRUE'den geçmesi durumunda daha sık görölmektedir) (39, 88-90). Olası komplikasyonların önüne geçmek adına K telinin yerleştirilmesi sırasında ısınmaya karşı tel ıslatılarak soğutulmalı, yüksek devirli perforatörlerle çalışılacaksa işlem olabildiğince kısa sürede tamamlanmalı; taburculukları sırasında hastalara K teli tahliye edilene kadar en fazla iki haftalık periyodlar halinde direkt grafi takibi planlanmalı, pin dibi bakımı hakkında bilgi verilmelidir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Üç Boyutlu Modelin Hazırlanması

30 yaşında, 90 kg. ağırlığında, 185 cm. boyundaki, travma öyküsü olmayan, fizik muayene bulguları normal olan ve görüntüleme yöntemleri ile patolojik bulgu saptanmayan sağlıklı genç erişkin erkek bireyin sağ dirsek proksimalinden parmak uçlarına kadar, önkol pronasyonda ve supinasyonda iken Toshiba Aquilion BT tarayıcı ile 0,5 mm. kesit aralıklarıyla BT görüntüleri alındı.

Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) formatında ham veri 120 Kv'da, 0,75 mm piksel büyüklüğünde 512x512 piksel çözünürlüğü ile tarama yapılarak; önkol pronasyonda iken çekilen toplam 1601, önkol supinasyonda iken çekilen toplam 2118 kesit elde edildi. Elde edilen kesitler MIMICS® (Materialize's Interactive Medical Image Control System / Materialize NV, Belçika) yazılımına aktarılarak ulna, radius, scaphoideum, lunatum, triquetrum, pisiforme, hamatum, capitatum, trapezium, trapezoideum ve metakarpal kemiklerin 3 boyutlu modelleri oluşturuldu (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: MIMICS® programında verilerden üç boyutlu model oluşturulması.

MIMICS® programında oluşturulan taslak modeller, tersine mühendislik yazılımı olan Geomagic Studio 12.0'a (Geomagic, Cary, Kuzey Carolina, ABD) gönderildi. Trabeküler kemikleri içeren önkol, el bileği ve el modellerinin yüzeylerin pürüzlülüğün düzeltilmesi, boşlukların doldurulması, sivriliklerin giderilmesi, yüzey çakışmaların revize edilmesi gibi süreçler ile yüzey hataları giderilerek NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) yüzeyler elde edildi.

Yüzey hatalarının giderilmesini takiben katı modeller The Initial Graphics Exchange Specification (IGES) formatında SolidWorks® (Dassault Systems, USA) programına aktarıldı. Kansellöz kemik yapılar modellendi ve nihai üç boyutlu katı modeller oluşturuldu (Şekil 3.2, Şekil 3.3).



Şekil 3.2: Supinasyon modelinin üç boyutlu katı modeli.



Şekil 3.3: Pronasyon modelinin üç boyutlu katı modeli.

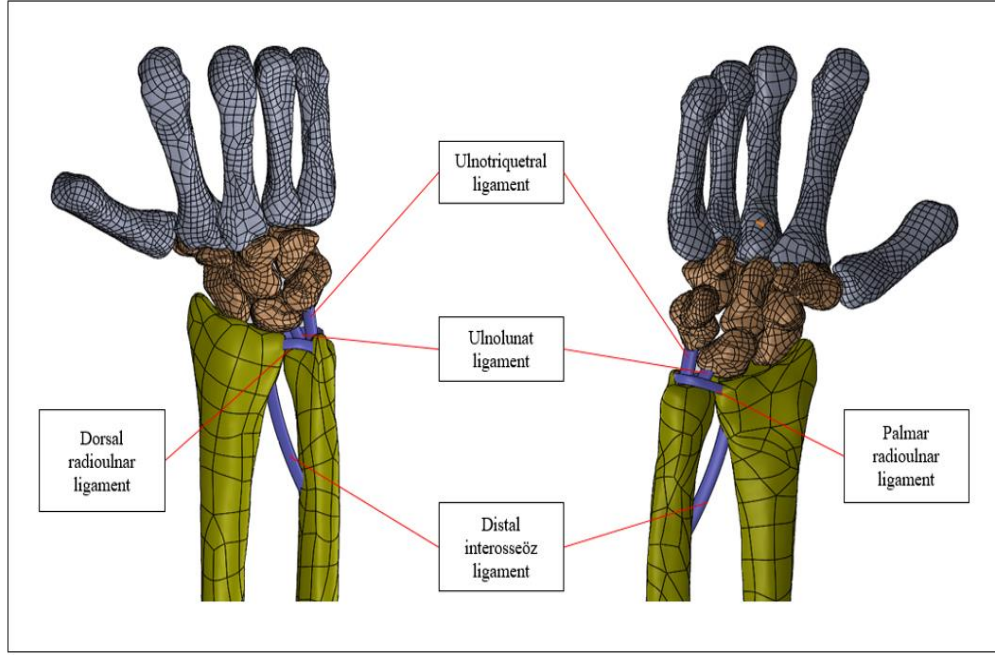
3.2. Ligamentlerin Modellenmesi

Solidworks® programında anatomik atlas çizimleri yanında; literatürdeki veri ve diseksiyonlara göre ligament genişlikleri ile kalınlıkları belirlendi (Çizelge 3.1) (17, 26, 91,92). Ligamentlerin kemik üzerindeki nötral pozisyonundaki yapışma yerleri arasındaki mesafe bağ uzunluğu olarak alındı.

BAĞ ADI	KALINLIK (milimetre)	GENİŞLİK (milimetre)
Distal interosseöz ligament	1,6	4,4
Dorsal radioulnar ligament	1,2	3,5
Palmar radioulnar ligament	1	3
Ulnolunat ligament	2,8	5,4
Ulnotriquetral ligament	3	5,8

Çizelge 3.1: Modellenen bağların kalınlık ve genişlikleri.

DRUE'nin palmar ve dorsal stabilizasyonunu sağlayan yapılar olan, dorsal radioulnar ligament, palmar radioulnar ligament, distal interosseöz membran, ulnotriquetral ligament ve ulnolunat ligament olmak üzere, beş ligament modellenerek üç boyutlu katı modeller tasarlandı (Şekil 3.4) (8, 93).



Şekil 3.4: Anatmik yapışma yerleri kullanılarak modellenen ligamentler.

3.3. K Tellerinin Yerleştirilmesi

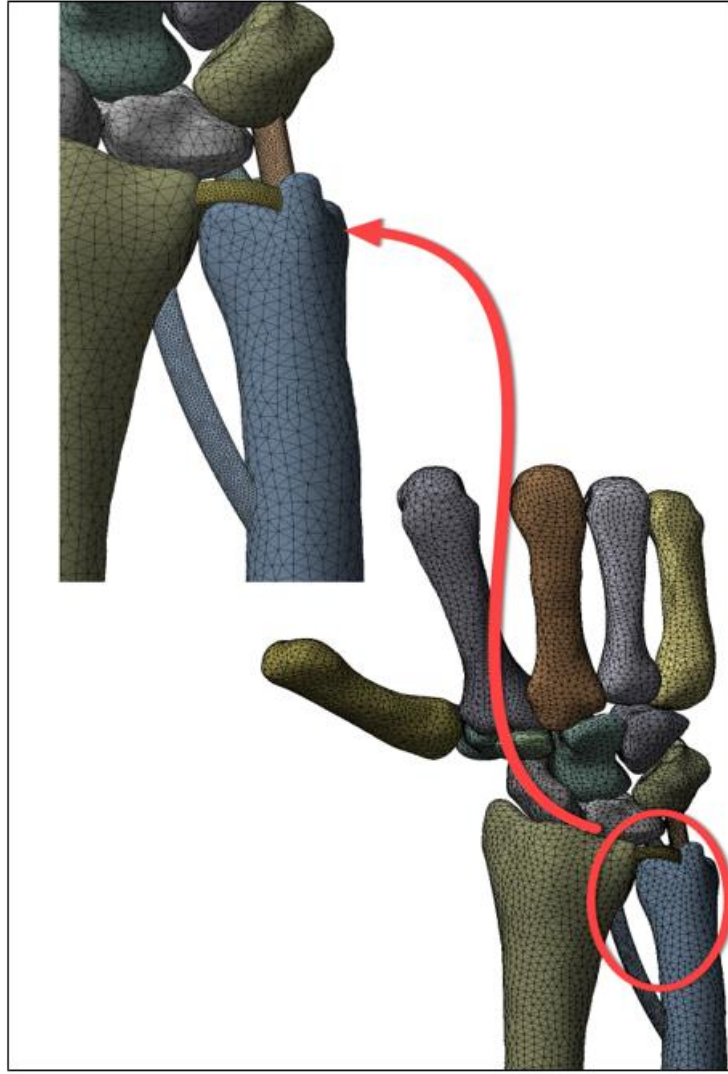
Solidworks® programında hem pronasyon hem de supinasyon modelinde on adet, 2 mm. çaplı K teli; en distaldeki tel DRUE kırıkdağının hemen proksimalinde olmak üzere, aralarında 5'er mm. mesafe bırakılarak, proksimale doğru yerleştirildi. K telleri ulnanın lateral korteksinin orta noktasından radius medial korteksi orta noktasına, transvers düzlemde distal ulna eklem yüzüne paralel şekilde yerleştirildi. (Çalışmanın yapıldığı merkezde radioulnar transfixasyon amaçlı titanyum ve paslanmaz çelik K telleri kullanılmıştır.) Bu çalışmada elastik modülüsünün kemiğin elastik modülüsüne yakın olması ve bu sayede çevredeki kemik dokuya stres dağılımı sağlayarak kemik ve implant kırılımını azaltması nedeni ile titanyum (Ti6Al4V) K telleri kullanıldı (94).

3.4. Ağ Yapısı ve Malzeme Özellikleri

Pronasyon ve supinasyon pozisyonunda oluşturulmuş olan üç boyutlu modeller (Çizelge 3.2) sonlu eleman analizi için ANSYS Workbench (Version 20.0, ANSYS Inc., Canonsburg, PA) programına aktarılarak ağ yapısı oluşturuldu (95). Mesh yakınsaması, eleman boyutu rafine edilerek test edildi. Kemik modeller için optimum eleman boyutu 2 mm., bağlar ve K telleri için ise optimum eleman boyutu 0,5 mm. olarak belirlendi. Tüm modellerde mesh eleman tipi solid 187 tetrahedron eleman seçildi. Sonlu eleman modelleri ortalama 365000 düğüm ve 229000 elemandan oluşturuldu (Şekil3.5).

Önkol Pronasyon Modelleri	Önkol Supinasyon Modelleri
Sağlam DRUE modeli	Sağlam DRUE modeli
Dorsal DRUE yaralanma modeli	Palmar DRUE yaralanma modeli
Ulnoradial transfixasyon modelleri (10 adet)	Ulnoradial transfixasyon modelleri (10 adet)

Çizelge 3.2: Çalışmada kullanılan üç boyutlu modeller.



Şekil 3.5: Sonlu elemanlar modelinin mesh yapısı.

Literatürde yer alan çalışmalar temel alınarak kortikal kemik, kansellöz kemik ve K telinin mekanik özellikleri Çizelge 3.3'te, ligamentlerin mekanik özellikleri ise Çizelge 3.4'te gösterildiği gibi izotropik malzeme olarak seçildi ve lineer elastik olarak tanımlandı (8, 96-98). Çalışmada kullanılan yirmi dört farklı modele malzeme tanımlamasından sonra temas tanımlamaları girildi. Tüm kemik yapılar arasında sürtünmesiz temas, kemikler ve bağlar arasında yapışık temas ve kemikler ile K telleri arasında osteointegrasyon nedeni ile yapışık temas tanımlaması yapıldı.

	Young's Modulus (GPa), (E)	Poisson's ratio (ν)
Kortikal kemik	210	0,3
Kansellöz kemik	17	0,3
Titanyum (Ti6Al4V)	106	0,33
Paslanmaz çelik	210	0,3

Çizelge 3.3: Kemik ve K teli materyallerinin biyomekanik özellikleri.

Ligament	Young's Modulus (GPa), (E)	Poisson's ratio (ν)
Palmar radioulnar ligament	39,3	0,48
Dorsal radioulnar ligament	51,8	0,48
İnterosseöz membran	950	0,45
Ulnolunat ligament	500	0,48
Ulnotriquetral ligament	500	0,48

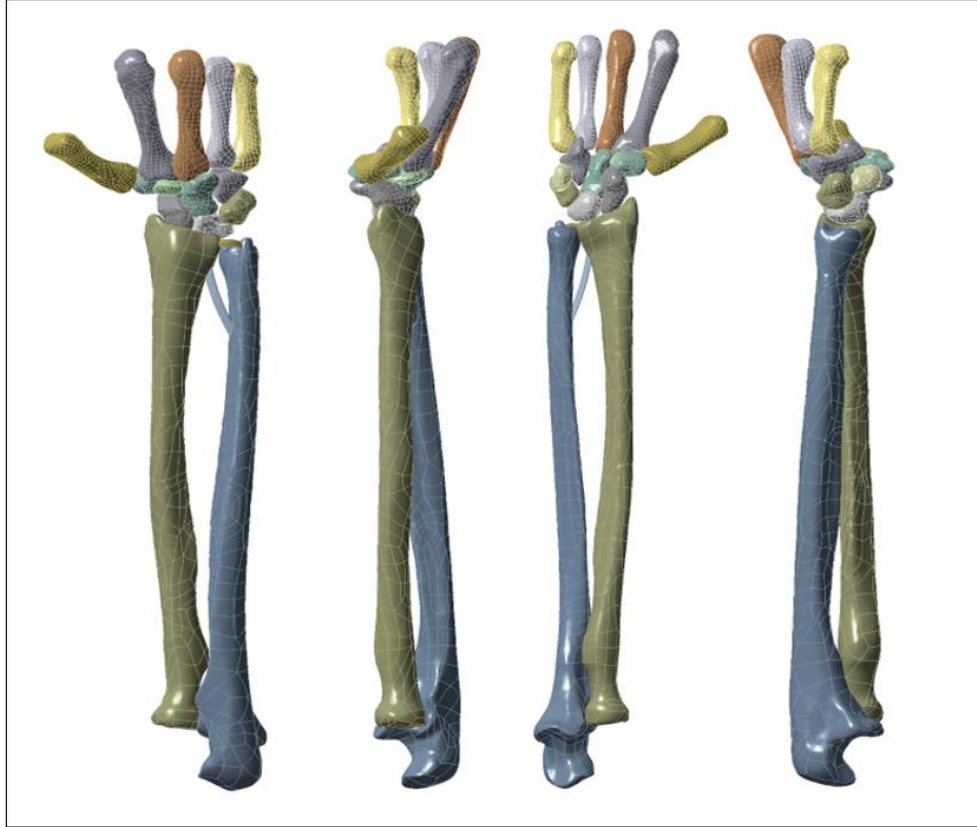
Çizelge 3.4: Çalışmada kullanılan ligamentlerin mekanik özellikleri.

3.5. Yaralanma Modelleri

Palmar instabil ve dorsal instabil olmak üzere iki adet yaralanma modeli oluşturuldu.

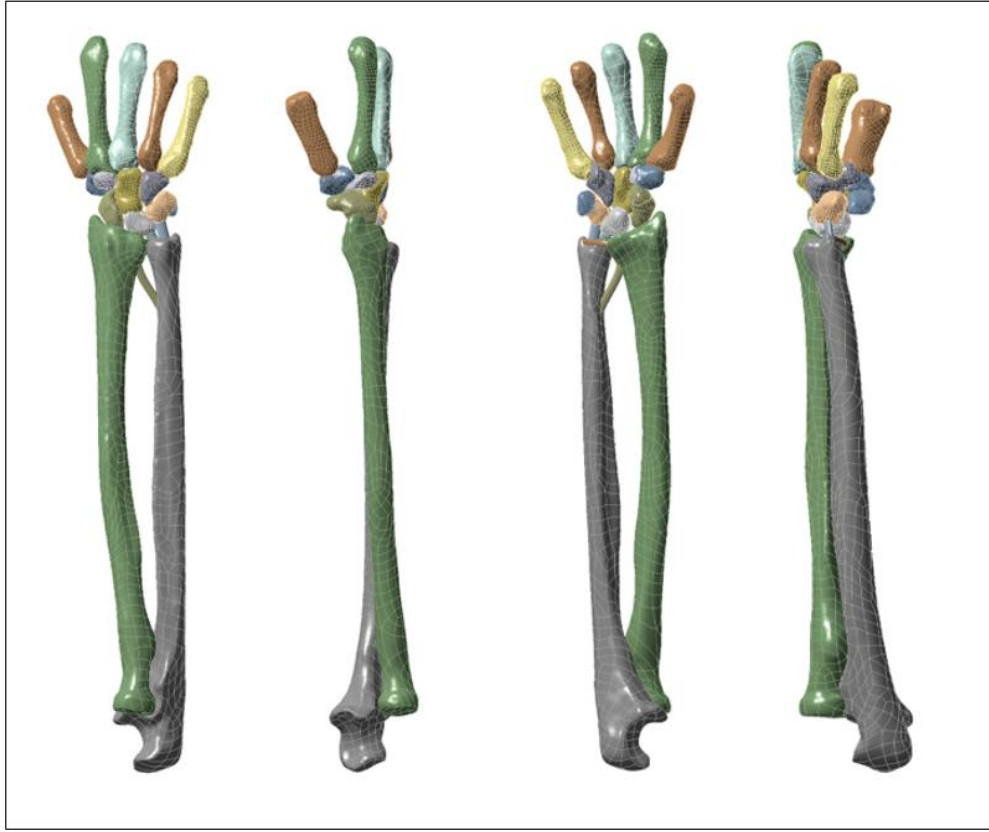
Literatürdeki veriler göz önünde tutularak (7, 30, 93);

PRUL, ULL (Ulnolunat ligament) ve UTL'nin (Ulnotriquetral ligament) palmar stabiliteye katkı sağlaması ve palmar instabil DRUE'nin önkol supinasyonda iken instabil olması nedeni ile supinasyondaki modelde PRUL, ULL ve UTL kaldırılarak palmar instabil yaralanma modeli oluşturuldu (Şekil 3.6).



Şekil 3.6: Palmar instabil yaralanma modeli.

DRUL'un dorsal stabiliteye katkı sağlaması ve dorsal instabil DRUE'nin önkol pronasyonda iken instabil olması nedeni ile pronasyondaki modelde DRUL kaldırılarak dorsal instabil yaralanma modeli oluşturuldu (Şekil 3.7).

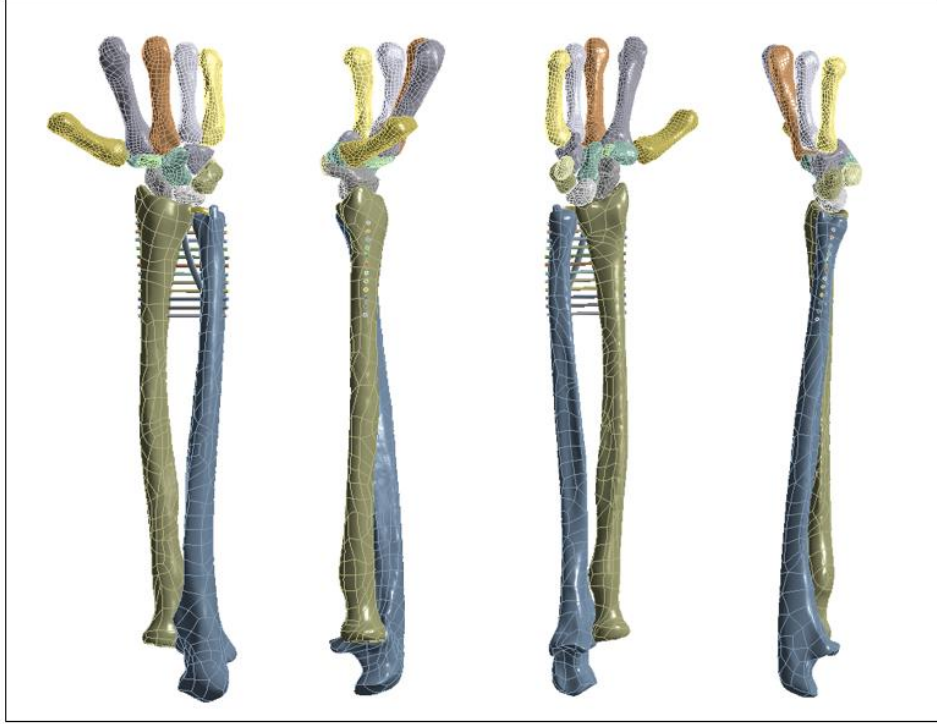


Şekil 3.7: Dorsal instabil yaralanma modeli.

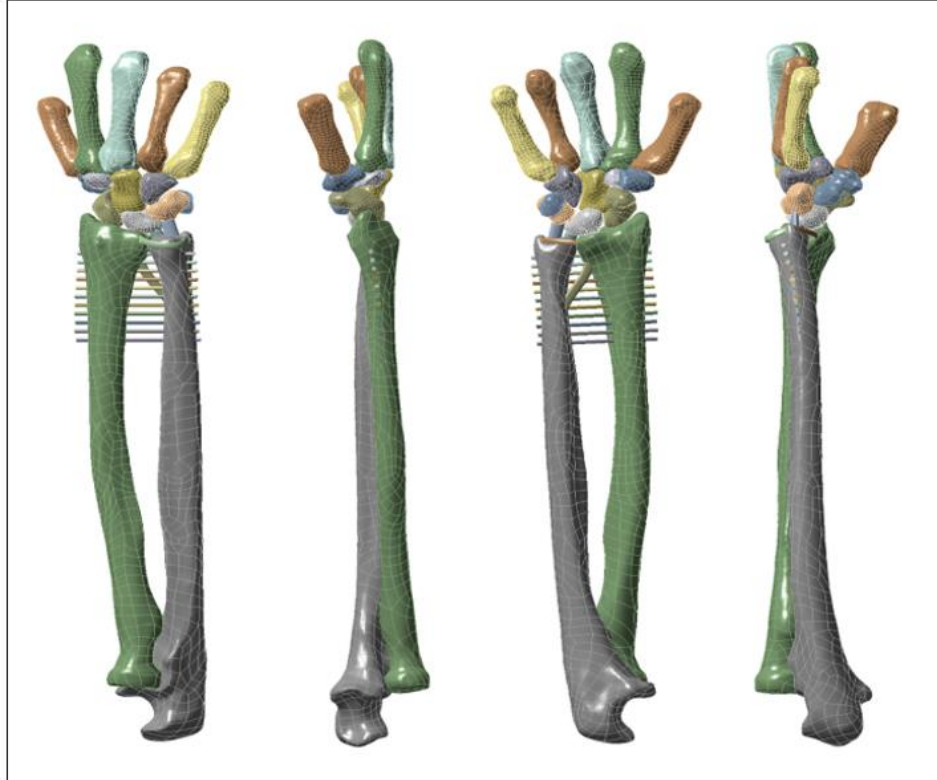
3.6. Fiksasyon Modelleri

Oluşturulmuş olan palmar instabil ve dorsal instabil yaralanma modellerinde; radius ve ulnanın DRUE’de ilişki halinde olduğu en proksimal seviye tespit edildi. Her iki modelde tespit edilen bu seviyeye bir adet 2 mm. çaplı K teli, ulnanın lateral korteksinin orta noktasından radius medial korteksi orta noktasına, transvers düzlemde distal ulna eklem yüzüne paralel şekilde yerleştirildi.

Her iki yaralanma modelinde transvers düzlemde ilk yerleştiren K teline paralel, her biri bulunduğu seviyede ulnanın lateral korteksinin orta noktasından ve radiusun medial korteksi orta noktasından geçecek şekilde; dokuz adet K teli daha yerleştirildi. İlk telden itibaren, her K teli ile bir distaldeki K teli arasına 5 mm. mesafe konuldu. Böylece pronasyon (Şekil 3.8) ve supinasyon (Şekil 3.9) modellerinde onar tane olmak üzere toplam yirmi fiksasyon modeli oluşturuldu.



Şekil 3.8: Pronasyon modelinde K tellerinin yerleşimi.



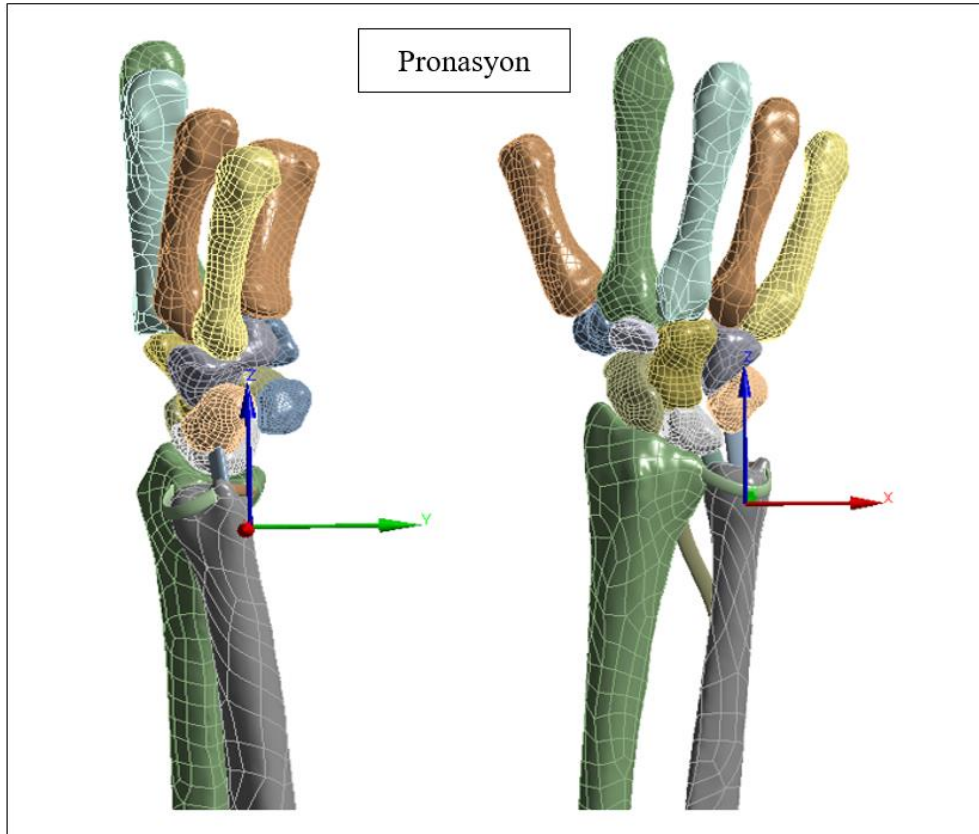
Şekil 3.9: Supinasyon modelinde K tellerinin yerleşimi.

3.7. Anatomik Koordinat Sisteminin Tanımlanması

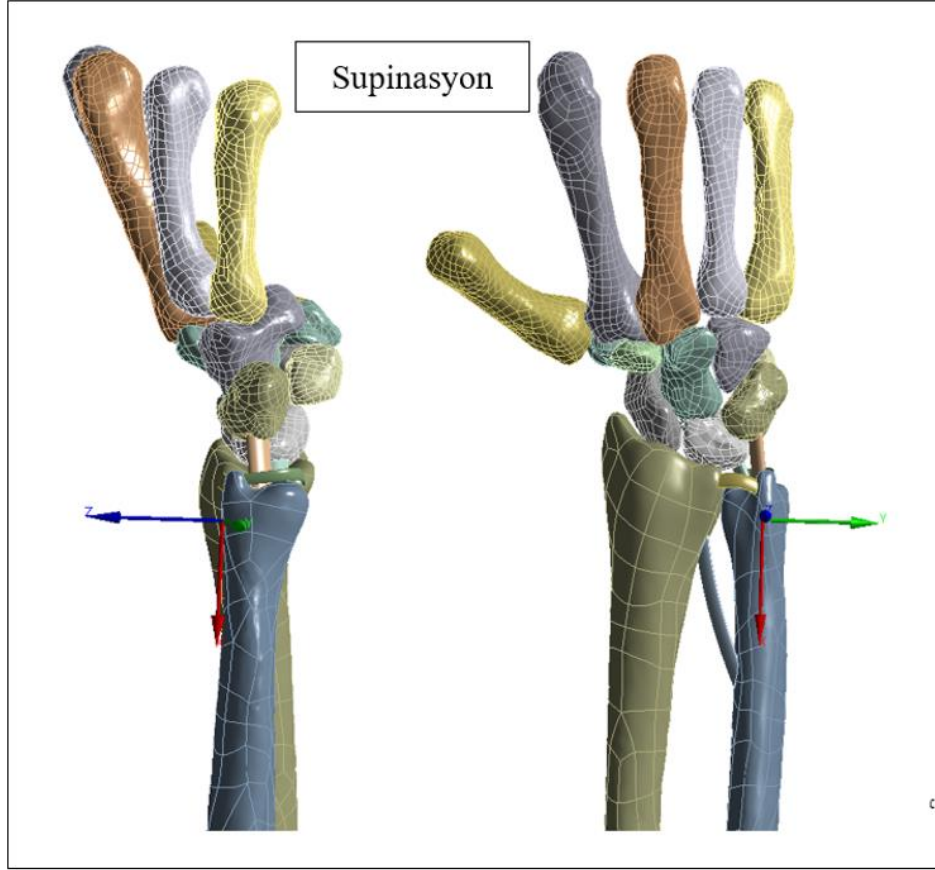
Ulna başına kuvvet uygulanması sonrası translasyonları daha iyi yorumlayabilmek adına her iki modelde farklı anatomik koordinat sistemi oluşturuldu.

Pronasyon modelinde; X eksenı koronal planda ulna distal eklem çizgisine paralel, Y eksenı posteroanterior yönde ulna metafizinin uzun aksına dik, Z eksenı ulna distal metafizinin uzun aksına paralel olacak şekilde tanımlandı (Şekil 3.10).

Supinasyon modelinde; X eksenı ulna distal metafizinin uzun aksına paralel, Y eksenı koronal planda ulna distal eklem çizgisine paralel, Z eksenı posteroanterior yönde ulna metafizinin uzun aksına dik olacak şekilde tanımlandı (Şekil 3.11).



Şekil 3.10: Pronasyon modelinde anatomik koordinat sistemi.



Şekil 3.11: Supinasyon modelinde anatomik koordinat sistemi.

3.8. Ulna Başına Kuvvet Uygulanması

Radius sigmoid çentiği ve ulna başı arasındaki uyumsuzluk nedeni ile önkol rotasyonu sırasında DRUE stabilitesinin %80'i yumuşak doku yapıları tarafından sağlanmaktadır. Önkol rotasyonu sırasında DRUE'nin sagittal planda palmar – dorsal translasyonunu sınırlayan yumuşak doku yapılarının hasarlanması durumunda, hangi yapıların hasarlanmış olduğunu göre değişmekle birlikte, palmar veya dorsal DRUE instabilitesi ortaya çıkmaktadır.

PRUL, ULL ve UTL'nin palmar stabilizeye katkı sağlaması ve palmar instabil DRUE'nin önkol supinasyonda iken instabil olması nedeni palmar instabilite önkolun supinasyonda olduğu modelde araştırıldı.

Modellenen tüm bağların sağlam olarak tanımlandığı referans model; PRUL, ULL, UTL'nin kaldırıldığı instabil model ve instabil modele K tellerinin yerleştirilmesi ile oluşturulmuş olan on adet ulnoradial transfiksiyon modeli olmak üzere, toplam on iki adet önkol supinasyon modeli kullanıldı. Ulnoradial transfiksiyon modelleri; en distaldeki telden başlanarak proksimale doğru 1'den 10'a kadar numaralandırıldı.

Biyomekanik çalışmalar sonucu piyano tuşu testinde başparmak tarafından uygulanan kuvvetin 68 Newton (N) olarak tespit edilmesi nedeni ile on iki önkol supinasyon modelinde ulna başı dorsalinden palmare doğru, Z ekseninde, 68 N kuvvet uygulandı (99).

DRUL'un dorsal stabiliteye katkı sağlaması ve dorsal instabil DRUE'nin önkol pronasyonda iken instabil olması nedeni ile dorsal instabilite önkolun pronasyonda olduğu modelde araştırıldı.

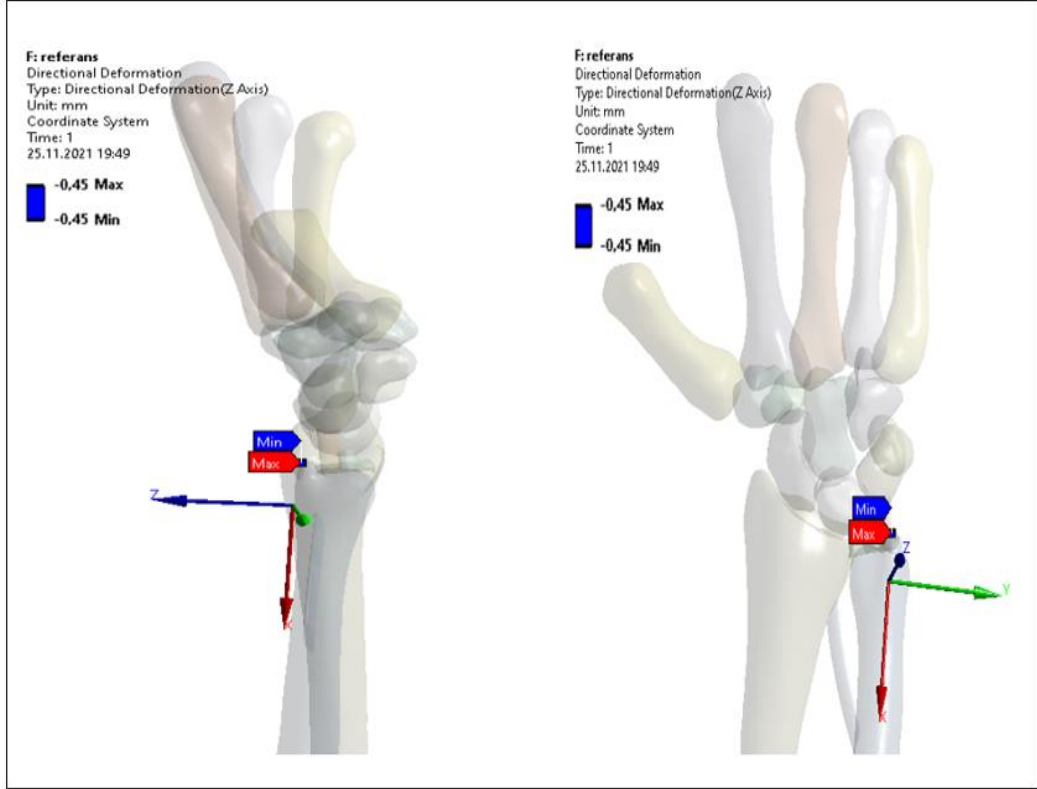
Modellenen tüm bağların sağlam olarak tanımlandığı referans model; DRUL'un kaldırıldığı instabil model ve instabil modele K tellerinin yerleştirilmesi ile oluşturulmuş olan on adet ulnoradial transfiksiyon modeli olmak üzere, toplam on iki adet önkol pronasyon modeli kullanıldı. Ulnoradial transfiksiyon modelleri en distaldeki telden başlanarak proksimale doğru 1'den 10'a kadar numaralandırıldı.

On iki önkol pronasyon modelinde ulna başı palmarinden dorsale doğru, Y ekseninde, 68 N kuvvet uygulandı.

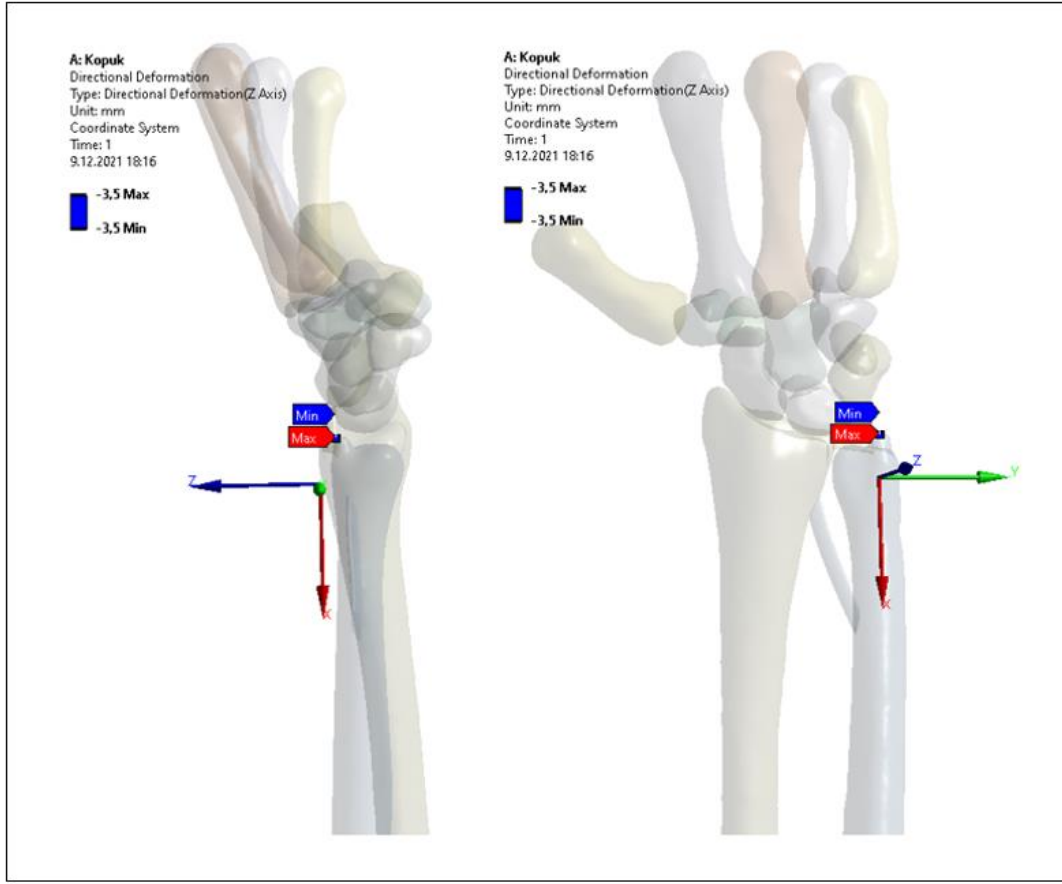
4. BULGULAR

4.1. Palmar DRUE Yaralanma Modeli

Önkol supinasyonda iken oluşturulmuş, sağlam DRUE'yi temsil eden modelde ulna başına dorsalden palmare doğru 68 N kuvvet uygulanması sonucu ulna başının 0,45 mm. yer değiştirdiği saptandı (Şekil 3.12). PRUL, ULL ve UTL'nin kopuk olarak modellendiği; palmar DRUE yaralanmasını temsil eden palmar instabil modelde ise ulna başına dorsalden palmare 68 N kuvvet uygulanması sonucu ulna başının 3,5 mm. yer değiştirdiği saptandı (Şekil 3.13).

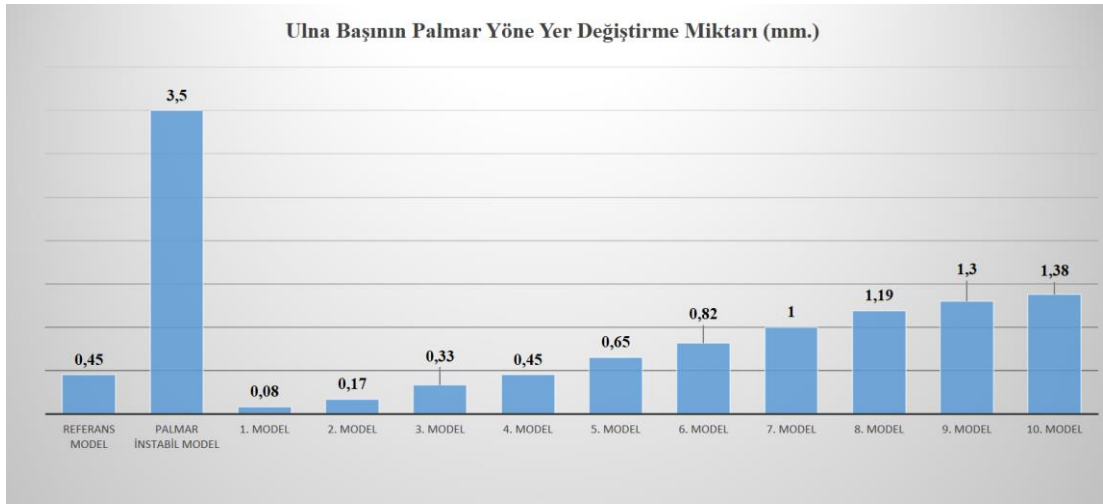


Şekil 3.12: Önkol supinasyonda iken sağlam DRUE'yi temsil eden modelde ulna başının yer değiştirmesi.



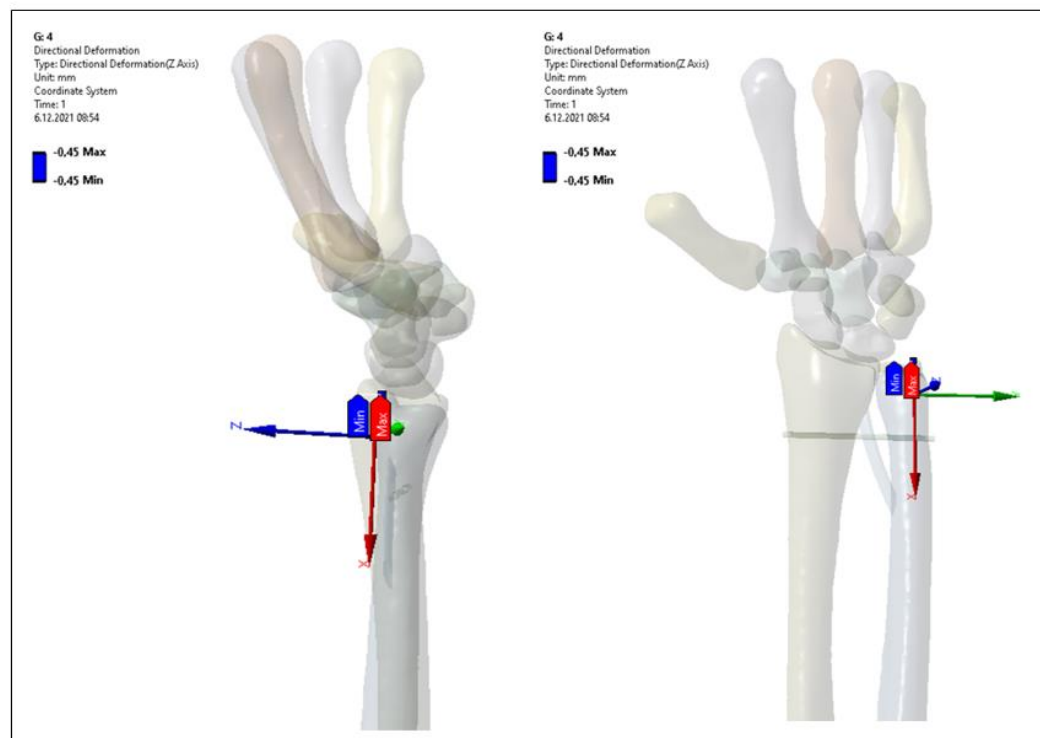
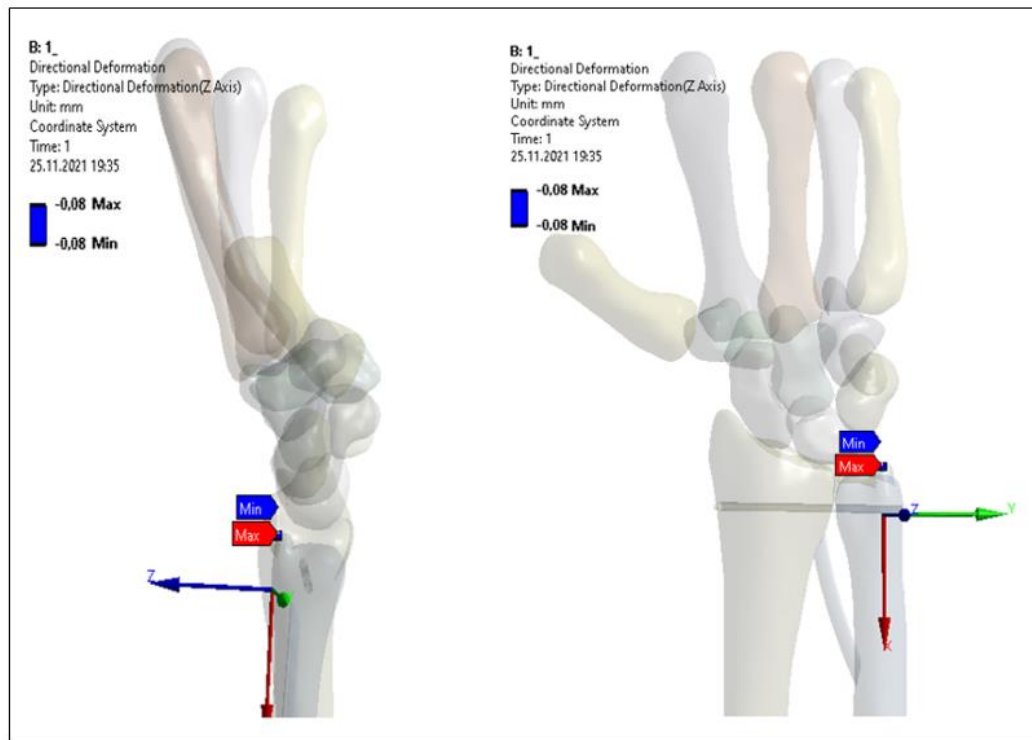
Şekil 3.13: Önkol supinasyonda iken palmar DRUE yaralanmasını temsil eden modelde ulna başının yer değiştirmesi.

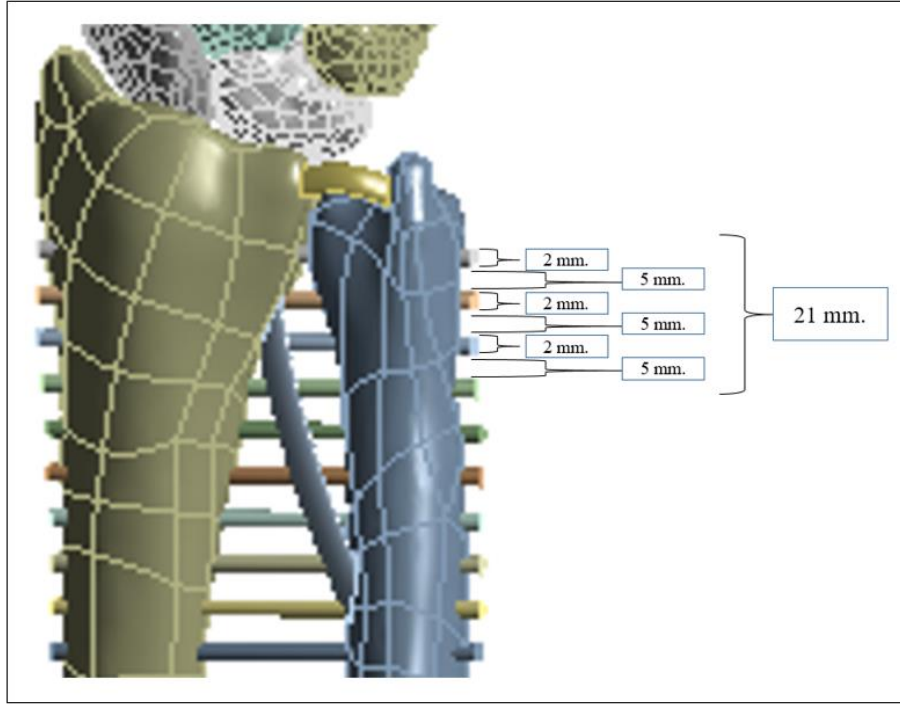
Önkol supinasyonda iken palmar instabil modele K tellerinin yerleştirilmesi ile oluşturulmuş olan on adet ulnoradial transfiksasyon modelinin her birinde, ulna başına dorsalden palmare doğru 68 N kuvvet uygulanması sonucu ulna başının 1'den 10'a doğru sırasıyla; 0,08, 0,17, 0,33, 0,45, 0,65, 0,82, 1, 1,19, 1,3, 1,38 mm. yer değiştirdiği saptandı (Çizelge 3.5).



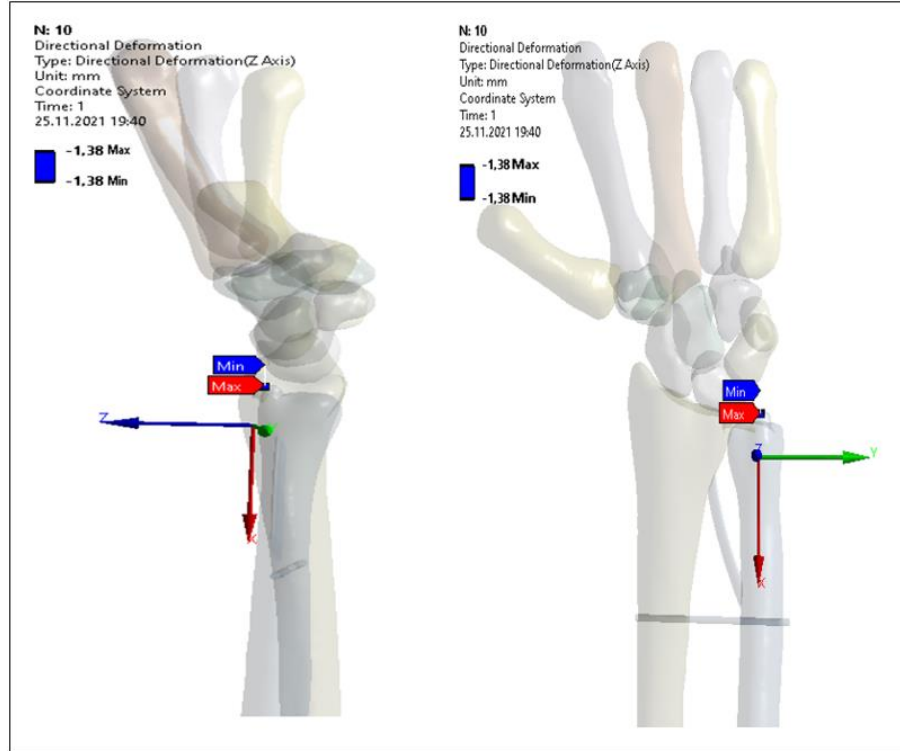
Çizelge 3.5: Supinasyondaki önkol modellerinde ulna başının dorsalden palmare yer değiştirme miktarı (mm.).

Ulnoradial transfiksasyon modellerinin yer değiştirme miktarları göz önünde bulundurulduğunda; tüm modellerde ulna başının instabil modele göre daha az yer değiştirdiği tespit edildi. Yer değiştirmenin 1. modelden 10. modele doğru tedrici arttığı görüldü. En az yer değiştirme (0.08 mm.), K telinin DRUE'nin hemen proksimaline yerleştirildiği 1. modelde izlendi (Şekil 3.14). 1., 2., 3. modellerde yer değiştirmenin tüm ligamentlerin sağlam olduğu modelden daha az olduğu; K telinin DRUE'den 21 mm. proksimalde yerleşmekte olduğu 4. modelin yer değiştirme değerinin tüm ligamentlerin sağlam olduğu model ile eşit olduğu görüldü (Şekil 3.15, Şekil 3.16). 4. modelden sonraki modellerde yer değiştirmenin, tüm ligamentlerin sağlam olduğu modele göre daha fazla olduğu görüldü. En fazla yer değiştirme (1.38 mm.) 10. modelde görüldü (Şekil 3.17).





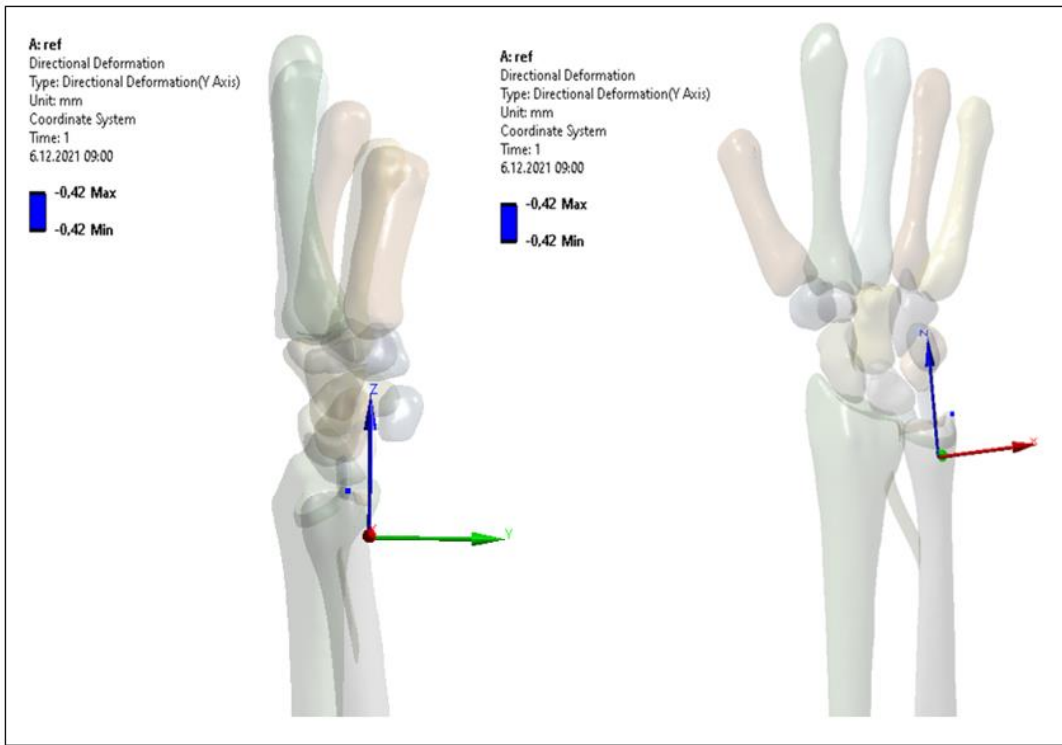
Şekil 3.16: 4. modelde kullanılan K telinin DRUE'ye uzaklığı (21 mm.).



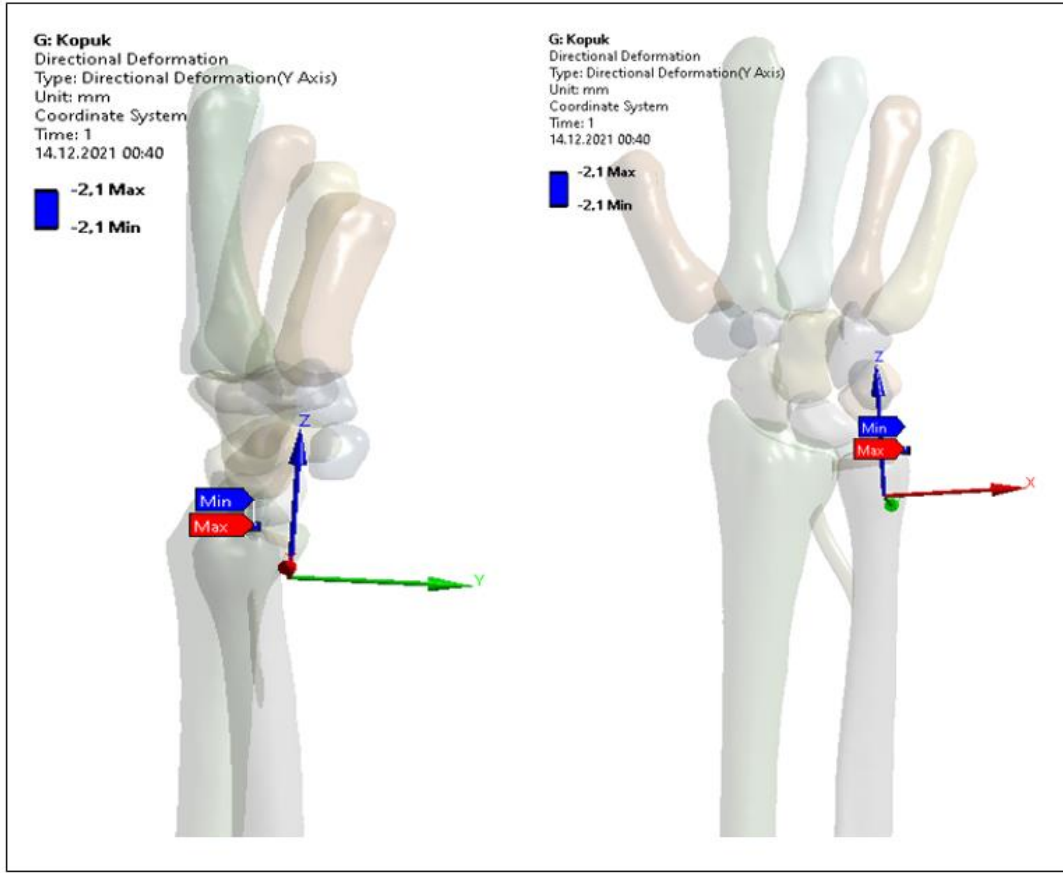
Şekil 3.17: 10. palmar DRUE yaralanması modelinde ulna başının yer değiştirmesi.

4.2. Dorsal DRUE Yaralanma Modeli

Önkol pronasyonda iken oluşturulmuş, sağlam DRUE'yi temsil eden modelde ulna başına palmden dorsale doğru 68 N kuvvet uygulanması sonucu ulna başının 0,42 mm. yer değiştirdiği saptandı (Şekil 3.18). DRUL'un kopuk olarak modellendiği; dorsal DRUE yaralanmasını temsil eden dorsal instabil modelde ise ulna başına palmden dorsale 68 N kuvvet uygulanması sonucu ulna başının 2,1 mm. yer değiştirdiği saptandı (Şekil 3.19).

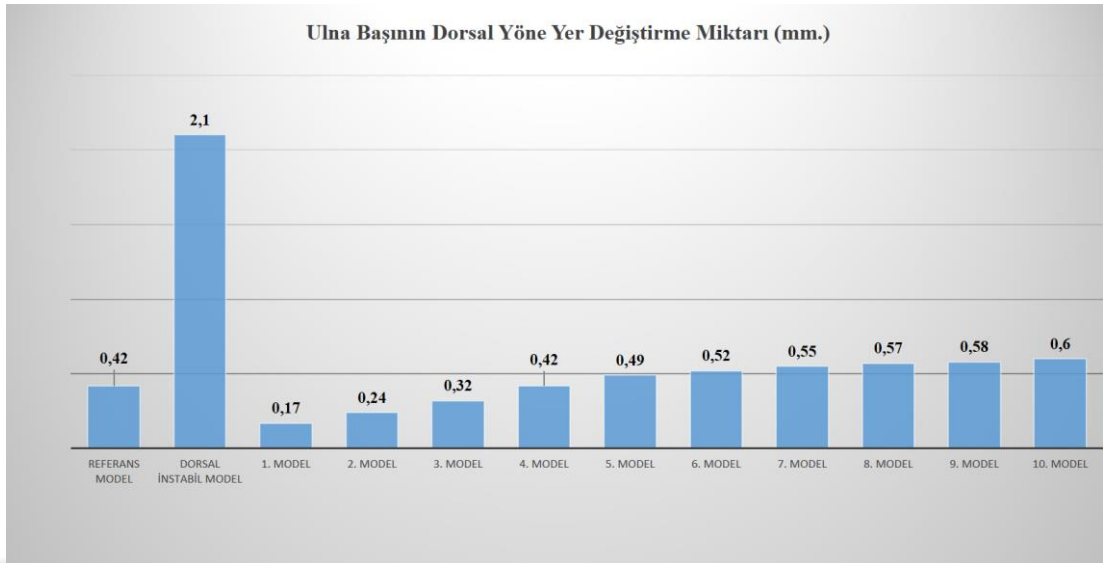


Şekil 3.18: Önkol pronasyonda iken sağlam DRUE'yi temsil eden modelde ulna başının yer değiştirmesi.



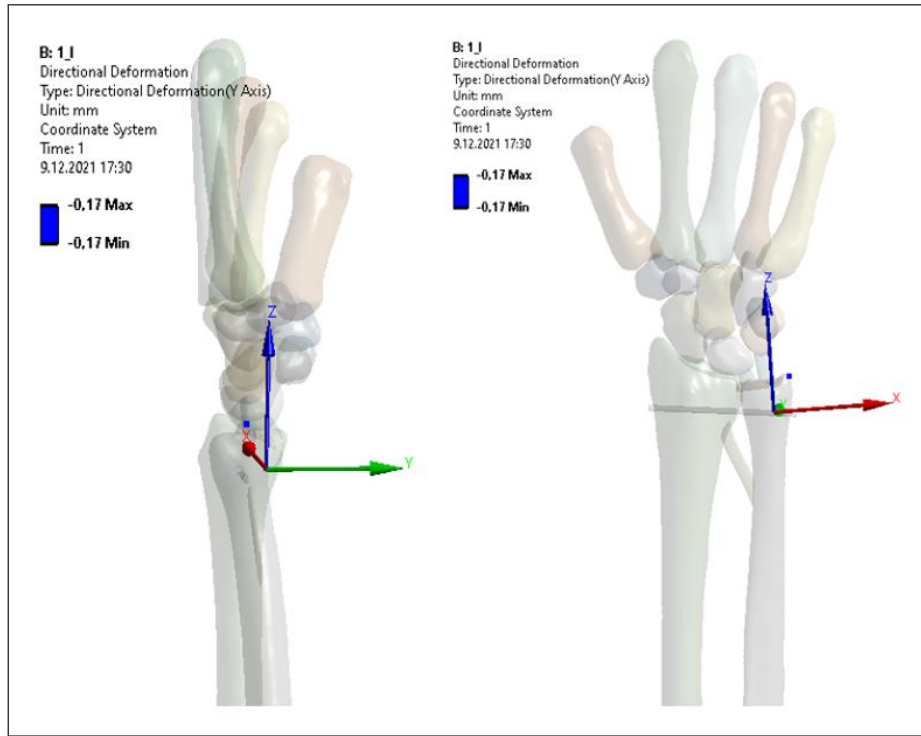
Şekil 3.19: Önkol pronasyonda iken dorsal DRUE yaralanmasını temsil eden modelde ulna başının yer değiştirmesi.

Önkol pronasyonda iken dorsal instabil modele K tellerinin yerleştirilmesi ile oluşturulmuş olan on adet ulnoradial transfiksasyon modelinin her birinde, ulna başına palmardan dorsale doğru 68 N kuvvet uygulanması sonucu ulna başının 1'den 10'a doğru sırasıyla; 0,17, 0,24, 0,32, 0,42, 0,49, 0,52, 0,55, 0,57, 0,58, 0,6 mm. yer değiştirdiği saptandı (Çizelge 3.6).

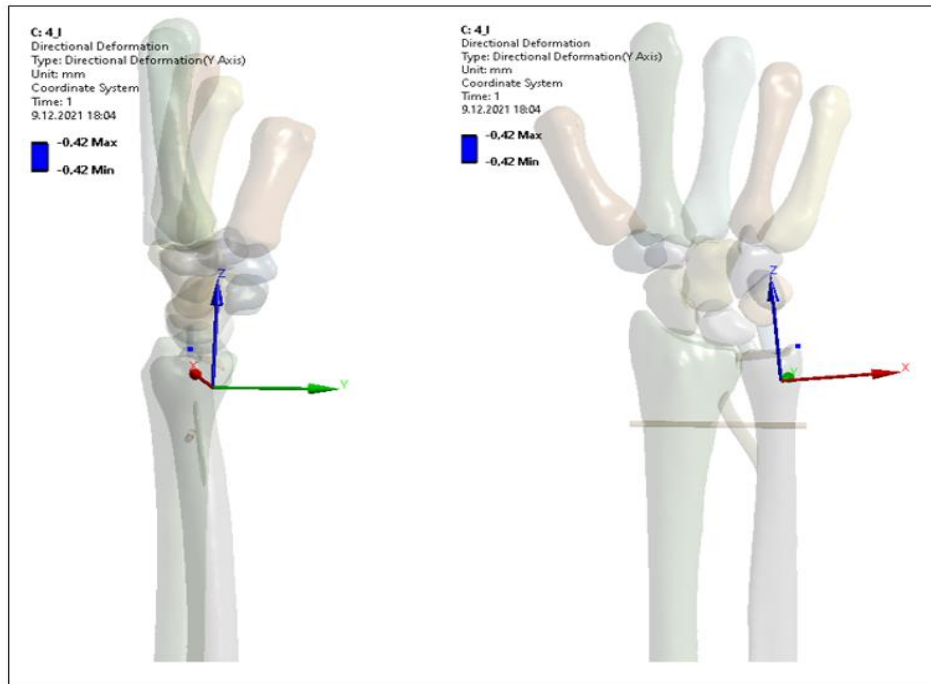


Çizelge 3.6: Pronasyondaki önkol modellerinde ulna başının palmandan dorsale yer değiştirme miktarı (mm.).

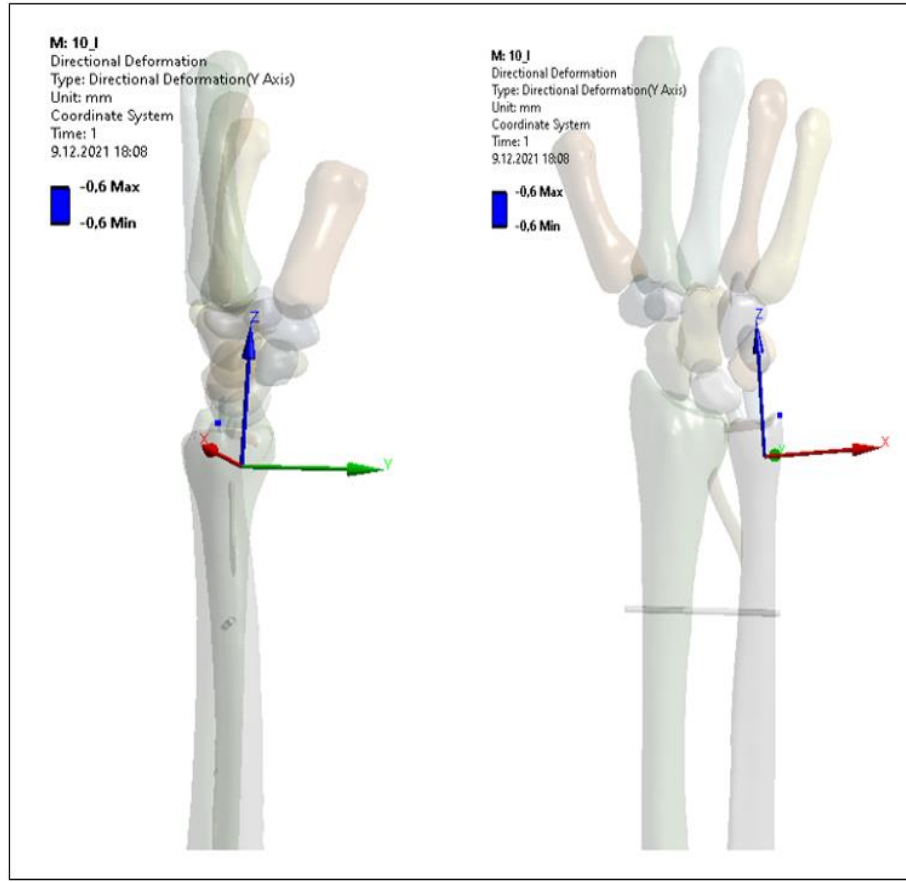
Ulnoradial transfixasyon modellerinin yer değiştirme miktarları göz önünde bulundurulduğunda; tüm modellerde ulna başının instabil modele göre daha az yer değiştirdiği tespit edildi. Yer değiştirmenin 1. modelden 10. modele doğru tedrici arttığı görüldü. En az yer değiştirme (0.17 mm.), K telinin DRUE'nin hemen proksimaline yerleştirildiği 1. modelde izlendi (Şekil 3.20). 1., 2., 3. modellerde yer değiştirmenin tüm ligamentlerin sağlam olduğu modelden daha az olduğu; K telinin DRUE'den 21 mm. proksimalde yerleşmekte olduğu 4. modelin yer değiştirme değerinin tüm ligamentlerin sağlam olduğu model ile eşit olduğu görüldü (Şekil 3.16, Şekil 3.21). 4. modelden sonraki modellerde yer değiştirmenin, tüm ligamentlerin sağlam olduğu modele göre daha fazla olduğu görüldü. En fazla yer değiştirme (0,6 mm.) 10. modelde görüldü (Şekil 3.22)



Şekil 3.20: 1. dorsal DRUE yaralanması modelinde ulna başının yer değiştirmesi.



Şekil 3.21: 4. dorsal DRUE yaralanması modelinde ulna başının yer değiştirmesi.



Şekil 3.22: 10. dorsal DRUE yaralanması modelinde ulna başının yer değiştirmesi.

5. TARTIŞMA

İnstabil DRUE’de hasarlanan yumuşak doku yapılarının iyileşmelerine katkı sağlamak amacı ile ulnoradial transfiksiyon uygulanmaktadır. Ulnoradial transfiksiyon uygulaması öncesinde ulna başı ile sigmoid çentik uyumunun sağlanması ve hasarlanan yumuşak doku yapılarının anatomik pozisyonlarında tutulması amacı ile önkola uygun rotasyonun verilmesi gerekmektedir. Millard ve arkadaşları (93) sekiz kadavra üzerinde yapmış oldukları biyomekanik çalışma ile palmar DRUE yaralanmalarında ulna başının önkol supinasyonda iken palmare, dorsal DRUE yaralanmalarında ise ulna başının önkol pronasyonda iken dorsale disloke olduğunu göstermişlerdir. Carlsen ve arkadaşları (66) dorsal DRUE dislokasyonlarının önkol supinasyona, palmar DRUE dislokasyonlarının ise önkol pronasyona getirilerek DRUE’nin redükte edilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Larrivé ve arkadaşları (100) palmar DRUE dislokasyonlarında önkolun pronasyona, Haouzi ve arkadaşları (101) da dorsal DRUE dislokasyonlarında önkolun supinasyona getirilerek DRUE redüksiyonunun sağlanacağını belirtmişlerdir. Mevcut çalışmalar göz önünde bulundurularak ulna başı ile sigmoid çentik uyumunun palmar DRUE yaralanmalarında önkol pronasyonda, dorsal DRUE yaralanmalarında ise önkol supinasyonda iken sağlandığı ve ulnoradial transfiksiyonun palmar DRUE yaralanmalarında önkol pronasyonda, dorsal DRUE yaralanmalarında ise önkol supinasyonda iken uygulanmasının uygun olduğu düşünülmektedir. Çalışmamızda da bu protokollere uygun redüksiyon ve transfiksiyon uygulanarak başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Ulnoradial transfiksiyon sıklıkla K teli kullanılarak uygulanmakta olup, Sang ve arkadaşları (102) 2017 yılında bir olgu sunumunda; iki adet iki delikli mini plak ve emilebilen dikiş kullanarak, mini plak-buton yöntemi ile ulnoradial transfiksiyon tekniğini tarif etmişlerdir. Olgu sunumunda hastanın takiplerinde DRUE dislokasyon veya subluksasyonu saptanmadığı, el bilek hareket açıklıklarının normal olduğu, hastanın belirgin ağrısının olmadığı belirtilmiş olup

DRUE stabilitesi ile ilgili kantitatif biyomekanik veri mevcut değildir. Bu çalışmadan günümüze kadar ulnar radial transfixasyon amaçlı mini plak-buton yönteminin kullanıldığı herhangi bir çalışma yayınlanmamış olup, mini plak-buton yöntemi ile K teli kullanılarak yapılan ulnar radial transfixasyon yönteminin DRUE stabilitesine etkisini karşılaştıran herhangi bir çalışma da mevcut değildir.

Mini plak-buton yönteminde gerek plak yerleştirilmesi gerekse de tahliyesi için ihtiyaç duyulan anestezi ve cerrahi girişime ait sorunları bünyesinde barındırmayan K teli fiksasyonu, ekonomik açıdan da ucuz bir yöntem olduğu için çalışmamızda K teli ile transfixasyon uygulaması tercih edilmiş ve başarılı sonuç alınmıştır.

Günümüze kadar yayınlanmış olan çalışmalarda ulnar radial transfixasyon amaçlı kullanılan K teli çapının 1,2 mm., 1,6 mm. ve 2 mm. olduğu görülmektedir (39, 103-106). Mevcut çalışmalarda DRUE stabilitesinin fizik muayene yöntemleri ile değerlendirildiği ve DRUE stabilitesi açısından benzer sonuçların alındığı görülmüş olup tel çapı ile DRUE stabilitesi arasındaki ilişkiyi gösteren herhangi bir kantitatif veri bulunmamaktadır. Farklı kalınlıktaki K telleri aynı hastada, aynı seviyeye yerleştirilmeleri durumunda DRUE’de birbirleri ile eşdeğer stabilite sağlamayacakları gibi belirlenmiş kalınlıkta bir K teli de farklı hastalarda, hastalara ait fiziksel faktörler ve kemik yapısının farklılığı nedeni ile eşdeğer stabilite sağlamayacaktır. İmplant çapı arttıkça implantın sağlayacağı stabilite de artacağı için çalışmamızda, literatürde kullanılan en kalın çap olan 2 mm.’lik K tellerinden yararlanılmıştır.

Literatürde ulnar radial transfixasyonun bir ve iki K teli kullanılarak uygulandığı çalışmalar mevcuttur (4, 39, 103-106). Bu çalışmaların detaylı incelenmesi sonucunda izole DRUE yaralanmalarında 1, DRUE yaralanmasına eşlik eden radius başı kırığı ve İOM yaralanması varlığında ise 2 K teli ile transfixasyonun daha uygun olacağı düşünülerek çalışma kapsamındaki transfixasyon işlemleri 1 K teli ile gerçekleştirilmiştir.

Tek K teli ile ulnoradial transfiksasyon uygulanmış olan çalışmalarda ulnoradial transfiksasyon amaçlı yerleştirilen K tellerinin DRUE'nin hemen proksimaline yerleştirilmesi önerilmektedir (4, 39, 103, 106). Özellikle distal metafizer radius ve ulna kırıkları veya cilt ve yumuşak doku defektleri olmak üzere, kemik veya yumuşak doku yapılarına ait patolojilerin eşlik ettiği DRUE instabilitesi varlığında ulnoradial transfiksasyon için kullanılan K tellerinin DRUE'nin hemen proksimaline yerleştirilmesi mümkün olamayabilmektedir. Bu durumlarda K telinin ideal seviyeden daha proksimal seviyelere yerleştirilmesi gerekecektir. Mevcut literatür tarandığında ulnoradial transfiksasyon amaçlı uygulanan K telinin ideal yerleşim seviyesi ve işlevsel olduğu en proksimal seviyenin DRUE'ye uzaklığı hakkında herhangi bir kantitatif veri bulunmadığı görülmekte olup tarafımızca bu iki veri araştırılmıştır.

Ulnoradial transfiksasyon amaçlı uygulanan K teli DRUE'den proksimale doğru uzaklaştıkça uygulanan K telinin DRUE stabilitesine katkısının azalacağı aşikar olup çalışmamızda da bu yönde veriler elde edilmiştir. Çalışmamızda K telleri DRUE'nin hemen proksimali (sigmoid çentigin hemen proksimali) ile 63 mm. proksimali arasına 5'er mm. aralıklar ile yerleştirilmiş olup, hem palmar hem de dorsal DRUE yaralanması durumunda en yüksek stabilitenin, K telinin DRUE'nin hemen proksimaline yerleştirilmesi ile elde edildiği görülmüştür. K telinin DRUE'nin hemen proksimaline yerleştirilmesi ile palmar DRUE yaralanması durumunda sağlam DRUE'nin 5,63, dorsal DRUE yaralanması durumunda ise sağlam DRUE'nin 2,47 katı stabilize elde edilmiştir. K teli DRUE'den proksimale doğru uzaklaştıkça stabilitenin her 5 mm.'de palmar DRUE yaralanmalarında %5,8 ile %52,94, dorsal DRUE yaralanmalarında ise %1,72 ile %29,17 arasında azaldığı tespit edilmiştir (Bkz. Çizelge 3.5, Çizelge 3.6). Çalışmamızda elde edilmiş olan bu veriler ışığında, DRUE'nin sagittal planda hem palmar hem de dorsal instabilitesi durumunda ulnoradial transfiksasyon amaçlı uygulanan K telinin ideal yerleşim seviyesinin DRUE'nin hemen proksimali olduğu ortaya konulmuştur.

Palmar DRUE yaralanmalarında K telinin DRUE'nin 7 mm. proksimaline yerleştirilmesi durumunda sağlam DRUE'nin 2,65 katı, 14 mm. proksimaline yerleştirilmesi durumunda sağlam DRUE'nin 1,36 katı, 21 mm. proksimaline yerleştirilmesi durumunda sağlam DRUE ile eşit stabilite elde edilmiştir (Bkz. Çizelge 3.5). Dorsal DRUE yaralanmalarında ise K telinin DRUE'nin 7 mm. proksimaline yerleştirilmesi durumunda sağlam DRUE'nin 1,75 katı, 14 mm. proksimaline yerleştirilmesi durumunda sağlam DRUE'nin 1,31 katı, 21 mm. proksimaline yerleştirilmesi durumunda sağlam DRUE ile eşit stabilite elde edilmiştir (Bkz. Çizelge 3.6). Yaralanmış bir eklemin iyileşmesi aşamasında normalden daha fazla stabiliteye ihtiyaç duyulacağı için transfixasyon amaçlı K telinin DRUE'e olan mesafesinin 21 mm.'den daha az olması gerekliliğini iddia etmek mümkündür.

Çalışma sonucunda elde ettiğimiz veriler, DRUE yaralanmalarında uygulanan ulnoradial transfixasyon ile en yüksek stabilitenin K telinin DRUE'nin hemen proksimaline uygulanması durumunda sağlandığını göstermektedir. Çalışmamızın en kuvvetli yönü ise hem palmar hem de dorsal DRUE yaralanmalarının redüksiyon ve stabilizasyonunda transfixasyon amaçlı kullanılan K telinin en proksimal uygulama noktasının DRUE'nin 21 mm. proksimali olduğunu ortaya koymuş olmasıdır.

6. SONUÇLAR

DRUE'nin fizyolojik hareketi önkol rotasyonunun sağlıklı bir şekilde sağlanabilmesi için kritik bir role sahiptir ve önkol rotasyonu radiokarpal yapıların fikse ve stabil durumdaki ulna etrafında rotasyonunu içermektedir. DRUE'de soruna neden olan yaralanmalar genellikle kendi seviyesinden düşme sonrası gelişmekte olup, DRUE yaralanması sonucu oluşan instabilite nedeni ile ulna başı ve sigmoid çentik arasındaki uyum bozulmaktadır. Ulna başı ve sigmoid çentik arasındaki uyumun bozulması, her iki kemiğin temas yüzeylerinin ve maruz kaldıkları kuvvetin dağılımını değiştirerek DRUE artrit gelişimine neden olmaktadır.

DRUE stabilitesinin yaklaşık %80'lik kısmını yumuşak doku yapıları sağlamaktadır. Akut instabil DRUE yaralanmalarında immobilizasyonu sağlayarak, stabilizan yumuşak doku yapılarının doğal anatomik pozisyonlarında kalması amacıyla ulnoradial transfiksiyon uygulanmakta olup bu çalışmada ulnoradial transfiksiyon amaçlı yerleştirilen K telinin ideal yerleşim seviyesinin ve işlevsel olduğu en proksimal seviyenin DRUE'ye uzaklığının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Supinasyondaki önkolda palmar DRUE instabilitesi, pronasyondaki önkolda dorsal DRUE instabilitesi araştırılmıştır. Supinasyondaki önkol modelinde ulna başı dorsalinden palmarine doğru, pronasyondaki önkol modelinde ise ulna başı palmarinden dorsaline doğru 68 N kuvvet uygulanarak; sağlam DRUE modeli, dorsal ve palmar DRUE yaralanma modelleri ile farklı seviyelerden uygulanmış olan ulnoradial transfiksiyon modellerinde ulna başının yer değiştirme değeri tespit edilmiştir.

Önkol supinasyonda iken sağlam DRUE'yi temsil eden modelde 0,45 mm, palmar DRUE yaralanmasını temsil eden modelde 3,5 mm. yer değiştirme izlenmiştir. Ulnoradial transfiksiyon modellerinden, K telinin hemen sigmoid çentik proksimaline yerleştirilmesi halinde (Model 1) 0,08 mm. yer değiştirme

saptanmış olup bu modelin en stabil model olduğu tespit edilmiştir. K telinin DRUE'den 21 mm. proksimale yerleştirilmesi durumunda (Model 4) 0,45 mm. yer değiştirme izlenmiştir. K telinin DRUE'den 14 mm. proksimale yerleştirilmesi durumunda (Model 3) yer değiştirme değerinin 21 mm. proksimaline yerleştirilmesine göre %17,8 daha az, K telinin DRUE'den 28 mm. proksimale yerleştirilmesi durumunda (Model 5) ise yer değiştirme değerinin 21 mm. proksimaline yerleştirilmesine göre %44,4 daha fazla olduğu görülmüştür.

Önkol pronasyonda iken sağlam DRUE'yi temsil eden modelde 0,42 mm, dorsal DRUE yaralanmasını temsil eden modelde 2,1 mm. yer değiştirme izlenmiştir. Ulnoradial transfixasyon modellerinden, K telinin hemen sigmoid çentik proksimaline yerleştirildiği modelde (Model 1) 0,17 mm. yer değiştirme saptanmış olup bu modelin en stabil model olduğu tespit edilmiştir. K telinin DRUE'den 21 mm. proksimale yerleştirildiği modelde (Model 4) 0,42 mm. yer değiştirme izlenmiştir. K telinin DRUE'den 14 mm. proksimale yerleştirilmesi durumunda (Model 3) yer değiştirme değerinin 21 mm. proksimaline yerleştirilmesine göre %23,8 daha az, K telinin DRUE'den 28 mm. proksimale yerleştirilmesi durumunda (Model 5) ise yer değiştirme değerinin 21 mm. proksimaline yerleştirilmesine göre %16,7 daha fazla olduğu görülmüştür.

Bu çalışmanın sonuçları; hem palmar DRUE hem de dorsal DRUE yaralanması durumlarında ulnoradial transfixasyon amaçlı yerleştirilen K telinin ideal seviyesinin sigmoid çentiğinin hemen proksimali, K telinin işlevsel olduğu en proksimal seviyenin ise DRUE'nin 21 mm. proksimali olduğunu ortaya koymaktadır.

ÖZET

Bu çalışmada Kirschner (K) teli ile ulnoradial transfiksiyon uygulanan statik tespitte, özellikle distal radioulnar eklemin (DRUE) sagittal plandaki suprafizyolojik palmar - dorsal translayon ve aksiyel plandaki rotasyon hareketini kısıtlayarak fizyolojik ligamentöz iyileşmeyi mümkün kılacak en stabil tespitin elde edildiği ve K telinin işlevsel olduğu en proksimal seviyenin DRUE'ye uzaklığının tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Sonlu elemanlar analizi yöntemi kullanılarak önkol pronasyon ve supinasyonda iken sağlam DRUE, önkol supinasyonda iken palmar instabil DRUE, önkol pronasyonda iken dorsal instabil DRUE modelleri oluşturulmasını takiben palmar instabil ve dorsal instabil yaralanma modellerinde radius ve ulnanın DRUE'de ilişki halinde olduğu en proksimal seviye tespit edilmiştir. Her iki modelde tespit edilen bu seviyeye ulnoradial transfiksiyon amaçlı bir adet K teli yerleştirilmesini takiben 5'er mm. aralıklarla transvers düzlemde ilk yerleştiren K teline paralel dokuz adet K teli daha yerleştirilerek; palmar instabil ve dorsal instabil modellerde onar adet ulnoradial transfiksiyon modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan on iki önkol supinasyon modelinde ulna başı dorsalinden palmare, on iki önkol pronasyon modelinde ulna başı palmarinden dorsale doğru 68 Newton kuvvet uygulanmış ve ulna başının yer değiştirme mesafeleri değerlendirilmiştir.

Ulna başının yer değiştirme miktarının önkol supinasyonda iken oluşturulmuş; sağlam DRUE'yi temsil eden modelde 0,45 mm., palmar DRUE yaralanmasını temsil eden palmar instabil modelde 3,5 mm. ve önkol supinasyonda iken palmar instabil modele K tellerinin yerleştirilmesi ile oluşturulmuş olan on adet ulnoradial transfiksiyon modelinin her birinde; 1. modelden 10. modele doğru sırasıyla 0,08, 0,17, 0,33, 0,45, 0,65, 0,82, 1, 1,19, 1,3, 1,38 mm. olduğu saptanmıştır. Önkol pronasyonda iken oluşturulmuş modellerde ise ulna başının yer

değiştirme miktarının; sağlam DRUE'yi temsil eden modelde 0,42 mm., dorsal DRUE yaralanmasını temsil eden dorsal instabil modelde 2,1 mm. ve önkol pronasyonda iken dorsal instabil modele K tellerinin yerleştirilmesi ile oluşturulmuş olan on adet ulnoradial transfiksiyon modelinin her birinde; 1. modelden 10. modele doğru sırasıyla 0,17, 0,24, 0,32, 0,42, 0,49, 0,52, 0,55, 0,57, 0,58, 0,6 mm. olduğu saptanmıştır.

Çalışma sonuçları hem palmar DRUE yaralanması hem de dorsal DRUE yaralanması modellerinde ulnoradial transfiksiyon amaçlı yerleştirilen K telinin ideal seviyesinin sigmoid çentiğin hemen proksimali, K telinin işlevsel olduğu en proksimal seviyenin ise DRUE'nin 21 mm. proksimali olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Distal radioulnar eklem, ulnoradial transfiksiyon, radioulnar ligamentler, interosseöz membran, sonlu elemanlar analizi.

ABSTRACT

In this study, in static fixation of ulnoradial transfixion with using Kirschner (K) wire, the most stable fixation that will enable physiological ligamentous healing is obtained, especially by limiting the supraphysiological palmar-dorsal translation in the sagittal plane and rotation in the axial plane of the distal radioulnar joint (DRUJ) and it is aimed to determine the distance from the most proximal location where the K wire is functional to the DRUJ.

By using the finite element analysis method, the most proximal level where the radius and ulna are in relation in DRUJ was determined in palmar unstable and dorsal unstable injury models after developing intact DRUJ models when the forearm is in pronation and supination, palmar unstable DRUJ models when the forearm is in supination and dorsal unstable DRUJ models with the forearm is in pronation. After placing a K wire for ulnoradial transfixion at this location which was detected in both models, nine K wires were placed parallel to the first K wire in the transverse plane at 5 mm. intervals. Thus ten ulnoradial transfixion models were developed in palmar unstable and dorsal unstable models. After force of 68 Newtons was applied in the twelve forearm supination models from the dorsal of the ulna head to the palmar and in the twelve forearm pronation models from the palmar of the ulna head to the dorsal, the displacement distances of the ulna head were evaluated.

The amount of displacements of the ulna head was developed while the forearm was in supination were detected to 0,45 mm in intact DRUJ model, 3,5 mm in palmar unstable model representing palmar DRUJ injury and in each of the ten ulnoradial transfixion models developed by placing K wires on the palmar unstable model; respectively from model 1 to model 10 0,08, 0,17, 0,33, 0,45, 0,65, 0,82, 1, 1,19, 1,3, 1,38 mm. The amount of displacements of the ulna head was developed while the forearm was in pronation were detected to 0,42 mm in intact DRUJ model, 2,1 mm in dorsal unstable model representing dorsal DRUJ injury and in each of

the ten ulnoradial transfixion models were developed by placing K wires on the dorsal unstable model; respectively from model 1 to model 10 0,17, 0,24, 0,32, 0,42, 0,49, 0,52, 0,55, 0,57, 0,58, 0,6 mm.

The results of the study, in both palmar DRUJ injury and dorsal DRUJ injury models, the optimal location of the K wire placed for ulnoradial transfixion is just proximal to the sigmoid notch of radius and the most proximal location where the K wire is functional is proximal to 21 mm. from the DRUJ were determined.

Key words: Distal radioulnar joint, ulnoradial transfixion, radioulnar ligaments, interosseous membrane, finite element analysis



KAYNAKLAR

1. Huang JI, Hanel DP. Anatomy and biomechanics of the distal radioulnar joint. *Hand Clinics* 2012; 28(2):157-163.
2. Mulford JS, Axelrod TS. Traumatic injuries of the distal radioulnar joint. *Hand Clinics* 2010; 26(1):155-163.
3. Greybe D, Boland MR, Wu T, Mithraratne K. Examining the influence of distal radius orientation on distal radioulnar joint contact using a finite element model. *International Journal for Numerical Methods in Biomedical Engineering* 2016; 32(11):e02766.
4. Murray PM. Diagnosis and treatment of longitudinal instability of the forearm. *Techniques in Hand & Upper Extremity Surgery* 2005; 9(1):29-34.
5. Flinkkilä T, Raatikainen T, Kaarela O, Hämäläinen M. Corrective osteotomy for malunion of the distal radius. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery* 2000; 120(1):23-26.
6. Knirk JL, Jupiter JB. Intra-articular fractures of the distal end of the radius in young adults. *J Bone Joint Surg Am* 1986; 68(5):647-659.
7. Khuyagbaatar B, Lee SJ, Cheon M, Batbayar T, Ganbat D, Kim YH. Effect of wrist-wearing distal radioulnar joint stabilizer on distal radioulnar joint instability using a forearm finite element model. *Journal of Mechanical Science & Technology* 2019; 33(5):2503-2508.
8. Sun J, Yan B, Nie W, Zhi Z, Gui K, Wang M, et al. Construction and Validation of a Three-Dimensional Finite Element Model of the Distal

Radioulnar Joint. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology* 2016; 16(02):1650010.

9. Fisk JP, Wayne JS. Development and validation of a computational musculoskeletal model of the elbow and forearm. *Annals of Biomedical Engineering* 2009; 37(4):803-812.
10. Ekenstam FA, Hagert CG. Anatomical studies on the geometry and stability of the distal radio ulnar joint. *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery* 1985; 19(1):17-25.
11. Gray H, Carter HV. Elbow and Forearm. In: Standring S, editor. *Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice*. 41th ed. London: Elsevier; 2016:p.837-861.
12. Netter FH. Elbow and Forearm. In: Machado CAG, Hansen JT, Benninger B, Brueckner-Collins J, Hoagland TM, Tubbs RS, editors. *Atlas of Human Anatomy*. 7th ed. Philadelphia: Elsevier; 2019:p429.
13. Thiru RG, Ferlic DC, Clayton ML, McClure DC. Arterial anatomy of the triangular fibrocartilage of the wrist and its surgical significance. *The Journal of Hand Surgery* 1986; 11(2),258-263.
14. Gupta R, Nelson SD, Baker J, Jones NF, Meals RA. The innervation of the triangular fibrocartilage complex: nitric acid maceration rediscovered. *Plastic and Reconstructive Surgery* 2001; 107(1):135-139.
15. Ohmori M, Azuma H. Morphology and distribution of nerve endings in the human triangular fibrocartilage complex. *Journal of Hand Surgery* 1998; 23(4):522-525.
16. Lourie GM, King J, Kleinman WB. The transverse radioulnar branch from the dorsal sensory ulnar nerve: its clinical and anatomical significance further defined. *The Journal of Hand Surgery* 1994; 19(2):241-245.

17. Moritomo H. The distal interosseous membrane: current concepts in wrist anatomy and biomechanics. *The Journal of Hand Surgery* 2012; 37(7):1501-1507.
18. Noda K, Goto A, Murase T, Sugamoto K, Yoshikawa H, Moritomo H. Interosseous membrane of the forearm: an anatomical study of ligament attachment locations. *The Journal of Hand Surgery* 2009; 34(3):415-422.
19. Moritomo H, Noda K, Goto A, Murase T, Yoshikawa H, Sugamoto K. Interosseous membrane of the forearm: length change of ligaments during forearm rotation. *The Journal of Hand Surgery* 2009; 34(4):685-691.
20. Kitamura T, Moritomo H, Arimitsu S, Berglund LJ, Zhao KD, An KN, et al. The biomechanical effect of the distal interosseous membrane on distal radioulnar joint stability: a preliminary anatomic study. *The Journal of Hand Surgery* 2011; 36(10):1626-1630.
21. Kleinman WB, Graham TJ. (1998). The distal radioulnar joint capsule: clinical anatomy and role in posttraumatic limitation of forearm rotation. *The Journal of Hand Surgery* 1998; 23(4):588-599.
22. Spinner M, Kaplan EB. (1970). Extensor Carpi Ulnaris: Its Relationship to the Stability of the Distal Radio-ulnar Joint. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 1970; 68:124-129.
23. Stuart PR. Pronator quadratus revisited. *The Journal of Hand Surgery: British & European Volume* 1996; 21(6):714-722.
24. Johnson RK, Shrewsbury MM. The pronator quadratus in motions and in stabilization of the radius and ulna at the distal radioulnar joint. *The Journal of Hand Surgery* 1976; 1(3):205-209.
25. Stuart PR, Berger RA, Linscheid RL, An KN. The dorsopalmar stability of the distal radioulnar joint. *The Journal of Hand Surgery* 2000; 25(4):689-699.

26. Schuind F, An KN, Berglund L, Rey R, Cooney III WP, Linscheid RL, et al. The distal radioulnar ligaments: a biomechanical study. *The Journal of Hand Surgery* 1991; 16(6):1106-1114.
27. Kihara H, Short WH, Werner FW, Fortino MD, Palmer AK. The stabilizing mechanism of the distal radioulnar joint during pronation and supination. *The Journal of Hand Surgery* 1995; 20(6):930-936.
28. Acosta R, Hnat W, Scheker LR. (1993). Distal radio-ulnar ligament motion during supination and pronation. *Journal of Hand Surgery* 1993; 18(4):502-505.
29. Ward LD, Ambrose CG, Masson MV, Levaro F. The role of the distal radioulnar ligaments, interosseous membrane, and joint capsule in distal radioulnar joint stability. *The Journal of Hand Surgery* 2000; 25(2):341-351.
30. Hagert CG. Distal radius fracture and the distal radioulnar joint--anatomical considerations. *Handchirurgie, Mikrochirurgie, Plastische Chirurgie: Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Handchirurgie: Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Mikrochirurgie der Peripheren Nerven und Gefässe: Organ der V.* 1994; 26(1):22-26.
31. Hotchkiss RN, An KN, Sowa DT, Basta S, Weiland AJ. An anatomic and mechanical study of the interosseous membrane of the forearm: pathomechanics of proximal migration of the radius. *The Journal of Hand Surgery* 1989; 14(2):256-261.
32. Pfaeffle HJ, Fischer KJ, Manson TT, Tomaino MM, Woo SL, Herndon JH. Role of the forearm interosseous ligament: is it more than just longitudinal load transfer? *The Journal of Hand Surgery* 2000; 25(4):683-688.

33. Watanabe H, Berger RA, Berglund LJ, Zobitz ME, An KN. Contribution of the interosseous membrane to distal radioulnar joint constraint. *The Journal of Hand Surgery* 2005; 30(6):1164-1171.
34. Watanabe H, Berger RA, An KN, Berglund LJ, Zobitz ME. Stability of the distal radioulnar joint contributed by the joint capsule. *The Journal of Hand Surgery* 2004; 29(6):1114-1120.
35. King GJ, McMurtry RY, Rubenstein JD, Ogston NG. Computerized tomography of the distal radioulnar joint: correlation with ligamentous pathology in a cadaveric model. *The Journal of Hand Surgery* 1986; 11(5):711-717.
36. Gordon KD, Pardo RD, Johnson JA, King GJ, Miller TA. Electromyographic activity and strength during maximum isometric pronation and supination efforts in healthy adults. *Journal of Orthopaedic Research* 2004; 22(1):208-213.
37. Mulford JS, Jansen S, Axelrod TS. Isolated volar distal radioulnar joint dislocation. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* 2010; 68(1):E23-E25.
38. Kazemian GH, Bakhshi H, Lilley M, Moghaddam MET, Omidian MM, Safdari F, et al. DRUJ instability after distal radius fracture: a comparison between cases with and without ulnar styloid fracture. *International Journal of Surgery* 2011; 9(8):648-651.
39. Geissler WB, Fernandez DL, Lamey DM. Distal radioulnar joint injuries associated with fractures of the distal radius. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 1996; 327:135-146.
40. Ellanti P, Grieve PP. Acute irreducible isolated anterior distal radioulnar joint dislocation. *Journal of Hand Surgery (European Volume)* 2012; 37(1):72-75.

41. Dameron Jr TB. Traumatic dislocation of the distal radio-ulnar joint. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 1972; 83:55-63.
42. Kikuchi Y, Nakamura T. Irreducible Galeazzi fracture-dislocation due to an avulsion fracture of the fovea of the ulna. *Journal of Hand Surgery* 1999; 24(3):379-381.
43. Kikuchi Y, Nakamura T, Horiuchi Y. Irreducible chronic palmar dislocation of the distal radioulnar joint—a case report. *Hand Surgery* 2005; 10(02n03):319-322.
44. Schiller MG, Af Ekenstam F, Kirsch PT. Volar dislocation of the distal radio-ulnar joint. A case report. *JBJS* 1991; 73(4):617-619.
45. Frykman G. Fracture of the distal radius including sequelae-shoulder–handfinger syndrome, disturbance in the distal radio-ulnar joint and impairment of nerve function: A clinical and experimental study. *Acta Orthopaedica Scandinavica* 1967; 38(sup108):1-61.
46. Solgaard S. Function after distal radius fracture. *Acta Orthopaedica Scandinavica* 1988; 59(1):39-42.
47. Stewart HD, Innes AR, Burke FD. (1985). Factors affecting the outcome of Colles' fracture: an anatomical and functional study. *Injury* 1985; 16(5):289-295.
48. Hauck RM, Skahen III J, Palmer AK. Classification and treatment of ulnar styloid nonunion. *The Journal of Hand Surgery* 1996; 21(3):418-422.
49. Lindau T, Adlercreutz C, Aspenberg P. Peripheral tears of the triangular fibrocartilage complex cause distal radioulnar joint instability after distal radial fractures. *The Journal of Hand Surgery* 2000; 25(3):464-468.

50. May MM, Lawton JN, Blazar PE. Ulnar styloid fractures associated with distal radius fractures: incidence and implications for distal radioulnar joint instability. *The Journal of Hand Surgery* 2002; 27(6):965-971.
51. Oskarsson GV, Aaser P, Hjall A. Do we underestimate the predictive value of the ulnar styloid affection in Colles fractures? *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery* 1997; 116(6-7):341-344.
52. Stoffelen D, De Smet L, Broos P. The importance of the distal radioulnar joint in distal radial fractures. *Journal of Hand Surgery* 1998; 23(4):507-511.
53. Mikic ZD. Treatment of acute injuries of the triangular fibrocartilage complex associated with distal radioulnar joint instability. *The Journal of Hand Surgery* 1995; 20(2):319-323.
54. Ekenstam FA, Jakobsson OP, Wadin K. (1989). Repair of the triangular ligament in Colles' fracture: no effect in a prospective randomized study. *Acta Orthopaedica Scandinavica* 1989; 60(4):393-396.
55. Thomas BP, Sreekanth R. Distal radioulnar joint injuries. *Indian Journal of Orthopaedics* 2012; 46(5):493-504.
56. Tay SC, Tomita K, Berger RA. The “ulnar fovea sign” for defining ulnar wrist pain: an analysis of sensitivity and specificity. *The Journal of Hand Surgery* 2007; 32(4):438-444.
57. Adams BD, Berger RA. An anatomic reconstruction of the distal radioulnar ligaments for posttraumatic distal radioulnar joint instability. *The Journal of Hand Surgery* 2002; 27(2):243-251.
58. Atzei A, Luchetti R. Foveal TFCC tear classification and treatment. *Hand clinics* 2011; 27(3):263.

59. Jupiter JB, Masem M. Reconstruction of post-traumatic deformity of the distal radius and ulna. *Hand Clinics* 1988; 4(3):377-390.
60. Moore TM, Klein JP, Patzakis MJ, Harvey Jr JP. Results of compression-plating of closed Galeazzi fractures. *JBJS* 1985; 67(7):1015-1021.
61. Giannoulis FS, Sotereanos DG. Galeazzi fractures and dislocations. *Hand Clinics* 2007; 23(2):153-163.
62. Poppler LH, Moran SL. (2020). Acute Distal Radioulnar Joint Instability: Evaluation and Treatment. *Hand Clinics* 2020; 36(4):429-441.
63. Park MJ, Kim JP. Reliability and normal values of various computed tomography methods for quantifying distal radioulnar joint translation. *JBJS* 2008; 90(1):145-153.
64. Mino DE, Palmer AK, Levinsohn EM. The role of radiography and computerized tomography in the diagnosis of subluxation and dislocation of the distal radioulnar joint. *The Journal of Hand Surgery* 1983; 8(1):23-31.
65. Amrami KK, Moran SL, Berger RA, Ehman EC, Felmlee JP. Imaging the distal radioulnar joint. *Hand Clinics* 2010; 26(4):467-475.
66. Carlsen BT, Dennison DG, Moran SL. Acute dislocations of the distal radioulnar joint and distal ulna fractures. *Hand Clinics* 2010; 26(4):503-516.
67. Amrami KK. Radiology corner: basic principles of MRI for hand surgeons. *Journal of the American Society for Surgery of the Hand* 2005; 5(2):81-86.
68. Amrami KK, Felmlee JP. 3-Tesla imaging of the wrist and hand: techniques and applications. In *Seminars in musculoskeletal radiology* 2008; 12(3):223-237

69. Bednar JM, Osterman AL. The role of arthroscopy in the treatment of traumatic triangular fibrocartilage injuries. *Hand Clinics* 1994; 10(4):605-614.
70. Slutsky DJ, Nagle DJ. Wrist arthroscopy: current concepts. *The Journal of Hand Surgery* 2008; 33(7):1228-1244.
71. Fernandez DL. Fractures of the distal radius; operative treatment. *Instructional Course Lectures* 1993; 42:73-88.
72. Bruckner JD, Alexander AH, Lichtman DM. Acute dislocations of the distal radioulnar joint. *Instructional Course Lectures* 1996; 45:27-36.
73. Darrow Jr JC, Linscheid RL, Dobyns JH, Mann III JM, Wood MB, Beckenbaugh RD. Distal ulnar recession for disorders of the distal radioulnar joint. *The Journal of Hand Surgery* 1985; 10(4):482-491.
74. Shaw JA, Bruno A, Paul EM. Ulnar styloid fixation in the treatment of posttraumatic instability of the radioulnar joint: a biomechanical study with clinical correlation. *The Journal of Hand Surgery* 1990; 15(5):712-720.
75. Bhan S, Rath S. Management of the Galeazzi fracture. *International Orthopaedics* 1991; 15(3):193-196.
76. Beneyto FM, Renn JA, Claramunt AF, Soler RR. Treatment of Galeazzi fracture-dislocations. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* 1994; 36(3):352-355.
77. Mikić ZD. Galeazzi fracture-dislocations. *J Bone Joint Surg Am* 1975; 57(8):1071-80.
78. Zachee B, De Smet L, Fabry G. Arthroscopic suturing of TFCC lesions. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 1993; 9(2):242-243.

79. Skie MC, Mekhail AO, Deitrich DR, Ebraheim NE. Operative technique for inside-out repair of the triangular fibrocartilage complex. *The Journal of Hand Surgery* 1997; 22(5):814-817.
80. Ruch DS, Papadonikolakis A. Arthroscopically assisted repair of peripheral triangular fibrocartilage complex tears: factors affecting outcome. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 2005; 21(9):1126-1130.
81. Husby JRHT. Results of repair of peripheral tears in the triangular fibrocartilage complex using an arthroscopic suture technique. *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery and Hand Surgery* 1999; 33(4):439-447.
82. Fellingner M, Peicha G, Seibert FJ, Grechenig W. Radial avulsion of the triangular fibrocartilage complex in acute wrist trauma: a new technique for arthroscopic repair. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 1997; 13(3):370-374.
83. de Araujo W, Poehling GG, Kuzma GR. New Tuohy needle technique for triangular fibrocartilage complex repair: preliminary studies. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 1996; 12(6):699-703.
84. Chen ACY, Hsu KY, Chang CH, Chan, YS. Arthroscopic suture repair of peripheral tears of triangular fibrocartilage complex using a volar portal. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 2005; 21(11):1406-e1.
85. Chou KH, Sarris IK, Sotereanos DG. Suture anchor repair of ulnar-sided triangular fibrocartilage complex tears. *Journal of Hand Surgery* 2003; 28(6):546-550.

86. Ruch DS, Lumsden BC, Papadonikolakis A. Distal radius fractures: a comparison of tension band wiring versus ulnar outrigger external fixation for the management of distal radioulnar instability. *The Journal of Hand Surgery* 2005; 30(5):969-977.
87. Nypaver C, Bozentka DJ. Distal Radius Fracture and the Distal Radioulnar Joint. *Hand Clinics* 2021; 37(2):293-307.
88. Kim, JY, Tae SK. Percutaneous Distal Radius–Ulna Pinning of Distal Radius Fractures to Prevent Settling. *The Journal of Hand Surgery* 2014; 39(10):1921-1925.
89. Naik AA, Hinds RM, Paksima N, Capo JT. Risk of injury to the dorsal sensory branch of the ulnar nerve with percutaneous pinning of ulnar-sided structures. *The Journal of Hand Surge* 2016; 41(7):e159-e163.
90. Lewis T, Yen D. Percutaneous 3 Kirschner Wire Fixation Including the Distal Radioulnar Joint for Treatment of Pilon Fractures of the Distal Radius. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* 2010; 68(2):485-489.
91. Theumann NH, Pfirrmann CW, Antonio GE, Chung CB, Gilula LA, Trudell DJ, et al. Extrinsic carpal ligaments: normal MR arthrographic appearance in cadavers. *Radiology* 2003; 226(1):171-179.
92. Nakamura T, Makita A. (2000). The proximal ligamentous component of the triangular fibrocartilage complex: functional anatomy and three-dimensional changes in length of the radioulnar ligament during pronation and supination. *Journal of Hand Surgery* 2000; 25(5):479-486.
93. Millard GM, Budoff JE, Paravic V, Noble PC. Functional bracing for distal radioulnar joint instability. *The Journal of Hand Surgery* 2002; 27(6):972-977.
94. Long M, Rack HJ. Titanium alloys in total joint replacement—a materials science perspective. *Biomaterials* 1998; 19(18):1621-1639.

95. Su Y, Wang X, Ren D, Liu Y, Liu S, Wang P. A finite element study on posterior short segment fixation combined with unilateral fixation using pedicle screws for stable thoracolumbar fracture. *Medicine* 2018; 97(34):e12046.
96. Pena E, Calvo B, Martinez M, Doblare M, A three-dimensional finite element analysis of the combined behavior of ligaments and menisci in the healthy human knee joint. *Journal of Biomechanics* 2006; 39(9):1686-1701.
97. Bosboom E, Hesselink M, Oomens C, Bouten C, Drost M, Baaijens F. Passive transverse mechanical properties of skeletal muscle under in vivo compression. *Journal of Biomechanics* 2001; 34(10):1365-1368.
98. Cheng HK, Lin C, Lin Y, Chen AC. Biomechanical evaluation of the modified double-plating fixation for the distal radius fracture. *Clinical Biomechanics* 2007; 22(5):510-517.
99. Thillemann JK, De Raedt S, Jørgensen PB, Rømer L, Hansen TB, Stilling M. Distal radioulnar joint stability measured with radiostereometry during the piano key test. *Journal of Hand Surgery (European Volume)* 2020; 45(9):923-930.
100. Larrivée S, Matthewson G, Barron L. Closed reduction of an acute volar dislocation of the distal radio-ulnar joint by a modified technique. *Case Reports in Orthopedics* 2018; 1-5.
101. Haouzi MA, Bassir RA, Boufettal M, Kharmaz M, Lamrani MO, Mahfoud M, et al. Isolated dorsal dislocation of the distal radioulnar joint: A case report. *Trauma Case Reports* 2020; 29:100349.
102. Sang L, Liu H, Liu J, Chen B, Xu S. A case report of distal radioulnar joint dislocation fixed by using mini-plate-button. *International Journal of Surgery Case Reports* 2017; 34:69-73.

103. Korompilias AV, Lykissas MG, Kostas-Agnantis IP, Beris AE, Soucacos PN. Distal radioulnar joint instability (Galeazzi type injury) after internal fixation in relation to the radius fracture pattern. *The Journal of Hand Surgery* 2011; 36(5):847-852.
104. Grassmann JP, Hakimi M, Gehrmann SV, Betsch M, Kröpil P, Wild M, et al. The treatment of the acute Essex-Lopresti injury. *The Bone & Joint Journal* 2014; 96(10):1385-1391.
105. Rettig ME, Raskin KB. Galeazzi fracture-dislocation: a new treatment-oriented classification. *The Journal of Hand Surgery* 2001; 26(2):228-235.
106. Jui-Tien S, Yao-Tung H, Hung-Maan L, Chuan-Ming T, Ming-Chun C. Chronic triangular fibrocartilage complex tears with distal radioulna joint instability: a new method of triangular fibrocartilage complex reconstruction. *Journal of Orthopaedic Surgery* 2000; 8(1):1-8.