



**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ ANABİLİM DALI**

**PROKSİMAL HUMERUS'TAN ELDE EDİLEN FARKLI KORTİKAL
KALINLIK ÖLÇÜMLERİNİN LOKAL VE TÜM VÜCUT KEMİK
MİNERAL YOĞUNLUĞU DEĞERLERİNİN İLİŞKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

PROSPEKTİF KLİNİK ÇALIŞMA

UZMANLIK TEZİ

Dr. Mahmut IŞIK

**ANKARA
2024**



**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ ANABİLİM DALI**

**PROKSİMAL HUMERUS'TAN ELDE EDİLEN FARKLI KORTİKAL
KALINLIK ÖLÇÜMLERİNİN LOKAL VE TÜM VÜCUT KEMİK
MİNERAL YOĞUNLUĞU DEĞERLERİNİN İLİŞKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

PROSPEKTİF KLİNİK ÇALIŞMA

UZMANLIK TEZİ

Dr. Mahmut IŞIK

**TEZ DANIŞMANI
Dr. Öğr. Üyesi Ekin KAYA ŞİMŞEK**

**ANKARA
2024**

TEŞEKKÜR

Öncelikle en büyük teşekkürü tez çalışmamın yürütülmesi sırasında her türlü yardım ve desteği sağlayan, uzmanlık eğitimim boyunca da bilgi ve deneyimleri ile yoluma ışık tutan tez hocam, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Dr. Ekin Kaya Şimşek'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Uzmanlık eğitimimde büyük katkıları olan başta bölüm başkanımız Sayın Prof. Dr. İsmail Cengiz Tuncay olmak üzere Prof. Dr. Hüseyin Demirörs, Prof. Dr. İlhami Kuru, Prof. Dr. Rahmi Can Akgün, Prof. Dr. Orçun Şahin, Doç. Dr. Bahtiyar Haberal'a ,

Asistanlığım boyunca gösterdiği yakın ilgi ve verdiği sonsuz destek için Sayın Dr. Koray Akpınar 'a,

Asistanlık eğitimim süresince benim yanımda olan beraber çalışmaktan mutluluk duyduğum Sayın Dr. Maksat Artykov'a,

Son olarak; 6Numara'da birlikte ter döktüğümüz tüm asistan arkadaşlarıma, hemşire, teknisyen, bölümün emektar sekreterleri ,anestezi ekibi ve tüm ameliyathane ekibine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Proksimal Humerus'tan Elde Edilen Farklı Kortikal Kalınlık Ölçümlerinin Lokal ve Tüm Vücut Kemik Mineral Yoğunluğu Değerlerinin İlişkisinin Araştırılması

Bu çalışmanın amacı, proksimal humerustan elde edilen çeşitli kortikal kalınlık ölçümleri ile hem lokal hem de tüm vücut kemik mineral yoğunluğu (KMY) değerleri arasındaki ilişkiyi araştırmaktır. Bu ölçümleri, altın standart Dual-Enerji X-ray Absorptiometri (DEXA) sonuçlarıyla karşılaştırarak osteoporozun teşhisi ve şiddetinin değerlendirilmesi için doğru yöntemleri belirlemeyi amaçlamaktadır.

Bu prospektif klinik çalışmaya, 65-80 yaş aralığındaki 100 katılımcı dahil edilmiştir. Katılımcılara KMY değerlendirmesi için DEXA taramaları ve dual enerji bilgisayarlı tomografi (Dual BT) uygulanmıştır. Dominant ekstremiteden elde edilen omuz anteroposterior radyograflardan kortikal kalınlık ölçümleri yapılmıştır. Çalışma, medial kortikal oran (MKO), deltoid tüberosite indeksi (DTİ), ve lineer kortikal indeks (LKİ) ölçümlerini içermektedir. SPSS v25.0 kullanılarak yapılan istatistiksel analizlerle kortikal ölçümler ve DEXA sonuçları arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

Tüm vücut KMY değerlerinden elde edilen T-Skorları ile proksimal humerustan elde edilen KMY değerleri istatistiksel olarak birbiri ile anlamlı koreledir. Proksimal humerustan ölçülen kortikal kalınlık ölçümleri ile elde edilen indeksler ile DEXA kaynaklı KMY değerleri arasında anlamlı pozitif korelasyonlar mevcuttur. Direkt grafi ölçümlerinde deltoid tüberosite indeksi (DTİ), Dual BT ölçümlerinde ise DTİ ve LKİ, proksimal humerus ve proksimal femur KMY değerleri için güçlü birer öngörücüdür. Dual-BT den elde edilen sonuçlara göre humerus başının osteoporoza bağlı yağlanması heterojenite göstermektedir ve yağlanma en fazla tüberkülüm majus ve minusta olmaktadır.

Proksimal humerusta direkt grafi veya BT kullanılarak humerus proksimalinin lokal KMY'si öngörülecekse hem kırık noktalarında en az etkilenmesi hem de ölçümün basit ve güvenilir olması nedeniyle DTİ'i tercih edilmelidir. Humerus başının farklı anatomik lokalizasyonlarının aynı anda farklı KMY değerlerine sahip olması nedeniyle lokalizasyon spesifik kortikal kalınlık ve KMY ölçümlerine ihtiyaç vardır.

Anahtar Kelimeler: Osteoporoz, Proksimal Humerus, Kemik Mineral Yoğunluğu, Kortikal Kalınlık, Kortikal İndeks

ABSTRACT

Investigation of the Relationship Between Different Cortical Thickness Measurements Obtained from the Proximal Humerus and Local and Whole-Body Bone Mineral Density Values

The aim of this study is to investigate the relationship between various cortical thickness measurements obtained from the proximal humerus and both local and whole-body bone mineral density (BMD) values. By comparing these measurements with the gold standard Dual-Energy X-ray Absorptiometry (DEXA) results, the study seeks to identify accurate methods for diagnosing and assessing the severity of osteoporosis.

This prospective clinical study included 100 participants aged between 65 and 80 years. Participants underwent DEXA scans and dual-energy computed tomography (Dual CT) for BMD assessment. Cortical thickness measurements were obtained from anteroposterior shoulder radiographs of the dominant extremity. The study includes measurements of the medial cortical ratio (MCR), deltoid tuberosity index (DTI), and linear cortical index (LCI). Statistical analyses were conducted using SPSS v25.0 to examine the relationships between cortical measurements and DEXA results.

T-scores obtained from whole-body BMD values were statistically significantly correlated with BMD values obtained from the proximal humerus. There are significant positive correlations between the indices obtained from cortical thickness measurements of the proximal humerus and the BMD values derived from DEXA. In direct radiographic measurements, the deltoid tuberosity index (DTI) is a strong predictor for proximal humerus and proximal femur BMD values, while in Dual CT measurements, both DTI and LCI are strong predictors. According to the results obtained from Dual CT, osteoporosis-related fatty infiltration of the humeral head shows heterogeneity, with the most significant infiltration occurring at the greater and lesser tubercles.

If the local BMD of the proximal humerus is to be predicted using direct radiographs or CT, DTI should be preferred due to its simplicity and reliability, as well as its minimal impact on fracture points. Due to the presence of different BMD values in different anatomical locations of the humeral head at the same time, there is a need for location-specific cortical thickness and BMD measurements.

Keywords: Osteoporosis, Proximal Humerus, Bone Mineral Density, Cortical Thickness, Cortical Index

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
TABLolar DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Osteoporoz.....	3
2.1.1. Osteoporozun tanımı.....	3
2.1.2. Osteoporoz epidemiyolojisi.....	3
2.1.3. Osteoporoz risk faktörleri	3
2.1.4. Osteoporoz patofizyolojisi	5
2.1.5. Osteoporoz tanı kriterleri	6
2.1.6. Osteoporozda tedavi seçenekleri.....	7
2.1.7. Osteoporoz ve kırık riski	8
2.2. Osteoporotik Kırıklar	9
2.2.1. Osteoporotik kırıkların tanımı ve sınıflandırılması	9
2.2.2. Osteoporotik kırıkların epidemiyolojisi	10
2.2.3. Osteoporotik kırıkların risk faktörleri.....	11
2.2.4. Osteoporotik kırıkların tanı ve tedavisi	12
2.3. Osteoporotik Proksimal Humerus Kırıkları	14
2.3.1. Osteoporotik proksimal humerus kırıklarının özellikleri	14
2.3.2. Osteoporotik proksimal humerus kırıklarının tanı ve tedavisi.....	14
2.3.3. Osteoporotik proksimal humerus kırıklarının cerrahi tedavisi sonrasında görülen komplikasyonlar	15
2.3.4. Osteoporotik proksimal humerus kırıklarında osteoporoz derecesinin değerlendirilmesi.....	16
2.3.4.1. DEXA ile değerlendirme	17
2.3.4.2. BT ile değerlendirme	17
2.3.4.3. Kortikal kalınlık, oran ve indeksler	18
3. GEREÇ VE YÖNTEM	20

3.1. Çalışma Popülasyonu	20
3.2. Radyolojik Analiz	21
3.2.1. Direkt radyolojik değerlendirme	21
3.2.1.1. Medial kortikal oran.....	22
3.2.1.2 Deltoid tüberosite İndeksi	22
3.2.1.3. Lineer kortikal indeks	23
3.2.2. Dual bilgisayarlı tomografi.....	24
3.2.3. Kemik mineral dansitometre ölçümü	26
3.3. İstatistiksel Analiz.....	28
4. BULGULAR	29
4.1. Demografik Veriler	29
4.1.2. Katılımcıların kemik mineral yoğunluğu (BMD) ve osteoporoz.....	30
4.2. Proksimal humerus KMY değerleri ile lomber bölge ve proksimal femur bölgesinin T-Skorlarının ilişkisi	31
4.3. Direkt Grafi ve Dual BT Görüntüleme Sonuçları	32
4.3.1. Direk grafi ve dual BT ölçüm sonuçlarının KMY değerleri ile ilişkisi	33
4.3.2. Alıcı işletim karakteristiği (Eğrisi) (ROC) analizleri	38
4.3.2.1. Humerus başı KMY ölçümü Analizi	38
4.3.2.2. Humerus boyun KMY ölçümü analizi	39
4.4. Dual BT trabeküler yağ ölçümü ile farklı anatomik bölgelerden elde edilen KMY değerlerinin ilişkisi	40
5. TARTIŞMA.....	42
5.1. Demografik Verilerin Literatür ile Karşılaştırılması.....	43
5.2. Proksimal Humerus Kemik Mineral Yoğunluğu ile Tüm Vücut Kemik Kemik Mineral Yoğunluğunun ilişkisi	45
5.3. Proksimal Humerus Kemik Mineral Yoğunluğu ile Proksimal Humerustan Elde Edilen Kortikal Ölçümler ve bu Ölçümlerden Elde Edilen Oran ve İndekslerin İlişkisi	46
5.3.1. Kadavra çalışmaları	46
5.3.2. Klinik çalışmalar	48
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	51
KAYNAKLAR	53

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

BT	Bilgisayarlı Tomografi -
DEXA	Dual-Energy X-ray Absorptiometry -
DTİ	Deltoid Tüberosite İndeksi -
Dual-BT	Dual-Enerji Bilgisayarlı Tomografi
KMY	Kemik Mineral Yoğunluğu -
LKİ	Lineer Kortikal İndeks -
MKO	Medial Kortikal Oran
ROC Eğrisi	Alıcı İşletim Karakteristiği Eğrisi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Menteşe Eklemlili Omuz Pozisyonlayıcısı ile Direkt Grafi Çekimi	21
Şekil 3.2. MKO'nun ölçümü	22
Şekil 3.3. DTİ'nin ölçümü	23
Şekil 3.4. LKİ'nin ölçümü	24
Şekil 3.5. Dual-BT kesitlerinde MKO'nun ölçümü	25
Şekil 3.6. Dual-BT kesitlerinde DTİ'nin ölçümü.....	25
Şekil 3.7. Dual-BT kesitlerinde LKİ'nin ölçümü.....	26
Şekil 3.8. DEXA yöntemi ile proksimal humerus KMY ölçümü	27
Şekil 3.9. DEXA ölçümleri sırasında hastanın pozisyonu	27
Şekil 4.1. Humerus Baş KMY ile direkt grafi DTİ arasındaki ilişkinin saçılım grafisi	35
Şekil 4.2. Humerus boyun KMY ile direkt grafi DTİ arasındaki ilişkinin saçılım grafisi	35
Şekil 4.3. Humerus baş KMY ile Dual BT DTİ arasındaki ilişkinin saçılım grafisi	36
Şekil 4.4. Humerus boyun KMY ile Dual BT DTİ arasındaki ilişkinin saçılım grafisi.....	36
Şekil 4.5. Humerus baş KMY ile Dual BT LKİ arasındaki ilişkinin saçılım grafisi	37
Şekil 4.6. Humerus boyun KMY ile Dual BT LKİ arasındaki ilişkinin saçılım grafisi.....	37
Şekil 4.7. Humerus baş KMY ROC Eğrisi	38
Şekil 4.8. Humerus boyun KMY ROC Eğrisi.....	39

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 4.1. Demografik Veriler	29
Tablo 4.2. Lomber Bölge KMY ölçüm değerleri	30
Tablo 4.3. Proksimal Femur Bölgesi KMY ölçüm değerleri	30
Tablo 4.4. Humerus Proksimal Bölgesi KMY ölçüm değerleri	30
Tablo 4.5. Lomber ve Proksimal Femoral Ölçümlere göre Katılımcıların T-Skorlarının Dağılımı	31
Tablo 4.6. Humerus proksimalinden elde edilen KMY değerlerinin Lomber ve Proksimal Femoral T-Skorları ile ilişkisi	32
Tablo 4.7. Direkt Grafi ve Dual BT'den elde edilen kortikal ölçüm ve oranlar	32
Tablo 4.8. Direkt grafi ve dual-BT'den elde edilen kortikal ölçümlerin farklı anatomik bölgelerdeki KMY'ler ile ilişkisi	33
Tablo 4.9. Humerus başı KMY ölçüm ROC analizi	38
Tablo 4.10. Humerus boyun KMY ölçüm ROC analizi	39
Tablo 4.11. Dual BT ile ölçülen yağ fraksiyonun lomber ile proksimal femur t-skorları ve proksimal humerus KMY ile ilişkisi	41

1. GİRİŞ

Proksimal humerus kırıklarının cerrahi tedavisi, son yıllarda geliştirilen ve yaygın olarak kullanılan kilitli plak-vida sistemlerine rağmen halen cerrahları zorlamaktadır. Bu hasta grubunda proksimal humerusta görülen osteopeni ve osteoporoza bağlı olarak çok parçalı kırıklar ortaya çıkmakta ve yine kemik kalitesinde bozulması nedeniyle cerrahi tedavi sonrası gelişen avasküler nekroz, eklem içi vida penetrasyonu, implant iflası, cerrahi tespit yetersizliği gibi komplikasyonlarla sık karşılaşılmaktadır. Bu komplikasyonlar tekrarlayan operasyonlara neden olmakta ve bunun sonucunda morbidite ve mortalite artmaktadır (1). Bu nedenle, günümüzde proksimal humerus kırıklarının cerrahi tedavisinde tercih edilen yöntem plak-vida ile tespit olsa da, son yapılan çalışmalar cerrahların, osteoporotik hastalarda daha az komplikasyon ve artmış hasta memnuniyeti ile sonuçlandığı bildirilen fakat yüksek maliyetli olan omuz protez cerrahisine yönlendiğini göstermektedir (2).

Dual Enerji X Ray Absorbsiyometri (DEXA), Gıda ve İlaç İdaresi (Food and Drug Administration) tarafından 1988’de klinik kullanım için onaylanmasından bu yana kemik mineral yoğunluğunu (KMY) ölçmede yaygın olarak kullanılmaktadır. DEXA, Dünya Sağlık Örgütü tarafından osteoporoz taramasında altın standart olarak kabul edilmektedir. Lumbal vertebralar ve proksimal femurda ölçülen KMY değerlerinin, cinsiyet ve ırk açısından eşleşen referans popülasyonlarla ve yaşa göre eşleştirilmiş kontrollerle karşılaştırılmasıyla osteoporotik kırık riski hesaplanabilmektedir. Kolay ulaşılır, düşük maliyetli, hızlı, basit ve etkili olması yanı sıra düşük doz radyasyon kullanılması DEXA’nın diğer avantajıdır (3). Osteoporotik proksimal humerus kırıkları, yaşlılarda femur ve distal radius kırıklarından sonra en sık görülen üçüncü kırık olmasına rağmen bu kırıkları inceleyen çok az sayıda çalışma mevcuttur (4). Vertebra ve proksimal femurda olduğu gibi proksimal humerusta ölçülen KMY değerlerinin karşılaştırılabileceği cinsiyet, yaş, ırk açısından referans popülasyon taramaları yoktur. Ortopedi pratiğinde ilk ve sıklıkla istenilen direkt radyografi üzerine yapılan çalışmalara göre, radyografik kemik kortikal kalınlık ölçümleri-oranları ile DEXA sonuçları arasında gözlemciler arası mükemmel güvenilirlik ve yüksek oranda korelasyon mevcuttur. Proksimal humerusta ise birçok farklı kortikal ölçüm ve bunlardan elde edilen oran ve indeksler tanımlanmıştır (5-7). Bu çalışmalarda tanımlanan her bir kortikal kalınlık ölçümlerinin birbirinden ayrı olarak osteoporoz ile ilişkisi olduğu gösterilmiş olsa da hangi ölçüm yönteminin en doğru sonucu verdiği bilinmemektedir. Ek

olarak bu çalışmalarda elde edilen verilerin KMY ile ilişkilendirilmesi dolaylı yollardan yapılmış olup bu ilişkiyi sağlıklı bireylerden elde edilen ölçümlerde değerlendiren çalışmalar sınırlıdır.

DEXA yöntemine ek olarak hızla gelişen BT (bilgisayarlı tomografi) teknolojisi kullanarak yapılan güncel çalışmalar, literatüre 'BT tabanlı oportünistik osteoporoz tarama-görüntüleme' kavramını kazandırmıştır. Oportünistik osteoporoz taraması, başka nedenlerle çekilmiş bilgisayarlı tomografi tetkiklerinden faydalanılarak görüntü alanına giren kemik yapılarında kemik mineral ölçümünün yapılmasıdır. Konunun güncel ve popüler olması nedeni ile sınırlı fakat her geçen gün giderek artan sayıda araştırma mevcut olup ağırlıklı lomber vertebralar üzerinedir. Proksimal humerustan elde edilen BT görüntülemelerinde yapılan kemik mineral yoğunluğunu ölçümlerinin, tüm vücut DEXA ölçümleri ve ilişkisini inceleyen çalışmalar oldukça kısıtlıdır (8, 9). Ek olarak BT ile ölçülen proksimal humerus lokal KMY'sinin, proksimal humerustan elde edilen kortikal kalınlık ölçümleri ve bu ölçümlerden elde edilen kortikal oran ve indekslerle ilişkisini inceleyen çalışmalar da oldukça azdır (6).

Bu çalışmanın amaçları, altın standart olarak kabul edilen DEXA ile elde edilen KMY değerleri ile proksimal humerusa ait radyografi ve tomografi tetkiklerinde elde edilen ölçüm ve oranları karşılaştırarak, osteoporoz tanısı ve şiddetini yansıtacak doğru ve uygun yöntemleri araştırmak, ayrıca sistemik bir metabolik kemik hastalığı olan osteoporozu bütüncül yaklaşarak, proksimal humerus ile osteoporotik kırıkların görüldüğü diğer bölgeler (proksimal femur, ön kol ve lomber vertebralar) arasında osteoporoz varlığı ve şiddeti açısından ilişkileri araştırmaktır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Osteoporoz

2.1.1. Osteoporozun tanımı

Osteoporoz, dünya genelinde milyonlarca insanı etkileyen, kemik dokusunun yoğunluğunda azalma ve mikro yapısında bozulma ile karakterize edilen sistemik bir iskelet hastalığıdır. Dünya genelinde osteoporoz, yaşlı nüfusun artmasıyla birlikte önemli bir halk sağlığı sorunu haline gelmiştir (10). Osteoporoz, özellikle yaşlanan nüfusta yaşam tarzının da değişmesi ile kemik kırılabilirliğinde artışa ve kırık riskinde önemli bir yükselmeye yol açar (11). Osteoporoz tanımı, 1994 yılında Dünya Sağlık Örgütü tarafından uluslararası bir konsensüsle geliştirilmiştir ve hastalığın kemik kütlesi ve mikro yapısına olan olumsuz etkilerini ve kırık gibi klinik sonuçlarını içermektedir.

2.1.2. Osteoporoz epidemiyolojisi

Osteoporoz prevalansı, yaş ve cinsiyete göre değişmektedir. Kadınlar, erkeklere oranla daha yüksek risk altındadır çünkü menopoza sonrası östrojen seviyelerindeki düşüş, kemik kaybını hızlandırmaktadır (12). 50 yaş üzeri kadınların yaklaşık %30'u ve erkeklerin %20'si osteoporotik kırık riski altındadır (13). Avrupa'da 2020 yılında yaklaşık 22 milyon kadın ve 5.5 milyon erkeğin osteoporozdan etkilendiği tahmin edilmektedir (10).

Osteoporozun ekonomik yükü her geçen gün artmaktadır. Avrupa'da osteoporotik kırıkların yıllık maliyeti 37 milyar Euro'yu aşmaktadır ve bu maliyetin 2030 yılına kadar 47 milyar Euro'ya ulaşması beklenmektedir (14). Bu maliyetler, hastane yatışları, cerrahi müdahaleler, rehabilitasyon ve uzun süreli bakım masraflarını içermektedir (13). Bu nedenle risk altındaki bireylerin erken teşhisi ve uygun tedaviye yönlendirilmesi büyük önem taşımaktadır (15).

2.1.3. Osteoporoz risk faktörleri

Osteoporozun ana etiyolojik faktörleri arasında yaşlanma, genetik yatkınlık, hormon seviyelerindeki değişiklikler ve yaşam tarzı faktörleri yer alır (11). En yaygın neden, menopoza bağlı östrojen eksikliği ile ilişkili kemik kaybıdır (16). Yaşlanma süreci, kemik

kaybının artmasına ve kemik kalitesinin düşmesine neden olan düşük dereceli inflamasyon ve bağışıklık sistemi aktivasyonu ile ilişkilidir. Osteoporoz risk faktörleri, modifiye edilebilir risk faktörleri ve modifiye edilemez risk faktörleri olmak üzere 2'ye ayrılmaktadır. Yaygın risk faktörleri şunlardır;

- **Cinsiyet:** Kadınlar, erkeklere göre daha yüksek osteoporoz riski altındadır, çünkü kadınlar menopoza sonrası östrojen kaybı yaşarlar ve bu hormon kaybı kemik yoğunluğunda hızlı bir düşüşe neden olur (12). Erkeklerde ise yaşa bağlı testosteron seviyesindeki düşüş osteoporoz riskini artırır (17).
- **Yaş:** osteoporoz için en önemli risk faktörlerinden biridir. Kemik yoğunluğu, yaş ilerledikçe doğal olarak azalır ve bu da osteoporoz riskini artırır (15). Özellikle 50 yaşın üzerindeki bireylerde kemik kaybı hızlanır ve kırık riski artar (18).
- **Etnik Köken:** Afrikalı Amerikalılar, Asyalılar, Hispanikler ve beyaz Amerikalılara göre daha düşük risk altındadır (18).
- **Aile Geçmişi:** KMY üzerindeki kalıtsal genetik etkinin oranı %85 kadar yüksek olarak tahmin edilmektedir (18). Ailede osteoporoz veya osteoporotik kırık öyküsü olan bireylerin, osteoporoz geliştirme olasılığı daha yüksektir (11). Ayrıca, belirli genetik mutasyonlar kemik mineral yoğunluğunu etkileyebilir ve osteoporoz riskini artırabilir (19).
- **Vücut Kütlesi:** Küçük ve ince yapılı bireyler daha yüksek risk altındadır. Düşük vücut kitle indeksi (<17), anoreksiya nervoza, malabsorptif bariatrik cerrahi riski artırır (18).
- **Cinsiyet Hormonları:** Amenore, menopoza ve erken yumurtalık yetmezliği, erkeklerde hipogonadizm gibi hormonal bozukluklar riski artırır (18). Ayrıca, hipertiroidi ve hiperparatiroidi gibi hormonal bozukluklar da osteoporoz riskini artırabilir (10).
- **Diyet:** Beslenme alışkanlıkları da osteoporoz gelişiminde önemli bir rol oynar. Yetersiz kalsiyum ve D vitamini alımı, kemik sağlığını olumsuz etkiler ve osteoporoz riskini artırır (13). Aynı zamanda, aşırı alkol tüketimi ve sigara kullanımı da kemik sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sahiptir (12).
- **İlaçlar:** Glukokortikoidler, antikonvülzanlar, GnRH antagonistleri/agonistleri, SSRI'lar, tiazolidindionlar, aromataz inhibitörleri riski artırır (14).

- Yaşam Tarzı: Fiziksel aktivite düzeyi, kemik yoğunluğunu etkileyen bir diğer önemli faktördür. Düzenli fiziksel aktivite, kemik kütlesini korur ve kemik gücünü artırır (17). Sedanter yaşam tarzı ise kemik kaybını hızlandırır ve osteoporoz riskini artırır (19).
- Sigara Kullanımı: Tüketim arttıkça risk artar (18).
- Alkol Kullanımı: Aşırı alkol tüketimi riski artırır (18).
- Eşlik Eden Hastalıklar: Hiperkalsiüri, osteogenesis imperfecta, homosistinüri, hemokromatoz, glikojen depo hastalığı, kistik fibrozis, çölyak hastalığı, Cushing sendromu, inflamatuvar bağırsak hastalığı, diyabetes mellitus gibi hastalıklar riski artırır (14, 18).

2.1.4. Osteoporoz patofizyolojisi

İskelet, vücut için yapısal destek sağlamakta ve kalsiyum ile fosfor gibi iki önemli mineralin deposu olarak hizmet etmektedir. Bireysel kemik kütlesi, 25-30 yaşları arasında zirveye ulaşır ve 40 yaşından itibaren azalmaya başlar. Kemik kütlesi, mineralize kemik matriksi ve bu bölgeye özgü oldukça dinamik hücre topluluklarını içerir (12, 16). Bu hücrelerin başlıcaları osteosit, osteoblast ve osteoklastlardır. Hematopoetik progenitörlerden köken alan osteoklastlar yaşlanmış veya hasar görmüş kemiklerin rezorbsiyonunu sağlarken, kemik iliği mezenkimal kök hücrelerinden köken alan osteoblastlar ise yeni kemik oluşumunu sağlarlar ve kemik yıkımını nükleer faktör kappa B ligant reseptör aktivatörü (RANKL) reseptörleri aracılığı ile aktive eder ve osteoprotegrin (OPG) salgısı ile de inhibe ederek kontrol ederler (11, 16).

Kemik yapım ve yıkımını içeren bu dinamik döngü sistemik hormonlardan da etkilenmektedir. Bu sürece etki eden başlıca sistemik hormonlar; paratiroid hormon (PTH), 1,25-dihidroxyvitamin D, kalsitonin, büyüme hormonları, glukokortikoidler, gonadal hormonlar, tiroit hormonları ve sitokinlerdir. Ek olarak, kemik döngüsü mekanik kuvvetlerden de etkilenmektedir (10, 15, 16).

Kemik yapımı ve yıkımı arasındaki dengenin yaşa bağlı olarak değişmesi sonucunda “Senil Osteoporoz” ortaya çıkar. Diğer yandan birçok farklı hastalık da kemik metabolizmasını bozabilmektedir. Diğer patolojilerin sebep olduğu osteoporoz ise “Sekonder Osteoporoz” olarak adlandırılmaktadır (15).

Kemik yapımı ve yıkımı arasındaki denge; yaşlanma ve özellikle kadınlarda yaşlanmaya bağlı hormonal değişiklikler nedeniyle bozulur. Vücutta oluşmaya başlayan yıkıma yönelik negatif denge, kemik kaybına neden olarak kemik yapıyı zayıflatır. Artmış osteoklast sayısı ve aktivitesi, trabeküler bağlanmayı azaltır ve kortikal porozitenin kaybına neden olur. Osteoklastların oluşturduğu rezorpsiyon alanları yeterince kemik doku ile doldurulamadığı için kemik dansitesi ve kalitesi azalarak kırık oluşma riski artar (11, 16, 19).

Kemik kaybındaki artış birçok farklı hormonal veya sistemik hastalıklar sonucunda da ortaya çıkabilmektedir. Osteoporozun sekonder nedenleri arasında D vitamini eksikliği, hiperparatiroidizm, hiperkortizolizm, hipertiroidizm, anoreksiya nervoza, inflamatuvar hastalıklar (örn. romatoid artrit), gastrointestinal hastalık (örneğin, kronik karaciğer hastalığı, çölyak hastalığı ve inflamatuvar barsak hastalığı), plazma hücre diskrazileri (örneğin, multipl miyelom ve belirsiz önemi olan monoklonal gamopati), kronik böbrek hastalığı, renal kalsiyum sızıntısı ve ilaçlar (örneğin, steroidler, antiepileptikler, depo medroksiprogesteron asetat, kronik heparin kullanımı, A vitamini, kıvrım diüretikleri ve seçici serotonin reseptör alım inhibitörleri) gibi hastalıklar mevcuttur. Aşırı alkol tüketimi ve hipogonadizm erkeklerde kemik kaybının ikincil nedenleridir (16).

2.1.5. Osteoporoz tanı kriterleri

Bir bireyin osteoporoz riski altında olup olmadığını belirlemek için ayrıntılı bir anamnez ve fizik muayene gereklidir. Bu değerlendirme sırasında kemik mineral yoğunluğunu etkileyebilecek genetik ve çevresel faktörler mutlaka incelenmelidir. Ayrıca, sekonder osteoporoz nedenlerini dışlamak için kapsamlı bir laboratuvar değerlendirmesi yapılmalıdır (19).

Osteoporozun tanısında kemik mineral yoğunluğu (KMY) önemli bir göstergedir. KMY, kemik gücünü in vitro olarak yansıtmaktadır (14). Dünya Sağlık Örgütü'nün 1994 yılında belirlediği kriterlere göre, KMY T skoru -2.5 veya daha düşük olan bireyler osteoporoz olarak tanımlanır. Osteopeni ise BMD T skoru -1 ile -2.5 arasında olan bireylerde tanımlanır. BMD ölçümü, çift enerjili X-ışını absorpsiyometri (DEXA) kullanılarak yapılır ve klinik uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. Ancak, KMY'nin tek başına klinik bir gösterge olarak kullanımı sınırlıdır çünkü kırık riski üzerinde etkili olan birçok diğer faktör

de bulunmaktadır. Çoğu kırılabilirlik kırığı, BMD değerleri bu eşik değerin üzerinde olan bireylerde meydana gelir. Bu nedenle, kırık risk değerlendirme algoritmaları, klinik risk faktörleri ile BMD'yi birleştirir (10). Sonuç olarak osteoporoz tanısı, bireylerin aşağıdaki kriterlerden herhangi birini karşılaması durumunda koyulur:

- Yetmezlik kırığı varlığı
- DEXA taramasında lumbar omurga, femur boynu, total kalça veya distal 1/3 radius bölgesinde T-skorunun $\leq -2,5$ olması
- T-skoru $-1,0$ ile $-2,5$ arasında olup, ülkeye özgü eşik değerlere göre yüksek kırık riski taşıması (FRAX ile hesaplanan 10 yıllık majör osteoporotik kırık riski $\geq \%20$ ve kalça kırığı riski $\geq \%3$)

Bireylerin DEXA incelemesinde sahip olduğu en düşük T-Skoru tanı için kullanılır. Günlük klinik pratikte DEXA taraması, sıklıkla lomber omurga ve tek yada her iki kalçayı içerecek şekilde 65 yaş üstü kadınlarda, 70 yaş üstü erkeklerde ve osteoporoz için risk faktörlerine sahip olan 50 yaş üstü postmenopozal kadınlarda ve erkeklerde yapılmaktadır (19).

2.1.6. Osteoporozda tedavi seçenekleri

Osteoporoz tedavisinde amaç, kemik kütleini korumak, kemik kaybını yavaşlatmak ve kırık riskini azaltmaktır (10). Bu hedeflere ulaşmak için bir dizi farmakolojik ve farmakolojik olmayan tedavi seçeneği mevcuttur (15).

Farmakolojik tedaviler arasında bisfosfonatlar, denosumab, selektif östrojen reseptör modulatorleri (SERMs), paratiroid hormon (PTH) analogları ve romosozumab gibi ajanlar bulunur (17). Bisfosfonatlar, osteoklast aktivitesini inhibe ederek kemik rezorpsiyonunu azaltır ve böylece kemik yoğunluğunu artırır (12). Denosumab, RANK ligandını hedefleyerek osteoklast oluşumunu ve aktivitesini inhibe eder, bu da kemik yıkımını azaltır (13). SERMs, östrojenin kemik üzerindeki olumlu etkilerini taklit eder ve kemik kaybını azaltır (19). PTH analogları, osteoblast aktivitesini artırarak yeni kemik oluşumunu teşvik eder ve bu da kemik yoğunluğunu artırır (11). Romosozumab, sklerostin inhibitörü olarak işlev görür ve kemik yapımını artırırken kemik yıkımını azaltır (16).

Farmakolojik olmayan tedavi seçenekleri arasında ise diyet, egzersiz ve yaşam tarzı değişiklikleri yer alır (10). Yeterli kalsiyum ve D vitamini alımı, kemik sağlığının korunması için kritiktir (14). Fiziksel aktivite, özellikle ağırlık taşıma ve direnç egzersizleri, kemik kütlesini korur ve düşme riskini azaltır (12). Ayrıca, sigara ve aşırı alkol kullanımının azaltılması, kemik sağlığını iyileştirir (15).

Rehabilitasyon programları, osteoporotik kırıkları olan hastalar için önemlidir ve bu programlar ağrı yönetimi, mobilizasyon ve işlevsel bağımsızlığın artırılmasına odaklanır (13). Düşme önleme stratejileri, çevresel düzenlemeler ve denge eğitimi de kırık riskini azaltmada önemli rol oynar (17). Multidisipliner bir yaklaşım, osteoporozun etkili yönetimi için gereklidir ve bireyselleştirilmiş tedavi planları oluşturulmalıdır (19).

2.1.7. Osteoporoz ve kırık riski

Osteoporozda kırık riski, hastalığın en önemli ve ciddi komplikasyonlarından biridir ve kemik yoğunluğunun azalmasıyla birlikte önemli ölçüde artar (10). Özellikle postmenopozal kadınlar ve yaşlı erkekler, düşük kemik mineral yoğunluğu nedeniyle yüksek kırık riski altındadır (13). Kalça, omurga ve el bileği kırıkları, osteoporozun neden olduğu en yaygın kırık türleridir ve bu kırıklar ciddi morbidite ve mortalite ile ilişkilidir (15).

KMY, osteoporozun patogenezinde önemli bir rol oynar ve kırık riskini belirlemede kullanılan bir araçtır. Ancak, KMY'nin tek başına klinik bir gösterge olarak kullanımı sınırlıdır çünkü kırık riski üzerinde etkili olan birçok diğer faktör de bulunmaktadır. Bu faktörler içerisinde en önemli olanlarından biri düşme riskinin artmasıdır (12). Düşme riski, yaşlanma, kas zayıflığı, denge problemleri ve bazı kronik hastalıklarla artar (13). Fiziksel aktivitenin azalması, kas gücünün ve dengenin zayıflamasına neden olur, bu da düşme ve dolayısıyla kırık riskini artırır (15).

Tüm bu nedenlerle, kırık risk değerlendirme algoritmaları, klinik risk faktörleri ile KMY'yi birleştirir. FRAX (Kırık Riski Değerlendirme Aracı) gibi araçlar, bu klinik faktörleri kullanarak mutlak kırık riskini tahmin etmek için geliştirilmiştir. Bu araç, belirli bir popülasyonun kırık insidans oranlarına doğrudan kalibre edilebilir ve ölüm riskini öngörebilir (10).

2.2. Osteoporotik Kırıklar

Dünya genelinde yaşlanan nüfus ile osteoporotik kırıkların görülme sıklığı her geçen gün artmaktadır. Osteoporoz dünya genelinde yılda 8.9 milyondan fazla kırığa neden olmakta ve her 3 saniyede bir osteoporotik kırık meydana gelmektedir (18). Bu nedenle osteoporotik kırıkların önlenmesi ve oluştuğunda ise yönetimi sağlık hizmeti sunucuları için önemli hale gelmiştir (12).

2.2.1. Osteoporotik kırıkların tanımı ve sınıflandırılması

Osteoporozda kırıklar, düşük enerjili travma sonucu meydana gelen ve kemiklerin normal yük taşıma kapasitesinin azalmasıyla ilişkili olan kırıklar olarak tanımlanır (10). Bu kırıklar genellikle basit bir düşme veya basit bir travma sonucu ortaya çıkar ve genellikle yaşlı bireylerde görülür (13). Osteoporotik kırıklar, en sık görülen kırık türlerinden biri olan vertebral kırıkları, kalça kırıkları, el bileği kırıkları ve omuz (proksimal humerus) kırıklarını içerir (15). Osteoporozda kırıkların sınıflandırılması, kırığın yeri, tipi (örneğin, kompresyon kırığı, transvers kırık) ve kırığın stabilitesi gibi faktörlere dayanır (12). Bu sınıflandırma, tedavi planının belirlenmesinde ve prognozun değerlendirilmesinde önemli bir rol oynar (13).

- **Vertebral Kırıklar:** Omurganın kompresyonu sonucu meydana gelir ve sıklıkla ani ve şiddetli sırt ağrısı ile karakterizedir. Kompresyon kırıkları, kifoz gibi deformitelere ve boy kısalmasına neden olabilir (12). Vertebral kırıklar genellikle fark edilmeyebilir ve ilerleyen dönemde kronik ağrı ve hareket kısıtlılığına yol açabilir (17).
- **Kalça Kırıkları:** Bu kırık tipinde sıklıkla femur boynu veya intertrokanterik bölge kırılır. Özellikle yaşlılarda ciddi morbidite ve mortalite ile ilişkilidir (19). Bu tür kırıklar genellikle düşme sonucu meydana gelir ve hastaların büyük çoğunluğu cerrahi müdahale gerektirir (11). Kalça kırıkları, uzun süreli sakatlık ve bağımlılığa neden olabilir (16).
- **El Bileği Kırıkları:** Özellikle distal radius kırıkları, düşme sırasında elin ön kol ile yere temas etmesi sonucu meydana gelir (14). Bu kırıklar, özellikle postmenopozal kadınlarda yaygındır ve genellikle düşük enerjili travmalarla ilişkilidir (13).

- **Omuz (proksimal humerus) Kırıkları:** Düşme veya doğrudan darbe sonucu meydana gelir ve genellikle yaşlılarda görülür (10). Bu kırıklar, omuz hareketliliğinde ve fonksiyonunda önemli kısıtlamalara neden olabilir (17).

2.2.2. Osteoporotik kırıkların epidemiyolojisi

Osteoporozun en ciddi sonucu kemik kırıklarıdır. Osteoporotik kırıklar, özellikle yaşlı popülasyonlarda yaygındır. ABD'de her yıl tahmini 1.5 milyon kişi osteoporoza bağlı kırık geçirirken, Birleşik Krallık'ta ise 50 yaş üzeri kadınların yarısı ve erkeklerin beşte birinin yaşamları boyunca bir osteoporotik kırık geçireceği tahmin edilmektedir (12, 18). Kadınlarda 55 yaşından sonra, erkeklerde ise 65 yaşından sonra osteoporotik kırıklar daha sık görülür. Bu kırıklar, kemikle ilişkili morbiditeyi artırır ve sağlık bakım maliyetlerinde önemli bir artışa neden olur. 2010 yılında dünya genelinde tahmini 2.7 milyon kalça kırığı meydana gelmiştir ve bunların yaklaşık yarısının osteoporozun önlenmesiyle potansiyel olarak engellenebileceği hesaplanmıştır (10). Bu kırıklar genellikle kalça, omurga ve önkol gibi bölgelerde sık olarak görülmektedir ve bu bölgelerdeki kırıkların insidansı yaşla birlikte artmaktadır.

Kalça kırıkları özellikle morbidite ve mortalite açısından en ciddi olanlardır. 50 yaş üstü erkeklerde yaklaşık %8, kadınlarda ise %3 oranında hastane yatışı sonrası ölümle sonuçlanmaktadır. Vertebral kırıklar, sıklıkla Kuzey Amerika ve Asya'da en yüksek prevalansa sahiptir (10). Vertebral kırıkların prevalansı, Avrupa genelinde 50-79 yaş arası erkeklerde %12.2, kadınlarda %12.0 olarak tahmin edilmektedir. Bu kırıklar genellikle semptomatik değildir ve bu nedenle tanısı gecikmektedir. Fakat iskelet kırılabilirliğini göstermesi açısından ve kalça kırığı da dahil olmak üzere diğer kırık risklerini artırması açısından önemli kırıklardır (10). Ayrıca, bu kırıklar yaşam kalitesinde ciddi bir kayba neden olurlar. Distal önkol kırıkları yaşla birlikte artış gösterir ve kadınlarda erkeklerden daha yaygındır. Bu kırıklar, diğer kırık türlerine kıyasla daha az mortalite ve morbidite ile ilişkilidir (12).

Kırık insidansı coğrafya, etnik köken ve sosyoekonomik duruma göre büyük farklılıklar gösterir. Örneğin, İskandinav ülkeleri en yüksek vertebral kırık oranlarına sahipken, bu oranlar Avrupa'nın güney bölgelerinde daha düşüktür. Bu farklılıkların bazıları vücut kütle indeksi (BMI) ve fiziksel aktivite seviyelerindeki farklılıklarla açıklanabilir.

Kalça kırığı insidansı ise Avrupa'da yaklaşık 11 kat değişiklik göstermektedir ve bu durum, aktivite seviyeleri, sigara içme, obezite veya alkol tüketimi gibi faktörlerle tam olarak açıklanamamaktadır (12).

2.2.3. Osteoporotik kırıkların risk faktörleri

Osteoporotik kırıkların risk faktörleri, birçok genetik, çevresel ve yaşam tarzı etkeninin etkileşiminden kaynaklanır (10, 17). Bu risk faktörlerinin anlaşılması, kırıkların önlenmesi ve yönetimi için kritik öneme sahiptir (19).

- **Yaş:** Osteoporotik kırıklar için en önemli risk faktörlerinden biridir; yaş ilerledikçe kemik mineral yoğunluğu azalır ve kırılabilirlik artar (15). Kadınlar, özellikle postmenopozal dönemde östrojen seviyelerinin düşmesi nedeniyle osteoporotik kırıklar için daha yüksek risk altındadır (12).
- **Genetik yatkınlık:** Önemli bir faktördür; ailede osteoporoz veya osteoporotik kırık öyküsü olan bireylerin bu tür kırıklara yakalanma olasılığı daha yüksektir (11).
- **Beslenme alışkanlıkları:** Osteoporotik kırık riskini etkileyen önemli bir diğer faktördür. Yetersiz kalsiyum ve D vitamini alımı, kemik sağlığını olumsuz etkiler ve kırık riskini artırır (13).
- **Fiziksel aktivite eksikliği:** Kas gücünün azalmasına ve denge problemlerine yol açarak düşme ve kırık riskini artırır (17).
- **Sigara ve aşırı alkol kullanımı:** Kemik yoğunluğunu azaltır ve kırık riskini artırır (19).
- **Kronik hastalıklar ve ilaç kullanımı:** Romatoid artrit, kronik böbrek hastalığı ve bazı kanser türleri, kemik metabolizmasını olumsuz etkileyerek kırık riskini yükseltir (14). Ayrıca, uzun süreli kortikosteroid kullanımı, kemik rezorpsiyonunu artırarak ve kemik yapısını azaltarak kırık riskini artırır (16).
- **Hormonal bozukluklar:** Osteoporotik kırık riskini etkileyen önemli faktörlerdendir. Östrojen eksikliği, menopoz sonrası kadınlarda kırık riskini önemli ölçüde artırır (12). Hipertiroidi ve hiperparatiroidi gibi hormonal bozukluklar da kemik metabolizmasını etkileyerek kırık riskini artırır (10).
- **Düşme riski:** Yaşlanma, kas zayıflığı ve denge problemleri gibi faktörlerle artar ve osteoporotik kırıklara yol açar (13).

2.2.4. Osteoporotik kırıkların tanı ve tedavisi

Osteoporotik kırıkların tanısı ve tedavisi, hastalığın yönetiminde kritik öneme sahiptir ve doğru yaklaşımlar ile hastaların yaşam kalitesi önemli ölçüde iyileştirilebilir (10). Tanı sürecinde, klinik değerlendirme ve radyografik görüntüleme yöntemleri kullanılır. DEXA taramaları, kemik mineral yoğunluğunu ölçerek osteoporozun varlığını ve kırık riskini belirlemede temel araçlardan biridir (15). Osteoporoz tanısında bilgisayarlı tomografinin (BT) rolü, KMY ve kemik mineral içeriğinin (KMI) değerlendirilmesi açısından son yıllarda giderek popülerleşmektedir. BT, kemik kalitesini değerlendirmek için yüksek çözünürlüklü görüntüler sağlayarak, kemik dokusunun mikro yapısını inceleme olanağı sunar (20). Özellikle klinik uygulamalarda kullanılan kantitatif bilgisayarlı tomografi (qBT), osteoporoz tanısında etkili bir yöntem olarak kabul edilmektedir (9). qBT osteoporotik kırık riskinin belirlenmesinde önemli olan KMY'yi ölçmek için kullanılabilir (8). Araştırmalar, qBT ile ölçülen KMY'nin, kemiklerin mekanik özellikleri ve implant stabilitesi ile güçlü bir şekilde ilişkili olduğunu göstermektedir (21). Ayrıca, BT kullanılarak elde edilen yüksek çözünürlüklü görüntüler, KMI değerlendirilmesinde de kullanılabilir, bu da osteoporozun daha hassas bir şekilde tanımlanmasına yardımcı olur (20). Bu yöntem, klinik olarak mevcut en iyi tahmin edici parametrelerden biri olarak kabul edilmekte ve her geçen gün preoperatif planlamadaki önemi artmaktadır (9). Ayrıca, kırığın yerini, tipini ve ciddiyetini belirlemek için direkt grafler, bilgisayarlı tomografi (BT) ve manyetik rezonans görüntüleme (MRG) gibi ileri görüntüleme teknikleri de kullanılmaktadır (13). Osteoporotik kırıklarda BT ile değerlendirme, hem kırığın detaylı görüntülenmesine olanak sağlaması hem de eş zamanlı olarak kemik kalitesi hakkında bilgi vermesi nedeni ile daha avantajlıdır.

Osteoporotik kemik, sağlıklı kemik ile aynı biyomekanik özelliklere sahip değildir ve bu durum tedavi başarısını doğrudan etkilemektedir. Osteoporotik kemiğin biyomekanik özelliklerinin anlaşılması, kırıkların patofizyolojisini anlamak ve osteoporotik kırıklara özgü cerrahi teknik ve yöntemlerin geliştirilmesi açısından önemlidir. Osteoporotik kemik, düşük kemik yoğunluğu ve zayıf mikro yapı nedeniyle normal kemiklere göre daha az yük taşıma kapasitesine sahiptir (22). Osteoporotik kemiklerde, kemik matriksinin mineralizasyonundaki azalma ve kemik dokusundaki mikro çatlaklar, kemiklerin daha kolay kırılmasına neden olur (13). Kemik elastikiyetinin azalması ve kırılma direncinin düşmesi basit, düşük enerjili yaralanmalarla kırık gelişmesine neden olur (15).

Osteoporotik omurga kırıkları, vertebral cisimlerin çökmesi ile karakterize edilir ve bu çökme, vertebral kolonda deformasyona ve omurganın biyomekanik dengesinde bozulmalara neden olur (23). Bu tür kırıklarda, vertebral cisimlerin anterior yük taşıma kapasiteleri azalır, bu da omurga stabilitesinin bozulmasına yol açar (22). Kalça kırıkları ise genellikle femur boynunda veya intertrokanterik bölgede meydana gelir ve bu kırıklar, kemik dokusunun zayıflaması nedeniyle yük taşıma kapasitesinin azalması ile ilişkilidir (13).

Osteoporotik kırıkların tedavisi, kırığın biyomekanik özelliklerine göre şekillendirilir ve kırığın yeri ve ciddiyetine bağlı olarak çeşitli yöntemler içerir. Özellikle omurga, kalça ve diğer kırıklarda farklı yaklaşımlar gerektirir (17).

Omurga kırıkları için cerrahi tedavi seçenekleri arasında vertebroplasti ve kifoplasti gibi minimal invaziv prosedürler yer alır (11). Vertebroplasti, çökme kırığı olan omurga kemiklerine çimento enjekte edilerek yapılır ve ağrıyı hafifletir, omurganın stabilitesini artırır (14). Kifoplastide ise, omurganın çöken kısmını yeniden düzeltmek ve stabilize etmek için balon kateteri kullanır ve ardından çimento ile doldurularak stabilite sağlanır (16). Bu minimal invaziv prosedürler, hastaların hızlı bir şekilde iyileşmesini sağlar ve ağrı yönetiminde etkili olur (12).

Kalça kırıkları, osteoporotik kırıklar arasındaki en ciddi kırıklardan biridir ve genellikle cerrahi müdahale gerektirir (10). Kalça kırıklarında kullanılan cerrahi yöntemler arasında total kalça protezi, parsiyel kalça protezi ve internal fiksasyon yer alır (19). Total kalça protezi ve parsiyel kalça protezi, özellikle femur başı ve boynu kırıklarında tercih edilen bir yöntemdir ve hastaların mobilizasyonunu hızlandırarak iyileşme sürecini kısaltır (13). Internal fiksasyon, vidalar, plakalar ve intramedüller çiviler kullanılarak kırık kemiklerin stabilizasyonunu sağlar ve kemiklerin doğru pozisyonda kaynamasını destekler (15).

Diğer osteoporotik kırıklar arasında el bileği, omuz (proksimal humerus) ve pelvis kırıkları bulunur ve bu kırıkların cerrahi tedavisi, kırığın yeri ve şiddetine göre değişir (10). El bileği kırıklarında, özellikle distal radius kırıklarında, internal fiksasyon plaklar ve vidalar kullanılarak kemiklerin doğru pozisyonda kaynamasını sağlar (13). Omuz kırıklarında, özellikle proksimal humerus kırıklarında, kırık kemik parçalarını stabilize etmek için plaklar

ve vidalar kullanılır ve bazı durumlarda omuz protezi gerekebilir (17). Pelvis kırıkları ise genellikle daha karmaşıktır ve stabilizasyon için cerrahi fiksasyon gerekebilir (19).

Cerrahi tedavi, hastaların fonksiyonel kapasitelerini artırmak ve yaşam kalitelerini iyileştirmek amacıyla rehabilitasyon programları ile desteklenmelidir (13). Rehabilitasyon, cerrahi sonrası dönemde mobilizasyonun artırılmasını, kas gücünün yeniden kazanılmasını ve düşme riskinin azaltılmasını hedefler (17). Ayrıca, cerrahi müdahale sonrası ağrı yönetimi ve komplikasyonların önlenmesinde de büyük önem taşır (11).

2.3. Osteoporotik Proksimal Humerus Kırıkları

2.3.1. Osteoporotik proksimal humerus kırıklarının özellikleri

Osteoporotik proksimal humerus kırıkları, yaşlılarda femur ve distal radius kırıklarından sonra en sık görülen üçüncü kırıktır (4). Osteoporotik proksimal humerus kırıkları, yaşlı popülasyonda sıkça görülen ve düşük enerjili travmalar sonucunda meydana gelen kırıklardır. Bu tür kırıkların en belirgin özellikleri arasında düşük KMY, çok parçalı kırık paternleri ve anatomik redüksiyonun sağlanmasındaki zorluklar yer almaktadır (24). Osteoporotik kemiklerin biyomekanik özellikleri, implantın kemikle yeterli düzeyde tutunamamasına ve cerrahi tedavi sonrası yüksek komplikasyon oranlarına neden olur (25). Bu kırıklar genellikle medial kortikal desteğin yetersizliği ile karakterizedir, bu da implant başarısızlığı riskini artırır (26). Ayrıca, yaşlı hastalarda görülen bu kırıklar, kemik kalitesinin düşüklüğü ve kırığın çok parçalı yapısı nedeniyle cerrahi müdahaleyi daha karmaşık hale getirir (27). Proksimal humerus kırıkları, omuz çevresindeki anatomik yapılar ve fonksiyonel hareket aralığının korunması açısından da büyük önem taşır, bu nedenle optimal cerrahi tekniklerin ve postoperatif bakımın titizlikle uygulanması gerekmektedir (28).

2.3.2. Osteoporotik proksimal humerus kırıklarının tanı ve tedavisi

Osteoporotik proksimal humerus kırıklarının tanısı ve tedavisi, yaşlı popülasyonda sık görülen ve düşük enerjili travmalar sonucu meydana gelen bu kırıkların özel gereksinimlerine göre yapılır. Tanı sürecinde, hastanın tıbbi geçmişi ve fiziksel muayenesine ek olarak, direkt grafler ve BT gibi görüntüleme teknikleri kullanılır. BT, özellikle kırığın ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmesinde ve KMY'nin belirlenmesinde önemli bir rol oynar

(24). Düşük KMY seviyeleri, osteoporotik kemiklerin kırılabilirliğini gösterir ve cerrahi müdahale sonrası komplikasyon riskini artırır (26).

Tedavi seçenekleri, kırığın ciddiyetine ve hastanın genel sağlık durumuna bağlı olarak değişmektedir. Konservatif tedavi yöntemleri, minimal deplase olmuş kırıklar için genellikle yeterlidir ve immobilizasyon, ağrı yönetimi ve fizik tedavi ile iyileşme süreci desteklenir (28). Ancak, ciddi deplase olmuş kırıklar cerrahi müdahale gerektirebilir. Cerrahi tedavide, anatomik redüksiyonun sağlanması ve medial kortikal desteğin yeniden yapılandırılması esastır (27). Plak-vida sistemleri ve gerektiğinde artroplasti yöntemleri kullanılarak kırığın tedavi edilmesi hedeflenir (24). Cerrahi sonrası rehabilitasyon, immobilizasyonun ardından kademeli olarak aktif ve pasif hareketlerle devam eder ve bu süreçte hastanın kemik sağlığı ve iyileşme durumu yakından izlenir (25).

2.3.3. Osteoporotik proksimal humerus kırıklarının cerrahi tedavisi sonrasında görülen komplikasyonlar

Osteoporotik proksimal humerus kırıklarının cerrahi tedavisi sonrasında görülen komplikasyonlar, KMY düşüklüğü ve kırıkların tipi ile yakından ilişkilidir. KMY'nin düşük olması osteoporotik kemiklerde vida ve plak gibi cerrahi implantların yeterli tutunmasını zorlaştırır ve bu durum cerrahi tedavi sonrası komplikasyon riskini artırır (2). En yaygın komplikasyonlar arasında implant başarısızlığı (vida geri gelmesi, plak yer değiştirmesi), kaynamama (nonunion), yanlış kaynama (malunion), enfeksiyon ve omuz hareket kısıtlılığı bulunmaktadır (24, 25).

Cerrahi tedavi sonrası vida geri gelmesi, osteoporotik kemiklerin zayıflığı nedeniyle sık karşılaşılan bir sorundur (4). Osteoporozlu kemiklerde vida tutunma gücünün düşük olması, vidaların zamanla gevşemesine ve yerlerinden çıkmasına neden olabilmektedir (29). Bu durum, kırığın stabilize edilmesini zorlaştırır ve tekrarlayan cerrahi girişimlerin yapılmasına neden olur (30). Ayrıca, osteoporozlu hastalarda plak-vida fiksasyon sistemlerinin başarısızlığı da yaygın görülen bir komplikasyondur (27). Plakların düşük vida tutunum gücü nedeniyle kemik üzerine yeterince tespit edilememesi, plakların yerinden oynamasına ve bu nedenle kırığın düzgün bir şekilde kaynamamasına yol açabilmektedir (5). Osteoporozlu kemiklerde vida ve plak tutunma gücünün azalması, cerrahi tedavi sonrası başarı oranını düşürür ve komplikasyon riskini artırır (28).

Osteoporozun bir diğer önemli etkisi, cerrahi tedavi sonrası kaynama problemlerinin artırmasıdır (31). Osteoporotik kemiklerde kan dolaşımı ve beslenme yetersizliği nedeniyle kırık iyileşme süreci yavaşlar ve bu durum malunion veya nonunion gibi komplikasyonlara yol açar (32). Malunion, hastanın fonksiyonel kapasitesini ve yaşam kalitesini olumsuz etkiler (1). Nonunion varlığında ise genellikle cerrahi müdahale gerektirir (33). Osteoporotik kemiklerde bu tür komplikasyonların gelişme riski, kemik yapısının zayıf olması ve cerrahi implantların yeterince tutunamaması nedeniyle daha yüksektir (34).

Enfeksiyon gelişimi de osteoporotik hastalarda cerrahi tedavi sonrası önemli bir komplikasyondur (6). Osteoporozlu kemiklerin zayıf kan dolaşımı, enfeksiyon riskini artırır çünkü yeterli kan akışı, enfeksiyonlarla mücadelede önemli bir role sahiptir (7). Cerrahi müdahale sırasında osteoporotik kemiklerin kırılma yapısı nedeniyle daha fazla travma oluşabilir, cerrahi süre uzayabilir ve bu durum da enfeksiyon riskini artırır (35). Enfeksiyon gelişmesi, cerrahi tedavi sürecini karmaşılaştırır ve iyileşme süresini uzatır (2).

Osteoporozun cerrahi tedavi sonrası komplikasyonlar üzerindeki etkilerini azaltmak için çeşitli önlemler alınabilir (25). Preoperatif dönemde kemik mineral yoğunluğunun değerlendirilmesi ve osteoporozun tedavi edilmesi, cerrahi tedavi başarısını artırabilir (24). Vitamin D ve kalsiyum takviyeleri, kemik mineral yoğunluğunu artırarak cerrahi sonrası komplikasyon riskini azaltabilir (4). Ayrıca, bifosfonatlar gibi osteoporoz tedavisinde kullanılan ilaçlar, kemik rezorpsiyonunu azaltarak kemik yoğunluğunu artırabilir ve cerrahi implantların daha iyi tutunmasını sağlayabilir (15).

2.3.4. Osteoporotik proksimal humerus kırıklarında osteoporoz derecesinin değerlendirilmesi

Proksimal humerus kırığı geçiren hastalarda osteoporoz varlığında kemik kalitesinin düşük olması ve çok parçalı kırıkların oluşması gelişen cerrahi tekniklere ve implant teknolojilerine rağmen cerrahları zorlamaktadır. Osteoporozla ilgili olarak cerrahi sonrasında ortaya çıkan komplikasyonlar tekrarlayan cerrahi girişimlere neden olmakta ve zaten fizyolojik kapasitesi kısıtlı olan yaşlı hasta popülasyonunda mortalite ve morbiditeyi arttırmaktadır (1). Bunun sonucunda her ne kadar halen altın standart cerrahi yöntem plak-vida ile tespit olsa da son yapılan çalışmalarda cerrahların daha az komplikasyon ve artmış hasta memnuniyeti nedeniyle kırık tedavisinde artroplastiye yönlendiğini göstermektedir

(2). Plak-vida ile tespitin başarısını belirleyen en önemli faktörün osteoporoz varlığı olduğu göz önüne alındığında, proksimal humerus kırıkları öncesinde kemik mineral yoğunluğunun basit, etkin ve hızlı bir şekilde değerlendirilmesi son yıllarda giderek önem kazanan bir konudur.

2.3.4.1. DEXA ile değerlendirme

Proksimal humerusun KMY'sinin DEXA ile ölçülmesi, kemik yoğunluğunu belirlemek için yaygın ve güvenilir bir yöntem olarak kabul edilmektedir. DXA, kemik mineral yoğunluğunu değerlendirirken düşük ve yüksek enerjili X-ışınları kullanarak kemiğin mineral içeriğini ölçer (7). Bu yöntem, diğer ölçüm tekniklerine kıyasla daha az invazivdir, görece kolay ulaşılır, düşük maliyetli, hızlı, basit, etkili bir yöntem olmasının yanı sıra düşük radyasyon içerdiği için hastayı korumaktadır (3, 6). DXA, özellikle omurga ve kalça bölgelerindeki osteoporozun tespiti için altın standart olarak kabul edilirken, proksimal humerusun KMY'sini ölçmek için de güvenilir bir araç olduğu literatürdeki çalışmalarla desteklenmiştir (30). Buna rağmen, DEXA'nın proksimal humerus üzerindeki uygulamaları, bu bölgedeki kemik yapısının karmaşıklığı ve diğer anatomik bölgelerle örtüşen yapılar nedeniyle bazı zorluklar içermektedir (7). Proksimal humerusun KMY'sinin DEXA ile ölçümünde, humerus başı gibi belirli bölgelerdeki kemik yoğunluğunun ölçülmesi, bölgenin küçük ve karmaşık yapısı nedeniyle daha dikkatli yapılmalıdır (33). Bu bölgelerdeki ölçümler, genellikle daha büyük ve daha homojen yapılar olan omurga ve kalça ölçümleri kadar kesin olmayabilmektedir (36). Dahası proksimal humerus için vertebra ve proksimal femurda olduğu gibi ölçülen KMY değerlerinin karşılaştırılabileceği cinsiyet, yaş, ırk açısından referans popülasyon taramaları yoktur. Bununla birlikte, DEXA ile yapılan KMY ölçümleri, proksimal humerus kırıkları olan hastalarda cerrahi müdahaleler öncesinde kemik kalitesini değerlendirmek için önemli bilgiler sağlasa da acil şartlarda DEXA ölçümü yapmak hem ulaşılabilirlik hem de hasta konforu açısından mümkün gözükmemektedir (5).

2.3.4.2. BT ile değerlendirme

Proksimal humerusun KMY'sinin bilgisayarlı tomografi (BT) ile ölçülmesi, kemik yapısını üç boyutlu olarak değerlendiren ve yüksek doğruluk sağlayan bir yöntem olarak öne çıkmaktadır (7). BT, yüksek çözünürlüklü kesit görüntüleri ile kemiğin trabeküler ve kortikal yapılarını ayrıntılı bir şekilde görüntülemeyi sağlar ve bu nedenle KMY ölçümlerinin daha hassas bir şekilde yapılmasına olanak sağlar (30). Bu yöntemde, özellikle periferik kantitatif

bilgisayarlı tomografi (pQCT) kullanılarak, proksimal humerusun farklı bölgelerindeki mineral yoğunluğu ölçülebilir (6).

BT'nin kullanımı, proksimal humerusun kortikal kalınlığını ve trabeküler yapısını ayrı ayrı değerlendirme avantajı sunar, bu da kırık riski değerlendirmesinde ve cerrahi planlamada kritik öneme sahiptir (20). Örneğin, BT ile elde edilen veriler, kortikal kalınlık ve kemik yoğunluğunun humerusun farklı bölgelerinde nasıl değiştiğini göstererek, kırık hatlarının tahmin edilmesine yardımcı olabilir (7). Bu doğruluk ve ayrıntılı görüntüleme yeteneği, BT'nin kemik yoğunluğu değerlendirmelerinde güvenilirliğini artırır (33). Ancak, BT'nin radyasyon dozu, DEXA'ya göre daha yüksektir ve bu durum, özellikle tekrarlayan ölçümler gerektiğinde dikkate alınması gereken bir faktördür (5). Buna rağmen, BT'nin sağladığı ayrıntılı kemik yapısı bilgisi, özellikle cerrahi öncesinde parçalı kırıkların ve bu sırada osteoporotik değişikliklerin değerlendirilmesinde önemli avantajlar sunar (36). Buna bağlı olarak son yıllarda BT ile KMY ölçümü klinik uygulamalarda değerli bir araç haline gelmiştir (21). Örneğin, son yıllarda BT ile yapılan çalışmalar, proksimal humerus kırıkları olan hastalarda kortikal kalınlık ve trabeküler yoğunluk ölçümlerinin cerrahi sonuçlar ve kırık iyileşmesi üzerindeki etkilerini incelemiştir (9).

2.3.4.3. Kortikal kalınlık, oran ve indeksler

Ortopedi pratiğinde ilk ve sıklıkla istenilen direkt radyografi üzerine yapılan çalışmalara göre, radyografik kemik kortikal kalınlık ölçümleri ve bu ölçümlerden elde edilen oranlar ve indeksler ile DEXA sonuçları arasında gözlemciler arası mükemmel güvenilirlik ve yüksek oranda korelasyon mevcut olduğu bildirilmiştir (6, 7). Tingart ve ark. kadavra üzerinde yaptığı çalışmadan sonra birçok farklı kortikal ölçüm yöntemi ve bu ölçümlerden elde edilen oran ve indeksler tanımlanmış ve bunların KMY ve cerrahi sonrası komplikasyon riskini belirlemekte önemli rol oynayabileceği bildirilmiştir. Proksimal humerusta kullanılan kortikal kalınlık ölçümleri ve oranlar ile indeksler şöyledir:

- **Kombine Kortikal Kalınlık:** Proksimal humerusta medial ve lateral kortekslerin endosteal sınırlarının birbirine paralel olduğu en proksimal noktada ve bu noktanın 20 mm distalinde medial ve lateral kortikal kalınlık ölçülür ve elde edilen değerlerin ortalamasını alınarak hesaplanır (7).

- **Kortikal İndeks:** Humerus cerrahi boyun ve takiben 2, 5, ve 7 cm distalinden kortikal kalınlıklar ölçülür, her seviyedeki medial ve lateral kortikal kalınlıkları toplayıp dış çapa oranlayarak kortikal indeks elde edilir (5).
- **Alansal Kortikal İndeks:** Kombine kortikal kalınlık ölçüm noktalarını içine alacak şekilde kortikal alanın toplam kesit alanına oranı ile hesaplanır (36).
- **Lineer Kortikal İndeks:** Kortikal indeks ölçüm noktalarından olan distal 5. Cm seviyesinde dış çaptan iç çapın çıkartılması sonrasında dış çapa oranlanması ile elde edilir (36).
- **Kanal-Kalkar Oranı:** Kortikal indeks ölçüm noktalarından olan distal 2. Cm ve 7. Cm'den ölçülen iç çapın kortikal kalınlığa oranlanması ile elde edilir (36).
- **Medial Kortikal Oran:** Cerrahi boyunun 2 cm distalinde medial kortikal kalınlığının dış çapa bölünmesi ile elde edilir (36).
- **Deltoid Tüberosite İndeksi:** Deltoid tüberosite seviyesinde kortikal endosteal sınırların birbirine paralel olduğu, deltoid tüberositenin en proksimal noktasındaki dış çapın, iç çapa oranı ile elde edilir (6).

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışmaya, Başkent Üniversitesi Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu 02.11.2023 tarih ve KA23/303 numaralı onayı alındıktan sonra başlanmıştır. Katılımcılar; çalışmanın amacı, yöntemi, olası riskler ve faydalar hakkında ayrıntılı olarak bilgilendirilmiş ve her katılımcıdan “Bilgilendirilmiş Gönüllü Olur Formu” alınmıştır. Araştırma, 1964 yılında kabul edilen ve 2013 yılında revize edilen Helsinki Deklarasyonunun 7. versiyonu ile ilgili ulusal ve uluslararası etik kılavuzlara uygun olarak yürütülmüştür.

3.1. Çalışma Popülasyonu

Bu çalışma, 21 Kasım 2023 -25 Mart 2024 tarihleri arasında Başkent Üniversitesi Tıp Fakültesi Ankara Hastanesi Ortopedi ve Travmatoloji kliniğinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmaya başlamadan önce yapılan G*Power 3.1.9.4 programı kullanılarak yapılan güç analizi yapılmıştır. Çalışmaya dâhil edilecek minimum katılımcı sayısı, “Pearson Korelasyon Testi” için etki genişliği =0.286 olmak üzere %80 test gücünü %95 güven düzeyinde sağlayacak 93 katılımcı olarak belirlenmiştir (37). Bu sayının diğer analizler için gereken örnek genişliklerini de kapsadığı tespit edilmiştir.

Kliniğimize herhangi bir nedenle başvuran ve osteoporoz değerlendirmesi için kemik mineral yoğunluğu (KMY) istemi yapılan 65-80 yaş arasındaki gönüllü katılımcılar çalışmaya dâhil edildi. Çalışmaya katılmak isteyen 120 katılımcı bilgilendirilerek, yapılacak tüm işlemler detaylı şekilde anlatıldı. Katılımcılar “Bilgilendirilmiş Gönüllü Olur Formu” okuduktan sonra onayları alındı. Çalışmaya 65-80 yaş aralığında omuz bölgesinde herhangi bir operasyon geçirmeyen, omuzda daha önceden bilinen herhangi bir kırık öyküsü olmayan, omuz bölgesinde herhangi bir tümör hastalığı olmayan ve omuz bölgesinde aktif bir şikâyeti olmayan katılımcılar dâhil edildi. Omuzda aktif şikâyeti olan, daha önceden geçirilmiş ameliyatı olan, omuzda geçirilmiş kırık öyküsü olan, tetkiklerin bir kısmına katılım göstermeyen, tetkikler uygulanırken uyum göstermeyen 20 katılımcı çalışmadan çıkarıldı. Çalışmaya dahil edilen katılımcıların; cinsiyet, yaş, boy(cm), vücut ağırlığı(kg), vücut kitle indeksi(kg/m²), menopoz yaşı, komorbidite, kemik erimesi ilacı kullanım durumu (ilaç ismi ve kullanım süresi), geçirilmiş kırık öyküsü, ebeveynlerinde kalça kırığı öyküsü, romatoid artrit, sigara ve alkol kullanımı, steroid kullanım öyküsü kayıt altına alındı.

3.2. Radyolojik Analiz

Tüm katılımcıların sırasıyla dominant olan ekstremitesinde kortikal oranları ölçmek için omuz anteroposterior (AP) grafisi, dual enerji bilgisayarlı tomografisi (Dual-BT) ve KMY'yi değerlendirmek için dual enerji x-ray absorbsiyometri'si (DEXA) tetkikleri elde edildi. Elde edilen radyolojik görüntüler "Picture Archiving Communications System" (PACS)'e yüklenerek kayıt altına alındı ve ileri analiz bu program aracılığı ile yapıldı. Tüm radyografik görüntülerin analizi en az 10 yıllık deneyime sahip biri radyoloji diğeri ortopedi ve travmatoloji uzmanı olan iki bağımsız gözlemci tarafından gerçekleştirildi.

3.2.1. Direkt radyolojik değerlendirme

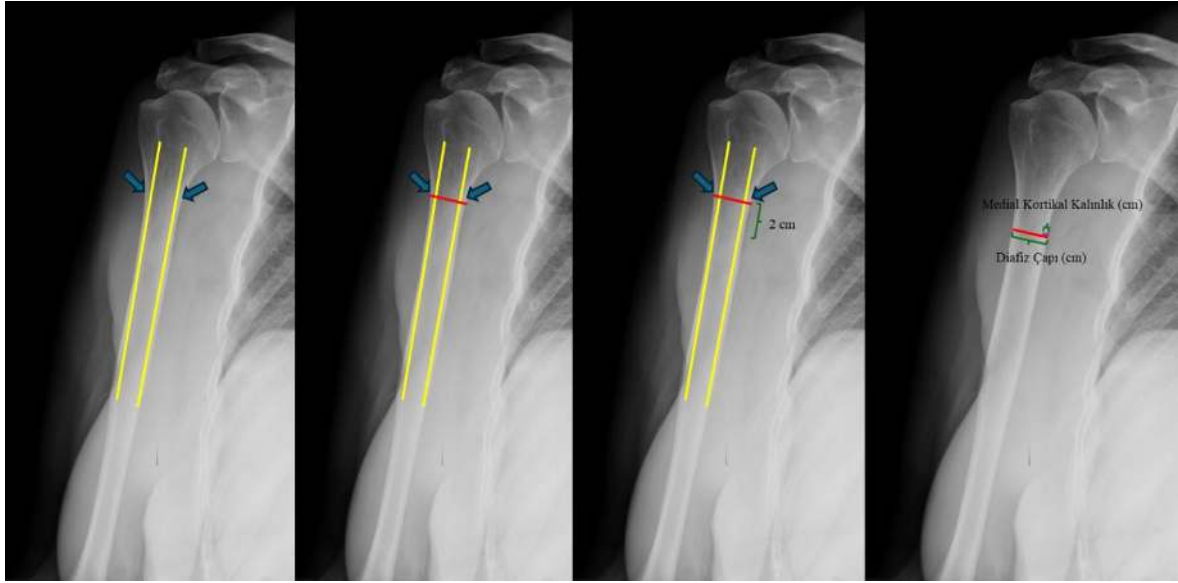
Direkt radyografik değerlendirmede, katılımcıların AP omuz grafileri elde edildi. Grafilerin standardizasyonunun sağlanması ve gerçek AP grafilerinin elde edilmesi için her hastaya göre ayarlanabilen gövde destekli omuz pozisyonlayıcısı üretildi (Şekil 3.1) Elde edilen görüntüler kullanılarak sırasıyla aşağıdaki ölçümler yapıldı:



Şekil 3.1. Menteşe Eklemli Omuz Pozisyonlayıcısı ile Direkt Grafi Çekimi

3.2.1.1. Medial kortikal oran

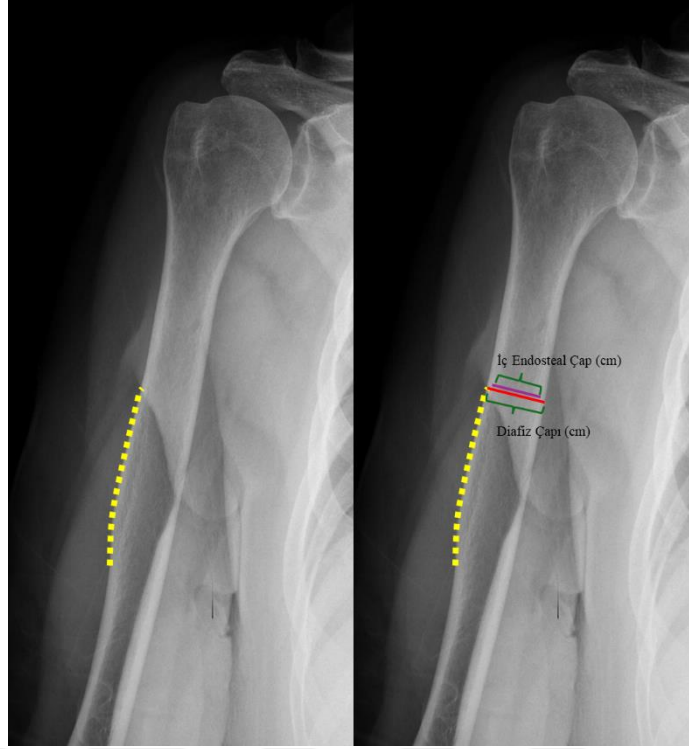
Medial kortikal kalınlık (MKK) ve ilgili seviyedeki diafiz çapı, daha önce literatürde tarif edildiği üzere PACS programının dahili ölçüm aracı kullanılarak hesaplandı (1, 36). Dominant ekstremiteden elde edilen proksimal humerus AP grafisinde medial ve lateral kortekslere paralel 2 çizgi çekildi. Proksimalde kortekslerin birbirine paralelliği kaybettiği nokta belirlendi. Sonrasında bu noktanın 20 mm distalinde diafizin aksına dik olarak çizilen çizgiler aracılığıyla bu seviyedeki medial kortikal kalınlık (mm) ve diafiz çapı (mm) ölçüldü. MKK, diafiz çapına oranlanarak medial kortikal oran (MKO) elde edildi. (Şekil 3.2)



Şekil 3.2. MKO'nun ölçümü

3.2.1.2 Deltoid tüberosite İndeksi

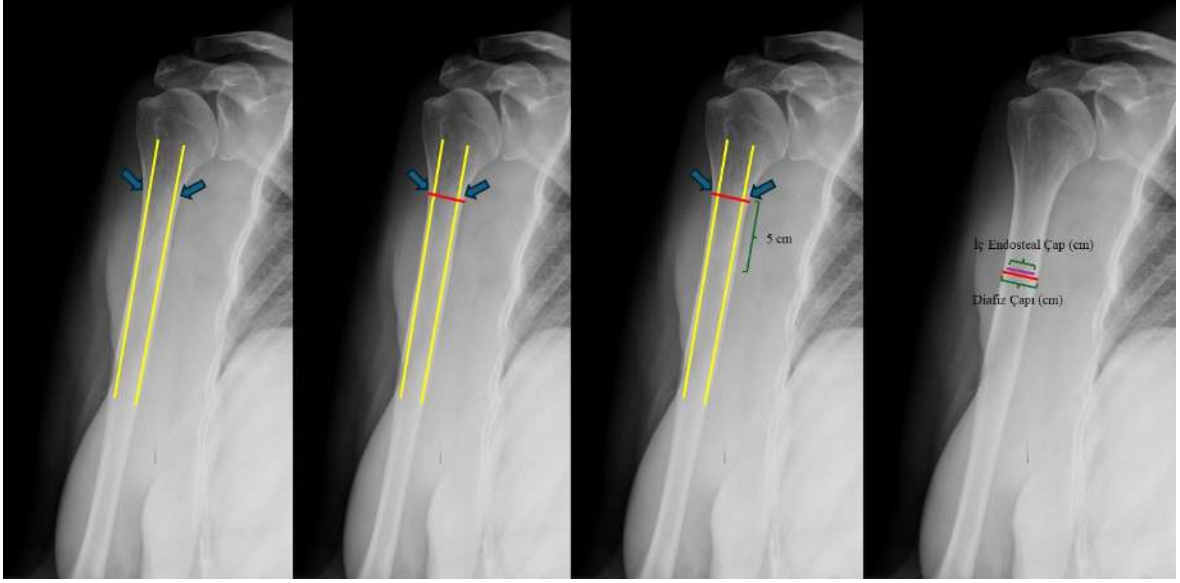
Deltoid Tüberosite İndeksi (DTİ) deltoid tüberosite seviyesinde kortikal endosteal sınırların birbirine paralel olduğu, deltoid tüberositenin en proksimal noktasındaki dış çapın, iç çapa oranı ile elde edilir (6). PACS programının dahili ölçüm aracı kullanılarak bu seviyede dış korteks kalınlığının (mm), iç endosteal çapa (mm) DTİ hesaplanmıştır.(Şekil 3.3)



Şekil 3.3. DTİ'nin ölçümü

3.2.1.3. Lineer kortikal indeks

Dominant ekstremiteden elde edilen proksimal humerus AP grafisinde medial ve lateral kortekslere çekilen iki paralel çizgi aracılığıyla proksimalde kortekslerin birbirine paralelliği kaybettiği nokta belirlendikten sonra bu noktanın 50 mm distalinden yapılan ölçümler ile “Lineer Kortikal İndeks (LKİ)” belirlenmektedir. Diafizin aksına dik olarak çizilen çizgiler aracılığıyla bu seviyedeki iç endosteal çap (mm) ve diafiz çapı (mm) ölçülür (36). Diafiz çapından iç endosteal çap çıkarıldıktan sonra elde edilen ölçüm, diafiz çapına oranlarak LKİ elde edildi.(Şekil 3.4)

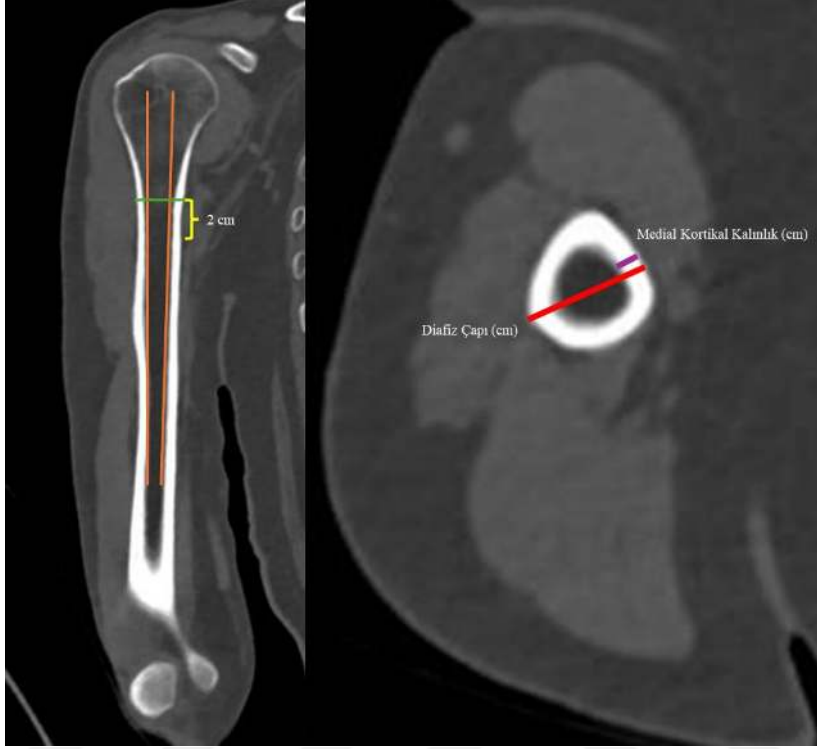


Şekil 3.4. LKİ'nin ölçümü

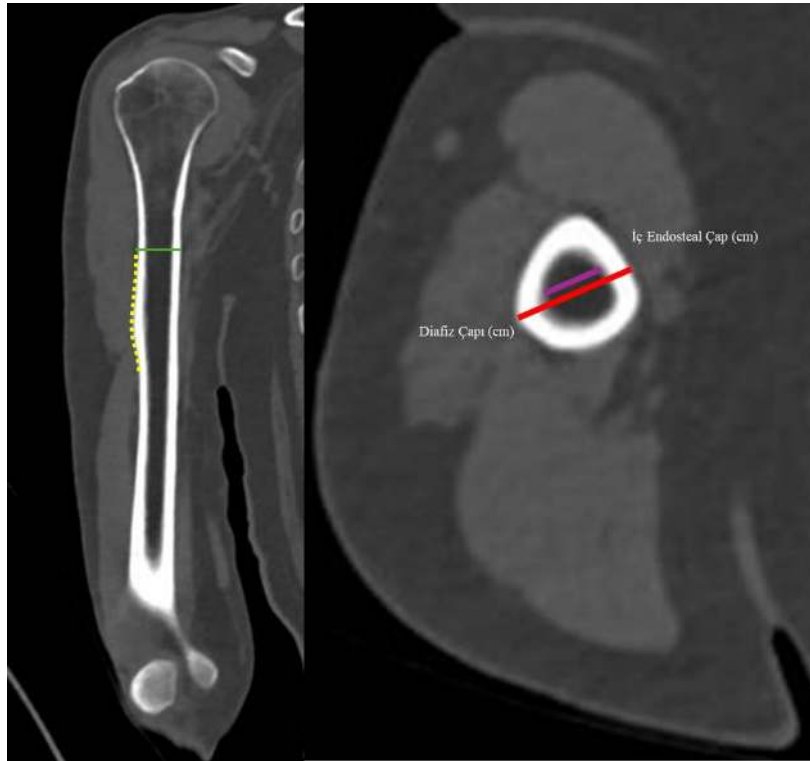
3.2.2. Dual bilgisayarlı tomografi

BT çalışmaları, dual enerji modunda (SOMATOM Force; Siemens Healthineers) üçüncü nesil çift kaynaklı BT sistemi üzerinde gerçekleştirildi. Tüm incelemeler hastalar sırtüstü pozisyonda ve omuz eklemleri nötr pozisyonda iken gerçekleştirilmiştir. Her iki x-ışını tüpü de farklı kilovoltaj ayarlarında çalıştırıldı (tüp A: 90 kVp, 180 mAs; tüp B: Sn150 kVp [0,64 mm kalay filtre], 180 mAs). Görüntü serileri kraniokaudal yönde toplandı. Tüm BT incelemeleri kontrast madde verilmeden yapıldı ve otomatik zayıflatma bazlı tüp akımı modülasyonu (CARE doz 4D; Siemens Healthineers) kullanıldı. Her BT incelemesinde üç görüntü seti elde edildi: tek enerjili 120 kVp görüntülerin kontrast özelliklerine benzemek için 90 kVp, Sn150 kVp ve ağırlıklı ortalama (oran, 0,5:0,5). Hayaletsiz hacimsel BMD değerlendirmesi için görüntü serileri (eksenel, koronal ve sagittal: kesit kalınlığı 1 mm, artış 0,75 mm) özel bir çift enerjili kemik çekirdeği (Br69f) ile yeniden yapılandırıldı. Görüntü serileri otomatik olarak resim arşivleme ve iletişim sistemine (PACS; General Electric Company) aktarıldı. Elde edilen radyolojik görüntülerin transvers kesitinde, direk grafideki ölçüm kullarına uyularak medial kortikal oran, deltoid tüberosite indeksi ve lineer kortikal indeks ölçümleri yapılarak elde edilen veriler kayıt altına alındı (Şekil 3.5, 3.6, 3.7). Kemik iliği ve yağın nicelenmesini sağlamak için, karaciğer VNC yapılandırma dosyası çift enerjili analitik yazılımın (Syngo.via VB10) kemik iliği yapılandırma dosyasına göre değiştirilmiştir. Yumuşak doku için varsayılan değerler 90 ve 150 kVp'de 58, 56–52 ve 51 Hounsfield birimi (HU) olarak revize edilmiştir; yağ ve sarı kemik iliği için varsayılan değerler ise sırasıyla –108 ve –84 HU olarak kalmıştır. İyot eğimi 3.01, kalsiyum eğimi 1.71

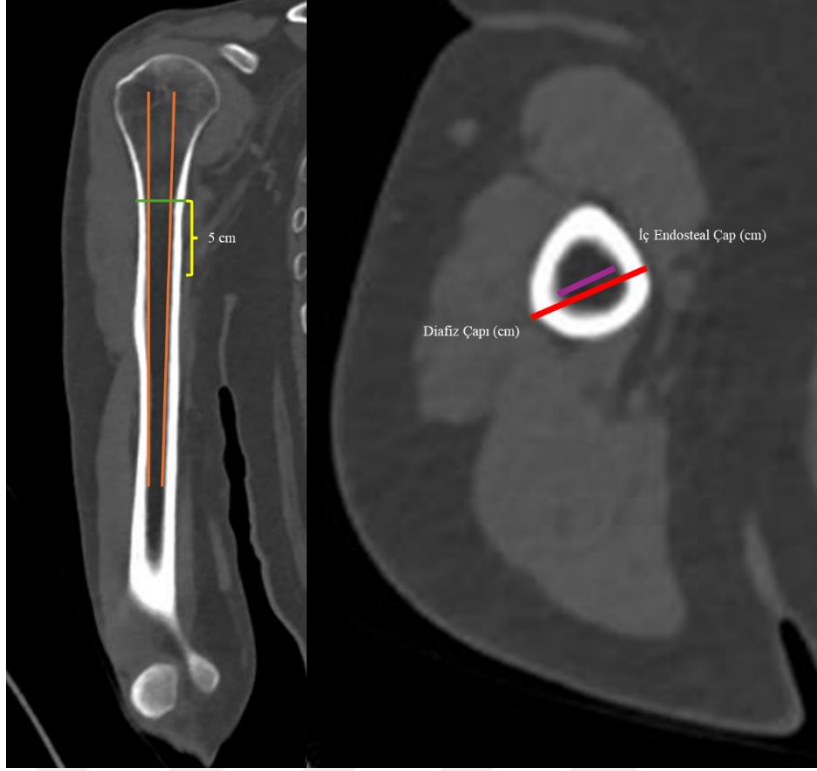
ile değiştirilmiştir. Böylece, karaciğer VNC için kantitatif parametreler ve kontrast ajan yoğunluğu, kalsiyum CT değeri ve kalsiyum yoğunluğu ile değiştirilmiştir.



şekil 3.5. Dual-BT kesitlerinde MKO'nun ölçümü



şekil 3.6. Dual-BT kesitlerinde DTİ'nin lümü



Şekil 3.7. Dual-BT kesitlerinde LKİ'nin ölçümü

3.2.3. Kemik mineral dansitometre ölçümü

Tüm vücut DEXA cihazı kullanılarak (Prodigy C; General Electric Company, Boston, MA, ABD) kalça ve lomber omurganın standart BMD ölçümleri yapıldı. Dominant ekstremitede proksimal humerus BMD' si omuz tarama yazılımı eksik olduğu için femur şablonunu kullanarak tarandı (Şekil 3.8). Bu tarama sırasında femur şablonunun kullanılmasının nedeni humerus anatomisinin omurga veya ön kol yerine femur ile daha benzer olmasıdır. Femur ölçüm yönteminin özel modu olan “Atipik Femur Kırığı” modu kullanılarak tüm humerusu görüntülemek için yeterli tarama alanı uzunluğu sağlanması ve kortikal kalınlığı değerlendirme potansiyelinden faydalanılması hedeflendi. Tüm incelemeler, hastaların sırt üstü pozisyonda muayene masasında yatarken gerçekleştirilmiştir. Proksimal femur görüntüleri elde etmek için alt ekstremiteler nötral pozisyonda tutulmuş, lomber omurga görüntüleri elde etmek için diz 90° bükülmüştür (Şekil 3.9).



Şekil 3.8. DEXA yöntemi ile proksimal humerus KMY ölçümü



Şekil 3.9. DEXA ölçümleri sırasında hastanın pozisyonu

DEXA yöntemi kullanılarak yapılan ölçüm sırasında ölçümün doğru olarak yapılması için gerekli olan pozisyon omuz radyografisinde yaygın olarak kullanılan Grashey (gerçek AP) pozisyonudur. Bu teknik, humeral baş ve glenoid arasında ayırım oluşturduğu için tercih

edilmektedir. Böylece kemik alanlarının süperpozisyonu engellenir ve yanlış ölçümlerin önüne geçilir. Bunun için bu çalışmada, katılımcılar üçgen yastık kullanılarak yan oblik pozisyona getirilmiş ve 45 derecelik bir açı ile görüntü elde edilmiştir. Görüntülenen koldaki el, pozisyonu sabitlemek için bilekten yaklaşık 4 kilogramlık kum torbası yardımı ile işlem süresince sabitlenmiştir (8).

3.3. İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analizler SPSS v25.0 paket programı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada tanımlayıcı istatistik olarak; kategorik değişkenlerin değerlendirilmesinde frekans (n) ve yüzde (%) değerleri kullanılmıştır. Sayısal değişkenlerin normal dağılıma uygunluğu için Shapiro-Wilk normallik testi kullanılmış olup tanımlayıcı istatistik olarak; normal dağılıma uygun değişkenler için ortalama±standart sapma, normal dağılıma uymayanlar için medyan(minimum-maksimum) değerleri verilmiştir. Çalışmada kullanılması planlanan uygun hipotez testi yöntemleri, nicel değişkenler arasındaki ilişki parametrik test varsayımlarının sağlandığı durumda Pearson Korelasyon Testi ile parametrik test varsayımlarının sağlanmadığı durumlarda ise Spearman Korelasyon Testi ile incelenmiştir. Nicel değişkenler bakımından bağımsız iki grup arasında bir fark olup olmadığı parametrik test varsayımlarının sağlandığı durumda “Student t testi”, sağlanmadığı durumda “Mann-Whitney U testi” olarak belirlenmiştir. Kategorik değişkenler arasındaki ilişkinin incelenmesi için gerekli varsayımların sağlandığı koşullarda “Pearson Ki-Kare”, sağlanmadığı durumlarda ise “Freeman-Halton test (Fisher’s Exact test)” kullanılmıştır. Değişkenler arasındaki Tüm hipotez testlerinde I. Tip hata olasılığı $\alpha=0.05$ olarak alınmıştır.

4. BULGULAR

4.1. Demografik Veriler

Çalışmamıza katılan bireylerin demografik veriler Tablo 1’de gösterilmektedir. Katılımcıların %65,05’i kadın (n=67) ve %34,95’i erkek (n=36) olarak belirlenmiştir. Katılımcıların yaş ortalaması 70 (65-82) olarak hesaplanmıştır. Ortalama ağırlık 74,67 kg (52-120 kg) ve ortalama boy 163,35 cm (145-184 cm) olarak tespit edilmiştir. Menopoz yaşı ortalama 49 (35-56) olarak kaydedilmiştir. Katılımcıların %9,71’i (10 kişi) osteoporoz ile ilişkili ilaç tedavisi almaktadır. Katılımcıların %14,56’sında (15 kişi) geçirilmiş kırık öyküsü bulunmaktadır.

Tablo 4.1. Demografik Veriler

		n	%
Cinsiyet	Kadın	65	(65,00)
	Erkek	35	(35,00)
Yaş		70,52±4,576	70 (65-82)
Ağırlık (kg)		74,67±12,51	75 (52-120)
Boy (CM)		163,35±8,59	163 (145-184)
VKI (kg/m2)		30,89±23,73	27,4 (21,1-257)
Menopoz Yaşı		48,43±4,51	49 (35-56)
Kemik erimesi ilacı Kullanımı (ilaç ismi -süresi)	Yok	91	(91,00)
	Var	9	(9,00)
Geçirilmiş kırık öyküsü	Yok	86	(86,00)
	Var	14	(14,00)
Ebeveyn Kalça Kırığı Öyküsü	Yok	88	(88,00)
	Var	12	(12,00)
Sigara ve Alkol Kullanımı	Yok	76	(76,00)
	Var	24	(24,00)
Steroid Kullanım Öyküsü	Yok	97	(97,00)
	Var	3	(3,00)
Romatoid artrit	Yok	89	(89,00)
	Var	11	(10,00)

4.1.1. Katılımcıların kemik mineral yoğunluğu (BMD) ve osteoporoz

Katılımcıların DEXA uygulanarak elde edilen KMY ölçümleri (KMY: gr/cm² ve T –skoru, KMI: gr) sırasıyla lomber bölge, proksimal femur ve proksimal humerus için elde edilmiş olup, bu değerler Tablo 2,3 ve 4 ‘de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Lomber Bölge KMY ölçüm değerleri

	Ortalama ± SS	Median (min-maks)
L1 Vertebra KMY (g/cm²)	0,97±0,20	0,95 (0,1-1,61)
L1 T-Skoru	-1,44±1,38	-1,5 (-4,3-3,6)
L2 Vertebra KMY (g/cm²)	1,05±0,22	1,02 (0,63-1,76)
L2 T-Skoru	-1,58±1,54	-1,7 (-4,8-3,9)
L3 Vertebra KMY (g/cm²)	1,1±0,20	1,06 (0,71-1,67)
L3 T-Skoru	-1,2±1,48	-1,2 (-4,1-3,3)
L4 Vertebra KMY (g/cm²)	1,08±0,23	1,02 (0,71-1,94)
L4 T-Skoru	-1,4±1,49	-1,6 (-5,6-3,7)
L1-L4 Vertebra KMY (g/cm²)	1,06±0,19	1,02 (0,71-1,61)
L1-L4 T-Skoru	-1,41±1,35	-1,6 (-4,1-3,3)
L2-L4 Vertebra KMY (g/cm²)	1,08±0,21	1,04 (0,68-1,66)
L2-L4 T-Skoru	-1,41±1,41	-1,6 (-4,3-3,2)

Tablo 4.3. Proksimal Femur Bölgesi KMY ölçüm değerleri

	Ortalama ± SS	Median (min-maks)
Femur Boyun KMY (g/cm²)	0,81±0,13	0,79 (0,16-1,13)
Femur Boyun T Skoru	-1,72±0,95	-1,7 (-6,8-0,5)
Femur Toplam KMY (g/cm²)	0,92±0,13	0,91 (0,56-1,25)
Proksimal Femur Toplam T Skoru	-0,95±0,95	-1,1 (-3,6-1,2)

Tablo 4.4. Humerus Proksimal Bölgesi KMY ölçüm değerleri

	Ortalama ± SS	Median (min-maks)
Humerus Başı KMY (g/cm²)	0,65±0,23	0,68 (0-1,31)
Humerus Başı KMI	1,51±0,94	1,56 (-5,1-3,51)
Humerus Boyun KMY (g/cm²)	0,68±0,29	0,74 (0,06-1,23)
Humerus Boyun KMI	11,57±4,13	11,54 (1,73-20,85)

Katılımcıların DEXA yöntemi ile ölçülen KMY’lerine göre T-Skorlarının dağılımı Tablo 5’de verilmiştir. Lomber vertebralarda (özellikle L2) osteoporoz oranı yüksektir diğer

yandan femur boynu bölgesinde ise osteopeni oranının yüksek olduğu tespit edilmiştir. Femur toplam T skorunda normal kemik yoğunluğu oranı ise diğer bölgelere göre daha yüksektir.

Tablo 4.5. Lomber ve Proksimal Femoral Ölçümlere göre Katılımcıların T-Skorlarının Dağılımı

		n	%
L1 Vertebra	Osteoporoz	24	(24,00)
	Normal	32	(32,00)
	Osteopeni	44	(44,00)
L2 Vertebra	Osteoporoz	33	(33,00)
	Normal	31	(31,00)
	Osteopeni	36	(36,00)
L3 Vertebra	Osteoporoz	25	(25,00)
	Normal	41	(41,00)
	Osteopeni	34	(34,00)
L4 Vertebra	Osteoporoz	25	(25,00)
	Normal	36	(36,00)
	Osteopeni	39	(39,00)
L1-L4 Vertebra	Osteoporoz	26	(26,00)
	Normal	36	(36,00)
	Osteopeni	38	(38,00)
L2-L4 Vertebra	Osteoporoz	27	(27,00)
	Normal	37	(37,00)
	Osteopeni	36	(36,00)
Femur Boynu	Osteoporoz	16	(16,00)
	Normal	18	(18,00)
	Osteopeni	66	(66,00)
Proksimal Femur Toplam	Osteoporoz	6	(6,12)
	Normal	49	(50,00)
	Osteopeni	43	(43,88)

T ≤ -2,5: Osteoporoz, -2,5 < T < -1: Osteopeni, T ≥ -1: Normal

4.2. Proksimal humerus KMY değerleri ile lomber bölge ve proksimal femur bölgesinin T-Skorlarının ilişkisi

Proksimal humerus KMY değerleri ile lomber ve proksimal femur bölgesinden elde edilen T-Skorlarının ilişkisinin ilişkisi istatistiksel olarak analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 8’de gösterilmiştir. Humerus Başı ve humerus Boyun KMY ile T skorları arasında anlamlı korelasyon olduğunu ve bu korelasyonların istatistiksel olarak anlamlı (p<0.05) olduğunu tespit edilmiştir. Korelasyon katsayılarının pozitif değerleri, KMY ve T skorları arasında doğrudan bir ilişki olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.6. Humerus proksimalinden elde edilen KMY değerlerinin Lomber ve Proksimal Femoral T-Skorları ile ilişkisi

		Humerus Başı KMY	Humerus Boyun KMY
L1 T skor	r	0,292	0,214
	p	0,003	0,044
	n	100	89
L2 T skor	r	0,314	0,270
	p	0,001	0,010
	n	100	89
L3 T skor	r	0,275	0,228
	p	0,006	0,031
	n	100	89
L4 T skor	r	0,249	0,233
	p	0,013	0,028
	n	100	89
L1-L4 T skor	r	0,289	0,237
	p	0,004	0,025
	n	100	89
L2-L4 T skor	r	0,285	0,230
	p	0,004	0,030
	n	100	89
Femur Boyun T skor	r	0,323	0,217
	p	0,001	0,041
	n	100	89
Femur Toplam T skor	r	0,320	0,248
	p	0,001	0,021
	n	98	87

4.3. Direkt Grafi ve Dual BT Görüntüleme Sonuçları

Direkt grafi ve Dual CT değerlendirmesi sonrasında elde edilen ölçüm değerlerinin ortalaması ve standart sapmaları Tablo 6’de verilmiştir.

Tablo 4.7. Direk Grafi ve Dual BT’den elde edilen kortikal ölçüm ve oranlar

Direk Grafi	Ortalama ± SS	Median (min-maks)
MKO	0,12±0,09	0,11 (0,06-0,94)
LKİ	0,29±0,11	0,28 (0,11-0,93)
DTİ	1,44±0,15	1,44 (1,16-1,86)
Dual BT	Ortalama ± SS	Median (min-maks)
MKO	0,11±0,04	0,1 (0,03-0,31)
LKİ	0,27±0,07	0,28 (0,08-0,51)
DTİ	1,45±0,17	1,43 (1,11-1,94)

MKO: medial kortikal oran, LKİ: lineer kortikal indeks, DTİ: Deltoid Tüberosite İndeksi

4.3.1. Direk grafi ve dual BT ölçüm sonuçlarının KMY değerleri ile ilişkisi

Tablo 7’de direk grafi ve dual CT kullanılarak elde edilen, humerusun farklı anatomik bölgelerinden ölçülen kortikal kalınlıklar baz alınarak hesaplanan kortikal oranlar ile lomber bölge, proksimal femur ve proksimal humerus KMY ölçüm sonuçları arasındaki ilişki istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Korelasyon katsayılarını (r) ve p değerleri tabloda mevcuttur.

Tablo 4.8. Direkt grafi ve dual-BT’den elde edilen kortikal ölçümlerin farklı anatomik bölgelerdeki KMY’Ler ile ilişkisi

		Direkt Grafi			Dual BT		
		MKO	LKİ	DTİ	MKO	LKİ	DTİ
L1 Vertebra T-Skoru	r	,060	,091	,260	,018	,199	,223
	p	,556	,366	,009	,862	,047	,026
	n	100	100	100	100	100	100
L2 Vertebra T-Skoru	r	-,033	-,014	,112	,007	,047	,125
	p	,742	,888	,267	,941	,641	,213
	n	100	100	100	100	100	100
L3 Vertebra T-Skoru	r	,006	,145	,281	,013	,113	,166
	p	,953	,150	,005	,899	,265	,100
	n	100	100	100	100	100	100
L4 Vertebra T-Skoru	r	-,083	,051	,196	-,080	,012	,126
	p	,410	,612	,051	,426	,905	,213
	n	100	100	100	100	100	100
L1-L4 Vertebra T-Skoru	r	-,024	,048	,193	-,022	,090	,157
	p	,813	,635	,054	,827	,372	,119
	n	100	100	100	100	100	100
L2-L4 Vertebra T-Skoru	r	-,040	,070	,172	-,029	,057	,128
	p	,695	,488	,087	,778	,572	,206
	n	100	100	100	100	100	100
Femur Boyun T-Skoru	r	,013	,181	,259	,043	,326	,237
	p	,901	,071	,009	,674	,001	,018
	n	100	100	100	100	100	100
Proksimal Femur Toplam T-Skoru	r	,020	,272	,281	-,065	,239	,216
	p	,844	,007	,005	,525	,018	,032
	n	98	98	98	98	98	98
Humerus Baş KMY (g/cm²)	r	,045	,191	,305	,039	,323	,298
	p	,658	,057	,002	,703	,001	,003
	n	100	100	100	100	100	100
Humerus Boyun KMY (g/cm²)	r	-,065	,207	,367	,054	,227	,354
	p	,542	,051	,000	,617	,032	,001
	n	89	89	89	89	89	89

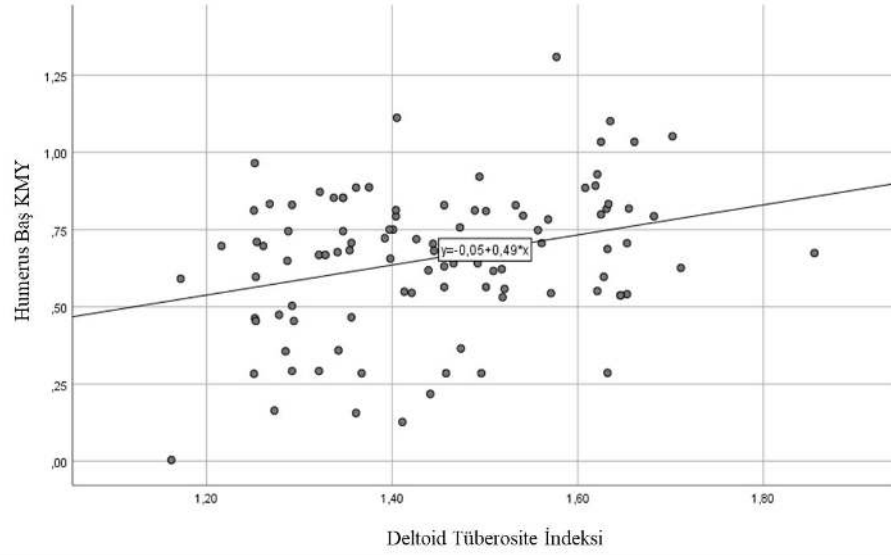
MKO: Medial Kortikal Oran, LKİ: Lineer Kortikal İndeks, DTİ: Deltoid Tüberosite İndeksi

Direkt grafi üzerinden yapılan ölçümlerde DTİ ile L1 vertebra, L3 vertebra, femur boyun, proksimal femur toplam ve humerus baş ve boyun KMY'leri arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişki mevcuttur. Ayrıca DTİ ile L4 vertebra arasında elde edilen $r=0,196$ korelasyon değeri, $p=0,051$ ile istatistiksel olarak sınırda anlamlı bulunmuştur. Dual-BT görüntülemesinden yapılan ölçümlerde ise DTİ ile L1 vertebra, femur boyun, proksimal femur toplam humerus baş ve boyun KMY'leri arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişki mevcuttur.

LKİ ile KMY ölçümleri arasındaki ilişki istatistiksel olarak değerlendirildiğinde ise direkt grafilere yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçların proksimal femur toplam T skoru ile anlamlı ilişkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Diğer yandan her ne kadar LKİ ile Humerus Baş KMY arasında elde edilen $r = 0.191$ korelasyon değeri, $p = 0.057$, LKİ ile Humerus Boyun KMY arasında elde edilen $r = 0.207$ korelasyon değeri, $p = 0.051$ ve LKİ ile femur boyun t-skoru arasında elde edilen $r = 0,181$ korelasyon değeri, $p=0,071$ arasındaki ilişki istatistiksel olarak sınırda anlamlı bulunmuştur. Dual-BT'den elde edilen sonuçlara göre ise L1 vertebra, femur boyun, proksimal femur toplam humerus baş ve boyun KMY'leri arasındaki ilişki anlamlı bulunmuştur.

Elde edilen mevcut bulgular, direkt grafilere yapılan ölçümlerde DTİ'nin, dual-BT'den yapılacak ölçümlerde ise hem DTİ'nin hem de LKİ'in humerus baş ve boyun bölgesinin KMY'si ile ilişkili olduğunu göstermektedir.

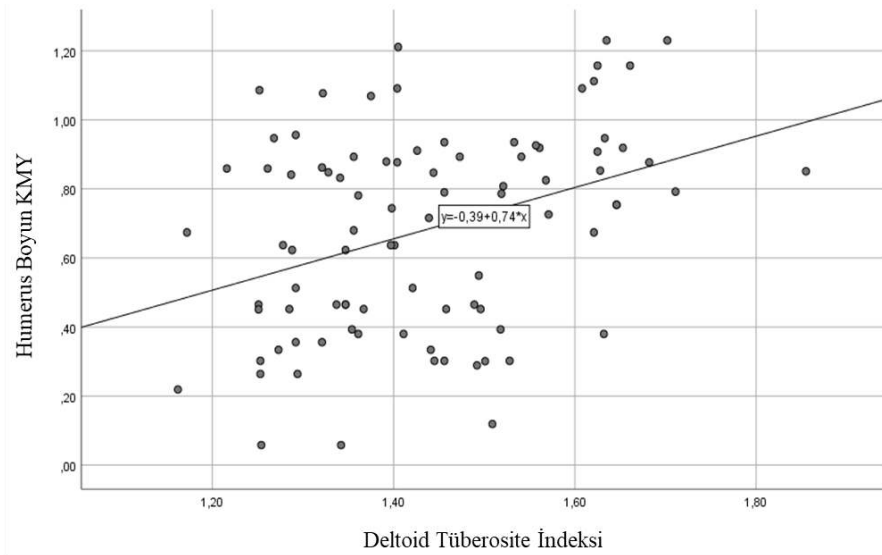
Humerus baş ve boyun KMY'si ile DTİ ve LKİ arasındaki ilişkinin yönü ve gücünü belirlemek için istatistiksel olarak analiz yapılmış ve saçılım grafilere elde edilmiştir. Direkt grafi ölçümlerinden elde edilen DTİ ile humerus baş ve boyun KMY'si arasındaki ilişki Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Humerus Baş KMY ile direkt grafi DTİ arasındaki ilişkinin saçılım grafisi

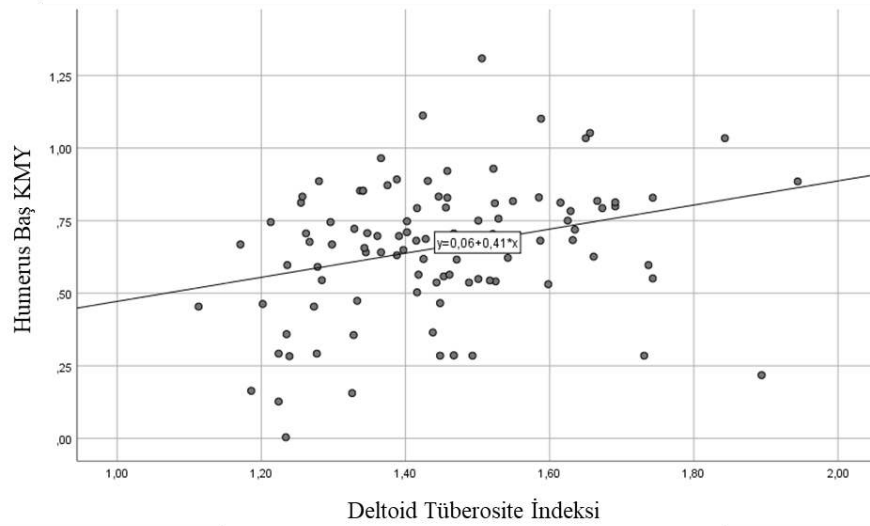
Humerus başı KMY ile direk grafi DTİ ölçümü arasında pozitif yönlü anlamlı bir ilişki vardır ($r=0,305$; $p=0,002$). Direkt grafi DTİ ölçümü 1 birim arttıkça humerus başı KMY ölçümü tahmini ortalama 0,49 birim artmaktadır.

Humerus boyun KMY ile direk grafi DTİ ölçümü arasında pozitif yönlü anlamlı bir ilişki vardır ($r=0,367$; $p<0,001$). Direkt grafi DTİ ölçümü 1 birim arttıkça humerus boyun KMY ölçümü tahmini ortalama 0,74 birim artmaktadır.



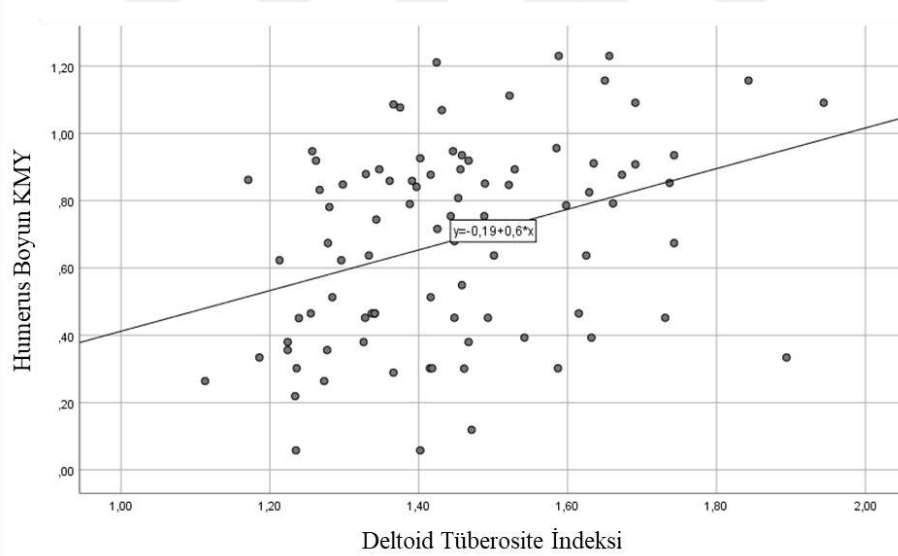
Şekil 4.2. Humerus boyun KMY ile direkt grafi DTİ arasındaki ilişkinin saçılım grafisi

Dual-BT ölçümlerinden elde edilen DTİ ile humerus baş ve boyun KMY'si arasındaki ilişki Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 ' de verilmiştir.



Şekil 4.3. Humerus baş KMY ile Dual BT DTİ arasındaki ilişkinin saçılım grafisi

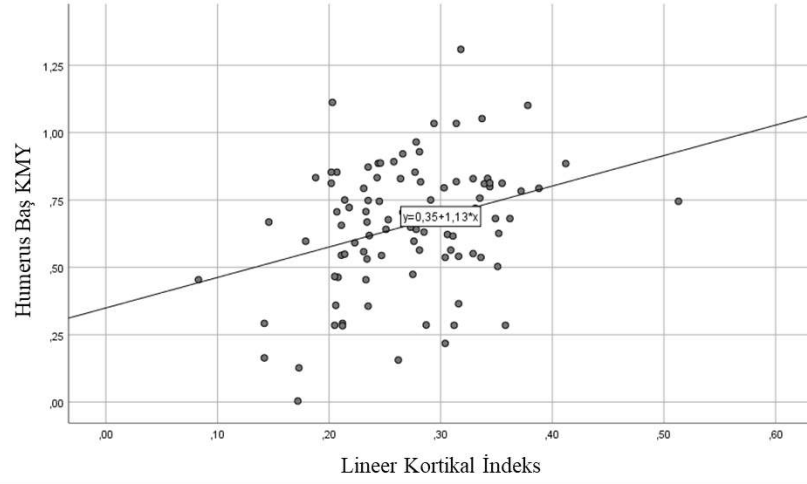
Humerus başı BMD ile dual BT DTİ ölçümü arasında pozitif yönlü anlamlı bir ilişki vardır ($r=0,298$; $p=0,003$). Dual BT DTİ ölçümü 1 birim arttıkça humerus başı BMD ölçümü tahmini ortalama 0,41 birim artmaktadır.



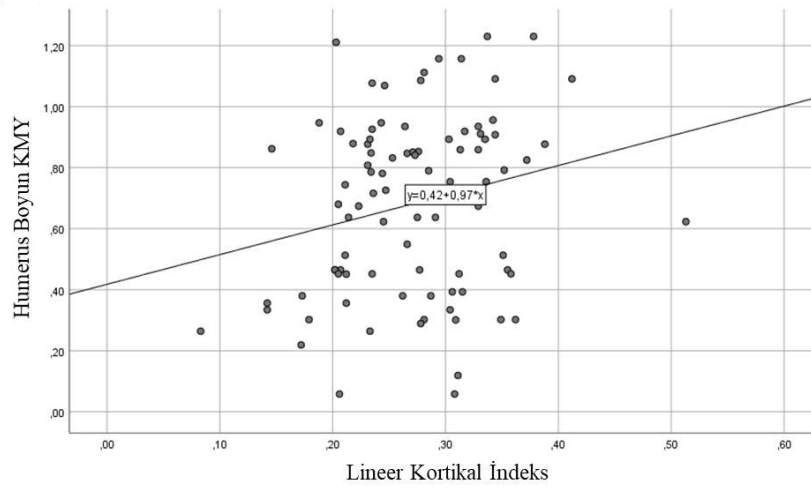
Şekil 4.4. Humerus boyun KMY ile Dual BT DTİ arasındaki ilişkinin saçılım grafisi

Humerus boyun BMD ile dual CT DTİ ölçümü arasında pozitif yönlü anlamlı bir ilişki vardır ($r=0,354$; $p=0,001$). Dual CT DTİ ölçümü 1 birim arttıkça humerus boyun BMD ölçümü tahmini ortalama 0,6 birim artmaktadır.

Dual-BT ölçümlerinden elde edilen LKİ ile humerus baş ve boyun KMY'si arasındaki ilişki Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 ' da verilmiştir.



Şekil 4.5. Humerus baş KMY ile Dual BT LKİ arasındaki ilişkinin saçılım grafisi



Şekil 4.6. Humerus boyun KMY ile Dual BT LKİ arasındaki ilişkinin saçılım grafisi

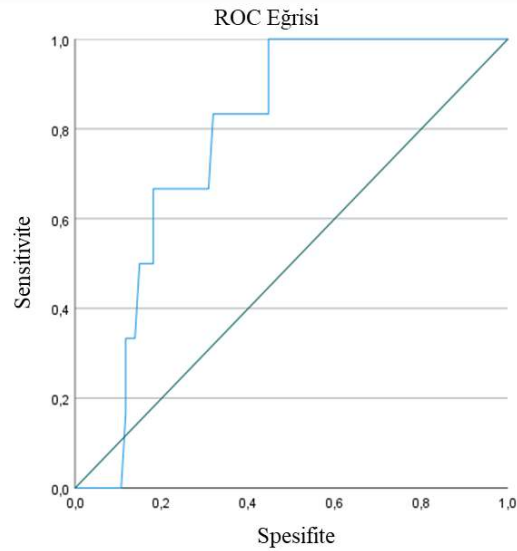
Humerus başı BMD ile dual CT LKİ ölçümü arasında pozitif yönlü anlamlı bir ilişki vardır ($r=0,323$; $p=0,001$). Dual CT LKİ indeks ölçümü 1 birim arttıkça humerus başı BMD ölçümü tahmini ortalama 1,13 birim artmaktadır.

Humerus boyun BMD ile dual CT LKİ ölçümü arasında pozitif yönlü anlamlı bir ilişki vardır ($r=0,227$; $p=0,032$). Dual CT LKİ ölçümü 1 birim arttıkça humerus boyun BMD ölçümü tahmini ortalama 0,97 birim artmaktadır.

4.3.2. Alıcı işletim karakteristiği (Eğrisi) (ROC) analizleri

Bir sınıflandırma modelinin performansını değerlendirmek için kullanılan “Alıcı İşletim Karakteristiği (Eğrisi) Analizi” yapılarak eşik değerler ve bunların sensitivitesi ile spesifitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

4.3.2.1. Humerus başı KMY ölçümü Analizi



Şekil 4.7. Humerus başı KMY ROC Eğrisi

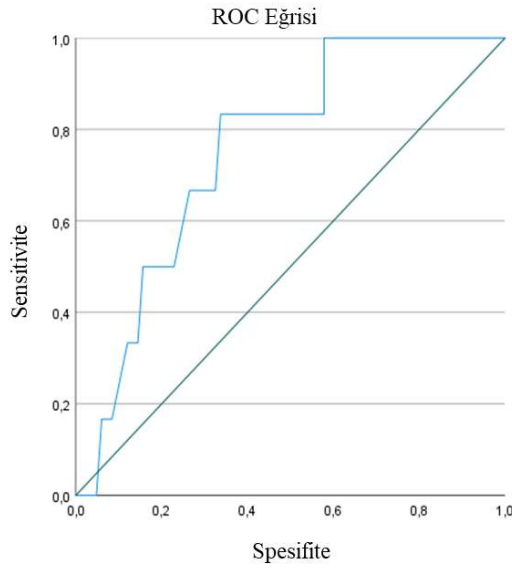
Tablo 4.9. Humerus başı KMY ölçüm ROC analizi

Test Sonucu Değişkeni: Humerus Başı KMY								
	Area	Std. Error ^a	Asymptotic Sig. ^b	Asymptotic 95% Confidence Interval		Cut-off	Sensitivity	Spesitivity
				Lower Bound	Upper Bound			
Proksimal Femur Toplam	0,781	0,061	0,021	0,661	0,901	<0,679	%100	%55,3
						<0,6065	%83,33	%68,1

Humerus başı KMY ölçümünün osteoporoz tahminindeki ayırt edilebilirliği için bir eşik değeri belirlenmesi amaçlanmıştır. Burada humerus başı KMY ölçümünün düşük femur toplam ölçümüne göre bireyin osteoporoz olduğunun göstergesidir. Buna göre Humerus başı KMY ölçümü için duyarlılık ve seçiciliğin en yüksek olduğu kesim noktası 0,679’dur. Humerus başı KMY değeri 0,679’un altında olan kişilere osteoporoz tanısı konulduğunda Humerus başı KMY değerinin duyarlılığı %100 seçiciliği ise %55,3 olmaktadır. ROC eğrisi

altında kalan alan değeri %78,1'dir. Buna göre humerus başı KMY değişkeninin ayırt edicilik gücünün orta olduğu söylenebilir. Bu alana ilişkin %95 güven aralığı ise %66,1-%90,1 olarak elde edilmiştir. Elde edilen alan değerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur ($p=0,021$). Eşik değeri 0,6065 olduğunda duyarlılık %83,33, seçicilik ise %68,1 olmaktadır.

4.3.2.2. Humerus boyun KMY ölçümü analizi



Şekil 4.8. Humerus boyun KMY ROC Eğrisi

Tablo 4.10. Humerus boyun KMY ölçüm ROC analizi

Test Sonucu Değişkeni: Humerus Boyun KMY								
	Area	Std. Error ^a	Asymptotic Sig. ^b	Asymptotic 95% Confidence Interval		Cut-off	Sensitivity	Spesitivity
				Lower Bound	Upper Bound			
Proksimal Femur Toplam	,756	,080	,037	,600	,912	<0,531	%83,33	%66,3

Humerus boyun KMY ölçümünün osteoporoz tahminindeki ayırt edilebilirliği için bir eşik değeri belirlenmesi amaçlanmıştır. Burada humerus boyun KMY ölçümünün düşük femur toplam ölçümüne göre bireyin osteoporoz olduğunun göstergesidir. Buna göre humerus boyun KMY ölçümü için duyarlılık ve seçiciliğin en yüksek olduğu kesim noktası 0,531'dir. Humerus boyun KMY değeri 0,679'un altında olan kişilere osteoporoz tanısı

konulduğunda humerus başı BMD değerinin duyarlılığı %83,33 seçiciliği ise %66,3 olmaktadır. ROC eğrisi altında kalan alan değeri %75,6'dır. Buna göre humerus boyum KMY değişkeninin ayırt edicilik gücünün orta olduğu söylenebilir. Bu alana ilişkin %95 güven aralığı ise %60-%91,2 olarak elde edilmiştir. Elde edilen alan değerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur ($p=0,037$).

4.4. Dual BT trabeküler yağ ölçümü ile farklı anatomik bölgelerden elde edilen KMY değerlerinin ilişkisi

Dual-BT ile proksimal humerusta 4 anatomik noktadaki (Humerus başı, tüberkülüm majus, tüberkülüm minus ve humerus cerrahi boynu) trabeküler yağ miktarı ölçülmüştür. Her bölgede 4 farklı kesitten alınan ölçümlerin ortalama değeri analiz için temel alınmış ve bu değerler ile lomber bölge ve proksimal femurdan elde edilen T-Skorları ile, humerus proksimalinden (baş ve boyun) elde edilen KMY değerleri istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 11'de sunulmuştur. L1-L4 vertebra T skorları ve femur boyun/toplam T skorları, tüberkülüm minus ve tüberkülüm majus yağlanma miktarları ile anlamlı negatif korelasyonlar göstermektedir. Bu, yağlanma miktarının artmasıyla birlikte T skorlarının azaldığını, dolayısıyla kemik yoğunluğunun düştüğünü göstermektedir. Humerus başı KMY, tüberkülüm minus ve tüberkülüm majus yağlanma miktarları ile anlamlı negatif korelasyon göstermektedir, ancak humerus boyun KMY için bu ilişki anlamlı değildir. Özellikle tüberkülüm majus yağlanma miktarı, kemik yoğunluğunun azalması ile güçlü bir şekilde ilişkilidir. Bu, yağlanma miktarının artmasının osteoporoz ile ilişkili olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.11. Dual BT ile ölçülen yağ fraksiyonun lomber ile proksimal femur t-skorları ve proksimal humerus KMY ile ilişkisi

Yağ Miktarı (%)		Humerus Başı	Tüberkülm minus	Tüberkülm majus	Cerrahi boyun
L1 T skoru	r	-,155	-,343	-,237	-,166
	p	,124	,000	,018	,099
	N	100	100	100	100
L2 T skoru	r	-,254	-,429	-,266	-,185
	p	,011	,000	,008	,065
	N	100	100	100	100
L3 T skoru	r	-,209	-,382	-,211	-,204
	p	,037	,000	,035	,042
	N	100	100	100	100
L4 T skoru	r	-,218	-,389	-,167	-,200
	p	,029	,000	,097	,047
	N	100	100	100	100
L1-L4 T skoru	r	-,229	-,420	-,229	-,208
	p	,022	,000	,022	,038
	N	100	100	100	100
L2-L4 T skoru	r	-,258	-,451	-,236	-,224
	p	,010	,000	,018	,025
	N	100	100	100	100
Femur Boyun T skoru	r	-,184	-,396	-,245	-,203
	p	,067	,000	,014	,042
	N	100	100	100	100
Femur Toplam T skoru	r	-,232	-,472	-,281	-,285
	p	,021	,000	,005	,004
	N	98	98	98	98
Humerus Başı KMY (g/cm ²)	r	-,245	-,244	-,311	-,165
	p	,014	,015	,002	,101
	N	100	100	100	100
Humerus Boyun KMY (g/cm ²)	r	-,196	-,093	-,086	-,054
	p	,066	,387	,422	,614
	N	89	89	89	89

5. TARTIŞMA

Proksimal humerus kırıklarının cerrahi tedavisi, son yıllarda geliştirilen ve yaygın olarak kullanılan kilitli plak-vida sistemlerine rağmen halen cerrahları zorlamaktadır (1). Bu kırıklar yaşlı nüfusta yaygın olarak görülmektedir ve tedavisi özellikle osteoporoz varlığında daha da zorlaşmaktadır (28). Osteopeni veya osteoporoz varlığı çok parçalı kırıkların ortaya çıkmasına neden olmakta hem de cerrahide kullanılan implantların kemiğe tutunmasını zorlaştırmakta ve cerrahi fiksasyonun başarısızlık riskini artırmaktadır (33). Ayrıca kemik kalitesinin bozulması nedeniyle cerrahi tedavi sonrası gelişen avasküler nekroz, eklem içi vida penetrasyonu, implant iflası, cerrahi tespit yetersizliği gibi komplikasyonlarla sık karşılaşılmaktadır. Bu komplikasyonlar tekrarlayan operasyonlara neden olmakta ve fizyolojik kapasitesi sınırlı olan yaşlı hasta grubunda morbidite ve mortalite artışına neden olmaktadır (1).

Son yıllarda proksimal humerus kırıklarının cerrahi tespitinin başarısına etki eden faktörleri inceleyen çalışmaların sayısı literatürde giderek artmaktadır. Bu çalışmalar; kırık tipinin, medial kortikal desteğin sağlandığı stabil kırık tespitinin, uygulanan cerrahi teknik ve implantın, hastaya ait faktörlerin (yaş, komorbid hastalıkları ve genel sağlık durum) cerrahi başarıyı doğrudan etkilediğini göstermektedir (25, 26, 28, 32-35). Bu çıktıların hemen hepsine etki eden ortak faktörün kemik kalitesi olduğu göz önüne alındığında, proksimal humerus kırıklarında cerrahi öncesi osteopeni veya osteoporoz varlığını değerlendirmenin önemi her geçen gün daha iyi anlaşılmaktadır.

Dünya Sağlık Örgütü tarafından osteoporoz taramasında altın standart olarak kabul edilen DEXA yöntemi her ne kadar kolay ulaşılır, düşük maliyetli, hızlı, basit ve etkili bir yöntem olsa da kırık hastalarında acil şartlarda uygulanması oldukça zordur (3). Dahası kırık hastalarında proksimal humerusun lokal kemik yoğunluğunun ölçülmesi neredeyse imkansızdır. Bu durum, kırıkların değerlendirilmesinde ilk basamak olarak kullanılan direk grafiilerin kemik kalitesini öngörmek için kullanılıp kullanılmayacağı sorusunu ortaya çıkartmıştır. KMY'yi direk grafiiler ile öngörmek için Barnett ve Nordin tarafından başlatılan çalışmalar takip eden yıllarda diğer farklı çalışmalar ile desteklenmiş ve farklı kortikal kalınlık oranlarının kemik kalitesini öngörmek için kullanılabileceği bildirilmiştir (38, 39). Günümüzde de devam eden çalışmalar ile KMY'yi öngörebilmek için proksimal humerusa özel farklı kortikal indeks ölçümleri (deltoid tüberosite indeksi, linner kortial indeks, medial

kortikal oran) tanımlanmış ve yapılan analizler sonrasında bunların kemik mineral yoğunluğunu ile ilişkili olduğu gösterilmiştir (1, 6, 7, 32, 34). Fakat bu çalışmalar ağırlıklı olarak kadavra çalışmaları veya cerrahi tespit sonrası yetmezlik gelişen hastaların incelenmesini içermektedir. Omuz patolojisi olmayan 65-80 yaş aralığındaki popülasyonda proksimal humerusun lokal kemik mineral yoğunluğunu ve bu yoğunluk ölçümlerini temel alarak bu kortikal indekslerin güvenilirliğini inceleyen çalışma bugünkü bilgilerimizle literatürde mevcut değildir. Biz bu çalışmada 65-80 yaş arası gönüllülerde proksimal humerustan direkt grafiler ve dual-BT ile ölçülen kortikal oranların lokal kemik yoğunluğu ile ilişkisini değerlendirdik.

Bu çalışmadan elde ettiğimiz sonuçlara göre osteoporoz taramasında altın standart olarak kullanılan DEXA ile yapılan lomber ve proksimal femur KMY ölçümlerinden elde edilen T-Skorları ile proksimal humerus KMY ölçümleri korelasyon göstermektedir. Bu sonuç standart taramalarda tespit edilen osteopeni ya da osteoporozun humerusa da benzer şekilde yansıdığını kanıtlamaktadır. Proksimal humerusta yapılan kortikal kalınlık ölçümlerinden elde edilen kortikal oranların; proksimal humerus lokal KMY'si, lomber vertebra ve proksimal femur T-skorları ile ilişkisi incelendiğinde ise; direkt grafide yapılan ölçümlerde DTİ'nin, dual-BT'de yapılan ölçümlerde ise hem DTİ hem de LKİ'nin proksimal humerus lokal KMY'si ve proksimal femur toplam T-Skoru ile pozitif korelasyon gösterdiği tespit edilmiştir. Oranlar arttıkça T-skoru ve KMY artmaktadır. Humerus başı KMY değeri 0,679'un altında olan kişilere osteoporoz tanısı konulduğunda Humerus başı KMY değerinin duyarlılığı %100 seçiciliği ise %55,3 olmaktadır. Ek olarak humerus boyun KMY değeri 0,679'un altında olan kişilere osteoporoz tanısı konulduğunda humerus başı BMD değerinin duyarlılığı %83,33 seçiciliği ise %66,3 olmaktadır. Dual-BT ile osteoporozun bulgularından biri olan trabeküler yağlanma değerlendirildiğinde ise lomber ve proksimal femur T-Skorları ile humerus başının KMY değerlerinin negatif korelasyon gösterdiği belirlendi. Elde edilen sonuçlar tüberkülüm majus ve tüberkülüm minus'daki yağlanmanın artmasıyla birlikte T-Skorlarının ve KMY ölçümlerinin azaldığını göstermiştir.

5.1. Demografik Verilerin Literatür ile Karşılaştırılması

Yaşlanma ile tüm vücutta azalan KMY, özellikle kortikal kemik kalınlığında azalmaya neden olmakta ve bunun sonucunda osteoporotik kırık oluşma riski artmaktadır (1, 24). Günümüzde, proksimal humerus kırıklarının yaşlılarda femur ve distal radius kırıklarından

sonra en sık görülen üçüncü kırıktır ve osteoporoz hem tedaviyi zorlaştırmakta hem de komplikasyonlara neden olmaktadır. Proksimal humerus kırıklarının tedavisinde osteoporozun etkisini inceleyen çalışmalar 65 yaş üstü hastaların riskli grupta olduğunu ve kadınlarda osteoporotik kırıkların erkeklere oranla 2.5 kat daha fazla görüldüğünü bildirmektedir (1, 21). Literatürde yapılan çalışmalarda kırık nedeniyle opere edilen hastaların ortalama %65,05 (51-82) kadındır (1, 6, 24, 29, 32-35). Krappinger ve ark. 2011 yılında 67 hastayı dahil ederek yaptığı çalışmada (20 erkek, 47 kadın) yaş ortalaması 63.9 ± 12.6 yıldır (24). Mather ve ark. yaptıkları çalışmada ise yaş ortalaması 65 (33-90) olan 108 hasta çalışmaya dahil edilmiş olup hastaların 19'u erkek 89'u ise kadındır. Cerrahi öncesinde DEXA kullanılarak yapılan proksimal femur ve lomber omurga ölçümlerinde, proksimal femur ortalama KMY'nin 0.84 g/cm^2 (SD, 0.18) ve lomber omurga ortalama KMY'nin 0.95 g/cm^2 (SD, 0.18) olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmada standart DEXA incelemesi ile elde edilen KMY'nin proksimal humerustaki kortikal kemik kalınlığı ölçümleri ile yüksek korelasyon gösterdiği bildirilmiştir. Fakat proksimal humerusun lokal kemik mineral yoğunluğu değerlendirilmemiştir (33). Biz bu çalışmayı proksimal humerusun lokal kemik mineral yoğunluğu ile DEXA yönteminde standart olarak kullanılan lomber ve proksimal femur kemik yoğunluğunun ilişkisini incelemek ve kortikal ölçümlerden elde edilen oranların geçerliliğini test etmek amacıyla literatürden farklı olarak sağlıklı katılımcılarla yaptık ve literatürde de gösterildiği üzere kırıklardan en sık etkilenen hasta popülasyonuna benzer şekilde %65'i kadın olmak üzere 65-80 yaş aralığında ortalama yaşı 70.52 ± 4.576 olan katılımcıları dahil ettik. Literatürdeki çalışmalarda her ne kadar ortalama yaş 60 yaş ve üzerinde olsa da bu çalışmalara dahil edilen hastaların minimum ve maksimum yaş aralığı çok geniştir. Çalışmamız bu bağlamda yalnızca cerrahi sonrası kemik kalitesi kaynaklı komplikasyonların sık görüldüğü yaşlı hasta grubunu incelemektedir. Çalışmamızda elde edilen proksimal femur KMY literatüre benzer şekilde 0.92 g/cm^2 (SD, 0.13) ve lomber omurga ortalama 1.06 g/cm^2 (SD, 0.19) bulunmuştur. Bu durum, sağlıklı katılımcılar ile oluşturduğumuz popülasyonun, kırık geçiren ve ameliyat edilen hasta popülasyonunun kırık öncesi demografik özelliklerinin ya g/cm^2 yansıttığını veya simüle ettiğini göstermektedir. Bu da literatürdeki çoğu çalışmanın aksine proksimal humerusun kemik kalitesini dolaylı retrospektif analizlerle öngörmek yerine prospektif bir bakış açısı ile yaklaşmayı sağlamaktadır (1, 6, 25, 29, 32, 34, 35).

5.2. Proksimal Humerus Kemik Mineral Yoğunluğu ile Tüm Vücut Kemik Kemik Mineral Yoğunluğunun ilişkisi

Proksimal humerusun lokal KMY'si osteoporoz taramalarında rutin olarak değerlendirilmemektedir. Fakat son yıllarda yaşlı proksimal humerus kırıklarının cerrahi tespiti sonrasında, gelişen implant sistemleri ve cerrahi tekniklere rağmen, yüksek oranda görülen komplikasyonların osteopeni veya osteoporoza bağlı kemik kalitesinde meydana gelen değişiklikler ile ilişkili olduğu yapılan çalışmalarda sıkça vurgulanmaktadır (1, 6, 25, 29, 32, 34, 35). Bu nedenle proksimal humerus lokal KMY'nun standart ölçümlerde değerlendirilen proksimal femur ve lomber KMY değerleri ve bundan elde edilen T-Skorları ile ilişkili olup olmadığının anlaşılması önem kazanmıştır. Buna rağmen literatürde bu ilişkiyi doğrudan inceleyen çalışma sayısı oldukça sınırlıdır (8). Literatürdeki çalışmalar sıklıkla lomber ve proksimal femurdan elde edilen KMY ve T-Skorları ile proksimal humerusun farklı kortikal kalınlıklarının ilişkisini analiz ederek dolaylı olarak proksimal humerusun kemik kalitesini öngörmeye çalışmaktadır (1, 5, 24, 30, 32-34). İlk kez Tingart ve ark. kadavra örneklerinde DEXA yöntemi ile ölçülen proksimal humerus lokal KMY'sinin, proksimal humerusta ölçülen farklı kortikal kalınlıklarla ilişkisini incelemiş ve anlamlı pozitif korelasyon gösterdiğini tespit etmiş olsa da proksimal humerusun lokal KMY'si ile lomber ve proksimal femur KMY ile ilişkisini değerlendirememiştir (7). Kamiyama ve ark. 2013-2018 yılları arasında 60 yaş üzerindeki 110 gönüllü katılımcı ile yaptığı çalışmada DEXA ile yapılan proksimal humerus KMY ölçümlerinin güvenilir olarak kullanılabileceğini Dual-BT ile teyit ederek tespit etmiş fakat proksimal femur ve lomber KMY ölçümleri ile proksimal humerus lokal KMY ölçümleri arasında zayıf korelasyon olduğunu bildirmiştir (8). Biz çalışmamızda humerus baş ve boyun bölgesinden DEXA yöntemi ile elde ettiğimiz KMY değerleri ile hem femur boyun ve toplam proksimal femur T-Skorları hem de tüm lomber seviyelerden elde edilen T-Skorları arasında korelasyon olduğunu ve bu korelasyonun istatistiksel olarak anlamlı olduğunu tespit ettik. Bu sonuç, proksimal femur ve lomber bölgedeki kemik kalitesi değişikliklerinin proksimal humerus kemik kalitesine de yansıdığını göstermektedir. Bulgular arasındaki bu farklılığın DEXA ile ölçüm sırasında uygulanan ölçüm tekniğindeki farklılıktan kaynaklanmış olabilir.

5.3. Proksimal Humerus Kemik Mineral Yoğunluğu ile Proksimal Humerustan Elde Edilen Kortikal Ölçümler ve bu Ölçümlerden Elde Edilen Oran ve İndekslerin İlişkisi

Proksimal humerus lokal kemik yoğunluğu ile humerusun farklı bölgelerinden ölçülen kortikal kalınlıkların ilişkisinin Tingart ve ark. tarafından ortaya koyulmasından bu yana geçen süre içinde kadavra çalışmalarının (4, 5, 7, 30, 36) ortaya çıkardığı sonuçların etkisi ve eş zamanlı olarak kemik kalitesinin proksimal humerus kırıklarının cerrahi tedavisi sonrası komplikasyon gelişiminde oynadığı rolün daha iyi anlaşılması araştırmacıları kemik kalitesini cerrahi öncesi öngörebilen basit yöntemleri araştırmaya yönlendirmiştir (2, 21, 25, 27, 28). Literatürde son yıllarda sıklığı artan çalışmalar, kortikal kalınlık ölçümleri ve bu ölçümlerden elde edilen oran ve indekslerin, cerrahi sonrası gelişen komplikasyonlarla ilişkisini incelemekte ve elde ettikleri sonuçları dolaylı olarak kemik kalitesi ile ilişkilendirmektedir. Sağlıklı popülasyonla proksimal humerusun kemik kalitesini kırık olmadan önce değerlendiren ve kortikal ölçümlerle ilişkilendiren çalışmalar bu günkü bilgimize göre mevcut değildir.

5.3.1. Kadavra çalışmaları

Tingart ve ark. 21 kadavra kullandığı çalışmasında, 21 proksimal humerusun önce KMY'sini ölçmüş ve sonrasında medial ve lateral kortekslerin endosteal sınırlarının birbirine paralel olduğu en proksimal noktada ve bu noktanın 20 mm distalinde medial ve lateral kortikal kalınlığı ölçerek elde edilen değerlerin ortalamasını alarak kombine kortikal kalınlığı elde etmişlerdir. Elde ettikleri sonuçların tüberkülüm majus, tüberkülüm minus, cerrahi boyun ve humerus başından ölçülen KMY değerlerinin kortikal kalınlıklarla pozitif korelasyon gösterdiğini ve bu ölçümlerin KMY'nu tahmin etmek için kullanılabileceğini göstermişlerdir (7). 2011 yılında Wallace ve ark. 12 kadavra humerusu kullanarak yaptıkları biyomekanik çalışmada ise Tingart ve ark. ölçüm yöntemini kullanarak kortikal kalınlıkları ölçmüş ve bu kemiklere plak-vida uyguladıktan sonra biyomekanik olarak test etmiştir. Elde ettikleri sonuçlar, kortikal kalınlıklar ile mekanik stabilite arasında ilişki olmadığını göstermiştir (4). Bunu takiben Skedros ve ark. yaşları 39-78 yaş arasında değişen 33 taze donmuş kadavra kullanarak yaptıkları çalışmada hem humerus KMY'lerini değerlendirmiş hem de cerrahi boyun ve takiben 2, 5, ve 7 cm distalinden kortikal kalınlıkları ölçmüş, her seviyedeki medial ve lateral kortikal kalınlıkları toplayıp dış çapa oranlayarak kortikal indeksi elde etmişlerdir. Daha sonra humerusları biyomekanik olarak test etmiş ve nihai

kırılma gücünü ve enerji absorpsiyon miktarlarını değerlendirmiştir. Sonuç olarak nihai kırılma gücü ile en güçlü korelasyon diafizden ölçülen kortikal kalınlıklar ($r = 0.71$) arasında bulunmuştur. Diğer yandan proksimal humerus KMY'sinin ($r = 0.60$) ve kortikal indeks ($r = 0.61$) daha zayıf korelasyon gösterdiği bildirilmiştir. Yine Skedros ve ark. takip eden süreçte yaptığı bir sonraki çalışmada ise bir önceki çalışmada kullanılan kadavralar kullanılarak yeni bir çalışma yapılmış, kombine kortikal kalınlık, kombine kortikal kalınlık ölçüm noktalarını içine alacak şekilde kortikal alanın toplam kesit alanına oranı ile hesaplanan alansal kortikal indeks, 5. cm'de dış çaptan iç çapın çıkartılması sonrasında dış çapa oranlanması ile elde edilen lineer kortikal indeks, distal 2. Cm ve 7. Cm'den ölçülen iç çapın kortikal kalınlığa oranlandığı kanal-kalkar oranı ve medial kortikal kalınlığın dış çapa bölünmesi ile elde edilen medial kortikal oran ile nihai kırılma gücü ve enerji absorpsiyonunun ilişkisi incelenmiştir (5). Elde edilen sonuçlara göre kombine kortikal kalınlığın kemik ve lokal kemik yoğunluğunun kemik gücünü ve kalitesini belirlemekte en güvenilir yöntem olduğu ifade edilmiştir (36). Majed ve ark. ise 2019 yılında 37 proksimal humerus BT incelemesini özel bir program (MIMICS Software) aracılığı ile 3-boyutlu modellere çevirmiş ve 10 farklı bölgeden (tüberkülüm majus, tüberkülüm minus, humerus başının santral alanı, bisipital oluk, anterior eklem sınırı, posterior eklem sınırı, medial süperior eklem sınırı, medial inferior artiküler sınır, metafiz ve diafiz) kortikal kalınlık ölçümleri yapmışlardır. En kalın korteks kalınlığı ölçümleri diafizden elde edilirken en ince korteks kalınlıkları eklem yüzeyinde bulunmuştur. Bu çalışmaya göre humerus başında eklem yüzeyi hariç en ince korteks tüberkülüm majus'tadır. Tüberkülüm minus kemik yoğunluğu ise 15 kadvrada en kalın, 15 kadvrada ise 2. En kalın korteks olarak bulunmuştur. Araştırmacılar özellikle kalın kortikal alanların belirlenmesinin cerrahi öncesi planlamada önemli olabileceğini vurgulamışlardır (30). Kadavra çalışmaları göz önüne alındığında, proksimal humerusun homojen bir kemik kalitesine sahip olmadığı, farklı anatomik lokalizasyonların eş zamanlı farklı kemik kalitesine sahip olabileceği görülmektedir. Kemik mineral yoğunluğu azaldıkça humerus başındaki yağlanma miktarının arttığı ve yağlanmanın kemik dokusunun yenilenme kapasitesini azaltarak osteoporozu daha da kötüleştirdiği bildirilmiştir (8, 21). Biz de çalışmamızda Dual-BT ile humerus başının yağlanmasını inceledik ve tüberkülüm majus ve minustaki yağlanmanın KMY ile ilişkisini değerlendirdik. Tüberkülüm majus yağlanmasının humerus başından ($r=-0,311$, $p=0,002$), proksimal femur ($r=-0,281$, $p=0,05$), lomber bölgeden ($r=-0,229$, $p=0,022$) ölçülen KMY değerleri ile negatif korelasyon olduğu tespit edildi. Ayrıca tüberkülüm minus yağlanması da humerus başı ($r=-0,244$, $p=0,015$), proksimal femur ($r=-0,472$, $p=0,000$), lomber

bölgeden ($r=-0,420$, $p=0,000$) ölçülen KMY değerleri ile negatif korelasyon göstermektedir. Bulgularımız, bu bağlamda literatürü desteklemektedir. Diğer yandan tüm kadavra çalışmalarından elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında, kemik kalitesini ön görmek için yapılacak kortikal kalınlık ölçümlerinin diafizden yapılması gerektiği anlaşılmaktadır. Biz de çalışmamızda bu nedenle KMY'yi ön görmek için yaptığımız ölçümleri diafiz bölgesinde (DTİ, LKİ, MKO) gerçekleştirdik. Ayrıca Dual-BT'den yararlanarak hem ölçümlerin daha az hata ile yapılmasını, hem de direk grafi ile BT ölçümleri arasında fark olup olmadığını göstermeyi amaçladık.

5.3.2. Klinik çalışmalar

Humerus kırıklarında cerrahi tedavi sonrasında gelişen komplikasyonlara bağlı yeniden ameliyat ihtiyacı ile kortikal ölçümlerin ilişkisini 2009 yılında inceleyen Hepp ve ark. kırık nedeniyle ameliyat edilen ve yaşları 18-100 arasında değişen (medyan: 66 yıl) 113 hastayı yaklaşık olarak 5 yıl takip etmiştir. Bu çalışmada humerus proksimal diafizinde kortekslerin birbirine paralel olduğu alandan ölçümler yapılmış ve toplam diafiz alanından, iç kanal alanı çıkartıldıktan sonra toplam diafiz alanına oranlanarak kortikal indeks elde edilmiştir. Her bir humerus için ölçümler 4 kez tekrarlanarak ortalaması alınmıştır. Kırık geçiren hastaların geçirmeyen sağlıklı popülasyon ile karşılaştırıldığında kortikal indeksin daha düşük olduğu bildirilse de kortikal indeks ile yeniden ameliyata alınma arasında anlamlı ilişki bulunmamıştır (32). Mather ve ark. 2007-2011 yılları arasında omuz grafileri ve tüm vücut DEXA ölçümleri olan 108 hastayı dahil ettikleri çalışmalarında, proksimal femur ve lomber bölgeden elde edilen DEXA sonuçları ile proksimal humerusta daha önce tanımlanan kortikal ölçümler arasındaki ilişkiyi değerlendirmiştir. Ölçümleri, daha önce Tingart ve ark. ile Hepp ve ark. ölçüm yöntemlerini kullanarak yapmışlar ve kombine kortikal kalınlığın proksimal femur DEXA ölçümü ile güçlü ($r = 0.64$, $P < .0001$), lomber vertebra ile orta ($r = 0.49$, $P < .0001$) düzeyde korelasyon ($r = 0.64$, $P < .0001$) gösterdiğini bildirmişlerdir. Kortikal indeks ise hem proksimal femur ($r = 0.53$, $P < .0001$) hem de lomber bölge ($r = 0.35$, $P < .001$) DEXA değerleri ile koreledir. Osteoporozu dışlamak için ise 6 mm kombine kortikal kalınlığın potansiyel bir eşik değeri olarak belirlenmiştir. Bu eşik değerin duyarlılığı %93, özgüllüğü %52 ve negatif prediktif değeri %95 olarak bulunmuştur (33).

Mart 2011-Temmuz 2014 yılları arasında proksimal humerus kırığı geçiren 63 hastanın verilerini inceleyen Newton ve ark., MKO tanımlamış ve ameliyat sonrasında

fiksasyon kaybı gelişen hastalar ile gelişmeyen hastaların MKO'larını karşılaştırmıştır. MKO, Tingart ve ark. proksimalde ölçüm yaptığı seviyede medial kortikal kalınlığın, dış çapa oranı ile elde edilmiştir. Fiksasyon kaybı gelişen hastalarda, gelişmeyenlere göre MKO'nun anlamlı olarak düşük olduğunu tespit etmişlerdir (0.170 vs 0.202, $p = 0.019$). Araştırmacılar MKO'nun KMY'yi belirlemek ve fiksasyon kaybı olasılığını öngörmek için kullanılabileceğini bildirmiştir (34). Mahmuti ve ark. son yaptıkları çalışmada yine MKO'nun cerrahi sonrası fiksasyon kaybı gelişmesi ile ilişkisini incelemiştir. Her ne kadar MKO ile fiksasyon kaybı arasında anlamlı bir fark gösterilememişse de MKO'nun 0,09'dan büyük olduğu hastaların fiksasyon kaybı riskinin 7 kat arttığı bildirilmiştir (1). Biz çalışmamızda MKO'nın gönüllü katılımcılarda, farklı anatomik lokalizasyonlardaki KMY ölçümleri ve bundan elde edilen T-skorları ile ilişkisini inceledik. Elde ettiğimiz sonuçlar hem direkt grafi ölçümlerinden hem de Dual-BT ölçümlerinden elde edilen MKO değerlerinin proksimal femur ve lomber T-Skorları ile hem de proksimal humerus lokal KMY değerleri ile anlamlı ilişkisi olmadığını göstermiştir. Bizim sonuçlarımıza göre; her ne kadar literatürde MKO'nun fiksasyon kaybı ile ilişkili olduğu gösterilmiş olsa da KMY ölçüm değerleri ile ilişkili olmadığı görülmektedir. Bunun nedeni, MKO'nın Newton ve Mahmuti'nin yaptığı çalışmada kırık cerrahisi sonrası kırık humerustan ölçülmesi, omuz grafilerinin çekim açısının standardizasyonundaki problemler kaynaklı olabileceğini düşünmekteyiz. Ayrıca cerrahi sonrası redüksiyon kalitesi, medial kalkar devamlılığındaki bozulma ve olası malrotasyonlar MKO ölçümlerini etkilemiş olabilir.

Spross ve ark.'nın proksimal humerus kırıklarında kemik kalitesini belirlemek için basit ve güvenilir bir radyografik ölçüm tanımlamak amacıyla 2015 yılında yaptıkları çalışmada ise DTİ tanımlanmıştır. DTİ, deltoid tüberosite seviyesinde kortikal endosteal sınırların birbirine paralel olduğu, deltoid tüberositenin en proksimal noktasındaki dış çapın, iç çapa oranı ile elde edilir. Bu çalışmada DTİ ile Tingart'ın ölçümleri ile BT ile ölçülen proksimal humerus lokal KMY'si arasındaki ilişki araştırılmıştır. DTİ'nin kombine kortikal kalınlığa göre lokal KMY ile daha güçlü bir korelasyon gösterdiği (DTİ için $r = 0.80$, Tingart ölçümü için $r = 0.67$) bildirilmiştir. Ayrıca, DTİ için düşük kemik kalitesini belirlemek amacıyla eşik değer 1.4 olarak bulunmuştur. Tingart ölçümü için ise bu eşik değer 5 mm olarak tespit edilmiştir (DTİ için duyarlılık 0.81, özgüllük 0.85). Yazarlar kırık hattının Tingart ölçümlerini etkilediği durumlarda DTİ'nin daha uygulanabilir olduğunu vurgulamıştır (6). Biz de çalışmamızda benzer şekilde hem direkt grafi hem de BT ölçümlerinden elde ettiğimiz DTİ değerlerinin DEXA ile ölçülen proksimal femur ($r=0,281$;

$p=0,005$), humerus başı ($r=0,305$; $p=0,002$) ve humerus boynu ($r=0,367$; $p=0,000$) KMY'si ile anlamlı korelasyon gösterdiğini tespit ettik. Bizim sonuçlarımıza göre direk grafi DTİ ölçümü 1 birim arttıkça humerus başı KMY ölçümü tahmini ortalama 0,49 birim artmaktadır. Ek olarak; direkt grafi DTİ ölçümü 1 birim arttıkça humerus boyun BMD ölçümü tahmini ortalama 0,74 birim artmaktadır. Bizim çalışmamızın sonuçları da göz önüne alındığında, proksimal humerus lokal KMY'sini öngörmek için DTİ'nin kullanılmasının daha doğru sonuç vereceğini öngörmekteyiz. Ayrıca Spross ve ark.'da belirttiği üzere DTİ ölçümü; bu seviyenin hem kırık hatlarının ölçümü bozucu etkisinden daha az etkilenmesi hem de ölçümün pratik ve kolay uygulanabilir olması nedeniyle daha avantajlı görülmektedir.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmamızın sonuçları incelendiğinde proksimal humerus KMY'sinin tüm vücut KMY (lomber ve proksimal femur) ölçümlerinden elde edilen T-Skorları ile anlamlı olarak korelasyon gösterdiği tespit edilmiştir. Bu nedenle lomber ve proksimal femur KMY ölçümleri sonucunda osteoporoz tespit edilen hastalarda proksimal humerus kemik kalitesinin de zayıf bu tetkikler göz önüne alınarak öngörülebilir. Proksimal humerustan ölçülen kortikal kalınlıklardan elde edilen oran ve indekslerin hem tüm vücut T-Skorları hem de proksimal humerusun lokal KMY'si ile ilişkisini değerlendirdiğimizde ise DTİ'nin direkt grafide ve Dual-BT'de hem proksimal femurdan elde edilen T-Skorları hem de proksimal humerustan elde edilen KMY değerleri ile anlamlı korelasyon gösterdiğini tespit ettik. Lineer kortikal indeks ise Dual-BT'de yine proksimal femur ve proksimal humerus ile anlamlı korelasyon gösterirken, direkt grafide sınırda anlamlı bir ilişkiye sahip olduğunu tespit ettik. Bu nedenle, eğer kortikal indeks elde edilerek proksimal humerusun kemik kalitesi öngörülecekse hem direkt grafide hem de Dual-BT'de en doğru ve en kolay yöntemin DTİ ölçümü olduğu tespit ettik. DTİ, hem kırık hatlarından daha az etkilenecek noktadan ölçülmesi hem de ölçümün kolay ve pratik olması nedeniyle diğer ölçüm yöntemlerine göre avantajlıdır ve tercih edilmelidir. Diğer yandan MKO, her iki tetkikte de T-Skorları ve KMY değerleri ile ilişkilendirilememiştir. Literatürde MKO'nun cerrahi sonrasında implant yetmezliği ile ilişkili olduğu bildirilmiştir. Biz MKO'nun cerrahi sonrası gelişen redüksiyon kaybı ile ilişkisinin osteoporoza bağlı olmadığını düşünmekteyiz. Cerrahi sonrası tespit kalitesi, medial kalkar devamlılığının olmaması ve malrotasyonlar ile MKO arasındaki ilişki ileride yapılacak çalışmalarda araştırılmalıdır. Humerus başının KMY'sinin homojen bir dağılım göstermediği yapılan farklı çalışmalarda vurgulanmıştır. Bizde çalışmamızda BT ile değerlendirdiğimizde tüm vücuttaki osteoporozun proksimal humerusta en sık tüberkülüm majus ve tüberkülüm minus bölgesinde yağlanmaya sebep olduğunu yani dolaylı olarak osteoporozun en sık bu anatomik bölgelere anlamlı olarak yansıdığını tespit ettik. Her ne kadar osteoporoz ile ilişkili kortikal kalınlık ölçümlerinin diyafizden elde edilmesi gerektiği daha önceki çalışmalarda söylene de biz ilerleyen dönemde yapılacak çalışmalarda en doğru ölçümü ve buna bağlı olarak en doğru öngörüü yapabilmek için humerus proksimalinin KMY'sinin ve kortikal kalınlıklarının ölçümünün tüberkülüm majus, tüberkülüm minusi, humeral baş ve cerrahi boyun gibi spesifik anatomik lokalizasyonlardan ayrı ayrı ölçülmesi gerektiğini düşünmekteyiz. Ayrıca cerrahi öncesi

planlama yapmak için çekilen BT’lerde, KMY ölçümlerinin başarılı bir cerrahi için vida tutunumunun en yüksek olması gerektiği noktalardan yapılmasının cerrahi başarıyı arttıracakını düşünüyoruz. Bu nedenlerden dolayı çalışmamız, gelecekteki klinik ve deneysel çalışmalara öncülük etmektedir.



KAYNAKLAR

1. Mahmuti A, Kaya Simsek E, Haberal B. The medial cortical ratio as a risk factor for failure after surgical fixation of proximal humerus fractures in elderly patients. *Jt Dis Relat Surg* 34: 432-438, 2023.
2. Alrabaa RG, Ma G, Truong NM, Lansdown DA, Feeley BT, Zhang AL, Ma CB. Trends in surgical treatment of proximal humeral fractures and analysis of postoperative complications over a decade in 384,158 patients. *JB JS Open Access* 7: 2022.
3. Lorente-Ramos R, Azpeitia-Arman J, Munoz-Hernandez A, Garcia-Gomez JM, Diez-Martinez P, Grande-Barez M. Dual-energy x-ray absorptiometry in the diagnosis of osteoporosis: A practical guide. *AJR Am J Roentgenol* 196: 897-904, 2011.
4. Wallace MJ, Bledsoe G, Moed BR, Israel HA, Kaar SG. Relationship of cortical thickness of the proximal humerus and pullout strength of a locked plate and screw construct. *J Orthop Trauma* 26: 222-225, 2012.
5. Skedros JG, Knight AN, Pitts TC, O'Rourke PJ, Burkhead WZ. Radiographic morphometry and densitometry predict strength of cadaveric proximal humeri more reliably than age and dxa scan density. *J Orthop Res* 34: 331-341, 2016.
6. Spross C, Kaestle N, Benninger E, Fornaro J, Erhardt J, Zdravkovic V, Jost B. Deltoid tuberosity index: A simple radiographic tool to assess local bone quality in proximal humerus fractures. *Clin Orthop Relat Res* 473: 3038-3045, 2015.
7. Tingart MJ, Apreleva M, von Stechow D, Zurakowski D, Warner JJ. The cortical thickness of the proximal humeral diaphysis predicts bone mineral density of the proximal humerus. *J Bone Joint Surg Br* 85: 611-617, 2003.
8. Kamiyama M, Shitara H, Tajika T, Shimoyama D, Hashimoto S, Ichinose T, Sasaki T, Hamano N, Chikuda H. Reliability of measuring the proximal humeral bone mineral density using dual-energy x-ray absorptiometry. *Osteology* 4: 88-97, 2024.
9. Yu Q, Yang J, Zhou C, Xu Z, Liu C, Luo Q, Zhang L. Quantification of bone quality and distribution of the proximal humerus with dual-energy computed tomography. *Quant Imaging Med Surg* 13: 5676-5687, 2023.
10. Compston JE, McClung MR, Leslie WD. Osteoporosis. *Lancet* 393: 364-376, 2019.

11. Khandelwal S, Lane NE. Osteoporosis: Review of etiology, mechanisms, and approach to management in the aging population. *Endocrinol Metab Clin North Am* 52: 259-275, 2023.
12. Clynes MA, Harvey NC, Curtis EM, Fuggle NR, Dennison EM, Cooper C. The epidemiology of osteoporosis. *Br Med Bull* 133: 105-117, 2020.
13. Erhan B, Ataker Y. Rehabilitation of patients with osteoporotic fractures. *J Clin Densitom* 23: 534-538, 2020.
14. Aspray TJ, Hill TR. Osteoporosis and the ageing skeleton. *Subcell Biochem* 91: 453-476, 2019.
15. Kanis JA, Johansson H, Harvey NC, Lorentzon M, Liu E, Vandenput L, McCloskey EV. An assessment of intervention thresholds for very high fracture risk applied to the nogg guidelines : A report for the national osteoporosis guideline group (nogg). *Osteoporos Int* 32: 1951-1960, 2021.
16. Anam AK, Insogna K. Update on osteoporosis screening and management. *Med Clin North Am* 105: 1117-1134, 2021.
17. Tarrant SM, Balogh ZJ. The global burden of surgical management of osteoporotic fractures. *World J Surg* 44: 1009-1019, 2020.
18. Johnston CB, Dagar M. Osteoporosis in older adults. *Med Clin North Am* 104: 873-884, 2020.
19. Sabri SA, Chavarria JC, Ackert-Bicknell C, Swanson C, Burger E. Osteoporosis: An update on screening, diagnosis, evaluation, and treatment. *Orthopedics* 46: e20-e26, 2023.
20. Varga P, Grunwald L, Windolf M. The prediction of cyclic proximal humerus fracture fixation failure by various bone density measures. *J Orthop Res* 2018.
21. von Ruden C, Augat P. Failure of fracture fixation in osteoporotic bone. *Injury* 47 Suppl 2: S3-S10, 2016.
22. Prost S, Pesenti S, Fuentes S, Tropiano P, Blondel B. Treatment of osteoporotic vertebral fractures. *Orthop Traumatol Surg Res* 107: 102779, 2021.
23. Hollensteiner M, Sandriesser S, Bliven E, von Ruden C, Augat P. Biomechanics of osteoporotic fracture fixation. *Curr Osteoporos Rep* 17: 363-374, 2019.
24. Krappinger D, Bizzotto N, Riedmann S, Kammerlander C, Hengg C, Kralinger FS. Predicting failure after surgical fixation of proximal humerus fractures. *Injury* 42: 1283-1288, 2011.

25. Barlow JD, Logli AL, Steinmann SP, Sems SA, Cross WW, Yuan BJ, Torchia ME, Sanchez-Sotelo J. Locking plate fixation of proximal humerus fractures in patients older than 60 years continues to be associated with a high complication rate. *J Shoulder Elbow Surg* 29: 1689-1694, 2020.
26. Nowak LL, Dehghan N, McKee MD, Schemitsch EH. Plate fixation for management of humerus fractures. *Injury* 49 Suppl 1: S33-S38, 2018.
27. Schumaier A, Grawe B. Proximal humerus fractures: Evaluation and management in the elderly patient. *Geriatr Orthop Surg Rehabil* 9: 2151458517750516, 2018.
28. Solberg BD, Moon CN, Franco DP, Paiement GD. Locked plating of 3- and 4-part proximal humerus fractures in older patients: The effect of initial fracture pattern on outcome. *J Orthop Trauma* 23: 113-119, 2009.
29. Nho SJ, Brophy RH, Barker JU, Cornell CN, MacGillivray JD. Innovations in the management of displaced proximal humerus fractures. *J Am Acad Orthop Surg* 15: 12-26, 2007.
30. Majed A, Thangarajah T, Southgate D, Reilly P, Bull A, Emery R. Cortical thickness analysis of the proximal humerus. *Shoulder Elbow* 11: 87-93, 2019.
31. Taskesen A, Gocer A, Uzel K, Yaradilmis YU. Effect of osteoporosis on proximal humerus fractures. *Geriatr Orthop Surg Rehabil* 11: 2151459320985399, 2020.
32. Hepp P, Theopold J, Osterhoff G, Marquass B, Voigt C, Josten C. Bone quality measured by the radiogrammetric parameter "cortical index" and reoperations after locking plate osteosynthesis in patients sustaining proximal humerus fractures. *Arch Orthop Trauma Surg* 129: 1251-1259, 2009.
33. Mather J, MacDermid JC, Faber KJ, Athwal GS. Proximal humerus cortical bone thickness correlates with bone mineral density and can clinically rule out osteoporosis. *J Shoulder Elbow Surg* 22: 732-738, 2013.
34. Newton AW, Selvaratnam V, Pydah SK, Nixon MF. Simple radiographic assessment of bone quality is associated with loss of surgical fixation in patients with proximal humeral fractures. *Injury* 47: 904-908, 2016.
35. Adiyek L, Gecer A, Bulut O. Comparison of effective factors in loss of reduction after locking plate-screw treatment in humerus proximal fractures. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg* 28: 1008-1015, 2022.
36. Skedros JG, Mears CS, Burkhead WZ. Ultimate fracture load of cadaver proximal humeri correlates more strongly with mean combined cortical thickness than with areal cortical index, dxa density, or canal-to-calcar ratio. *Bone Joint Res* 6: 1-7, 2017.

37. Choi KY, Lee SW, In Y, Kim MS, Kim YD, Lee SY, Lee JW, Koh IJ. Dual-energy ct-based bone mineral density has practical value for osteoporosis screening around the knee. *Medicina (Kaunas)* 58: 2022.
38. Barnett E, Nordin BE. The radiological diagnosis of osteoporosis: A new approach. *Clin Radiol* 11: 166-174, 1960.
39. Virtama P, Telkka A. Cortical thickness as an estimate of mineral content of human humerus and femur. *Br J Radiol* 35: 632-633, 1962.

