



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ



**PEDİATRİK AYAK BİLEĞİ MANYETİK REZONANS
GÖRÜNTÜLEMESİNDE KIRMIZI KEMİK İLİĞİ
DEĞİŞİKLİKLERİNİN ÖLÇÜMÜ**

Dr. Barış İRGÜL

RADYOLOJİ ANABİLİM DALI
TIPTA UZMANLIK TEZİ

DANIŞMAN

Doç. Dr. Erdem FATİHOĞLU

ERZİNCAN

2025

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ

PEDİATRİK AYAK BİLEĞİ MANYETİK REZONANS
GÖRÜNTÜLEMESİNDE KIRMIZI KEMİK İLİĞİ
DEĞİŞİKLİKLERİNİN ÖLÇÜMÜ

Dr. Barış İRGÜL

RADYOLOJİ ANABİLİM DALI
TIPTA UZMANLIK TEZİ

DANIŞMAN
Doç. Dr. Erdem FATİHOĞLU

ERZİNCAN
2025

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
Tıp Fakóltesi Dekanlığı'na,

Tıpta Uzmanlık Tezi olarak hazırlayıp sunduğum “Pediatrik Ayak Bileğı Manyetik Rezonans Görüntülemesinde Kırmızı Kemik İliğı Değışikliklerinin Ölçümü” başlıklı tez; bilimsel ahlak ve değere uygun olarak tarafımdan yazılmıştır. Tezimin fikir/hipotezi tümüyle tez danışmanım ve bana aittir. Tezde yer alan araştırma tarafımca yapılmış olup, tüm cümleler, yorumlar bana aittir.

Bu tez çalışmasıyla ilgili tüm süreçler Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından, 24/10/2024 tarihinde, 2024-14/12 numaralı kararla onaylanmıştır.

Yukarıda belirtilen hususların doğruluğunu beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı:

Tarih:

İmza:

ÖNSÖZ

Araştırmamda bana yardımcı olan değerli tez danışmanım Doç. Dr. Erdem FATİHOĞLU'na,

Asistanlık eğitimim boyunca bilgi ve becerilerinden faydalandığım başta Anabilim dalı başkanımız Doç. Dr. Sonay AYDIN'a ve diğer değerli hocalarıma,

Birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum, zorluklara birlikte göğüs gerdiğimiz, sevgili asistan arkadaşlarıma,

En büyük destekçilerim, bugünlere gelmemdeki en büyük paya sahip olan ve her daim mücadele edişimi gözleyen çok kıymetli anne ve babama sonsuz teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

Etik Beyan	ii
Önsöz	iii
İçindekiler	iv
Simgeler ve Kısaltmalar	v
Şekiller Dizini	vi
Tablolar Dizini	vii
1. TÜRKÇE ÖZET	1
2. ABSTRACT	3
3. GİRİŞ VE AMAÇ	5
4. GENEL BİLGİLER	7
4.1. Normal İlik Yapısı	7
4.2. Kemik İliği Konversiyonu	7
4.3. Kemik İliğinin Manyetik Rezonans Görüntülemesi	8
4.4. Manyetik Rezonans Görüntülemede Kemik İliği Patolojileri	16
4.5. Ayak ve Ayak Bileği Kemik Anatomisi	19
5. GEREÇ ve YÖNTEM	23
5.1. İstatistiksel Analiz	26
6. BULGULAR	27
6.1. Araştırma Popülasyonun Genel Özellikleri	27
6.2. Cinsiyet Açısından Dağılımlar	32
6.3. Yaş Grupları Açısından Dağılımlar	38
6.4. Yaş ve Cinsiyet Alt Grupları Açısından Dağılımlar	44
7. TARTIŞMA	49
8. SONUÇ ve ÖNERİLER	56
9. OLGU ÖRNEKLERİ	57
10. KAYNAKLAR	62
11. EKLER	66
11.1. Ek 1: Özgeçmiş	66
11.2. Ek 2: Etik Kurul Karar Formu	67
11.3. Ek 3: Etik Kurul Karar Formu	68
11.4. Ek 4: Benzerlik Raporu	69

SİMGELER VE KISALTMALAR

ADC	: Görünür Difüzyon Katsayısı
DAG	: Difüzyon ağırlıklı görüntüleme
FOV	: Field of View
FSE	: Fast Spin Eko
G-CSF	: Granülosit koloni stimüle edici faktör
Gy	: Gray
MRG	: Manyetik Rezonans Görüntüleme
ms	: Milisaniye
PACS	: Picture Archiving Communication System
RF	: Radyofrekans
SE	: Spin Eko
STIR	: Short Time Inversion Recovery
T	: Tesla
T1A	: T1 Ağırlıklı Görüntü
T2A	: T2 Ağırlıklı Görüntü
TE	: Time to Echo
TIRM	: Turbo inversion recovery magnitude
TR	: Time to Repetition

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.	Femurda kemik iliği konversiyonu	8
Şekil 2.	Ana manyetik alan ve x, y, z eksenleri	9
Şekil 3.	Arka, orta ve ön ayak	20
Şekil 4.	Ayak ve ayak bilek kemiklerinin anterior görünümü	21
Şekil 5.	Ayak kemiklerinin dorsal görünümü	22
Şekil 6.	Talus bölgeleri	24
Şekil 7.	Kalkaneus bölgeleri	24
Şekil 8.	Yaş gruplarında ayak bölgelerine göre kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı	31

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1.	Hastaların demografik özellikleri	27
Tablo 2.	Ayak bileği MRG tetkiklerindeki kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı	28
Tablo 3.	Talus bölgelerine göre kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı	29
Tablo 4.	Kalkaneus bölgelerine göre kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı	30
Tablo 5.	Kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı	32
Tablo 6.	Cinsiyete göre demografik özellikler	33
Tablo 7.	Cinsiyete göre kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı	34
Tablo 8.	Cinsiyete göre talus bölgelerinde kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı	35
Tablo 9.	Cinsiyete göre kalkaneus bölgelerinde kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı	36
Tablo 10.	Cinsiyete göre kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı	37
Tablo 11.	Yaş gruplarına göre demografik özellikler	38
Tablo 12.	Yaş gruplarına göre kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı	40
Tablo 13.	Yaş gruplarına göre talus bölgelerinde kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı	41
Tablo 14.	Yaş gruplarına göre kalkaneus bölgelerinde kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı	42
Tablo 15.	Yaş gruplarına göre kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı	43
Tablo 16.	Yaş ve cinsiyet alt gruplarına göre kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı	45
Tablo 17.	Yaş ve cinsiyet alt gruplarına göre talus bölgelerinde kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı	46
Tablo 18.	Yaş ve cinsiyet alt gruplarına göre kalkaneus bölgelerinde kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı	47
Tablo 19.	Yaş ve cinsiyet alt gruplarına göre kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı	48

1. TÜRKÇE ÖZET

Amaç

Pediatric yaş grubunda ayak bileğine yönelik yapılan Manyetik rezonans görüntülemede (MRG) T2 ağırlıklı görüntülerde (T2A) yüksek sinyaller sıklıkla izlenmektedir. Bu yüksek sinyallerin başlıca ayırıcı tanıları arasında kemik iliği ödemleri, travma, enflamasyon, enfeksiyon, neoplastik sebepler, artrit, metabolik sebepler, iyatrojenik, biyomekanik ve gelişimsel nedenler yer almaktadır. Pediatric ayak bileği MRG'sinde T2A fokal sinyal artışları aynı zamanda fizyolojik bir bulgu olan kırmızı kemik iliği değişikliklerine de işaret edebilmektedir.

Bu çalışmadaki temel amaç, pediatric ayak bileği MRG tetkiklerindeki T2A yüksek sinyallerin, patolojiye işaret eden ayırıcı tanıların yanı sıra kırmızı kemik iliği değişikliklerine de ait olabileceğinin anlaşılması ve bunların hangi kemiklerde, ne sıklıkta izlendiğinin, yaşla, cinsiyetle nasıl dağılım gösterdiğinin anlaşılmasıdır. Böylelikle kırmızı kemik iliği değişikliklerinin ve kemik iliği dönüşümünün normal paternleri anlaşılabilir olacak ve pediatric ayak bileği MRG'sinde izlenen sinyal değişikliklerinin diğer ayırıcı tanılardan ayırt edilebilmesi daha mümkün olabilecektir.

Gereç ve Yöntem

Çalışmamız Ekim 2020 ile Ekim 2024 tarihleri arasında Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Mengücek Gazi Eğitim ve Araştırma Hastanesi Radyoloji Kliniğinde, 1,5 Tesla MRG cihazında ayak bileği görüntülemesi yapılmış 18 yaş ve altı ocuk hastalarda retrospektif olarak gerçekleştirilmiştir.

Osteomiyelit, travma, primer tümör ve metastatik lezyon, metabolik ve gelişimsel anomali, tedaviye bağlı değişikliklerle uyumlu anamnezi veya bulguları olan hastalar çalışma dışı bırakılmıştır.

Belirtilen esaslara göre toplam 196 hasta çalışma kapsamında incelenmiş ve 47 hasta çalışma dışı bırakılmıştır. Çalışma popülasyonu 149 hastadan oluşmaktadır.

Çalışmaya dahil hastaların ayak bileği MRG tetkiklerinde, kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu T2A sinyal artışları izlenip izlenmediği, eğer bu sinyaller izleniyorsa bunların hangi kemiklerde mevcut olduğu, görüntülemenin hangi ayakta yapıldığı, hastaların yaş ve cinsiyetleri kaydedilmiştir.

Bulgular

Araştırmaya dahil edilen 149 hastanın 125'inde (%83.9) kemik yapıların en az birinde kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odak veya odaklar izlendi.

Tüm hastaların %81.2'sinde talusta, %57.7'sinde kalkaneusta, %47'sinde navikulada, %32.2'sinde küboid kemikte, %38.9'unda medial kuneiformda, %30.9'unda orta kuneiformda, %19.5'inde lateral kuneiformda, %18.1'inde metatars bazisinde, %18.8'inde tibiada, %12.8'inde fibulada kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odaklar saptandı. İlerleyen yaşla birlikte odak izlenme sıklığı daha düşüktü. Ayak kemiklerinde yapılan anatomik gruplamalarda, arka ayakta ve ayak medial planda kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların izlenme sıklığı daha yüksekti.

Okul dönemindeki kızlarda erkeklere kıyasla tibia, fibula, metatars bazisi bölgesindeki kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların sıklığı daha yüksek iken, diğer bölgelerdeki kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların sıklığı erkeklerde daha yüksekti. Adölesan grubunda ise, erkeklerde kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların izlenme sıklığı kızlara kıyasla tüm kemiklerde daha yüksekti.

Sonuç

Kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların izlenme sıklığı, ilerleyen yaşla birlikte azalmaktadır. Çalışmamızda, literatürde belirtilen kemik iliği konversiyonu paterni ile uyuşacak şekilde, kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odaklar distalden proksimale doğru artan bir sıklık sırası ile izlenmekte ve en sık arka ayak grubunda izlenmektedir. Ayrıca çalışmamızda literatüre katkı olarak, erkek ve kız cinsiyet gruplarında yapılan kıyaslamalar sonucunda erkeklerde kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların izlenme sıklığı daha fazla bulunmuştur. Literatüre diğer bir katkı da ayağın anatomik olarak lateral ve medial gruplara ayırıp incelenmesi sonucunda, medialde laterale kıyasla kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların izlenme sıklığının daha fazla olmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Kemik İliği MRG, Kemik İliği Konversiyonu, Rekonversiyon, Kırmızı Kemik İliği değişiklikleri, Ayak Bileği MRG

MEASUREMENT OF RED BONE MARROW CHANGES IN PEDIATRIC ANKLE MAGNETIC RESONANCE IMAGING

2. ABSTRACT

Aim

Magnetic resonance imaging (MRI) examinations of the ankle in the pediatric age group frequently show high signals on T2-weighted images (T2A). Differential diagnoses of these high signals include bone marrow oedema, trauma, inflammation, infection, neoplastic causes, arthritis, metabolic causes, iatrogenic, biomechanical and developmental causes. T2A focal signal increases in pediatric ankle MRI may also indicate red bone marrow changes, which is a physiological finding.

The main aim of this study is to understand that focal T2A hyperintensities in pediatric ankle MRI examinations may belong to red bone marrow changes as well as differential diagnoses indicating pathology, and to understand in which bones, how often they are observed, and how they are distributed with age and gender. In this way, the normal patterns of red bone marrow changes and bone marrow transformation will be understood and it will be possible to distinguish the signal changes observed in pediatric ankle MRI from other differential diagnoses.

Materials and Methods

Our study was performed retrospectively in pediatric patients aged 18 years and younger who underwent ankle imaging on 1.5 Tesla MRI device in the Radiology Clinic of Erzincan Binali Yıldırım University Mengücek Gazi Training and Research Hospital between October 2020 and October 2024.

Patients with anamnesis or findings consistent with osteomyelitis, trauma, primary tumour and metastatic lesion, metabolic and developmental anomaly, treatment-related changes were excluded from the study.

A total of 196 patients were analysed according to the specified principles and 47 patients were excluded from the study. The study population consisted of 149 patients.

In the ankle MRI examinations of the patients included in the study, it was recorded whether T2A signal increases consistent with red bone marrow changes were observed, if these

signals were observed, in which bones they were present, in which foot the imaging was performed, age and gender of the patients.

Results

Foci or foci in at least one of the bone structures consistent with red bone marrow changes were observed in 125 (83.9%) of 149 patients included in the study.

Foci consistent with red bone marrow changes were detected in 81.2% of the patients in the talus, 57.7% in the calcaneus, 47% in the navicular, 32.2% in the cuboid bone, 38.9% in the medial cuneiform, 30.9% in the middle cuneiform, 19.5% in the lateral cuneiform, 18.1% in the metatarsal base, 18.8% in the tibia, and 12.8% in the fibula. The frequency of foci was lower with advancing age. In anatomical groupings of the foot bones, the frequency of foci compatible with red bone marrow changes was higher in the hindfoot and medial aspect of the foot.

In school-age girls, the frequency of foci consistent with red bone marrow changes in the tibia, fibula and metatarsal base was higher than in boys, whereas the frequency of foci consistent with red bone marrow changes in other regions was higher in boys. In the adolescent group, the frequency of foci consistent with red bone marrow changes was higher in boys compared to girls in all bones.

Conclusions

The frequency of foci consistent with red bone marrow changes decreases with age. In our study, in agreement with the pattern of bone marrow conversion described in the literature, foci compatible with red bone marrow changes were observed in an increasing order of frequency from distal to proximal and were most frequently observed in the hindfoot group. In addition, as a contribution to the literature, as a result of the comparisons made in male and female gender groups in our study, the frequency of foci compatible with red bone marrow changes was found to be higher in the male gender group. Another contribution to the literature is that when the foot was anatomically divided into lateral and medial groups, the frequency of foci compatible with red bone marrow changes was higher in the medial group than in the lateral group.

Key Words: Bone Marrow MRI, Bone Marrow Conversion, Reconversion, Red Bone Marrow changes, Ankle MRI

3. GİRİŞ VE AMAÇ

Manyetik rezonans görüntüleme (MRG) günümüzde kemik iliği değerlendirmesi için en başarılı tetkik olarak öne çıkmaktadır ve travmatik, neoplastik, enfeksiyöz, biyomekanik, metabolik veya gelişimsel nedenler de dahil olmak üzere fokal veya yaygın kemik iliği lezyonlarını tespit etmek için kullanılan hassas bir yöntemdir (1-4).

Pediyatrik yaş grubunda ayak bileğine yönelik yapılan MRG’de T2 ağırlıklı görüntülerde (T2A) yüksek sinyaller sıklıkla izlenmektedir. Bu yüksek sinyallerin ayırıcı tanıları arasında kemik iliği ödemleri, travma, enflamasyon, enfeksiyon, neoplastik sebepler, artrit, metabolik sebepler, iyatrojenik, biyomekanik ve gelişimsel nedenler yer almaktadır (5-11). Pediyatrik ayak bileği MRG’sinde T2A fokal sinyal artışları aynı zamanda fizyolojik bir bulgu olan kırmızı kemik iliği değişikliklerine de işaret edebilmektedir.

MRG’de pediyatrik kemik iliğinin değerlendirilmesi, kemik iliğinin yaşa ve cinsiyete göre değişkenlik göstermesi nedeniyle bazı zorluklara ve yanlış tanılara neden olabilmektedir. MRG’de kemik iliği değerlendirmesinde T1 ağırlıklı (T1A) Spin Eko/ Fast Spin Eko (SE/FSE), T2A SE/FSE ve Short Time Inversion Recovery (STIR) sekansları günlük pratikte sık kullanılmaktadır (12, 13). Bu değerlendirme komşu kas ve subkutan yağ doku ile kıyası da içerdiğinden kalitatif ve radyoloğun deneyimine bağımlıdır, dolayısıyla yanlış yorumlanmaya açıktır.

Intraosseöz kompartmanda yer alan zengin hücresel bir bağ dokusu olan kemik iliği, eritrosit, trombosit ve lökositlerin düzenlendiği ana hematopoez bölgesidir. Kemik iliği, hematopoetik aktif kırmızı ilikten ve yağlı sarı ilikten oluşmaktadır. Kırmızı ve sarı iliğin normal dağılımı yaşla birlikte bir dönüşüm ve değişim içindedir. Kırmızı ilik, sarı iliğe kıyasla su içeriği bakımından yüksek (%40) ve yağ içeriği bakımından nispeten düşüktür (%40) ve yaklaşık %20 protein içerir. Sarı ilik çok daha yüksek oranda yağ (%80) ve daha az su (%15) ve protein (%5) içerir (14). Doğumda ilik tamamen hematopoetik yani kırmızı ilik şeklindedir. Yaşamın ilk yılında, kırmızı ilikten sarı iliğe dönüşüm başlar ve yaklaşık 25 yaşında yetişkin bireydeki haline ulaşmış olur (15).

T1 ve T2 relaksasyon zamanlarındaki farklar kırmızı ve sarı iliğin ayırt edilmesini sağlar. T1A’da, kırmızı iliğin sinyal yoğunluğu sarı ilikten önemli ölçüde daha azdır ancak tipik olarak komşu kaslardan daha yüksektir. T2A’da, kırmızı iliğin sinyal yoğunluğu komşu kastan biraz daha yüksektir. Sarı ilik ise izointens veya subkutan yağdan biraz daha düşük sinyallidir.

Bu çalışmadaki temel amaç, pediatrik ayak bileği MRG tetkiklerindeki T2A yüksek sinyallerin, patolojiye işaret eden ayırıcı tanıların yanı sıra kırmızı kemik iliği değişikliklerine de ait olabileceğinin anlaşılması ve bunların hangi kemiklerde, ne sıklıkta izlendiğinin, yaşla, cinsiyetle nasıl dağılım gösterdiğinin anlaşılmasıdır. Böylelikle kırmızı kemik iliği değişikliklerinin ve kemik iliği dönüşümünün normal paternleri anlaşılabilir olacak ve pediatrik ayak bileği MRG'sinde izlenen sinyal değişikliklerinin diğer ayırıcı tanılardan ayırt edilebilmesi daha mümkün olabilecektir.



4. GENEL BİLGİLER

4.1. Normal İlik Yapısı

Kemik iliği; kırmızı ilik, sarı ilik ve trabeküler kemik olmak üzere başlıca üç bölümden oluşur.

Eritrositlerin ve öncü hücrelerinin içinde hemoglobin bulunması nedeniyle kırmızı olan hematopoetik (kırmızı) ilik, hematopoezde aktif olarak görev alır. Yağlı (sarı) ilik hematopoez açısından inaktiftir ve yağ oranı artmıştır. Kırmızı ilik yaklaşık %40 su, %40 yağ ve %20 proteinden oluşurken, sarı ilik %15 su, %5 protein ve yüksek miktarda yağ (%80) içerir (14). Kırmızı iliğin vasküler beslenmesi zengin iken, sarı ilik çok daha seyrek bir vasküler beslenmeye sahiptir (16). Kemik iliğinin üçüncü bölümü olan trabeküler kemik ise kemik iliğinin diğer komponentleri için destek görevi sağlar ve mineral deposudur (17).

Normal ilik hücresel içerik açısından kompleks bir yapıdır ve gelişmekte olan hematopoetik kök hücreleri, eritrositleri, yağ hücrelerini, retiküloendotelyal hücreleri, mast hücreleri, fibroblastları ve diğer stromal hücreleri içermektedir. Kemik iliği ayrıca kolajen tip I ve III, fibronektin, laminin ve proteoglikanlardan oluşan bir ekstraselüler matriks içermektedir (16).

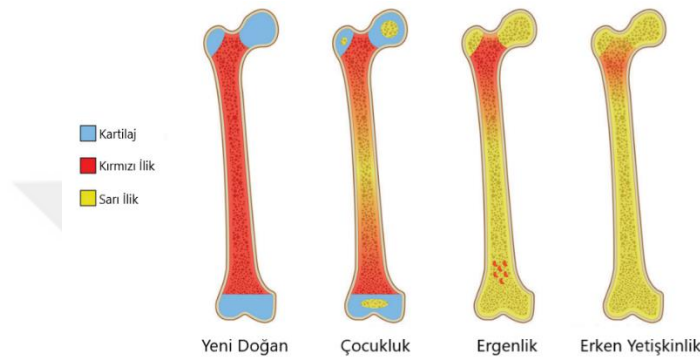
4.2. Kemik İliği Konversiyonu

Fetüste hematopoez başlangıçta yolk sakta başlar ve 6. Haftadan itibaren karaciğerde, 8. Haftadan itibaren daha az oranda olmak üzere dalakta ve timusta devam eder. Yaklaşık 4. fetal aydan itibaren kemik iliği hematopoetik olarak aktif hale gelir. Postnatal dönemde ise hematopoetik aktivite başlıca kemik iliğinde gerçekleşir ve neredeyse tüm kemiklerde bu aktivite görülür (18).

Kemik iliği konversiyonu, kırmızı ilikten sarı iliğe dönüşümü ifade eder. Yenidoğanda kemik iliği neredeyse tamamen kırmızı ilikten oluşur. Yaşamın ilk yirmi yılı boyunca ilik dönüşümü hızla devam eder ve yaklaşık 25 yaşına gelindiğinde, ilik paterni erişkindeki stabilize hale ulaşmış olur. Erişkinde vertebra, sternum, kostalar, pelvis, kranium, femur ve humerus proksimal shaftlarında rezidüel kırmızı ilik mevcuttur (5).

Kemik iliği konversiyonu ilk olarak el ve ayakların terminal falankslarında başlar. Daha sonra bunu radius, ulna ve tibia, fibula izler. Daha sonra ise humerus ve femurda kemik iliği konversiyonu başlar. Uzun kemiklerin shaftlarındaki kemik iliği konversiyonu epifizde başlar,

daha sonra diyafiz, distal metafiz ve son olarak proksimal metafizde izlenir (Şekil 1) (14, 19). Kemik iliğindeki bu dönüşüm sentripedal olarak ilerler ve bu sebeple fokal kırmızı kemik iliği değişiklikleri, subkortikal-endosteal kemik bölgelerinde görülür (20). Anemilerde ve tedavilere bağlı bazı durumlarda kemik iliğinin dönüşümü kırmızı ilikten sarıya değil de sarı ilikten kırmızı iliğe doğru ilerler. Buna rekonversiyon denmektedir. Rekonversiyonda ilik dönüşümü konversiyondaki sıranın tersi şeklinde ilerlemekte ve dolayısıyla kırmızı iliğe dönüşüm en son epifizlerde görülmektedir (21).



Şekil 1: Femurda kemik iliği konversiyonu (14)

4.3. Kemik İliğinin Manyetik Rezonans Görüntülemesi

4.3.1. Temel MRG Fiziği

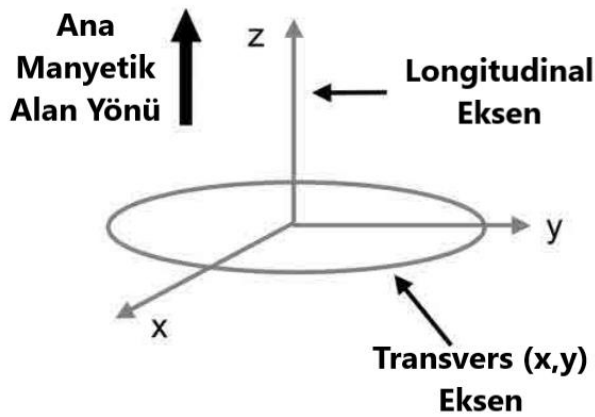
MRG sinyalinin oluşumunda hidrojen atomu kullanılmaktadır. Hidrojen atomunda 1 proton, 1 elektron bulunur ve nötron bulunmaz. Hidrojen protonu pozitif yüklüdür ve kendi eksenini etrafında spin denilen dönme hareketini yapar. Bu dönme hareketi protonun manyetik vektöre sahip olmasına neden olur. Bu sebeple kendi etrafında dönen pozitif yüklü proton küçük bir mıknatıs gibi hareket eder.

Vücudumuzda bulunan manyetik vektöre sahip çok sayıda proton, rastgele hareket eder ve net bir manyetik vektör oluşturmaz. Fakat bu protonlar güçlü bir dış manyetik alanın varlığı halinde, dış manyetik alan vektörü ile aynı yönde veya ters yönde dizilme eğilimi gösterecektir. Dış manyetik alanla aynı yönde dizilmek daha düşük enerji gerektireceğinden protonların çoğunluğu dış manyetik alanla aynı yönde dizilir. Böylece dokuda net bir manyetik vektör oluşur ve doku mıknatıslanır. Bu net vektör ve mıknatıslanma, MRG sinyalinin kaynağı haline gelir ve manyetik rezonans görüntüleri üretmek için kullanılır (22, 23).

Protonlar kendi eksenini etrafında yaptıkları dönme hareketine ek olarak güçlü bir manyetik alana girdiklerinde, dönme ekseninin çizdiği dairesel bir hareket olan, salınım (presesyon) hareketi yapar. Dönme ekseninin 1 saniyede yaptığı dairesel hareket sayısı presesyon frekansını ifade eder. Presesyon frekansı Larmor denklemi ile bulunur ve dış manyetik alan gücü ile giromanyetik sabitin çarpımına eşittir. Giromanyetik sabit her bir atomun karakteristik özelliğidir (22).

Rezonansı enerji transferi olarak ifade edebiliriz. Manyetik rezonansa enerji transferi radyofrekans (RF) pulsu aracılığıyla gerçekleşir. Bu transferin yani rezonansın gerçekleşmesi için RF pulsu, protonların presesyon frekansına eşit olmalıdır. RF pulsu ile protonlara enerji aktarımı sonrası protonların enerjisi artar ve bu sayede ana manyetik alan vektörü ile ters yönde dizilim gösteren proton sayısı da artar. Bunun sonucunda ise net manyetik alan vektörünün değerinde azalma gerçekleşir.

Ana manyetik alana paralel yön longitudinal yöndür ve z eksenini olarak ifade edilir. Sırtüstü uzanmış bir hastada bu yön baştan ayağa olan yöne karşılık gelir. Bu yöne dik olan düzlem transvers düzlem veya x-y düzlemi olarak ifade edilir. Sırtüstü yatan bir hastada x yönü sağ-sol yöne ve y yönü an-arka yöne karşılık gelir (Şekil 2).



Şekil 2: Ana manyetik alan ve x, y, z eksenleri

Doku manyetik alan vektörü RF pulsu uygulanmadan önce longitudinal eksen ile aynı yöndedir. RF pulsu uygulandıktan sonra ise longitudinal eksenindeki izdüşümü küçülür, transvers eksenindeki izdüşümü büyür. RF pulsu etkisi ile protonların transvers eksenindeki izdüşümleri aynı faza gelir ve transvers ekseninde de doku manyetik vektörü oluşur. Transvers eksenindeki bu vektör protonların presesyon hareketleri nedeniyle hareketli bir manyetik alana dönüşür. MR sinyali

esasinda transvers düzlemdeki bu hareketli doku manyetik vektörünün, MR cihazının koillerinde oluşturduğu elektrik akımıdır. RF pulsu kesildiğinde ise protonlar RF pulsu verilmeden önceki enerji seviyelerine dönerler. Protonların bu eski enerji seviyelerine dönüşü gevşeme olarak tariflenen relaksasyon kavramını ortaya çıkarmaktadır. Relaksasyon kavramını longitudinal ve transvers relaksasyon olarak detaylandırmak mümkündür.

Longitudinal relaksasyon z ekseninde gerçekleşir. 90° 'lik RF pulsu sonra transvers ekseninde doku manyetik alan vektörü oluşur. RF pulsu kesildiğinde ise transvers düzlemdeki doku manyetik alan vektörü küçülerek z eksenine doğru büyümeye başlar. Bu büyüme, vektörün RF pulsu uygulanmadan önceki haline yaklaşıp kadar devam eder ancak ilk hale tam olarak ulaşamaz. Yani RF pulsu kesildikten sonra doku manyetik alan vektörünün transvers ekseninden longitudinal eksene doğru büyümesine ve ilk hale geri dönmeye çalışmasına longitudinal relaksasyon denir. T1 relaksasyon zamanı ise 90° 'lik RF pulsu uygulanması sonrası doku manyetik alan vektörünün longitudinal eksenindeki ilk halinin %63'ü kadar bir değere ulaşması için gereken süredir.

Transvers relaksasyon, transvers yani xy ekseninde gerçekleşir. RF pulsu uygulandıktan hemen sonra transvers eksenindeki doku manyetik alan vektörü en yüksek değerde olur. RF pulsu kesildikten sonra transvers eksenindeki doku manyetik alan vektörünün azalması transvers relaksasyon olarak ifade edilir. T2 relaksasyon zamanı ise RF pulsu hemen sonraki transvers eksenindeki maksimum doku manyetik alan vektörü değerinin %37'sine inmesi için gereken süredir. Relaksasyon zamanları milisaniye (ms) olarak ifade edilir.

Transvers ve longitudinal relaksasyonlar eş zamanlı gerçekleşir. RF pulsu kesildikten hemen sonra transvers eksenindeki doku manyetik alan vektörü küçülmeye başlarken aynı zamanda longitudinal eksenindeki doku manyetik alan vektörü de büyümeye başlar. RF pulsundan birkaç saniye sonra transvers manyetizasyonun çoğu kaybedilmiş ve longitudinal manyetizasyonun çoğu kazanılmış olur. T1 ve T2 relaksasyon zamanları dokudan dokuya farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar MRG'de farklı dokulardan farklı sinyaller alınmasını ve farklı dokuların birbirinden ayırt edilmesini sağlar.

4.3.2. Kemik İliğinin Manyetik Rezonans Görüntülemesinde Kullanılan

Sekanslar

MRG'de kemik iliği değerlendirmesinde T1 ağırlıklı (T1A) Spin Eko/ Fast Spin Eko (SE/FSE), T2A SE/FSE ve Short Time Inversion Recovery (STIR) sekansları günlük pratikte sık kullanılmaktadır (12, 13). Bu sekanslara ek olarak; gradient eko, difüzyon ağırlıklı görüntüleme (DAG), gadolinyum kontrast ajanının kullanıldığı T1A sekanslar da kullanılabilir.

a. Spin Eko ve Fast Spin Eko Sekansları

Spin eko sekansı MRG'de en sık kullanılan sekanstır. Spin eko üretimi için en az iki RF pulsu gerekir. Konvansiyonel spin eko görüntülemesinde 90° ve 180° RF pulsu ile üretilen spin ekolar kullanılır.

Çoğu durumda, T1 ve T2 relaksasyon zamanlarındaki farklılıklar normal kırmızı iliğin normal sarı ilikten ve patolojik ilikten ayırt edilmesini sağlar. Sarı ilik düşük hücresellikçe sahip lipidlerden oluştuğu için, sinyal özellikleri subkutan yağa benzer. Sarı ilik, suya kıyasla nispeten kısa bir T1 relaksasyon zamanına sahiptir ve T1 ağırlıklı spin eko sekanslarında yüksek sinyalli görünür. Sarı iliğin T2 relaksasyon zamanı suyununkiye daha yakındır, T2 ağırlıklı spin eko sinyal yoğunluğunda azalma izlenir ve yine sinyal özellikleri subkutan yağa benzer.

Kırmızı kemik iliği, normal hücresel yoğunlukta olduğu zaman T1 ve T2 ağırlıklı görüntülerde ara sinyalde izlenir. T1 ağırlıklı görüntülerde sarı ilik subkutan yağ gibi yüksek sinyalde izlendiği için, ara sinyaldeki kırmızı kemik iliğinin sarı ilikten ayırımı kolaylıkla yapılabilir. Fakat T2 ağırlıklı görüntülerde kırmızı ve sarı ilik ara sinyalli izlendiğinden birbirlerinden ayırımı zordur.

Kemik iliği sinyalinin T1 ağırlıklı görüntülerde normal aralıkta olup olmadığının anlaşılabilmesi için iliğin sinyal yoğunluğu komşu kas veya intervertebral disklerin sinyal yoğunluğu ile karşılaştırılabilir (24). Çoğu patolojik durum kemik iliğinin T1 relaksasyon süresini uzatır ve genel ilik sinyal yoğunluğunu azaltır. Bunun sonucunda patolojik ilik, kasınkine eşit veya daha düşük bir sinyal yoğunluğuna sahip olur. Normalde kemik iliğinin içerisinde yüksek oranda bulunan yağ sebebiyle kemik iliği sinyal intensitesi T1A sekanslarda komşu kas ve intervertebral diskten yüksek olmalıdır (24, 25). Orak hücreli anemi gibi infiltran bir hastalıkta kırmızı kemik iliğinin hücresellikçe artar ve ilik içindeki yağ oranı azalır. Böyle bir durumda kemik iliği, T1 ağırlıklı görüntülerde komşu kasa ve intervertebral diske kıyasla belirgin şekilde hipointens görünür (25).

b. Manyetik Rezonans Görüntülemeye Yağ Baskılama

Daha önceki bölümlerde MRG’de kullanılan temel atomun hidrojen olduğu vurgulanmıştı. Hidrojen vücutta en çok su ve yağda bulunur. Bu sebeple su ve yağda dokudaki dağılımı MR sinyali için belirleyici rol oynamaktadır. Su dokuda serbest olarak bulunabileceği gibi proteinlere veya diğer makromoleküllere bağlı olarak da bulunabilir. İnflamatuvar süreçlerde, enfeksiyöz durumlarda, yer kaplayan kitlesel lezyonlarda ve metastatik süreçler gibi durumlarda bağlı suyun oranı artmaktadır. Bu nedenle bağlı suyun görüntülenmesi patolojik durumların anlaşılabilmesi için önemlidir. Fakat yağ ve serbest su, bağlı yağın görüntülenmesini zorlaştırmaktadır. Bu sebeple de patolojik durumların değerlendirilmesinde yağ ve su sinyallerinin baskılanması önem kazanmaktadır (26).

Yağın T1 relaksasyon zamanı kısa olduğundan yağ T1A’da yüksek sinyalli görünür. Serbest suyun T1 relaksasyon zamanı uzun olduğundan serbest su T1A’da düşük sinyalli görünür. Serbest su, protein veya diğer makromoleküllere bağlandıkça T1 relaksasyon zamanı kısalır ve T1A’da daha yüksek sinyalli görünmeye başlar fakat yağ kadar yüksek bir sinyale ulaşamaz. Yani yağ ve su ayrımı T1A’da zorlanmadan yapılabilir.

Fakat kontrast uygulamalarında inflamasyon, enfeksiyon veya diğer patolojik durumlar kontrast maddenin damarsal geçirgenliğini artıracağından, kontrast madde damar dışına geçer. Damar dışına geçen kontrast madde biriktiği dokunun T1 sinyalini artırır. Bunun sonucunda da kontrast tutan dokunun sinyali ile yağ sinyali birbirine benzer ve ayırt etmek zorlaşır. Bu problemin aşılabilmesi için T1A’da yağ baskılama yapılarak yağ ile doku kontrastının ayırt edilebilmesi amaçlanır. Bu ayrımın yapılabilmesi için kontrastlı T1A görüntüler büyük çoğunlukla yağ baskılı olarak gerçekleştirilir. Ayrıca proteinöz içerikli, hemorajik içerikli lezyonlar gibi yüksek T1 sinyali oluşturan lezyonların yağdan ayırt edilebilmesi de yağ baskılı sekanslar ile mümkündür.

T2A’da SE sekanslarda yağın T2 relaksasyon zamanı uzun olduğundan yağ düşük sinyalli görünür. Fakat günümüzde SE yerini çok daha hızlı olan FSE’ye bırakmıştır. FSE’de yağ yüksek sinyalli olarak görülür. Serbest suyun T2 relaksasyon zamanı uzun olduğundan serbest su T2A’da yüksek sinyalli görünür. Serbest su proteine veya diğer makromoleküllere bağlansa dahi T2A’da yüksek sinyalli olarak görünmeye devam eder. Kısacası günlük pratikte kullanılan FSE’de serbest su, bağlı su ve yağ yüksek sinyalli olarak görünür. T2A’da yağın baskılanmasının amacı da patolojik durumlar sonucu bağlanmış suyun, yağdan ve sarı ilikten ayrımının yapılabilmesidir. Örnek vermek gerekirse kemik iliği ödemi durumunda, yağ baskılı T2 sekansı kullanıldığında sarı ilik baskılanır ve kemik iliği ödeminin yüksek T2A sinyali

kolayca ayırt edilebilir. Ayrıca yağ baskılı ve baskısız sekansların bir arada kullanılması yağdan zengin sürrenal adenom veya teratom gibi yağdan zengin patolojilerin anlaşılabilmesi ve ayırıcı tanılarının azaltılabilmesi için önemlidir (26, 27).

Yağ baskılama yöntemleri (26, 27)

1. İç-dış faz (Dual eko) görüntüleme
2. Dixon yöntemi
3. Su protonlarının uyarılarak yağ baskılanması
4. FAT-SAT (CHESS) yöntemi
5. STIR (Kısa İnversiyon Süreli İnversiyon Recovery)
6. Hibrit yağ baskılama (SPIR, SPAIR)

1. İç-dış faz (Dual eko) görüntüleme

Tekrar süresi (TR) aynı kesite uygulanan ardışık pulsar arasındaki zaman aralığı olarak tanımlanır. İç-dış faz görüntülemede her TR aralığının 2 kez eko toplanır. 1,5 Tesla (T) MR'da 2,27 ms ve katlarında toplanan ekolarda yağ ve su protonlarının manyetik vektörleri zıt yönde olup birbirlerinin sinyalini azaltırlar. Bu görüntüler dış faz görüntü olarak adlandırılır. 4,55 ms ve katlarında toplanan ekolarda ise yağ ve su protonlarının manyetik vektörleri aynı yönde olup birbirlerinin sinyalini arttırırlar. Bu görüntüler ise iç faz görüntü olarak adlandırılır. Dış faz ve iç faz görüntüler birlikte değerlendirildiğinde, bir dokuda dış faz görüntülerde iç faza kıyasla sinyal baskılanmaları varsa bu dokunun mikroskobik yağ içerdiği anlaşılmaktadır. Bu yöntemle doku içerisindeki mikroskobik yağ gösterilir.

2. Dixon yöntemi

Bu yöntemde kimyasal kaymaya dayalı 4 görüntü serisi kullanılır. Bunlar iç faz, dış faz, sadece su, sadece yağ görüntüleridir. İç fazda yağ sinyali ve su sinyali toplanırken, dış fazda yağ sinyali ve su sinyali çıkarılır. İç ve dış fazın toplamı ile sadece su görüntüleri, iç ve dış fazın çıkarılmasıyla da sadece yağ görüntüleri oluşur. Sadece su içeren görüntülerde yağ sinyalleri baskılanır, sadece yağ içeren görüntülerde ise sinyaller sadece yağı göstermektedir.

Dixon yöntemi yağlanmayı göstermede iç-dış faz görüntülerine kıyasla daha başarılıdır. Dixon yönteminin diğer bir avantajı da sadece yağ görüntülerinin sadece su görüntülerine bölünmesiyle elde edilen yağ oranı haritası ile dokudaki yağ oranının kantitatif olarak gösterilebilmesidir (26-28).

3. Su protonlarının uyarılarak yağ baskılanması

Bu yöntemde dokudaki su uyarılarak yağ ve su protonları ayrılır. İlk olarak 45° RF pulsu gönderilerek yağ ve su protonlarının bu düzleme paralel dizilmesi sağlanır. Bu dizilimden birkaç milisaniye sonra yağ ve su protonları arası faz farkı oluşur. Faz farkı 180° olduğu anda 45° RF pulsu daha gönderilir. Bunun sonucunda yağ protonları longitudinal düzlemde dizilirken su protonları transvers düzlemde dizilir ve görüntülemeye yağ sinyali alınmaz. Bu yöntemde baskılama pulsu kullanılmadan yağ baskılanmış olur ancak yağ baskılanma gücü düşük olarak gerçekleşir (26, 27).

4. FAT-SAT (CHESS) yöntemi

Bu yöntemde, yağ protonlarının su protonlarından farklı frekansta olması nedeniyle yağ protonlarının frekansında baskılama pulsu uygulanarak yağ sinyalleri baskılanır. Bu yöntem kimyasal baskılanma (CHESS) veya spektral selektif baskılanma da denir ve en sık kullanılan yöntemdir. Manyetik alan gücü ve homojenitesi arttıkça yağ ile suyun frekans farkı da artacağı için daha güçlü yağ baskılanma yapılır (26, 27).

5. STIR (Kısa İnversiyon Süreli İnversiyon Recovery)

STIR görüntüleme kemik iliği anormalliklerini etkin bir şekilde tespit edilebildiği için ve lezyonları daha belirgin gösterdiği için kemik iliği görüntülemesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde yağ gibi kısa T1 relaksasyon zamanına sahip dokuların sinyalleri baskılanır. Uzun T1 ve T2 relaksasyon zamanlarına sahip lezyonlar yüksek sinyalli olarak görünür. STIR sekansında kırmızı ilik ve sarı ilik orta sinyalli izlenmekle birlikte kırmızı iliğin sinyali sarı ilikten daha yüksektir. Bu sekansda kısa T1 relaksasyon zamanına sahip tüm protonların sinyali baskılanır yani, non-selektif bir baskılanma söz konusudur. Bu da bu sekansın en önemli dezavantajıdır. STIR sekansının diğer yağ baskılama yöntemlerine üstünlüğü ise manyetik alan inhomojenitesinden az etkilenmesi ve Tesla gücü düşük MRG cihazlarında da yağ baskılanma için kullanılabilmesidir (26, 27).

6. Hibrit yağ baskılama (SPIR, SPAIR)

Bu yöntem FAT-SAT yöntemi ile STIR yönteminin kombine şekilde kullanılmasından oluşur. Kombine kullanım sonucu yağ baskılama daha etkin bir şekilde yapılmış olur. SPIR hem T1A hem T2A'da kullanılırken SPAIR sadece T2A'da kullanılır (26, 27).

c. Difüzyon Ağırlıklı Görüntüleme

Difüzyon ağırlıklı görüntüleme (DAG) yöntemi, doku içindeki su moleküllerinin hareketlerini ölçerek dokunun yapısı hakkında bilgi veren, kontrastsız olarak gerçekleştirilen ve T2A görüntülere benzeyen görüntüleme yöntemidir. Vücut suyu intraselüler ve ekstraselüler kompartman olarak ikiye ayrıldığında, suyun bu iki kompartman arasındaki dağılım oranı yaklaşık 3:1'dir. Su ekstraselüler kompartmanda daha serbest olarak hareket edeceğinden difüzyonu hızlıdır. İntraselüler kompartmanda hücre organelleri, makromoleküler ve membran yapısı gibi engellerle karşılaştığından ekstraselüler ortama göre daha kısıtlı, yavaş bir difüzyon gösterir. Suyun normal fizyolojik durumdaki intraselüler ve ekstraselüler dağılımı bazı patolojik durumlarda değişmektedir ve böylece difüzyon sinyallerinde de değişiklik meydana gelmektedir.

Örnek olarak akut iskemik enfarkt gibi akut hücre hasarlarında hücre geçirgenliği bozulur ve hücre içi su miktarı artar, ekstraselüler su miktarı azalır. Bu da dokunun kısıtlı difüzyon göstermesine neden olur. Kronik doku hasarı durumlarında ise intraselüler su, ekstraselüler kompartmana geçiş yapacağı için daha yüksek-serbest bir difüzyon görünür.

Difüzyon ağırlıklı görüntülemede su molekülü hareketlerinin kantitatif ölçülmesini sağlayan görünür difüzyon katsayısı (ADC) hesaplanır. ADC değerinin düşük olması su moleküllerinin kısıtlı difüzyon gösterdiğinin, yüksek olması ise su moleküllerinin serbest difüzyon gösterdiğinin kantitatif bir ölçüsüdür. Neoplazm gibi yüksek hücresellik içeren dokularda, yüksek hücresellik suyun serbest difüzyonuna engel olacağı için düşük ADC değeri beklenir. Bu sebeple çocuklarda kırmızı kemik iliği, yüksek hücresellik içerdiğinden kısıtlı difüzyon gösterir (29). Yapılan bir çalışmada, çocuklarda pelvik kemikler ve lomber vertebralarda asimetrik dağılım gösteren difüzyon kısıtlılığı görülmesinin normal bir bulgu olduğu gösterilmiştir (30). Bu nedenle, çocuk yaş grubunda DAG incelenirken çocuğun yaşı ve kırmızı kemik iliğinin yaygınlığı dikkate alınmalıdır (31).

d. Kontrastlı Görüntüleme

Gadolinium kontrast ajanlarının intravenöz olarak kullanılması osteomiyelit, avasküler nekroz, metastatik lezyonlar başta olmak üzere kas iskelet sistemi patolojilerinde kullanılmakta ve fayda sağlamaktadır. Kemik iliğinin kontrastlanması ilerleyen yaşla birlikte azalma eğiliminde olup çocuk yaş grubunda en belirgindir (32). Ayrıca iliğin türüne göre de kontrastlanması değişkenlik göstermektedir. Görece düşük yağ içeriği, gelişmiş vasküleritesi ve fazla sayıda pencere kapillerler içermesi nedeniyle kırmızı kemik iliği, sarı iliğe kıyasla daha iyi kontrastlanmaktadır (32, 33). Kontrastlanma artışı en çok enjeksiyondan sonraki ilk

dakika içinde belirgindir. Gadolinyum enjeksiyonundan sonra taramanın gecikmesi kontrastlanma derecesini azaltır (34).

İntravenöz gadolinyum kontrast kullanımı, tarama süresini uzattığı için ve potansiyel advers reaksiyona maruz bıraktığı için pediatrik yaş grubunda akılcıl kullanılmalıdır. Pediatrik bir hastada kontrast madde kullanılacaksa intravenöz gadolinyumun klinik faydaları, olası risklerinden daha ağır basmalıdır (35).

4.4. Manyetik Rezonans Görüntülemeye Kemik İliği Patolojileri

4.4.1. Lenfoma

Pediatrik yaş grubunda nadir olarak görülen primer osseöz lenfomada ağrı, en sık başvuru sebebidir. Osseöz lenfomada en sık uzun kemiklerin diyafizi ve yassı kemikler tutulum gösterir (36). Kemik iliğindeki bu tutulum genellikle diffüz olmaktan ziyade fokal ve yamalıdır, bu da kemik iliği biyopsisinde sıklıkla yanlış negatif sonuçlar alınmasına neden olur. Bu sebeple osseöz lenfomanın tanısında kemik iliği görüntülemesi günden güne artmaktadır (37).

Primer osseöz lenfomanın görüntülenmesinde temel olarak T1A, yağ baskılı T2A ve STIR sekansları kullanılır. Kemik iliğindeki lenfomatöz lezyonlar kemik iliğinin her iki kompartmanına kıyasla daha yüksek oranda yağ ve su içerdiğinden kırmızı ve sarı iliğe kıyasla daha uzun T1 ve T2 relaksasyon zamanlarına sahiptir. Dolayısıyla lenfomatöz lezyonlar T1A hipointens, T2A ve STIR sekanslarında hiperintens olarak görünür. Ayrıca lenfomatöz lezyonlar artmış hücresellik nedeniyle kısıtlı difüzyona sebep olacağından DAG’da difüzyon kısıtlanması gösterirler.

4.4.2. Akut Lösemi

Akut lösemi, pediatrik yaş grubunun en sık görülen malignitesidir ve akut lenfoblastik lösemi en yaygın subtiptir. Akut lösemide kemik iliğinde diffüz patern daha sık olmak üzere fokal veya yamalı tutulumlar da izlenebilir (15). Lösemik tutulum T1A’da genellikle hipointens, yağ baskılı T2A’da hiperintens olarak görülür (14). Akut lenfoblastik lösemide, görüntüleme bulguları birbirine benzeyen, non-spesifik kemik ağrısı ile prezente olan osteonekroz ve kemik iliği nekrozu görülebilmektedir.

4.4.3. Hematojen Metastazlar

Metastatik hastalığın hematojen yayılımı, lenfatik yayılımdan ve kemik iliğine doğrudan invazyondan daha sık görülür. Hematojen metastazlar kan dolaşımı ile doğrudan

ilişkili olduklarından, artmış vaskülariteye sahip ilik kompartmanı olan kırmızı ilikte daha daha fazla görülmektedir. Nöroblastom ve rabdomyosarkom, pediatrik yaş grubunda görülen kemik iliği metastazlarının en sık karşılaşılan sebepleridir (14, 15). Metastatik lezyonlar sıklıkla fokal veya multifokal olarak görülürler fakat nöroblastom ve rabdomyosarkomda diffüz metastatik tutulum görülebilmektedir.

Kemik iliğinin litik metastatik lezyonları T1A’da hipointens, T2A’da hiperintens olarak görünürler. Ayrıca DAG’da difüzyon kısıtlanması ve kontrastlı serilerde kontrast tutulumu gösterirler. Sklerotik metastazlar ise T1A hipointens, T2A hipo-izointens ve kontrastlı serilerde değişken kontrastlanma izlenir. Metastatik lezyonların etrafında trabeküler yıkımdan kaynaklanan ödematöz değişikliklerin sebep olduğu hiperintens halo işareti görülür (38).

4.4.4. Primer Osseöz Sarkomlar

Osteosarkom ve ewing sarkomu pediatrik yaş grubunda en sık görülen primer kemik tümörleridir. Ewing sarkomu genellikle kortikal yıkım, ekstraosseöz bir yumuşak doku lezyonu ile birlikte görülür ve sıklıkla diafizde yerleşim gösterir. T1A hipointens, T2A hiperintens görünür. Osteosarkom en sık metafizde yerleşim gösterir. T1A ve T2A hipointens görünür (39-41).

4.4.5. Tedaviye Bağlı Değişiklikler

Radyasyon tedavisi, kemoterapi, granülosit koloni stimüle edici faktörler neoplazmların tedavisinde kullanılırlar ve kemik iliği komponentlerinde geçici veya kalıcı olabilen değişimlere yol açarlar.

Radyasyon tedavisini takip eden 3 hafta boyunca kemik iliğinde herhangi bir değişiklik görülmeyebilir. 3 haftadan sonra kırmızı ilik sarı iliğe dönüşmeye başlar ve T1A heterojen görünüm izlenir. 6 haftadan sonra kemik iliği dönüşümü daha homojen bir hal almaya başlar. Eğer tedavide uygulanan radyasyon dozu 30-40 Gray (Gy)’den daha az ise kemik iliği değişiklikleri geçici olur, radyasyon dozu 40-50 Gy’den daha fazla olduğunda kemik iliği değişiklikleri kalıcı olur. Radyasyona bağlı değişiklikler tedavinin uygulandığı bölgeyle sınırlı kalır. Radyasyon tedavisi sonrası komplikasyonlar arasında pediatrik yaş grubunda kemiklerde büyüme bozukluğu, osteonekroz, başlıca osteokondrom ve osteosarkom olmak üzere radyasyona sekonder benign ve malign neoplazmlar yer alır (42-44).

Kemoterapiye sekonder değişiklikler kemik iliğinde diffüz olarak etkilenmeye yol açar. Tedavinin ilk haftasında sinüzoidlerin artmış geçirgenliği ve dilatasyonu sonucu kemik iliğinde ödem izlenir. Tedavinin 1. haftasından sonra kırmızı ilik, sarı iliğe dönmeye başlar. Kemoterapi

tamamlandıktan sonra sarı ilik içerisinde multipl fokal T2A hiperintens odaklar izlenecek şekilde kırmızı iliğe dönüşüm gerçekleşir (44). Kemoterapi tedavisi sonrası komplikasyonlar arasında osteopatiler, raşitizm ve kemik enfarktüsleri yer alır (45).

Granülosit koloni stimüle edici faktör (G-CSF), kemik iliği rekonversiyonunu artırmak için kemoterapi ve radyasyon tedavisine ek olarak verilir. G-CSF aplaziyi azaltır ve hücre üretimini uyararak kırmızı kemik iliğini aktive eder. G-CSF ile indüklenen rekonversiyonun MRG özellikleri, maligniteden ayırt edilmesi zor olabilen diffüz bir paternde ortaya çıkar. T1 ağırlıklı görüntülemelerde, G-CSF ile indüklenen rekonversiyon, nonspesifik olan ve malignite ile de ortaya çıkabilen T1A hipointens sinyalde izlenir. Ancak, T1 sinyali komşu kastan daha düşük olmamalıdır. T2A'da, hematopoetik rekonversiyon yağa göre hipointens sinyal yoğunluğu olarak izlenir (44, 45).

4.4.6. Osteomiyelit

Osteomiyelit, pediatrik yaş grubunda 5 yaş altı çocuklarda daha yüksek oranda olmak üzere, her 100.000 çocuğun yaklaşık 9-10'unda görülen enfeksiyon ve buna sekonder enflamasyon bulguları ile görülen bir hastalıktır (46). En sık hematogen olarak yayılan osteomiyelitin en sık tutulum bölgeleri sırasıyla femur, pelvis, tibia ve humerustur (47). En sık patojen etkeni ise Staphylococcus aureus'tür. Osteomiyelit artmış vaskülarizasyonla ilişkili olarak pediatrik yaş grubunda metafizde daha sık olmak üzere metafiz ve epifizde izlenir (48).

Direkt grafipler ilk 2 haftada normal olarak değerlendirilebilmektedir. MRG hem kemik iliğinin hem de çevre yumuşak doku planlarının değerlendirilmesine olanak sağladığı için osteomiyelit tanısında kullanışlı bir görüntüleme yöntemidir. Osteomiyelitin ilk görüntüleme bulgusu kemik iliği ödemidir. Akut osteomiyelit T1A hipointens, T2A ve STIR'da hiperintens görünür ve kontrastlı serilerde kontrastlanma gösterir. Akut osteomiyelitteki bu görüntüleme bulguları enflamatuvar hücrelerin infiltrasyonuna ve reaktif enflamatuvar yanıtı sekonder oluşmaktadır.

4.4.7. Hemoglobinopatiler

Pediatrik yaş grubunda yaygın olarak görülen anemi çok çeşitli etiyolojik faktörlere bağlı olarak ortaya çıkabilmektedir. Orak hücreli anemi ve talasemiler aneminin konjenital nedenlerinden bazılarıdır. Bu iki konjenital neden eritrositlerde hemolize ve dolayısıyla anemiye neden olurlar. Aneminin derinleşmesi sonucunda kırmızı kemik iliğinin hematopoetik aktivitesi artar ve hematopoetik stres görülmeye başlar. Hematopoetik stres durumunda kırmızı ilikten sarı iliğe doğru olan konversiyon durur ve sarı ilikten kırmızı iliğe doğru dönüşüm yani

rekonversiyon durumu ortaya çıkar. Daha önce de bahsedildiği gibi rekonversiyonda kemik iliği dönüşümü konversiyondaki sıranın tersi şeklinde ilerlemekte ve kırmızı iliğe dönüşüm en son epifizlerde görülmektedir (21).

4.4.8. Anoreksiya Nervosa

Nevrotik bir beslenme bozukluğu olarak tanımlanan anoreksiya nervosa, kas iskelet sistemi de dahil olmak üzere multisistemik komplikasyonlarla ilerleyen bir hastalıktır. Anoreksiya nervosalı hastalarda vücut yağı azalırken, kemik iliği yağının arttığı ve dolayısıyla kırmızı iliğin sarı iliğe dönüşümünün arttığı, daha erken konversiyon izlendiği bildirilmiştir (49). Anoreksiya nervosalı hastalarda kemik iliğinde artmış yağ oranında dolayı kemik iliği T1A'da hiperintens görünür.

4.4.9. Osseöz Travmalar

Mikrotrabeküler fraktür ve kontüzyonel değişikliklerden, stres fraktürlerine ve deplase fraktürlere kadar geniş bir spektrumda görülebilecek osseöz travmalar, kemik iliği ödemi ve hemorajinin değişen kombinasyonları nedeniyle T1A hipointens, T2A hiperintens görünür. Pediatrik yaş grubunda kemiğin olgunlaşması tam olarak tamamlanmadığından fraktürler kemik büyümesinden sorumlu fiz plağına kadar uzanabilir ve kemik büyümesinin durması riski ile karşılaşılabılır.

Daha düşük travmalar olan kontüzyonel değişikliklerde hipoperfüzyona sekonder olduğu düşünülen asemptomatik kemik iliği ödemleri görülebilmektedir (50, 51). Tekrarlayan travmalara veya aşırı kullanım yaralanmalarına bağlı olarak oluşabilen stres fraktürleri en sık tibia, fibula ve eklem yüzlerinde izlenir (52).

Adölesan yaş grubundaki çocuklarda, kapanan bir fiz hattı boyunca epfiz ile metafize uzanabilen perifiz ödemi görülebilmektedir. Bu görünüm epfiz ve metafizin birbirine uyguladığı fokal stres ve mikrotravmaya bağlı fizyolojik bir durumdur (53).

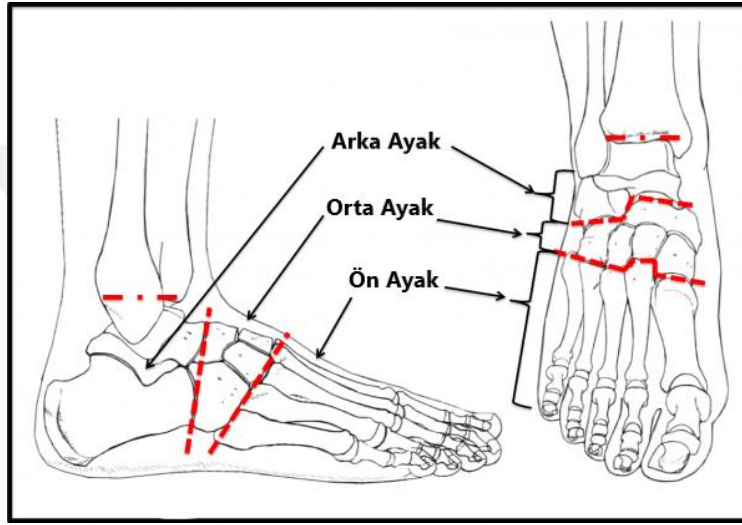
4.5. Ayak ve Ayak Bileği Kemik Anatomisi

Ayak çoklu eklemler ve segmentler oluşturan küçük kemiklere sahip bir yapıdır. Arka ayak, orta ayak ve ön ayak olarak üç bölgeye ayrılır (Şekil 3).

Arka ayak, ayak bileği eklemi düzeyinde başlayıp transvers tarsal eklem yani talonaviküler ve kalkaneoküboidal eklem düzeyinde biter. Arka ayak bölgesine dahil olan kemikler talus ve kalkaneustur.

Orta ayak, transvers tarsal eklem düzeyinde başlayıp metatarsların başladığı yerde yani tarsometatarsal eklem düzeyinde biter. Orta ayak bölgesine dahil olan kemikler navikula, küboid kemik ve medial, lateral, orta kuneiform kemiklerdir. Orta ayakta ön ayağa kıyasla daha fazla kemik ve eklem bulunur ancak bunların hareket kabiliyeti sınırlıdır.

Ön ayak, metatarslar ve falankslardan oluşur. Ön ayakta 5 metatarsal kemik ve 14 falanks olmak üzere 19 kemik bulunmaktadır. 1. Parmağın 2 falanksı, diğer 4 kemiğin 3'er falanksı bulunmaktadır.



Şekil 3: Arka, orta ve ön ayak (54)

4.5.1. Tibia ve Fibula

Tibia ve fibula ayağın alt ekstremit ve dolayısıyla vücut ile bağlantısını sağlar. Tibia medial çıkıntısı medial malleol, fibula lateral çıkıntısı ise lateral malleol olarak adlandırılır (Şekil 4, 5).

4.5.2. Talus

Talus ayak kemiklerinin en üstte ve proksimalde olanıdır. Talus çok sayıda kemikle eklem yaptığı için yüzeyinin büyük bölümü kıkırdak yapısı ile kaplıdır. Süperiorda tibia ve fibula ile eklem yaparak ayak bilek eklemi, distalde navikula ile eklem yaparak talonaviküler eklemi ve inferiorunda kalkaneus ile eklem yaparak subtalar eklemi oluşturur. Talusu kubbe, boyun, gövde, baş ve posterior tüberkül olarak 5 bölüme ayırmak mümkündür (Şekil 4, 5).

4.5.3. Kalkaneus

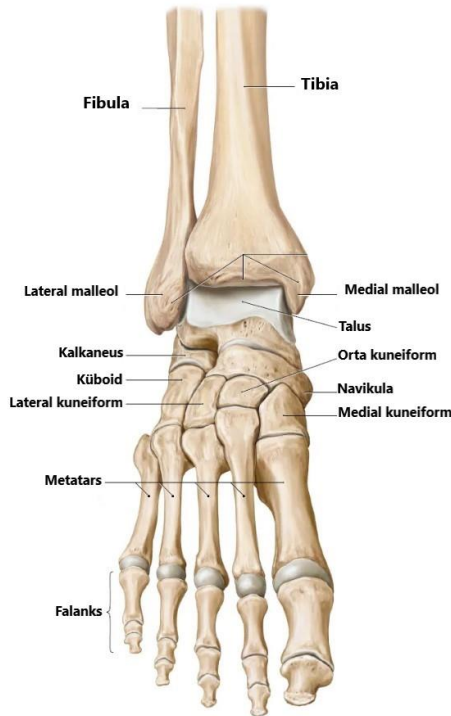
Topuk kemiği olarak da bilinen kalkaneus ayağın en büyük kemiğidir. Talusla birlikte arka ayak bölgesini oluşturur. Talus ile subtalar eklemi ve küboid kemikle kalkaneoküboidal eklemi oluşturur.

4.5.4. Navikula, Küboid ve Kuneiform Kemikler

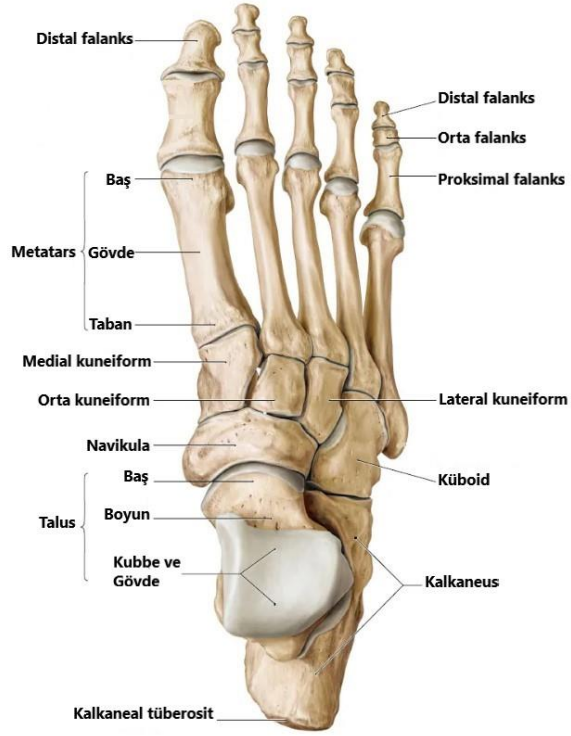
Navikula, proksimalde talus ile ve distalde üç kuneiform kemiğin her biriyle eklem oluşturur. Küboid kemik ayak lateralinde yer alır ve kalkaneus ile eklem oluşturur. Kuneiform kemikler medial, orta ve lateral kuneiform kemikler olmak üzere birbirine komşu 3 kemiktir (Şekil 4, 5).

4.5.5. Metatars ve Falankslar

Metatars ve falankslar ön ayak bölgesini oluştururlar. Orta ayak kemikleriyle tarsometatarsal eklemi oluştururlar. 1. parmakta proksimal ve distal falanks olmak üzere 2 tane, diğer parmaklarda proksimal, orta ve distal falanks olmak üzere 3 tane falanks bulunur. Falankslar, metatarslar ile metatarsofalangeal eklemleri ve birbirleri ile interfalangeal eklemleri oluştururlar (Şekil 4, 5).



Şekil 4: Ayak ve ayak bilek kemiklerinin anterior görünümü (55)



Şekil 5: Ayak kemiklerinin dorsal görünümü (55)

5. GEREÇ ve YÖNTEM

Çalışmamız Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan 24/10/2024 tarih ve 2024-14/12 sayılı kurul kararı ile etik kurul onayı alınarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışmamız Helsinki Bildirgesi'ne uygun olarak yapılmış olup hastaları tanımlayıcı bilgiler içermemesi ve retrospektif olarak gerçekleştirilmesi nedeniyle aydınlatılmış onam formu alınmamıştır.

Çalışmamız Ekim 2020 ile Ekim 2024 tarihleri arasında Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Mengücek Gazi Eğitim ve Araştırma Hastanesi Radyoloji Kliniğinde, 1,5T MRG cihazında ayak bileği görüntülemesi yapılmış 18 yaş ve altı çocuk hastalarda retrospektif olarak gerçekleştirilmiştir.

Osteomyelit, travma, primer tümör ve metastatik lezyon, metabolik ve gelişimsel anomali, tedaviye bağlı değişikliklerle uyumlu anamnezi veya bulguları olan hastalar çalışma dışı bırakılmıştır.

Belirtilen esaslara göre toplam 196 hasta çalışma kapsamında incelenmiş ve 47 hasta çalışma dışı bırakılmıştır. Çalışma popülasyonu 149 hastadan oluşmaktadır.

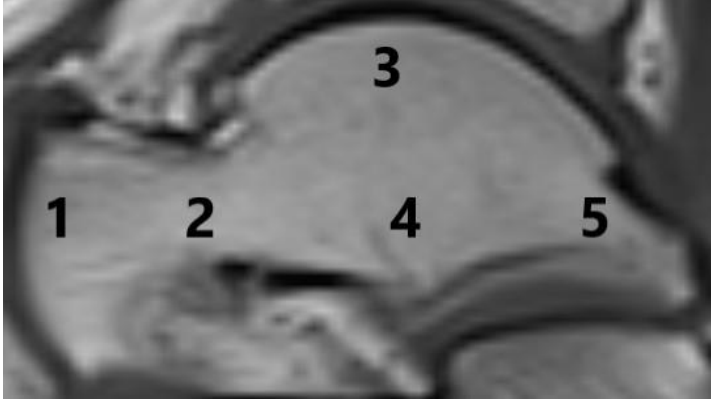
Çalışma popülasyonumuzdaki 149 hastanın 84'ü kız, 65'i erkektir. Çalışmada 76 sağ, 73 sol olmak üzere toplam 149 ayak bileği değerlendirilmiştir. Çalışma popülasyonu yaş gruplarına göre 2-5 yaş okul öncesi, 6-12 yaş okul dönemi, 13-18 yaş adolesan dönem şeklinde 3'e ayrılmıştır.

Ayak kemikleri ön, orta, arka ayak ve medial, lateral planlar şeklinde anatomik olarak gruplandırılmıştır. Ayak bilek MRG'sinde kesitlere dahil metatarslar ön ayak grubuna dahil edilmiştir. Navikula, küboid ve 3 kuneiform kemik orta ayak grubuna, talus ve kalkaneus ise arka ayak grubuna dahil edilmiştir. Lateral kuneiform, kalkaneus ve küboid kemikler lateral ayak grubuna; talus, navikula, medial ve orta kuneiform kemikler ise medial ayak grubuna dahil edilmiştir.

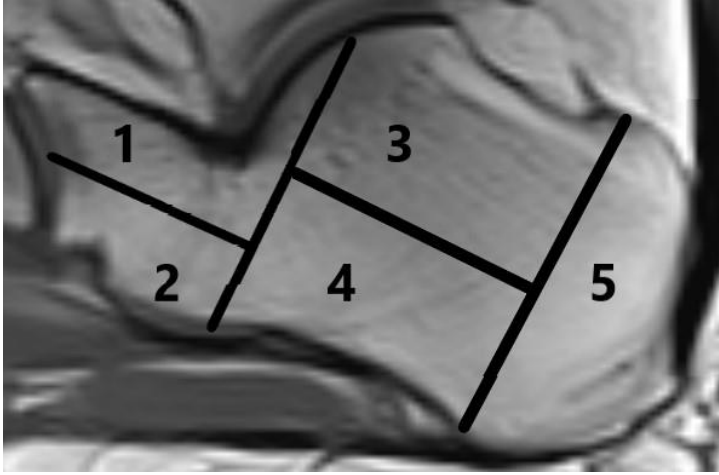
Talus ve kalkaneus kemikleri diğer ayak kemiklerinden daha büyük olduklarından, bu iki kemik daha detaylı bir inceleme yapılabilmesi için anatomik bölgelere ayrılıp incelenmiştir.

Talus; baş, boyun, kubbe, gövde ve posterior tüberkül olarak 5 bölgeye ayrılmıştır (Şekil 6).

Kalkaneus; anterior süperior, anterior inferior, posterior süperior, posterior inferior, kalkaneal tüberosit olarak 5 bölgeye ayrılmıştır (Şekil 7).



Şekil 6: Talus bölgeleri. 1; baş, 2; boyun, 3; kubbe, 4; gövde, 5; posterior tüberkül



Şekil 7: Kalkaneus bölgeleri. 1; anterior süperior, 2; anterior inferior, 3; posterior süperior, 4; posterior inferior, 5, kalkaneal tüberosit

Hastaların görüntüleri PACS (Picture Archiving Communication System) arşivinden Siemens Somatom Sensation Syngo.via yazılım programı ile, sagittal, aksiyal ve koronal planlarda değerlendirilmiş ve ölçümler yapılmıştır.

Çalışmaya dahil hastaların ayak bileği MRG tetkiklerinde, kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu fokal T2A sinyal artışları izlenip izlenmediği, eğer tarifli sinyaller izleniyorsa bunların hangi kemiklerde mevcut olduğu, görüntülemenin hangi ayaktan yapıldığı, hastaların yaş ve cinsiyetleri kaydedilmiştir.

Çalışmaya dahil tüm hastaların MRG tetkikleri 1,5 Tesla MRG sisteminde (MAGNETOM Aera, Siemens Healthcare, Erlangen, Germany) gerçekleştirilmiştir. MRG protokolü; T1A sagittal plan (TSE, 554 ms repetition time (TR)/9.3 ms echo time (TE), 147 flip angle, 220x220 field of view (FOV), 3 mm kesit kalınlığı), T1A transvers plan (TSE, 752 ms repetition time (TR)/10 ms echo time (TE), 150 flip angle, 220x220 field of view (FOV), 3.5 mm kesit kalınlığı), T1A koronal plan (TSE, 797 ms repetition time (TR)/10 ms echo time (TE), 150 flip angle, 150x150 field of view (FOV), 4 mm kesit kalınlığı), T2A sagittal plan (Turbo inversion recovery magnitude (TIRM), 4150 ms repetition time (TR)/56 ms echo time (TE), 150 flip angle, 200x200 field of view (FOV), 3 mm kesit kalınlığı), T2A transvers (TIRM, 2830 ms repetition time (TR)/32 ms echo time (TE), 150 flip angle, 200x200 field of view (FOV), 3,5 mm kesit kalınlığı), T2A koronal (TIRM, 2400 ms repetition time (TR)/21 ms echo time (TE), 150 flip angle, 180x180 field of view (FOV), 4,5 mm kesit kalınlığı) sekanslarını içermektedir.

5.1. İstatistiksel Analiz

Tüm verilerin istatistiksel analizleri, IBM SPSS Statistics for Windows 20.0 (IBM Corp., Armonk, NY, ABD) kullanılarak yapıldı. Sayısal verilerin normallik dağılımı Kolmogorov-Smirnov testi ile belirlendi. Normallik kriterlerini karşılayanlar ortalama $\pm$ standart sapma olarak ifade edildi. Kategorik değişkenler sayı ve yüzde olarak gösterildi. Sayısal değişkenlerin 2 grup arası farklılığı Student T-testi ya da Mann Whitney-U testi ile değerlendirildi. 3 ve üzeri gruplarda ise Anova testi (Post-hoc: Bonferroni test) ya da Kruskal Wallis H testi (Post-hoc: Dunn's test) ile kullanıldı. Kategorik değişkenlerin karşılaştırılmasında Ki-Kare testi ve Fisher'ın Exact test kullanıldı. $P < 0.05$ istatistiksel anlamlılık olarak kabul edildi.



6. BULGULAR

6.1. Araştırma Popülasyonun Genel Özellikleri

Araştırmaya ortalama yaşı 13.1 ± 3.2 yıl ve büyük çoğunluğu adölesan yaş grubundaki (%59.1) toplam 149 pediatrik hasta dahil edildi. Hastaların %56.4'ü kız, %43.6'sı erkekti. Hastaların 76'sında sağ ayak ve 73'ünde sol ayak değerlendirildi (Tablo 1).

Tablo 1: Hastaların demografik özellikleri

Değişkenler	Tüm popülasyon n = 149
Yaş, yıl	13.1 ± 3.2
Okul öncesi, n (%)	4 (2.7)
Okul dönemi, n (%)	57 (38.2)
Adölesan, n (%)	88 (59.1)
Cinsiyet, n (%)	
Kız	84 (56.4)
Erkek	65 (43.6)
Ayak, n (%)	
Sağ	76 (51.0)
Sol	73 (49.0)

Sayısal değişkenler ortalama $\pm$ standart sapma olarak, kategorik değişkenler ise sayı ve yüzde olarak gösterildi.

Araştırmaya dahil edilen 149 hastanın 125'inde (%83.9) kemik yapıların en az birinde kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odak veya odaklar izlendi. Çalışma grubundaki hastaların 24'ünde (%16.1) kemik yapıların herhangi birinde odak izlenmedi. Herhangi bir odak izlenmeyen 24 hastanın 23'ü adölesan ve 1'i okul dönemi yaş grubundaydı.

Tüm hastaların %81.2'sinde talusta, %57.7'sinde kalkaneusta, %47'sinde navikulada, %32.2'sinde küboid kemikte, %38.9'unda medial kuneiformda, %30.9'unda orta kuneiformda, %19.5'inde lateral kuneiformda, %18.1'inde metatars bazisinde, %18.8'inde tibiada, %12.8'inde fibulada kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odaklar saptandı. Tüm bu odak dağılımları sağ ve sol ayakta anlamlı farklılık göstermedi (Tablo 2).

Tablo 2: Ayak bileği MRG tetkiklerindeki kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı

Değişkenler	Tüm popülasyon n=149	Sağ ayak n=76	Sol ayak n=73	P-değeri
Tibia, n (%)				
Odak yok	121 (81.2)	59 (77.6)	62 (84.9)	0.254
Odak var	28 (18.8)	17 (22.4)	11 (15.1)	
Fibula, n (%)				
Odak yok	130 (87.2)	65 (85.5)	65 (89.0)	0.520
Odak var	19 (12.8)	11 (14.5)	8 (11.0)	
Talus, n (%)				
Odak yok	28 (18.8)	13 (17.1)	15 (20.5)	0.591
Odak var	121 (81.2)	63 (82.9)	58 (79.5)	
Kalkaneus, n (%)				
Odak yok	63 (42.3)	32 (42.1)	31 (42.5)	0.964
Odak var	86 (57.7)	44 (57.9)	42 (57.5)	
Küboid, n (%)				
Odak yok	101 (67.8)	53 (69.7)	48 (65.8)	0.603
Odak var	48 (32.2)	23 (30.3)	25 (34.2)	
Navikula, n (%)				
Odak yok	79 (53.0)	43 (56.6)	36 (49.3)	0.374
Odak var	70 (47.0)	33 (43.4)	37 (50.7)	
Medial kuneiform, n (%)				
Odak yok	91 (61.1)	47 (61.8)	44 (60.3)	0.844
Odak var	58 (38.9)	29 (38.2)	29 (39.7)	
Orta kuneiform, n (%)				
Odak yok	103 (69.1)	52 (68.4)	51 (69.9)	0.849
Odak var	46 (30.9)	24 (31.6)	22 (30.1)	
Lateral kuneiform, n (%)				
Odak yok	120 (80.5)	61 (80.3)	59 (80.8)	0.931
Odak var	29 (19.5)	15 (19.7)	14 (19.2)	
Metatars bazisi, n (%)				
Odak yok	122 (81.9)	61 (80.3)	61 (83.6)	0.601
Odak var	27 (18.1)	15 (19.7)	12 (16.4)	

Kategorik değişkenler ise sayı ve yüzde olarak gösterildi.

Hastaların talustaki kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımları şu şekilde idi: Kubbe bölgesinde %38.3, posterior tüberkülde %21.5, gövdede %65.8, baş bölgesinde %34.2 ve boyunda %68.5. Hastaların talustaki odak dağılımları sağ ve sol ayakta anlamlı farklılık göstermedi (Tablo 3).

Tablo 3: Talus bölgelerine göre kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı

Değişkenler	Tüm popülasyon n=149	Sağ ayak n=76	Sol ayak n=73	P-değeri
Kubbe, n (%)				
Odak yok	92 (61.7)	46 (60.5)	46 (63.0)	0.755
Odak var	57 (38.3)	30 (39.5)	27 (37.0)	
Posterior tüberkül, n (%)				
Odak yok	117 (78.5)	58 (76.3)	59 (80.8)	0.503
Odak var	32 (21.5)	18 (23.7)	14 (19.2)	
Gövde, n (%)				
Odak yok	51 (34.2)	23 (30.3)	28 (38.4)	0.298
Odak var	98 (65.8)	53 (69.7)	45 (61.6)	
Baş, n (%)				
Odak yok	98 (65.8)	50 (65.8)	48 (65.8)	0.996
Odak var	51 (34.2)	26 (34.2)	25 (34.2)	
Boyun, n (%)				
Odak yok	47 (31.5)	21 (27.6)	26 (35.6)	0.294
Odak var	102 (68.5)	55 (72.4)	47 (64.4)	

Kategorik değişkenler ise sayı ve yüzde olarak gösterildi.

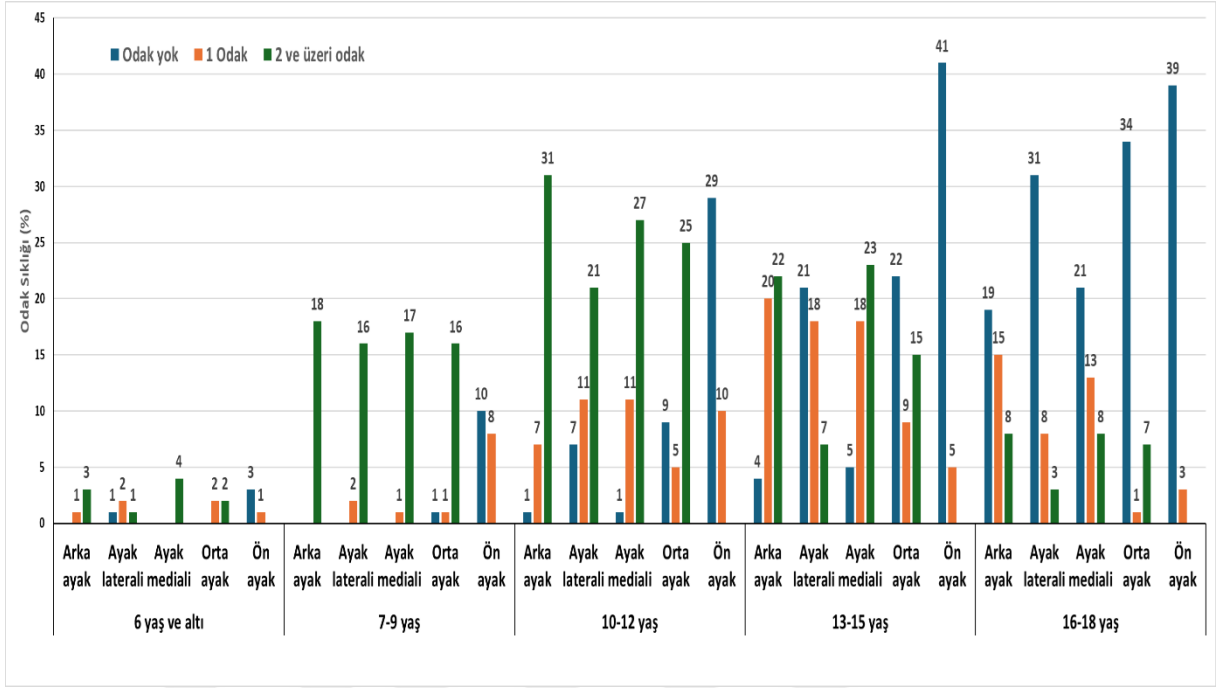
Hastaların kalkaneusta kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımları şu şekilde idi: Anterior süperior bölgesinde %45, anterior inferior bölgesinde %28.9, posterior süperior bölgesinde %38.3, posterior inferior bölgesinde %9.4 ve kalkaneal tüberosit bölgesinde %17.4. Hastaların kalkaneusta odak dağılımları sağ ve sol ayakta anlamlı farklılık göstermedi (Tablo 4).

Tablo 4: Kalkaneus bölgelerine göre kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı

Değişkenler	Tüm popülasyon n=149	Sağ ayak n=76	Sol ayak n=73	P-değeri
Anterior süperior, n (%)				
Odak yok	82 (55.0)	42 (55.3)	40 (54.8)	0.954
Odak var	67 (45.0)	34 (44.7)	33 (45.2)	
Anterior inferior, n (%)				
Odak yok	106 (71.1)	54 (71.1)	52 (71.2)	0.981
Odak var	43 (28.9)	22 (28.9)	21 (28.8)	
Posterior süperior, n (%)				
Odak yok	92 (61.7)	44 (57.9)	48 (65.8)	0.324
Odak var	57 (38.3)	32 (42.1)	25 (34.2)	
Posterior inferior, n (%)				
Odak yok	135 (90.6)	69 (90.8)	66 (90.4)	0.937
Odak var	14 (9.4)	7 (9.2)	7 (9.6)	
Kalkaneal tüberosit, n (%)				
Odak yok	123 (82.6)	61 (80.3)	62 (84.9)	0.453
Odak var	26 (17.4)	15 (19.7)	11 (15.1)	

Kategorik değişkenler ise sayı ve yüzde olarak gösterildi.

Kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odak sayısı ayak medialinde (%53.1) ve arka ayakta (%55) çoğunlukla 2 ve üzerinde iken, ayak lateralinde, orta ayakta ve ön ayakta odak olmayan veya tek odak olan hastaların sıklığı daha yüksekti. Ayrıca ilerleyen yaşla birlikte odak izlenmeme sıklığı daha yüksekti (Şekil 8). Ayak kemiklerinde yapılan anatomik gruplamalarda, arka ayakta ve ayak medial planda kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların izlenme sıklığı daha yüksekti. Kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı sağ ve sol ayakta anlamlı farklılık göstermedi (Tablo 5).



Şekil 8: Yaş gruplarında ayak bölgelerine göre kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı

Tablo 5: Kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı

Değişkenler	Tüm popülasyon n=149	Sağ ayak n=76	Sol ayak n=73	P-değeri
Ayak mediali, n (%)				
Odak yok	27 (18.1)	12 (15.8)	15 (20.5)	
1 odak	43 (28.9)	26 (34.2)	17 (23.3)	
2 odak	21 (14.1)	10 (13.2)	11 (15.1)	0.551
3 odak	22 (14.8)	9 (11.8)	13 (17.8)	
4 odak	36 (24.2)	19 (25.0)	17 (23.3)	
Ayak laterali, n (%)				
Odak yok	60 (40.3)	31 (40.8)	29 (39.7)	
1 odak	41 (27.5)	20 (26.3)	21 (28.8)	0.822
2 odak	22 (14.8)	13 (17.1)	9 (12.3)	
3 odak	26 (17.4)	12 (15.8)	14 (19.2)	
Arka ayak, n (%)				
Odak yok	24 (16.1)	11 (14.5)	13 (17.8)	
1 odak	43 (28.9)	23 (30.3)	20 (27.4)	0.833
2 odak	82 (55.0)	42 (55.3)	40 (54.8)	
Orta ayak, n (%)				
Odak yok	66 (44.3)	36 (47.4)	30 (41.1)	
1 odak	18 (12.1)	7 (9.2)	11 (15.1)	
2 odak	19 (12.8)	10 (13.2)	9 (12.3)	0.906
3 odak	12 (8.1)	6 (7.9)	6 (8.2)	
4 odak	11 (7.4)	6 (7.9)	5 (6.8)	
5 odak	23 (15.4)	11 (14.5)	12 (16.4)	
Ön ayak, n (%)				
Odak yok	122 (81.9)	61 (80.3)	61 (83.6)	0.601
1 odak	27 (18.1)	15 (19.7)	12 (16.4)	

Kategorik değişkenler ise sayı ve yüzde olarak gösterildi.

6.2. Cinsiyet Açısından Dağılımlar

Kız ve erkek hastalar benzer yaş dağılımına sahipti. Ayrıca her iki grupta da değerlendirilen sağ ve sol ayak oranları benzerdi (Tablo 6).

Tablo 6: Cinsiyete göre demografik özellikler

Değişkenler	Cinsiyet	
	Kız n=84	Erkek n=65
Yaş, yıl	13.0 ± 3.5	13.2 ± 2.9
Okul öncesi, n (%)	4 (4.8)	0
Okul dönemi, n (%)	29 (34.5)	28 (43.1)
Adölesan, n (%)	51 (60.7)	37 (56.9)
Ayak, n (%)		
Sağ	40 (47.6)	36 (55.4)
Sol	44 (52.4)	29 (44.6)

Sayısal değişkenler ortalama ± standart sapma olarak, kategorik değişkenler ise sayı ve yüzde olarak gösterildi.

Tibia, fibula, talus ve matatars bazisinde kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odak olan hastaların dağılımı kız ve erkek gruplarında benzerdi. Buna karşılık, erkeklerde kızlara kıyasla kalkaneusta (%73.8 karşı %45.2; $p < 0.001$), navikulada (%56.9 karşı %39.3; $p = 0.032$), orta kuneiformda (%43.1 karşı %21.4; $p = 0.005$) ve lateral kuneiformda (%30.8 karşı %10.7; $p = 0.002$) daha sık odak saptandı (Tablo 7).

Tablo 7: Cinsiyete göre kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı

Değişkenler	Cinsiyet		P-değeri
	Kız n=84	Erkek n=65	
Tibia, n (%)			
Odak yok	69 (82.1)	52 (80.0)	0.740
Odak var	15 (17.9)	13 (20.0)	
Fibula, n (%)			
Odak yok	73 (86.9)	57 (87.7)	0.886
Odak var	11 (13.1)	8 (12.3)	
Talus, n (%)			
Odak yok	19 (22.6)	9 (13.8)	0.174
Odak var	65 (77.4)	56 (86.2)	
Kalkaneus, n (%)			
Odak yok	46 (54.8)	17 (26.2)	<0.001*
Odak var	38 (45.2)	48 (73.8)	
Küboid, n (%)			
Odak yok	61 (72.6)	40 (61.5)	0.151
Odak var	23 (27.4)	25 (38.5)	
Navikula, n (%)			
Odak yok	51 (60.7)	28 (43.1)	0.032*
Odak var	33 (39.3)	37 (56.9)	
Medial kuneiform, n (%)			
Odak yok	57 (67.9)	34 (52.3)	0.054
Odak var	27 (32.1)	31 (47.7)	
Orta kuneiform, n (%)			
Odak yok	66 (78.6)	37 (56.9)	0.005*
Odak var	18 (21.4)	28 (43.1)	
Lateral kuneiform, n (%)			
Odak yok	75 (89.3)	45 (69.2)	0.002*
Odak var	9 (10.7)	20 (30.8)	
Metatars bazisi, n (%)			
Odak yok	71 (84.5)	51 (78.5)	0.341
Odak var	13 (15.5)	14 (21.5)	

Kategorik değişkenler ise sayı ve yüzde olarak gösterildi. * $p < 0.05$ istatistiksel anlamlılık göstermektedir.

Talus bölgelerindeki kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımları kız ve erkeklerde anlamlı farklılık göstermedi (Tablo 8).

Tablo 8: Cinsiyete göre talus bölgelerinde kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı

Değişkenler	Cinsiyet		P-değeri
	Kız n=84	Erkek n=65	
Kubbe, n (%)			
Odak yok	56 (66.7)	36 (55.4)	0.160
Odak var	28 (33.3)	29 (44.6)	
Posterior tüberkül, n (%)			
Odak yok	70 (83.3)	47 (72.3)	0.104
Odak var	14 (16.7)	18 (27.7)	
Gövde, n (%)			
Odak yok	34 (40.5)	17 (26.2)	0.068
Odak var	50 (59.5)	48 (73.8)	
Baş, n (%)			
Odak yok	60 (71.4)	38 (58.5)	0.098
Odak var	24 (28.6)	27 (41.5)	
Boyun, n (%)			
Odak yok	31 (36.9)	16 (24.6)	0.109
Odak var	53 (63.1)	49 (75.4)	

Kategorik değişkenler ise sayı ve yüzde olarak gösterildi. * $p < 0.05$ istatistiksel anlamlılık göstermektedir.

Kalkaneus bölgelerindeki kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı ise erkeklerde kadınlara kıyasla daha yüksekti. Buna göre; erkeklerde kızlara kıyasla anterior süperior bölgesinde (%58.5 karşı %34.5; $p = 0.004$), anterior inferior bölgesinde (%41.5 karşı %19; $p = 0.003$), posterior süperior bölgesinde (%49.2 karşı %29.8; $p = 0.015$), posterior inferior bölgesinde (%15.4 karşı %4.8; $p = 0.028$) ve kalkaneal tüberosit bölgesinde (%26.2 karşı %10.7; $p = 0.014$) daha sık odak saptandı (Tablo 9).

Tablo 9: Cinsiyete göre kalkaneus bölgelerinde kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı

Değişkenler	Cinsiyet		P-değeri
	Kız n=84	Erkek n=65	
Anterior süperior, n (%)			
Odak yok	55 (65.5)	27 (41.5)	0.004*
Odak var	29 (34.5)	38 (58.5)	
Anterior inferior, n (%)			
Odak yok	68 (81.0)	38 (58.5)	0.003*
Odak var	16 (19.0)	27 (41.5)	
Posterior süperior, n (%)			
Odak yok	59 (70.2)	33 (50.8)	0.015*
Odak var	25 (29.8)	32 (49.2)	
Posterior inferior, n (%)			
Odak yok	80 (95.2)	55 (84.6)	0.028*
Odak var	4 (4.8)	10 (15.4)	
Kalkaneal tüberosit, n (%)			
Odak yok	75 (89.3)	48 (73.8)	0.014*
Odak var	9 (10.7)	17 (26.2)	

Kategorik değişkenler ise sayı ve yüzde olarak gösterildi. * $p < 0.05$ istatistiksel anlamlılık göstermektedir.

Cinsiyete göre kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımları Tablo 10'da detaylıca gösterilmiştir. Buna göre, ayak medialinde, orta ayakta ve ön ayakta odakların dağılımı kız ve erkeklerde benzerdi. Buna karşın, erkeklerde kızlara kıyasla ayak lateralinde 3 ve üzeri odak sayısı olanların oranı (%26.2 karşı %10.7; $p = 0.001$), arka ayakta 2 odak sayısı olanların oranı (%70.8 karşı %42.9; $p = 0.003$) daha yüksekti (Tablo 10).

Tablo 10: Cinsiyete göre kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı

Değişkenler	Cinsiyet		P-değeri
	Kız	Erkek	
	n=84	n=65	
Ayak mediali, n (%)			
Odak yok	18 (21.4)	9 (13.8)	0.110
1 odak	29 (34.5)	14 (21.5)	
2 odak	12 (14.3)	9 (13.8)	
3 odak	10 (11.9)	12 (18.5)	
4 odak	15 (17.9)	21 (32.3)	
Ayak laterali, n (%)			
Odak yok	45 (53.6)	15 (23.1)	0.001*
1 odak	17 (20.2)	24 (36.9)	
2 odak	13 (15.5)	9 (13.8)	
3 odak	9 (10.7)	17 (26.2)	
Arka ayak, n (%)			
Odak yok	17 (20.2)	7 (10.8)	0.003*
1 odak	31 (36.9)	12 (18.5)	
2 odak	36 (42.9)	46 (70.8)	
Orta ayak, n (%)			
Odak yok	44 (52.4)	22 (33.8)	0.159
1 odak	10 (11.9)	8 (12.3)	
2 odak	11 (13.1)	8 (12.3)	
3 odak	6 (7.1)	6 (9.2)	
4 odak	5 (6.0)	6 (9.2)	
5 odak	8 (9.5)	15 (23.1)	
Ön ayak, n (%)			
Odak yok	71 (84.5)	51 (78.5)	0.341
1 odak	13 (15.5)	14 (21.5)	

Kategorik değişkenler ise sayı ve yüzde olarak gösterildi. * $p < 0.05$ istatistiksel anlamlılık göstermektedir.

6.3. Yaş Grupları Açısından Dağılımlar

Yaş gruplarına göre cinsiyet dağılımı ve değerlendirilen sağ ve sol ayak oranları benzerdi (Tablo 11).

Tablo 11: Yaş gruplarına göre demografik özellikler

Değişkenler	Okul öncesi n=4	Okul dönemi n=57	Adölesan n=88	P-değeri
Yaş, yıl	4.5 ± 0.6	10.2 ± 1.5	15.3 ± 1.6	
Cinsiyet, n (%)				
Kız	4 (100.0)	29 (50.9)	51 (58.0)	0.403
Erkek	0	28 (49.1)	37 (42.0)	
Ayak, n (%)				
Sağ	1 (25.0)	32 (56.1)	43 (48.9)	0.392
Sol	3 (75.0)	25 (43.9)	45 (51.1)	

Sayısal değişkenler ortalama ± standart sapma olarak, kategorik değişkenler ise sayı ve yüzde olarak gösterildi. Okul öncesi grubun örneklem sayısı düşük olması nedeniyle istatistiksel kıyaslamaya dahil edilmedi.

Yaş gruplarına göre ayak bileği MRG tetkiklerindeki kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı Tablo 12’de detaylı olarak gösterildi. Buna göre; tibiada odak olan hastaların oranı okul dönemindeki çocuklarda okul öncesi ve adölesan gruplarına kıyasla daha yüksek iken, en düşük sıklık adölesan grubunda gözlemlendi (Okul öncesi: %25 karşı Okul dönemi: %35.1 karşı Adölesan: %8; $p < 0.001$). Fibulada odak olan hastaların oranı ise okul öncesi ve okul dönemindeki çocuklarda benzer olup adölesan grubuna kıyasla daha yüksekti (Okul öncesi: %25 karşı Okul dönemi: %22.8 karşı Adölesan: %5.7; $p < 0.001$). Okul öncesi gruptaki tüm hastalarda talusta odak saptanırken, okul dönemindeki çocukların %96.5’inde saptandı. Adölesan grubuna ise talusta odak sıklığı %70.5 olup diğer gruplardan daha düşüktü ($p < 0.001$). Kalkaneusta odak olan hastaların oranı okul dönemindeki çocuklarda okul öncesi ve adölesan gruplarına kıyasla daha yüksek iken, en düşük sıklık adölesan grubunda gözlemlendi (Okul öncesi: %75 karşı Okul dönemi: %87.7 karşı Adölesan: %37.5; $p < 0.001$). Küboidal kemikte odak olan hastaların oranı okul dönemindeki çocuklarda okul öncesi ve adölesan gruplarına kıyasla daha yüksek iken, en düşük sıklık adölesan grubunda gözlemlendi (Okul öncesi: %25 karşı Okul dönemi: %61.4 karşı Adölesan: %13.6; $p < 0.001$). Navikulada odak olan hastaların oranı okul öncesi ve okul dönemindeki çocuklarda benzer olup, adölesan grubuna

kıyasla daha yüksekti (Okul öncesi: %75 karşı Okul dönemi: %70.2 karşı Adölesan: %30.7; $p < 0.001$). Medial kuneiformda odak olan hastaların oranı okul öncesi çocuklarda okul dönemi ve adölesan gruplarındaki çocuklara kıyasla daha yüksek iken, en düşük sıklık adölesan grubunda gözlendi (Okul öncesi: %75 karşı Okul dönemi: %61.4 karşı Adölesan: %22.7; $p < 0.001$). Orta kuneiformda odak olan hastaların oranı okul öncesi ve okul dönemindeki çocuklarda benzer olup, adölesan grubuna kıyasla daha yüksekti (Okul öncesi: %50 karşı Okul dönemi: %57.9 karşı Adölesan: %12.5; $p < 0.001$). Lateral kuneiformda odak olan hastaların oranı okul dönemindeki çocuklarda okul öncesi ve adölesan gruplarına kıyasla daha yüksek iken, en düşük sıklık adölesan grubunda gözlendi (Okul öncesi: %25 karşı Okul dönemi: %42.1 karşı Adölesan: %4.5; $p < 0.001$). Metatars bazisi bölgesinde odak olan hastaların oranı okul dönemindeki çocuklarda okul öncesine kıyasla daha yüksek gözlense de istatistiksel olarak anlamlı farklılık gözlenmedi. Ancak bu gruplardaki metatars bazisi bölgesinde odak olan hastaların oranı, adölesan gruplarına kıyasla daha yüksekti (Okul öncesi: %25 karşı Okul dönemi: %31.6 karşı Adölesan: %9.1; $p = 0.001$) (Tablo 12).

Tablo 12: Yaş gruplarına göre kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı

Değişkenler	Okul öncesi n=4	Okul dönemi n=57	Adölesan n=88	P-değeri
Tibia, n (%)				
Odak yok	3 (75.0)	37 (64.9)	81 (92.0)	<0.001*
Odak var	1 (25.0)	20 (35.1)	7 (8.0)	
Fibula, n (%)				
Odak yok	3 (75.0)	44 (77.2)	83 (94.3)	0.002*
Odak var	1 (25.0)	13 (22.8)	5 (5.7)	
Talus, n (%)				
Odak yok	0	2 (3.5)	26 (29.5)	<0.001*
Odak var	4 (100.0)	55 (96.5)	62 (70.5)	
Kalkaneus, n (%)				
Odak yok	1 (25.0)	7 (12.3)	55 (62.5)	<0.001*
Odak var	3 (75.0)	50 (87.7)	33 (37.5)	
Küboidal, n (%)				
Odak yok	3 (75.0)	22 (38.6)	76 (86.4)	<0.001*
Odak var	1 (25.0)	35 (61.4)	12 (13.6)	
Navikula, n (%)				
Odak yok	1 (25.0)	17 (29.8)	61 (69.3)	<0.001*
Odak var	3 (75.0)	40 (70.2)	27 (30.7)	
Medial kuneiform, n (%)				
Odak yok	1 (25.0)	22 (38.6)	68 (77.3)	<0.001*
Odak var	3 (75.0)	35 (61.4)	20 (22.7)	
Orta kuneiform, n (%)				
Odak yok	2 (50.0)	24 (42.1)	77 (87.5)	<0.001*
Odak var	2 (50.0)	33 (57.9)	11 (12.5)	
Lateral kuneiform, n (%)				
Odak yok	3 (75.0)	33 (57.9)	84 (95.5)	<0.001*
Odak var	1 (25.0)	24 (42.1)	4 (4.5)	
Metatars bazisi, n (%)				
Odak yok	3 (75.0)	39 (68.4)	80 (90.9)	0.001*
Odak var	1 (25.0)	18 (31.6)	8 (9.1)	

Kategorik değişkenler ise sayı ve yüzde olarak gösterildi. Okul öncesi grubun örneklem sayısı düşük olması nedeniyle istatistiksel kıyaslamaya dahil edilmedi. * $p < 0.05$ istatistiksel anlamlılık göstermektedir.

Talus bölgelerinde kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımları yaş grupları açısından anlamlı farklılık gösterdi (Tablo 13). Buna göre; kubbe bölgesinde odak olan hastaların oranı okul dönemi grubunda daha yüksek iken, okul öncesi ve adölesan gruplarında benzerdi (Okul öncesi: %25 karşı Okul dönemi: %57.9 karşı Adölesan: %26.1; p

<0.001). Posterior tüberkülda odak olan hastaların oranı okul dönemindeki çocuklarda okul öncesi ve adölesan gruplarına kıyasla daha yüksek iken, en düşük sıklık adölesan grubunda gözlemlendi (Okul öncesi: %25 karşı Okul dönemi: %38.6 karşı Adölesan: %10.2; $p < 0.001$). Gövdede odak olan hastaların oranı okul dönemindeki çocuklarda okul öncesi ve adölesan gruplarına kıyasla daha yüksek iken, en düşük sıklık adölesan grubunda gözlemlendi (Okul öncesi: %75 karşı Okul dönemi: %89.5 karşı Adölesan: %50; $p < 0.001$). Baş bölgesinde odak olan hastaların oranı okul öncesi ve okul dönemindeki çocuklarda benzer olup, adölesan grubuna kıyasla daha yüksekti (Okul öncesi: %50 karşı Okul dönemi: %54.4 karşı Adölesan: %20.5; $p < 0.001$). Boyun bölgesinde odak olan hastaların oranı okul dönemindeki çocuklarda okul öncesi ve adölesan gruplarına kıyasla daha yüksek iken, en düşük sıklık adölesan grubunda gözlemlendi (Okul öncesi: %75 karşı Okul dönemi: %87.7 karşı Adölesan: %55.7; $p < 0.001$) (Tablo 13).

Tablo 13: Yaş gruplarına göre talus bölgelerinde kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı

Değişkenler	Okul öncesi n=4	Okul dönemi n=57	Adölesan n=88	P-değeri
Kubbe, n (%)				
Odak yok	3 (75.0)	24 (42.1)	65 (73.9)	<0.001*
Odak var	1 (25.0)	33 (57.9)	23 (26.1)	
Posterior tüberkül, n (%)				
Odak yok	3 (75.0)	35 (61.4)	79 (89.8)	<0.001*
Odak var	1 (25.0)	22 (38.6)	9 (10.2)	
Gövde, n (%)				
Odak yok	1 (25.0)	6 (10.5)	44 (50.0)	<0.001*
Odak var	3 (75.0)	51 (89.5)	44 (50.0)	
Baş, n (%)				
Odak yok	2 (50.0)	26 (45.6)	70 (79.5)	<0.001*
Odak var	2 (50.0)	31 (54.4)	18 (20.5)	
Boyun, n (%)				
Odak yok	1 (25.0)	7 (12.3)	39 (44.3)	<0.001*
Odak var	3 (75.0)	50 (87.7)	49 (55.7)	

Kategorik değişkenler ise sayı ve yüzde olarak gösterildi. Okul öncesi grubun örneklem sayısı düşük olması nedeniyle istatistiksel kıyaslamaya dahil edilmedi. * $p < 0.05$ istatistiksel anlamlılık göstermektedir.

Kalkaneus bölgelerindeki kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı ise yaş grupları açısından anlamlı farklılık sergiledi (Tablo 14). Buna göre; okul dönemimdeki çocuklarda okul öncesi ve adölesan gruplarına kıyasla anterior süperior bölgesinde daha sık odak gözlenirken, okul öncesi ve adölesan grubunda benzer sıklıklar vardı (Okul öncesi: %25 karşı Okul dönemi: %71.9 karşı Adölesan: %28.4; $p < 0.001$). Okul öncesi ve okul dönemimdeki çocuklarda anterior inferior bölgesinde odak sıklığı benzer olup, adölesan grubuna kıyasla daha yüksekti (Okul öncesi: %50 karşı Okul dönemi: %49.1 karşı Adölesan: %14.8; $p < 0.001$). Benzer bulgu posterior superior bölgesi içinde saptandı (Okul öncesi: %75 karşı Okul dönemi: %75.4 karşı Adölesan: %12.5; $p < 0.001$). Okul öncesi çocuklarda okul dönemindeki ve adölesan grubundaki çocuklara kıyasla posterior inferior bölgede daha sık odak gözlenirken, en düşük sıklık adölesan grubunda saptandı (Okul öncesi: %25 karşı Okul dönemi: %19.3 karşı Adölesan: %2.3; $p < 0.001$). Kalkaneal tüberosit bölgesinde odak olan hastaların oranı okul dönemindeki çocuklarda diğer gruplara kıyasla daha yüksekti (Okul öncesi: %0 karşı Okul dönemi: %36.8 karşı Adölesan: %5.7; $p < 0.001$)

Tablo 14: Yaş gruplarına göre kalkaneus bölgelerinde kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı

Değişkenler	Okul öncesi n=4	Okul dönemi n=57	Adölesan n=88	P-değeri
Anterior süperior, n (%)				
Odak yok	3 (75.0)	16 (28.1)	63 (71.6)	<0.001*
Odak var	1 (25.0)	41 (71.9)	25 (28.4)	
Anterior inferior, n (%)				
Odak yok	2 (50.0)	29 (50.9)	75 (85.2)	<0.001*
Odak var	2 (50.0)	28 (49.1)	13 (14.8)	
Posterior süperior, n (%)				
Odak yok	1 (25.0)	14 (24.6)	77 (87.5)	<0.001*
Odak var	3 (75.0)	43 (75.4)	11 (12.5)	
Posterior inferior, n (%)				
Odak yok	3 (75.0)	46 (80.7)	86 (97.7)	<0.001*
Odak var	1 (25.0)	11 (19.3)	2 (2.3)	
Kalkaneal tüberosit, n (%)				
Odak yok	4 (100.0)	36 (63.2)	83 (94.3)	<0.001*
Odak var	0	21 (36.8)	5 (5.7)	

Kategorik değişkenler ise sayı ve yüzde olarak gösterildi. Okul öncesi grubun örneklem sayısı düşük olması nedeniyle istatistiksel kıyaslamaya dahil edilmedi. * $p < 0.05$ istatistiksel anlamlılık göstermektedir.

Yaş gruplarına göre kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı Tablo 15'te detaylı olarak gösterildi. Okul dönemindeki çocuklarda okul öncesi ve adölesan grubuna kıyasla ayak medialinde, ayak lateralinde ve orta ayakta 3 ve üzeri odak sıklığı daha yüksek iken, bu odak sıklıkları okul öncesi grupta da adölesan grubuna kıyasla daha sık gözlemlendi. Orta ayak bölgesinde ise okul dönemindeki çocuklar diğer gruplara kıyasla daha sık 2 odak sergilerken, okul öncesi grupta da adölesan grubuna kıyasla daha sıklı. Ön ayak bölgesinde 1 odak mevcuttu ve bu okul dönemindeki çocuklarda diğer gruplara kıyasla daha sıklı (Tablo 15).

Tablo 15: Yaş gruplarına göre kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı

Değişkenler	Okul öncesi n=4	Okul dönemi n=57	Adölesan n=88	P-değeri
Ayak medialı, n (%)				
Odak yok	0	1 (1.8)	26 (29.5)	
1 odak	0	12 (21.1)	31 (35.2)	
2 odak	2 (50.0)	7 (12.3)	12 (13.6)	<0.001*
3 odak	0	11 (19.3)	11 (12.5)	
4 odak	2 (50.0)	26 (45.6)	8 (9.1)	
Ayak laterali, n (%)				
Odak yok	1 (25.0)	7 (12.3)	52 (59.1)	
1 odak	2 (50.0)	13 (22.8)	26 (29.5)	
2 odak	0	15 (26.3)	7 (8.0)	<0.001*
3 odak	1 (25.0)	22 (38.6)	3 (3.4)	
Arka ayak, n (%)				
Odak yok	0	1 (1.8)	23 (26.1)	
1 odak	1 (25.0)	7 (12.3)	35 (39.8)	<0.001*
2 odak	3 (75.0)	49 (86.0)	30 (34.1)	
Orta ayak, n (%)				
Odak yok	0	10 (17.5)	56 (63.6)	
1 odak	2 (50.0)	6 (10.5)	10 (11.4)	
2 odak	0	8 (14.0)	11 (12.5)	
3 odak	1 (25.0)	7 (12.3)	4 (4.5)	<0.001*
4 odak	0 (0.0)	6 (10.5)	5 (5.7)	
5 odak	1 (25.0)	20 (35.1)	2 (2.3)	
Ön ayak, n (%)				
Odak yok	3 (75.0)	39 (68.4)	80 (90.9)	
1 odak	1 (25.0)	18 (31.6)	8 (9.1)	0.001*

Kategorik değişkenler ise sayı ve yüzde olarak gösterildi. Okul öncesi grubun örneklem sayısı düşük olması nedeniyle istatistiksel kıyaslamaya dahil edilmedi. *p <0.05 istatistiksel anlamlılık göstermektedir.

6.4. Yaş ve Cinsiyet Alt Grupları Açısından Dağılımlar

Okul öncesi yaş grubundaki hastaların sayısının az olması nedeniyle yaş ve cinsiyet alt grupları açısından analize dahil edilmedi. Okul dönemindeki kız ve erkekler, adölesan gruptaki kız ve erkeklere kıyasla tibia, fibula, talus, kalkaneus, küboidal, naviküler, medial/orta/ lateral kuneiform ve metatars bazisinde daha sık kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odaklara sahipti (Tablo 16). Bununla birlikte, okul dönemindeki kızlarda erkeklere kıyasla tibia, fibula, metatars bazisi bölgesindeki kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların sıklığı daha yüksek iken, diğer bölgelerdeki kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların sıklığı erkeklerde daha yüksekti. Adölesan grubunda ise, kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların sıklığı erkeklerde kızlara kıyasla daha yüksekti (Tablo 16).



Tablo 16: Yaş ve cinsiyet alt gruplarına göre kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı

Değişkenler	Okul dönem		Adölesan		P-değeri
	Kız n=29	Erkek n=28	Kız n=51	Erkek n=37	
Tibia, n (%)					
Odak yok	17 (58.6)	20 (71.4)	49 (96.1)	32 (86.5)	<0.001*
Odak var	12 (41.4)	8 (28.6)	2 (3.9)	5 (13.5)	
Fibula, n (%)					
Odak yok	20 (69.0)	24 (85.7)	50 (98.0)	33 (89.2)	0.002*
Odak var	9 (31.0)	4 (14.3)	1 (2.0)	4 (10.8)	
Talus, n (%)					
Odak yok	2 (6.9)	0 (0.0)	17 (33.3)	9 (24.3)	0.001*
Odak var	27 (93.1)	28 (100.0)	34 (66.7)	28 (75.7)	
Kalkaneus, n (%)					
Odak yok	6 (20.7)	1 (3.6)	39 (76.5)	16 (43.2)	<0.001*
Odak var	23 (79.3)	27 (96.4)	12 (23.5)	21 (56.8)	
Küboid, n (%)					
Odak yok	12 (41.4)	10 (35.7)	46 (90.2)	30 (81.1)	<0.001*
Odak var	17 (58.6)	18 (64.3)	5 (9.8)	7 (18.9)	
Navikula, n (%)					
Odak yok	10 (34.5)	7 (25.0)	40 (78.4)	21 (56.8)	<0.001*
Odak var	19 (65.5)	21 (75.0)	11 (21.6)	16 (43.2)	
Medial kuneiform, n (%)					
Odak yok	13 (44.8)	9 (32.1)	43 (84.3)	25 (67.6)	<0.001*
Odak var	16 (55.2)	19 (67.9)	8 (15.7)	12 (32.4)	
Orta kuneiform, n (%)					
Odak yok	15 (51.7)	9 (32.1)	49 (96.1)	28 (75.7)	<0.001*
Odak var	14 (48.3)	19 (67.9)	2 (3.9)	9 (24.3)	
Lateral kuneiform, n (%)					
Odak yok	21 (72.4)	12 (42.9)	51 (100.0)	33 (89.2)	<0.001*
Odak var	8 (27.6)	16 (57.1)	0 (0.0)	4 (10.8)	
Metatars bazisi, n (%)					
Odak yok	19 (65.5)	20 (71.4)	49 (96.1)	31 (83.8)	0.002*
Odak var	10 (34.5)	8 (28.6)	2 (3.9)	6 (16.2)	

Kategorik değişkenler ise sayı ve yüzde olarak gösterildi. Okul öncesi grubun örneklem sayısı düşük olması nedeniyle istatistiksel kıyaslamaya dahil edilmedi. * $p < 0.05$ istatistiksel anlamlılık göstermektedir.

Yaş ve cinsiyet alt gruplarına göre talus bölgelerinde kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı Tablo 17’de gösterildi. Okul dönemindeki kız ve erkeklerde, adölesan gruptaki kız ve erkeklere kıyasla kubbe, posterior tüberkül, gövde, baş ve boyun bölgesinde daha sık kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odaklar izlendi. Bununla birlikte, okul dönemindeki kızlarda erkeklere kıyasla kubbe bölgesinde ve baş bölgesinde

gözlenen odakların sıklığı benzer iken, posterior tüberkül bölgesinde, gövde bölgesinde ve boyun bölgesinde gözlenen odakların sıklığı daha yüksekti. Adölesan grubunda ise, talus kemiği bölümlerinde kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların sıklığı erkeklerde kızlara kıyasla daha yüksekti (Tablo 17).

Tablo 17: Yaş ve cinsiyet alt gruplarına göre talus bölgelerinde kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı

Değişkenler	Okul dönem		Adölesan		P-değeri
	Kız n=29	Erkek n=28	Kız n=51	Erkek n=37	
Kubbe, n (%)					
Odak yok	12 (41.4)	12 (42.9)	41 (80.4)	24 (64.9)	0.001*
Odak var	17 (58.6)	16 (57.1)	10 (19.6)	13 (35.1)	
Posterior tüberkül, n (%)					
Odak yok	20 (69.0)	15 (53.6)	47 (92.2)	32 (86.5)	<0.001*
Odak var	9 (31.0)	13 (46.4)	4 (7.8)	5 (13.5)	
Gövde, n (%)					
Odak yok	5 (17.2)	1 (3.6)	28 (54.9)	16 (43.2)	<0.001*
Odak var	24 (82.8)	27 (96.4)	23 (45.1)	21 (56.8)	
Baş, n (%)					
Odak yok	14 (48.3)	12 (42.9)	44 (86.3)	26 (70.3)	<0.001*
Odak var	15 (51.7)	16 (57.1)	7 (13.7)	11 (29.7)	
Boyun, n (%)					
Odak yok	5 (17.2)	2 (7.1)	25 (49.0)	14 (37.8)	<0.001*
Odak var	24 (82.8)	26 (92.9)	26 (51.0)	23 (62.2)	

Kategorik değişkenler ise sayı ve yüzde olarak gösterildi. Okul öncesi grubun örneklem sayısı düşük olması nedeniyle istatistiksel kıyaslamaya dahil edilmedi. * $p < 0.05$ istatistiksel anlamlılık göstermektedir.

Yaş ve cinsiyet alt gruplarına göre kalkaneus bölgelerinde kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı Tablo 18’de gösterildi. Okul dönemindeki kız ve erkekler adölesan gruptaki kız ve erkeklere kıyasla kalkaneus bölgelerinde daha sık kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odaklar sergiledi. Bununla birlikte, hem okul dönemindeki hem de adölesan dönemindeki erkeklerde, kızlara kıyasla kalkaneus bölgelerinde gözlenen odakların sıklığı daha yüksekti (Tablo 18).

Tablo 18: Yaş ve cinsiyet alt gruplarına göre kalkaneus bölgelerinde kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı

Değişkenler	Okul dönem		Adölesan		P-değeri
	Kız n=29	Erkek n=28	Kız n=51	Erkek n=37	
Anterior süperior, n (%)					
Odak yok	11 (37.9)	5 (17.9)	41 (80.4)	22 (59.5)	<0.001*
Odak var	18 (62.1)	23 (82.1)	10 (19.6)	15 (40.5)	
Anterior inferior, n (%)					
Odak yok	19 (65.5)	10 (35.7)	47 (92.2)	28 (75.7)	<0.001*
Odak var	10 (34.5)	18 (64.3)	4 (7.8)	9 (24.3)	
Posterior süperior, n (%)					
Odak yok	9 (31.0)	5 (17.9)	49 (96.1)	28 (75.7)	<0.001*
Odak var	20 (69.0)	23 (82.1)	2 (3.9)	9 (24.3)	
Posterior inferior, n (%)					
Odak yok	26 (89.7)	20 (71.4)	51 (100.0)	35 (94.6)	<0.001*
Odak var	3 (10.3)	8 (28.6)	0 (0.0)	2 (5.4)	
Kalkaneal tüberosit, n (%)					
Odak yok	21 (72.4)	15 (53.6)	50 (98.0)	33 (89.2)	<0,001*
Odak var	8 (27.6)	13 (46.4)	1 (2.0)	4 (10.8)	

Kategorik değişkenler ise sayı ve yüzde olarak gösterildi. Okul öncesi grubun örneklem sayısı düşük olması nedeniyle istatistiksel kıyaslamaya dahil edilmedi. * $p < 0.05$ istatistiksel anlamlılık göstermektedir.

Yaş ve cinsiyet alt gruplarına göre kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların sayısı Tablo 19’da gösterildi. Okul dönemindeki kız ve erkekler adölesan gruptaki kız ve erkeklere kıyasla daha sık kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odak sayılarına sahipti. Bununla birlikte, ön ayak hariç hem okul dönemindeki hem de adölesan dönemindeki erkeklerde, kızlara kıyasla kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların sayısı daha yüksekti. Ön ayak bölgesinde gözlenen kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların sayısı ise okul dönemindeki kızlarda, erkeklere kıyasla daha yüksek iken, adölesan grubundaki erkeklerde, kızlara kıyasla daha sıktı (Tablo 19).

Tablo 19: Yaş ve cinsiyet alt gruplarına göre kırmızı kemik iliği değışiklikleri ile uyumlu odakların dağılımı

Değişkenler	Okul dönem		Adölesan		P-değeri
	Kız n=29	Erkek n=28	Kız n=51	Erkek n=37	
Ayak mediali, n (%)					
Odak yok	1 (3.4)	0 (0.0)	17 (33.3)	9 (24.3)	<0.001*
1 odak	7 (24.1)	5 (17.9)	22 (43.1)	9 (24.3)	
2 odak	5 (17.2)	2 (7.1)	5 (9.8)	7 (18.9)	
3 odak	5 (17.2)	6 (21.4)	5 (9.8)	6 (16.2)	
4 odak	11 (37.9)	15 (53.6)	2 (3.9)	6 (16.2)	
Ayak laterali, n (%)					
Odak yok	6 (20.7)	1 (3.6)	38 (74.5)	14 (37.8)	<0.001*
1 odak	6 (20.7)	7 (25.0)	9 (17.6)	17 (45.9)	
2 odak	9 (31.0)	6 (21.4)	4 (7.8)	3 (8.1)	
3 odak	8 (27.6)	14 (50.0)	0 (0.0)	3 (8.1)	
Arka ayak, n (%)					
Odak yok	1 (3.4)	0 (0.0)	16 (31.4)	7 (18.9)	<0.001*
1 odak	6 (20.7)	1 (3.6)	24 (47.1)	11 (29.7)	
2 odak	22 (75.9)	27 (96.4)	11 (21.6)	19 (51.4)	
Orta ayak, n (%)					
Odak yok	6 (20.7)	4 (14.3)	38 (74.5)	18 (48.6)	<0.001*
1 odak	4 (13.8)	2 (7.1)	4 (7.8)	6 (16.2)	
2 odak	5 (17.2)	3 (10.7)	6 (11.8)	5 (13.5)	
3 odak	3 (10.3)	4 (14.3)	2 (3.9)	2 (5.4)	
4 odak	4 (13.8)	2 (7.1)	1 (2.0)	4 (10.8)	
5 odak	7 (24.1)	13 (46.4)	0 (0.0)	2 (5.4)	
Ön ayak, n (%)					
Odak yok	19 (65.5)	20 (71.4)	49 (96.1)	31 (83.8)	0.002*
1 odak	10 (34.5)	8 (28.6)	2 (3.9)	6 (16.2)	

Kategorik değışkenler ise sayı ve yüzde olarak gösterildi. Okul öncesi grubun örneklem sayısı düşük olması nedeniyle istatistiksel kıyaslamaya dahil edilmedi. * $p < 0.05$ istatistiksel anlamlılık göstermektedir.

7. TARTIŞMA

Pediyatrik yaş grubu ayak bileği MRG'sinde izlenen T2A hiperintens sinyal değışikliklerinin geniş bir ayırıcı tanısı bulunmaktadır. Başlıca ayırıcı tanıları arasında kemik iliği ödemleri, travma, enflamasyon, enfeksiyon, artrit, neoplazi, metabolik sebepler, iyatrojenik, biyomekanik ve gelişimsel nedenler yer almaktadır (5-11).

Hastanın anamnezi, laboratuvar verileri ve görüntüleme bulguları ile ayırıcı tanı kümesinin daraltılması mümkündür. Yaygın sebepler arasında yer alan travmalarda, eşlik eden yumuşak doku zedelenmeleri, tendon-ligaman veya kas yaralanmaları, kırıkda kaybı, osteokondral lezyonlar izlenmesi tanıda yardımcı olabilmektedir (56). Travma sonrası kemiklerde görülebilen ve kemik iliği ödemi ile ilişkilendirilen T2A sinyal artışları, kemiklerin kontüzyonu sonucu fokal kanama ve efüzyon odaklarına bağı gelişmektedir. Travmatik kontüzyonel kemik iliği ödemlerinin genellikle 2-4 ayda gerilemesi beklenmektedir (57).

Yine hastanın anamnezi, akut semptom-bulgular ve kontrastlı seriler yardımı ile enflamasyon veya enfeksiyona sekonder oluşmuş T2A sinyal değışikliklerinin tanınması mümkündür. Primer osseöz lenfoma ağı ile prezente olması ve sıklıkla uzun kemiklerde fokal yamalı tutulum göstermesi ile; sekonder osseöz lenfoma ise aksiyal iskelette daha sık ve diffüz tutulum göstermesiyle, litik lezyonlarla ve daha çok primer bir hastalığın hematojen metastazı sonucu gelişmesiyle birlikte görüldüğünden pediyatrik ayak bileği MRG'sindeki T2A hiperintens sinyal değışikliklerine neden olan diğey durumlardan ayırt edilebilmektedirler (58-60).

Pediyatrik yaş grubunun en sık görülen malignitesi olan akut lösemide metafizel bantlar, periost reaksiyonları, litik lezyonlar ve patolojik fraktürler izlenebilmektedir (61). MRG tetkikinde genellikle multifokal izlenen, T1A hipointens ve T2A'da kemik iliği ödemlerine sekonder hiperintens görünümü diğey ayırıcı tanılarla karışabilmektedir. Fakat en sık tutulum bölgelerinin femoral metafiz, pelvik kemikler ve aksiyal iskelet olması sebebiyle ve hepatomegali, splenomegali, multipl lenfadenopatiler gibi diğey organ ve sistem patolojilerinin eşlik etmesiyle T2A hiperintens sinyal değışikliklerine neden olan diğey durumlardan ayırt edilebilmektedir (61).

Ewing sarkomu pediyatrik yaş grubunun sık görülen primer kemik tümörlerinden biridir. Uzun kemiklerde yerleşim göstermeleri, ekstraosseöz yumuşak doku tutulumunun eşlik etmesi, kortikal yıkım göstermesi ve buna bağı semptomlar ortaya çıkarması nedeniyle pediyatrik ayak

bileği MRG'sindeki T2A hiperintens sinyal değişikliklerine yol açan diğer ayırıcı tanılardan ayırt edilebilmektedir.

Pediyatrik yaş grubunda radyoterapi sonrası lokal veya kemoterapi sonrası diffüz kemik iliği değişiklikleri izlenebilmektedir. Radyoterapide tedavinin uygulandığı yerde kırmızı ilikten sarı ilige doğru bir dönüşüm mevcutken kemoterapide rekonversiyon yani, sarı ilikten kırmızı ilige doğru bir dönüşüm mevcuttur. Ayrıca ciddi anemi durumunda da kemik iliğinde rekonversiyon ve dolayısıyla T2A'da hiperintens sinyal değişiklikleri mevcuttur. Dolayısıyla hastaların klinik öyküsü, laboratuvar verileri ve anamnezinin bilinmesi ile bahsedilen hastalıklara ve tedavilere bağlı kemik iliği değişiklikleri, T2A hiperintens sinyal değişikliklerine neden olan diğer durumlardan ayırt edilebilmektedir.

Kemik iliği, kırmızı ve sarı ilikten oluşmaktadır. MRG'de kırmızı ilik, sarı ilige kıyasla daha fazla su ve nispeten yüksek protein içermesi nedeniyle T2A hiperintens izlenirken, sarı ilik ise kırmızı ilige kıyasla daha fazla yağ içermesinden dolayı T1A hiperintens izlenir (14). Sarı ilik, yağ baskılı T2A sekanslarda baskılanma göstereceğinden yağ sinyalini takip eder ve hipointens olarak izlenir. Ayrıca yağ baskılı ve baskısız T1A sekanslar karşılaştırmalı değerlendirildiğinde sarı ilige karşılık gelen yerlerde yağ sinyalinin takip edildiği görülür. Dolayısıyla yağ baskılı T2A ve T1A sekansları birlikte değerlendirildiğinde sarı iliği ayırt etmek mümkündür. Kırmızı ilik, içerdiği yüksek su ve nispeten yüksek protein oranı sebebiyle T2A'da fokal hiperintens, T1A'da fokal hipointens odaklar halinde izlenmekte ve bu sebeple yukarıda bahsedilen T2A hiperintens sinyal değişikliklerine sebep olan diğer durumlar ile karışabilmektedir. Doğumda neredeyse tamamen kırmızı ilikten oluşan kemik iliğinde, yaş ilerledikçe kırmızı ilikten sarı ilige konversiyon adı verilen dönüşüm gerçekleşir. Kemik iliği konversiyonunun anatomik paterni literatürde iyi tanımlanmış olup apendiküler iskeletten aksiyal iskelete doğru ve distalden proksimale doğru ilerlemektedir. Bu kapsamda ilk olarak el ve ayakların terminal falankslarında sonra ise radius, ulna, tibia ve fibulada daha sonra ise humerus ve femurda kemik iliği konversiyonu görülmektedir (19-21). Kemik iliğinde görülen konversiyon, kemikte merkezi olarak başlayıp periferik doğru ilerlemektedir (20). Dolayısıyla pediyatrik ayak bileği MRG tetkikinde tarsal kemikler, metatarslar ve kesitlere dahil tibia, fibula incelendiğinde kırmızı kemik iliği ile uyumlu T2A hiperintens odakların yaş ilerledikçe endosteal bölgelerde yoğunlaşması beklenmektedir.

Çalışma popülasyonumuzdaki 149 hastanın ayak bileği MRG'sinde, 23'ü adolesan yaş grubunda olmak üzere toplam 24 hastada (%16.1) herhangi bir T2A sinyal değişikliği izlenmemiştir. Ayak bileği MRG'sinde T2A hiperintens odaklar izlenen 125 hastada (%83.9) hiperintens odaklar, literatürdeki bilgileri doğrular nitelikte kemiklerin çoğunlukla endosteal

bölgelerinde izlenmekteydi (20). Ayrıca çalışma popülasyonunu seçerken travma, primer tümör ve metastatik lezyon, enfeksiyon, enflamasyon, metabolik ve gelişimsel anomali, tedaviye bağlı değişikliklerle uyumlu anamnezi veya bulguları olan hastalar çalışma dışı bırakıldığından dolayı ve T2A sinyal değişiklikleri distalden proksimale doğru artan bir sıklıkta izlenip benzer yaşlardan itibaren görülme sıklıklarının azalması sebebiyle tarifli T2A sinyal değişikliklerini kırmızı kemik iliğine ait sinyal değişiklikleri olarak değerlendirdik.

Çalışmamızdaki hasta grubunda, kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların en sık izlendiği kemiklerin başında talus (%81.2) gelmektedir ve bunu azalan sıklık sırası ile kalkaneus (%57.7), navikula (%47), küboid kemik (%32.2), kuneiform kemikler ve metatarslar izlenmektedir. Ön, orta ve arka ayak olarak yaptığımız gruplamalarda ise kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odaklar en sık arka ayakta izlenirken bunu azalan sıklık sırasıyla orta ayak ve ön ayak izlenmektedir. Bu bulgumuz literatürdeki, kemik iliği konversiyonunun distalden proksimale doğru ilerlediği bilgisi ile örtüşmektedir (19, 20). Ayrıca okul öncesi yaş grubundaki hastalarda talustaki kırmızı kemik iliği değişikliklerinin santral ve endosteal yüzeylerde dağınık yerleşip, okul dönemi ve adolesan dönemi yaş grubundaki çocuklarda yüksek sıklıkla endosteal yerleşmesi de literatürdeki kemik iliği konversiyonunun sentripedal ilerlediği bilgisi ile örtüşmektedir (19, 20).

Talusta kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların en sık izlendiği bölgeler azalan sıklık sırasıyla boyun, gövde ve kubbe olmuştur. Talusta odakların sık görülmesinin ve bu odakların boyun ve gövde kesiminde yoğunlaşmasının bir nedeninin de, başlıca kalkaneus ile olmak üzere tarsal kemiklerle arasındaki asemptomatik mikrotravmalara sekonder kemik iliği ödemleri olabileceği ve tibia ile fibuladan iletilen vücut ağırlığı sonucundaki strese bağlı asemptomatik mikrotravmalara sekonder kemik iliği ödemleri olabileceği düşünülmüştür.

Çalışma grubumuzdaki hastalarda incelenen sağ ve sol ayak bilek sayıları benzerdir. Yapılan inceleme ve ölçümler sonucunda sağ ve sol ayaklar arasında izlenen odakların sıklığında anlamlı bir fark saptanmamıştır. Bu bulgumuz kırmızı kemik iliği değişikliklerinin her iki ayakta tam olarak simetrik olmasa da benzer şekilde izlendiğini ve kemik iliği konversiyonunun benzer şekilde ilerlediğini göstermektedir.

Talustan sonra kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların en sık görüldüğü tarsal kemik olan kalkaneusta (%57.7) yapılan ölçümlerde, odakların en sık kalkaneusun anterior süperior bölgesinde izlendiği, en az sıklıkla ise posterior inferior ve kalkaneal tüberosit bölgesinde izlendiği görülmüştür. Talusta da odakların en az sıklıkla izlendiği bölge posterior tüberkül bölgesiydi. Bu iki tarsal kemikteki bulgular birlikte değerlendirildiğinde kemik iliği

konversiyonunun tarsal kemikler arasında distalden proksimale doğru ilerlediği doğrulanmıştır ancak bu iki tarsal kemik kendi özellerinde değerlendirildiğinde distalden proksimale doğru bir dağılım izlenmemiştir. Bu bulgu talus ve kalkaneus için kemik iliği konversiyonu paterni üzerine literatüre kazandırılan yeni bir bilgidir.

Orta ayak kemikleri olan navikula, küboid ve kuneiform kemikler incelendiğinde navikuladaki (%47) kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların izlenme sıklığı küboid kemikten (%32.2) daha fazladır. 3 kuneiform kemikte ise tarifli odaklar en sık medial kuneiform kemikte, sonra orta kuneiform kemikte ve en az sıklıkta ise lateral kuneiform kemikte izlenmektedir. Orta ayak kemikleri grubundaki 5 kemik birlikte değerlendirildiğinde proksimalde yer alan navikuladaki odak sıklığı distalde yer alan kuneiform kemiklerden daha fazlaydı. Orta ayak kemikleri grubunun proksimal sırasında yer alan navikula ve küboid kemiklerden, medialde yer alan navikuladaki odak sıklığı küboid kemikten daha fazlaydı. Orta ayak kemiklerinin distal sırasında yer alan kuneiform kemiklerde ise odak sıklığı medial kuneiformda daha sık olmak üzere medialden laterale doğru azalan bir sıklık göstermekteydi. Ayrıca çalışmamızda tariflediğimiz şekilde ayak, medial ve lateral planlara ayrılmıştır ve bu şekildeki bir grupta ile medial-lateral odak sıklıkları değerlendirilmek istenmiştir. Bu sınıflama sonucunda hastaların %81.9'unda ayak medialinde odak görülürken, hastaların %59.7'sinde ayak lateralinde odak görülmüştür. Hem orta ayak grubundaki tarsal kemiklerin tek tek incelenmesi hem de tarsal kemiklerin medial ve lateral plan olarak gruplandırılması sonucunda ayak medial bölgesinde kırmızı kemik iliği ile uyumlu odak sıklığının anlamlı derecede yüksek olduğunu saptadık. Bunun sonucunda kemik iliği konversiyonunun tarsal kemiklerde lateralden mediale doğru ilerlediği kanısına vardık. Çalışmamızda saptadığımız bu bulgu kemik iliği konversiyonunun literatürdeki distalden proksimale doğru ve sentripedal ilerlediği bilgileri haricinde, kemik iliği konversiyonu paterni üzerine yeni bir kazanım olmuştur.

Yaş gruplarına göre yaptığımız incelemelerde okul öncesi yaş grubunun örneklem sayısı düşük olduğundan istatistiksel olarak kıyaslamaya dahil edilmedi. Okul dönemi ve adölesan yaş grupları istatistiksel olarak kıyaslandığında incelenen tüm kemiklerde kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların izlenme sıklığı, okul dönemi yaş grubunda adölesan yaş grubuna göre daha fazlaydı. Ayrıca çalışma grubumuz daha dar aralıklı yaş gruplarına ayrılıp incelendiğinde de ilerleyen yaş grubuyla birlikte kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların izlenme sıklığının anlamlı bir şekilde azaldığı görülmüştür. Kemik iliği doğumda tamamen kırmızı ilik şeklinde olup yaşamın ilk yılından itibaren konversiyon başlamakta ve yaklaşık 25 yaşına gelindiğinde, erişkindeki stabilize hale ulaşmaktadır (15). Yani ilerleyen

yaşla birlikte kemik iliği konversiyonu tamamlanmaktadır ve kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odaklar en sık okul öncesi yaş grubunda ve azalan sıklık sırasıyla okul dönemi ve adölesan yaş gruplarında izlenmektedir. Bizim çalışmamızdaki bulgular kemik iliği konversiyonunun ilerleyen yaş ile uyumlu olarak gösterdiği patern ile örtüşmektedir ve okul dönemi yaş grubundaki hastaların tüm kemiklerindeki kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların izlenme sıklığının, adölesan yaş grubundaki hastalara kıyasla daha fazla olması bunu doğrulamaktadır.

Hastaları cinsiyetine göre gruplandırarak yaptığımız incelemelerde, kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların sık görüldüğü anatomik lokalizasyonlar her iki cinsiyet için de benzerdi ve popülasyonun tamamında odakların en sık izlendiği anatomik lokalizasyonlar ile uyumluydu. Erkek hastalarda değerlendirilen tüm tarsal kemiklerdeki kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların izlenme sıklığı, kız hastalardaki tüm tarsal kemiklerden daha fazlaydı. Bunun sebeplerinden birinin, cinsiyet gruplarının okul dönemi ve adölesan dönemi yaş grupları arasındaki homojen olmayan dağılımı olduğunu düşündük. Kız hastaların %39.3'ü, odakların daha sık görüldüğü okul öncesi ve okul dönemi yaş gruplarında yer almaktayken, aynı oran erkek hastalarda %43.1'dir. Cinsiyet grupları arasındaki homojen olmayan dağılımın, erkek hastalardaki odakların daha sık izlenmesine ılımlı bir katkı yaptığını düşündük. Erkek hastalardaki kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların izlenme sıklığının kız hastalardan daha fazla olmasının asıl sebebinin ise, her iki cinsiyetteki iskelet sistemi gelişiminin ve olgunlaşmasının yaş ile farklılık göstermesinden kaynaklandığını düşündük. Yapılan çalışmalarda kız çocuklarda iskelet sistemi olgunlaşmasının ve erişkindeki stabilize hale ulaşmasının, erkek çocuklara kıyasla daha erken yaşlarda başladığı ve tamamlandığı belirtilmiştir (62). Mevcut çalışmamızda kız ve erkek cinsiyet gruplarını okul dönemi ve adölesan dönemi alt gruplarıyla birlikte değerlendirdik. Bunun sonucunda adölesan dönemdeki kız çocuklarının incelemeye dahil tüm kemiklerindeki kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların izlenme sıklığının erkek hastalara kıyasla daha az olduğunu gördük. Bu bulgu bize kemik iliği konversiyonunun, kız çocuklardaki iskelet sistemi olgunlaşmasının erken yaşta başlaması ve erişkindeki stabilize hale erken yaşta ulaşmasına zamanlama olarak eşlik ettiğini düşündürdü. Bu durumun çalışma grubumuzdaki erkek hastalarda, kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların izlenme sıklığının, kız hastalara kıyasla her bir kemikte daha fazla olmasını açıkladığını düşündük. Çalışmamız kemik iliği konversiyonu paterninin cinsiyet üzerine incelenmesi anlamında yapılmış ilk çalışmadır.

Pediyatrik ayak bileği MRG'sinde kırmızı kemik iliği değişiklikleri üzerine Shabshin ve arkadaşları tarafından 41 pediyatrik ayak bileği ile gerçekleştirilmiş bir çalışma mevcuttur (63).

Bu çalışmada 13 erkek, 28 kız çocuk ayak bilek MRG'si değerlendirilmiştir. Tetkike dahil kemiklerden en az birinde kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odaklar izlenen hastaların oranı %59 olarak bildirilmiş ve odakların en sık izlendiği kemikler azalan sıklık sırasıyla kalkaneus (%54), talus (%49), navikula (%35), kuneiform kemikler, kübik kemik ve metatarslar olarak belirtilmiştir. Bizim çalışmamızda yaptığımız arka, orta ve ön ayak gruplamasını Shabshin ve arkadaşlarının çalışmasına uyarlı olarak tarifli odakların izlenme sıklığının arka ayakta daha fazla olduğu ve bunu sırasıyla orta ve ön ayağın izlediği görülmektedir. Bu yaptığımız grupta kemik iliği konversiyonunun paterninin her iki çalışmada da uyumlu olduğu görülmektedir. Ancak bizim çalışmamızda farklı olarak odaklar talusta, kalkaneusta daha sık izlenmiştir ve küboid kemikte kuneiform kemiklerden hafif düzeyde daha sık izlenmiştir. Bizim çalışmamızda talus, kalkaneusa kıyasla anlamlı derecede daha fazla sıklıkta odaklar içeriyordu. Bu farklılıkların, Shabshin ve arkadaşlarının çalışmasında çok daha küçük bir hasta popülasyonu kullanıldığından dolayı istatistiksel ölçümlerin, toplumun tamamını yansıtmama gücünün daha düşük olmasından kaynaklandığını düşündük. Ayrıca bizim çalışmamızla olan farkların diğer sebeplerinin, Shabshin ve arkadaşlarının çalışmasında odakların daha sık izlendiği okul dönemi yaş grubunun oransal olarak daha düşük olmasından ve yaş grupları arasında belirgin bir dağılım farklılığı olmasından kaynaklandığını düşündük. Ek olarak bizim çalışmamızda, tetkike dahil kemiklerden en az birinde kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odaklar izlenen hastaların oranı %83.9 olarak hesaplanmıştır. Bu oranın Shabshin ve arkadaşlarının çalışmasında %53.9 ile bizim çalışmamızdan daha az hesaplanmasının nedenleri arasında odakların sık izlendiği okul dönemi ve okul öncesi döneme ait hasta oranlarının bizim çalışmamızda daha fazla olmasının yer aldığını düşündük. Ayrıca iki çalışmanın yapılması arasındaki geniş zaman farkı da düşünüldüğünde teknolojik gelişme ve iyileşmelerin etkisi ile daha hassas bir inceleme yapılabilmesi sebebiyle bahsedilen oransal farklılığın oluşabileceği düşünülmüştür.

Shabshin ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada pediatrik yaş grubunda ayak bileği MRG tetkiklerinde hangi kemiklerde kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların bulunduğu üzerine çalışma yapılmış olsa da, bu odakların cinsiyet dağılımı, tetkike dahil ayak bileği kemiklerinin ilerleyen yaşla ve cinsiyetle birlikte hangi anatomik lokalizasyonlarda nasıl bir kemik iliği konversiyonu gösterdiği ve sağ-sol ayak bilekleri arasında kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların dağılımında fark olup olmadığı üzerine ayrıntılı çalışmalar yapılmamıştır. Bizim çalışmamız bu alanlarda literatüre katkı sağlamakta ve yapılmış ilk çalışma olmaktadır.

Pediyatrik yař grubu ayak MRG'sinde kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odaklar üzerine yapılmış diğer bir alışma Pal ve arkadaşlarının 24 hasta ile yaptıkları çalışmadır (64). Bu çalışmada detaylı istatistiksel bilgi verilmese de kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odakların en sık izlendiği kemikler talus ve kalkaneus olarak belirtilmiştir. Bu bulgu bizim çalışmamız ile uyuşmaktadır. Ayrıca Pal ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada tetkike dahil kemiklerden en az birinde kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odaklar izlenen hastaların oranı %57 olarak hesaplanmıştır. Bu oranın bizim çalışmamızdan daha dūřuk olmasının sebepleri arasında, Pal ve arkadaşlarının çalışmasının 1 Tesla MR sisteminde gerçekleştirilmiş olup yeterli hassasiyetle incelemenin yapılamamasının ve kūuk örneklem kūmesinin yanıltıcı istatistiksel sonuçlarının yer alabileceğini dūřunduk. Ayrıca bu çalışmada örneklem kūmesinin yař ve cinsiyet dağılımı da belirtilmediğinden dolayı, hem bu yönlerden detaylı incelemeler yapılamamış hem de kendi çalışmamızla sağlıklı bir istatistiksel kıyas yapılamamıştır.

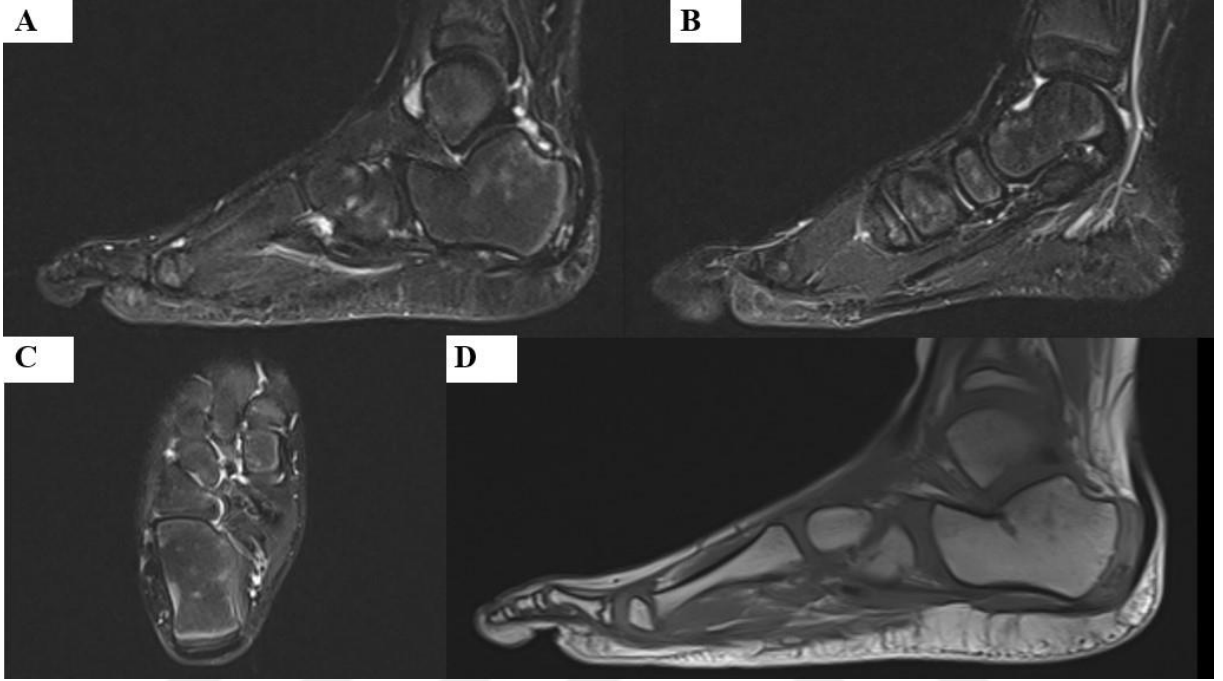
Çalışmamızın kısıtlılıkları mevcuttur. Çalışmamız retrospektif olması sebebiyle, çalışmaya dahil ettiğimiz bazı hastaların anamnez bilgilerine ulaşılamamıştır. Bu hastalarda grüntūleme ve laboratuvar bulguları sonucunda çalışmamızın dışlama kriterleri ile uyumlu herhangi bir bulgu saptanmamıştır. Ancak anamnezi bulunmayan bu hastalarda, asemptomatik ve herhangi bir sekonder bulgunun eşlik etmediği mikrotravmaları, tūmūyle ekarte etmek mūmkūn değildir. Buna ek olarak ayak bileği anatomisinin çoklu segmentli ve eklemli yapıları nedeniyle herhangi bir travma ykūřu bulunmaksızın, tarsal kemiklerin birbirine uyguladığı stres ve mikrotravmalar sonucu kemiklerde, kemik iliği ödemleri ile uyumlu sinyal değişiklikleri ortaya çıkabilmekte ve asemptomatik pediyatrik hastalardaki bu sinyal değişiklikleri kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile karışabilmektedir. Bu durumun istatistiksel ölçümlerimizde bir miktar sapmaya neden olabileceğini dūřunduk. Çalışmamızın bir diğer kısıtlılığı da kız ve erkek cinsiyet gruplarındaki hasta sayılarının eřit olmamasından dolayı ve okul öncesi, okul dönemi ve adölesan yař gruplarındaki hasta sayılarının eřit olmamasından dolayı istatistiksel ölçümlerde sapmalar ortaya çıkmasıdır. Ayrıca kız ve erkek cinsiyetin apendikūler ve aksiyel iskeletinin olgunlaşması ve erişkin haline ulaşması sūreleri aynı yaşlarda başlamamaktadır. Bu sebeple çalışmadaki yař gruplarının iki cinsiyet için de ayrı ayrı belirlenmesiyle, daha dar aralıklı yař grupları kullanılmasıyla, her yař grubunda ve cinsiyette daha homojen bir çalışma grubu belirlenmesiyle, kemik iliği konversiyonu paterninin daha hassas ve daha doğru bir şekilde anlaşılabilmesi mūmkūndūr.

8. SONUÇ ve ÖNERİLER

Pediyatrik yaş grubu ayak bileği MRG'sinde kırmızı kemik iliği değışiklikleri ile uyumlu odakların izlenmesi fizyolojik bir bulgudur. Pediyatrik ayak bileği MRG'sindeki kemik iliği konversiyonu paterninin bilinmesiyle kırmızı kemik iliği değışiklikleri ile uyumlu odaklar, patolojik sinyal değışikliklerinden daha kolay ayırt edilebilecektir. Bu odakların izlenme sıklığı, ilerleyen yaşla birlikte kemik iliği konversiyonunun tamamlanması sonucunda azalmaktadır. Çalışmamızda literatürde belirtilen kemik iliği konversiyonu paterni ile uyuşacak şekilde, kırmızı kemik iliği değışiklikleri ile uyumlu odaklar distalden proksimale doğru artan bir sıklık sırası ile izlenmekte ve en sık arka ayak grubunda izlenmektedir. Ayrıca çalışmamızda literatüre katkı olarak erkek ve kız cinsiyet gruplarında yapılan kıyaslamalar sonucunda, erkek cinsiyet grubunda kırmızı kemik iliği değışiklikleri ile uyumlu odakların izlenme sıklığı daha fazla bulunmuştur. Literatüre diğer bir katkı da ayağın anatomik olarak lateral ve medial gruplara ayırıp incelenmesi sonucunda, medialde laterale göre kırmızı kemik iliği değışiklikleri ile uyumlu odakların izlenme sıklığının daha fazla olmasıdır.

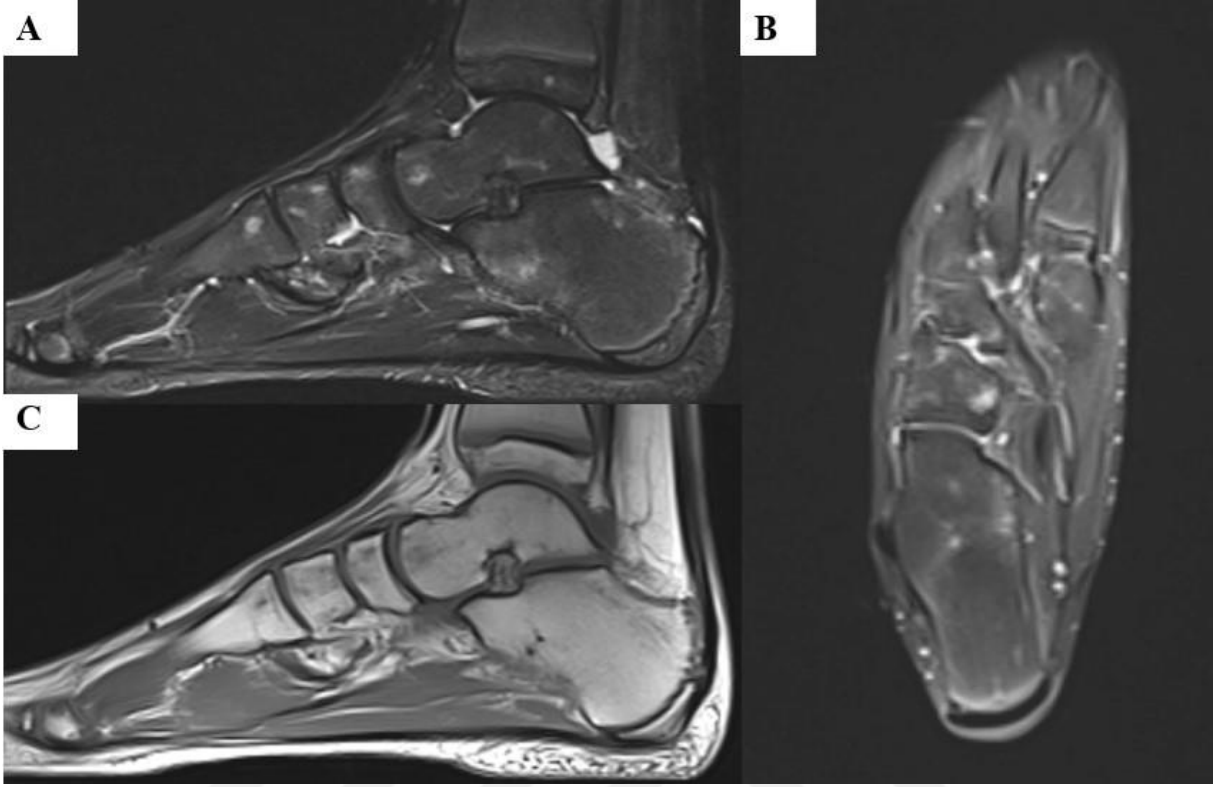
9. OLGU ÖRNEKLERİ

OLGU 1



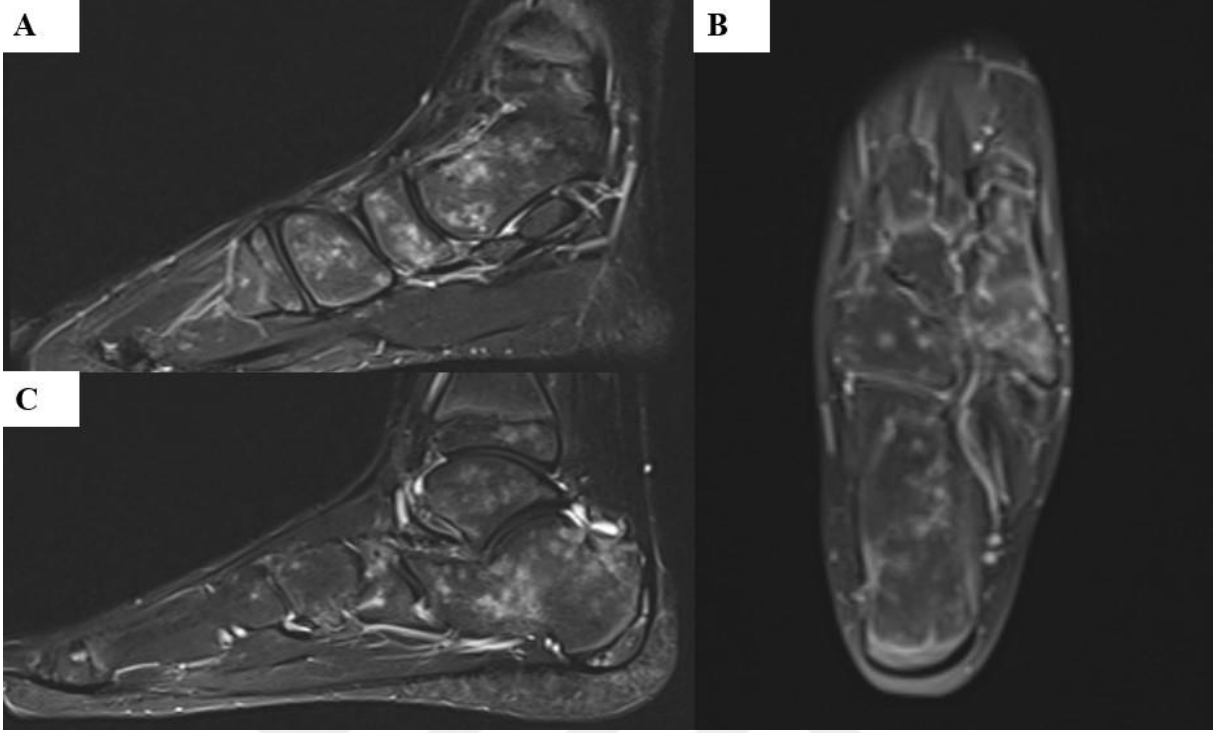
5 yaşında kız hasta. T2 ağırlıklı sagittal (A, B) ve aksiyal (C) plan görüntülerde tüm tarsal kemiklerde, metatars proksimallerinde, tibiada santral ve subkortikal bölgelerde dağınık olarak yerleşen, kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu hiperintens odaklar izlenmektedir. T1 ağırlıklı sagittal (D) plan görüntüde kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odaklara karşılık gelen bölgeler hipointens olarak izlenmektedir.

OLGU 2



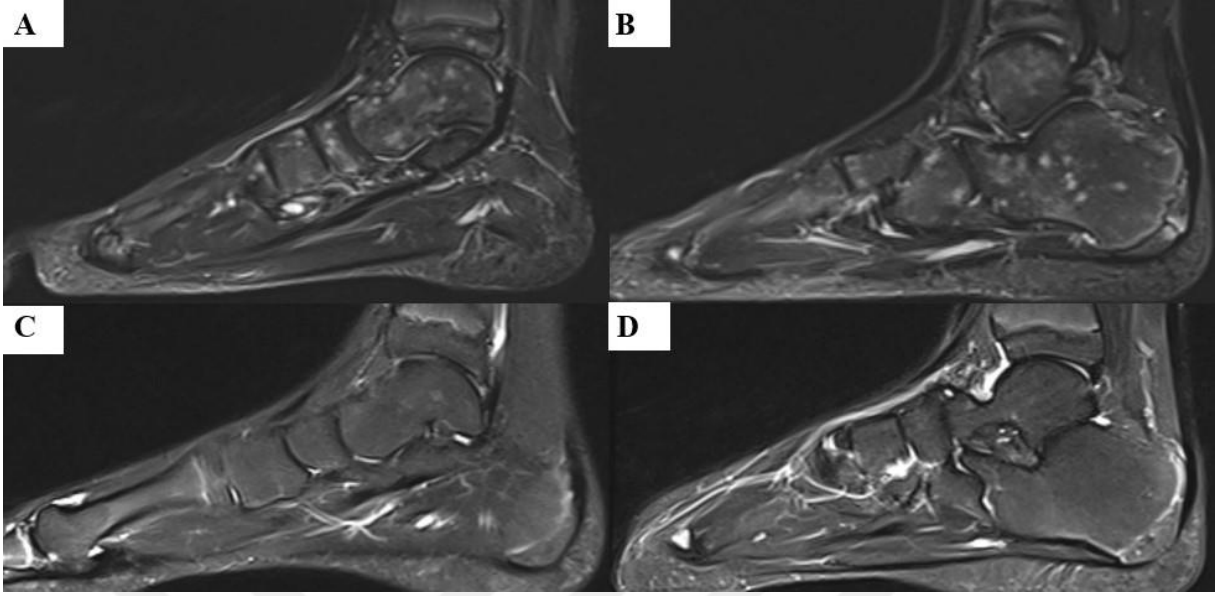
11 yaşında kız hasta. T2 ağırlıklı sagittal (A) ve aksiyal (B) plan görüntülerde tüm tarsal kemiklerde ağırlıklı olarak subkortikal yerleşimli kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu hiperintens odaklar izlenmektedir. T1 ağırlıklı sagittal plan (C) görüntüde tarsal kemiklerde kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odaklara karşılık gelen bölgeler hipointens olarak izlenmektedir.

OLGU 3



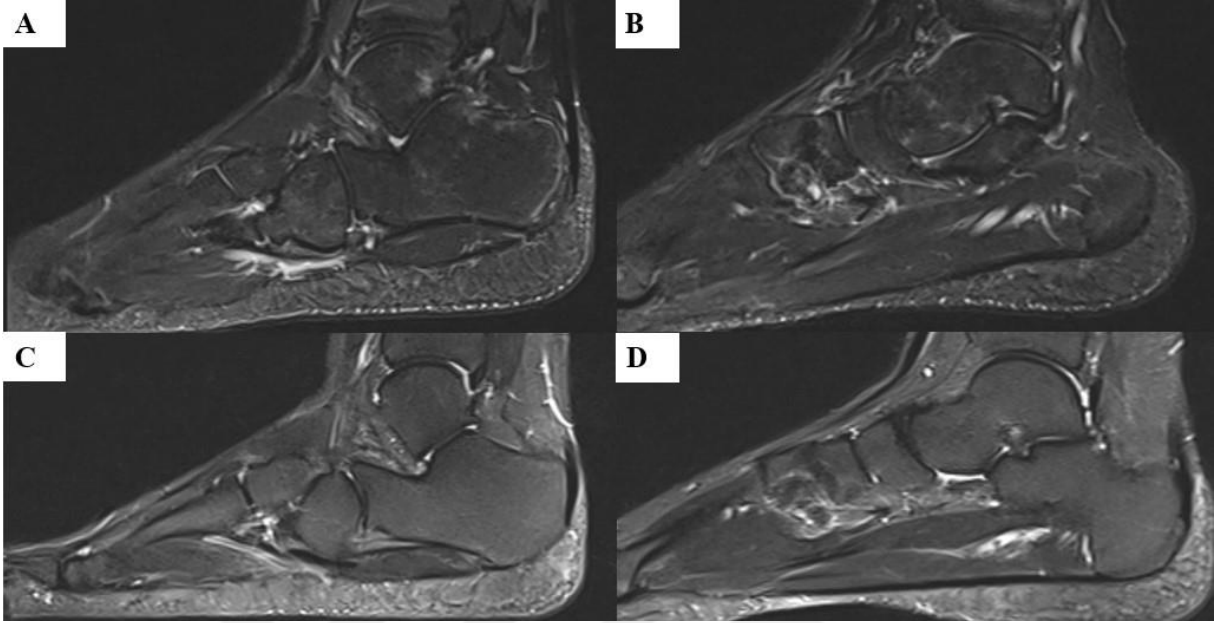
9 yaşında erkek hasta. T2 ağırlıklı sagittal (A, C) ve aksiyal (B) plan görüntülerde tüm tarsal kemiklerde, metatarslarda ve tibiada dağınık yerleşimli kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu hiperintens odaklar izlenmektedir.

OLGU 4



13 yaşındaki erkek hastada T2 ağırlıklı sagittal (A, B) plan görüntülerde tüm tarsal kemiklerde kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu hiperintens odaklar izlenmektedir. 13 yaşındaki kız hastada T2 ağırlıklı sagittal (C, D) plan görüntülerde sadece talusta kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu birkaç adet hiperintens odak izlenmektedir.

OLGU 5



17 yaşındaki erkek hastada T2 ağırlıklı sagittal (A, B) plan görüntülerde talus ve kalkaneusta kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu birkaç adet hiperintens odak izlenmektedir. 17 yaşındaki kız hastada T2 ağırlıklı sagittal (C, D) plan görüntülerde kırmızı kemik iliği değişiklikleri ile uyumlu odaklar izlenmemektedir.

10. KAYNAKLAR

1. Cohen MD, Klatte EC, Baehner R, Smith JA, Martin-Simmerman P, Carr B, et al. Magnetic resonance imaging of bone marrow disease in children. *Radiology*. 1984;151(3):715-8.
2. Moore S, Bisset 3rd G, Siegel M, Donaldson JS. Pediatric musculoskeletal MR imaging. *Radiology*. 1991;179(2):345-60.
3. Mouloupoulos LA, Dimopoulos MA. Magnetic resonance imaging of the bone marrow in hematologic malignancies. *Blood, The Journal of the American Society of Hematology*. 1997;90(6):2127-47.
4. Steiner RM, Mitchell DG, Rao VM, Schweitzer ME. Magnetic resonance imaging of diffuse bone marrow disease. *Radiologic Clinics of North America*. 1993;31(2):383-409.
5. Babyn PS, Ranson M, McCarville ME. Normal bone marrow: signal characteristics and fatty conversion. *Magnetic resonance imaging clinics of North America*. 1998;6(3):473-95.
6. Hayes CW, Conway W, Daniel W. MR imaging of bone marrow edema pattern: transient osteoporosis, transient bone marrow edema syndrome, or osteonecrosis. *Radiographics*. 1993;13(5):1001-11.
7. Kroon HM, Bloem JL, Holscher HC, van der Woude H-J, Reijnierse M, Taminiau AH. MR imaging of edema accompanying benign and malignant bone tumors. *Skeletal radiology*. 1994;23:261-9.
8. Morrison WB, Carrino JA, Schweitzer ME, Sanders TG, Raiken DP, Johnson CE. Subtendinous bone marrow edema patterns on MR images of the ankle: association with symptoms and tendinopathy. *American Journal of Roentgenology*. 2001;176(5):1149-54.
9. Morrison WB, Schweitzer ME, Bock GW, Mitchell DG, Hume EL, Pathria MN, et al. Diagnosis of osteomyelitis: utility of fat-suppressed contrast-enhanced MR imaging. *Radiology*. 1993;189(1):251-7.
10. Papadopoulos EC, Papagelopoulos PJ, Boscainos PJ, Paschaloglou D, Gandaifis ND, Kaseta M, et al. Bone marrow edema syndrome. *Orthopedics*. 2001;24(1):69-73.
11. Schweitzer ME, White LM. Does altered biomechanics cause marrow edema? *Radiology*. 1996;198(3):851-3.
12. Patel MD, Brian J, Chauvin NA, editors. *Pearls and pitfalls in imaging bone marrow in pediatric patients. Seminars in Ultrasound, CT and MRI*; 2020: Elsevier.
13. Samet JD, Deng J, Schafernak K, Arva NC, Lin X, Peevey J, et al. Quantitative magnetic resonance imaging for determining bone marrow fat fraction at 1.5 T and 3.0 T: a technique to noninvasively assess cellularity and potential malignancy of the bone marrow. *Pediatric radiology*. 2021;51:94-102.
14. Chan BY, Gill KG, Rebsamen SL, Nguyen JC. MR imaging of pediatric bone marrow. *Radiographics*. 2016;36(6):1911-30.
15. Burdiles A, Babyn PS. Pediatric bone marrow MR imaging. *Radiologic Clinics of North America*. 2009;47(6):879-97.
16. Trubowitz S, Davis S. *The human bone marrow: Anatomy, physiology, and pathophysiology*. (No Title). 1982.
17. Moore S. Pediatric musculoskeletal magnetic resonance. *Pediatric imaging: update 91: International Pediatric Radiology*; 1991. p. 217-23.
18. Parslow T, Stites D, Terr A, Imboden J. *Medical Immunology*. 2012. ISBN 978-0-8385-6278-9.
19. Kricun ME. Red-yellow marrow conversion: its effect on the location of some solitary bone lesions. *Skeletal radiology*. 1985;14:10-9.

20. Nouh MR, Eid AF. Magnetic resonance imaging of the spinal marrow: basic understanding of the normal marrow pattern and its variant. *World journal of radiology*. 2015;7(12):448.
21. Laor T, Jaramillo D. MR imaging insights into skeletal maturation: what is normal? *Radiology*. 2009;250(1):28-38.
22. Pooley RA. Fundamental physics of MR imaging. *Radiographics*. 2005;25(4):1087-99.
23. Currie S, Hoggard N, Craven IJ, Hadjivassiliou M, Wilkinson ID. Understanding MRI: basic MR physics for physicians. *Postgraduate medical journal*. 2013;89(1050):209-23.
24. Carroll KW, Feller JF, Tirman PF. Useful internal standards for distinguishing infiltrative marrow pathology from hematopoietic marrow at MRI. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 1997;7(2):394-8.
25. Shah LM, Hanrahan CJ. MRI of spinal bone marrow: part 1, techniques and normal age-related appearances. *American journal of roentgenology*. 2011;197(6):1298-308.
26. Gelal F. *Radyoloji Fiziği*. İstanbul: Dünya Tıp Kitabevi; 2023.
27. Del Grande F, Santini F, Herzka DA, Aro MR, Dean CW, Gold GE, et al. Fat-suppression techniques for 3-T MR imaging of the musculoskeletal system. *Radiographics*. 2014;34(1):217-33.
28. Van Vucht N, Santiago R, Lottmann B, Pressney I, Harder D, Sheikh A, et al. The Dixon technique for MRI of the bone marrow. *Skeletal radiology*. 2019;48:1861-74.
29. Gottumukkala RV, Gee MS, Hampilos PJ, Greer M-LC. Current and emerging roles of whole-body MRI in evaluation of pediatric cancer patients. *Radiographics*. 2019;39(2):516-34.
30. Ording Müller L-S, Avenarius D, Olsen ØE. High signal in bone marrow at diffusion-weighted imaging with body background suppression (DWIBS) in healthy children. *Pediatric radiology*. 2011;41:221-6.
31. Arkader A, Glotzbecker M, Hosalkar HS, Dormans JP. Primary musculoskeletal Langerhans cell histiocytosis in children: an analysis for a 3-decade period. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 2009;29(2):201-7.
32. Dwek J, Shapiro F, Laor T, Barnewolt C, Jaramillo D. Normal gadolinium-enhanced MR images of the developing appendicular skeleton: Part 2. Epiphyseal and metaphyseal marrow. *AJR American journal of roentgenology*. 1997;169(1):191-6.
33. Montazel J-L, Divine M, Lepage E, Kobeiter H, Breil S, Rahmouni A. Normal spinal bone marrow in adults: dynamic gadolinium-enhanced MR imaging. *Radiology*. 2003;229(3):703-9.
34. Saifuddin A, Bann K, Ridgway J, Butt W. Bone marrow blood supply in gadolinium-enhanced magnetic resonance imaging. *Skeletal radiology*. 1994;23:455-7.
35. Rozenfeld MN, Podberesky DJ. Gadolinium-based contrast agents in children. *Pediatric radiology*. 2018;48:1188-96.
36. Ruzek K, Wenger D. The multiple faces of lymphoma of the musculoskeletal system. *Skeletal radiology*. 2004;33:1-8.
37. Kwee TC, de Klerk JM, Nievelstein RA. Imaging of bone marrow involvement in lymphoma: state of the art and future directions. *The Scientific World Journal*. 2011;11(1):391-402.
38. Baur-Melnyk A. *Magnetic resonance imaging of the bone marrow*: Springer; 2013.
39. van den Berg H, Kroon HM, Slaar A, Hogendoorn P. Incidence of biopsy-proven bone tumors in children: a report based on the Dutch pathology registration "PALGA". *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 2008;28(1):29-35.
40. Duchman KR, Gao Y, Miller BJ. Prognostic factors for survival in patients with Ewing's sarcoma using the surveillance, epidemiology, and end results (SEER) program database. *Cancer Epidemiology*. 2015;39(2):189-95.
41. Weber M-A, Papakonstantinou O, Nikodinovska VV, Vanhoenacker FM, editors. *Ewing's sarcoma and primary osseous lymphoma: spectrum of imaging appearances*. Seminars in musculoskeletal radiology; 2019: Thieme Medical Publishers.

42. Hanrahan CJ, Shah LM. MRI of spinal bone marrow: part 2, T1-weighted imaging-based differential diagnosis. *American Journal of Roentgenology*. 2011;197(6):1309-21.
43. Stevens S, Moore S, Kaplan I. Early and late bone-marrow changes after irradiation: MR evaluation. *AJR American journal of roentgenology*. 1990;154(4):745-50.
44. Daldrup-Link HE, Henning T, Link TM. MR imaging of therapy-induced changes of bone marrow. *European radiology*. 2007;17:743-61.
45. Fletcher B. Effects of pediatric cancer therapy on the musculoskeletal system. *Pediatric radiology*. 1997;27:623-36.
46. Walter N, Bärtil S, Alt V, Rupp M. The epidemiology of osteomyelitis in children. *Children*. 2021;8(11):1000.
47. Scott RJ, Christofersen MR, Robertson Jr WW, Davidson RS, Rankin L, Drummond DS. Acute osteomyelitis in children: a review of 116 cases. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 1990;10(5):649-52.
48. Bahk YW, Lee M, Wagner HNJ. *Combined Scintigraphic and Radiographic Diagnosis of Bone and Joint Diseases*: Springer Berlin Heidelberg; 2013.
49. Ecklund K, Vajapeyam S, Feldman HA, Buzney CD, Mulkern RV, Kleinman PK, et al. Bone marrow changes in adolescent girls with anorexia nervosa. *Journal of Bone and Mineral Research*. 2010;25(2):298-304.
50. Lazzarini KM, Troiano RN, Smith RC. Can running cause the appearance of marrow edema on MR images of the foot and ankle? *Radiology*. 1997;202(2):540-2.
51. Major NM, Helms CA. MR imaging of the knee: findings in asymptomatic collegiate basketball players. *American Journal of Roentgenology*. 2002;179(3):641-4.
52. Jaramillo D, Shapiro F. Musculoskeletal trauma in children. *Magnetic resonance imaging clinics of North America*. 1998;6(3):521-36.
53. Zbojniewicz AM, Laor T. Focal Periphyseal Edema (FOPE) zone on MRI of the adolescent knee: a potentially painful manifestation of physiologic physeal fusion? *American Journal of Roentgenology*. 2011;197(4):998-1004.
54. <https://footeducation.com/bones-of-the-foot-and-ankle/> [Erişim Zamanı: 19 Ocak 2025].
55. Schuenke M, Schulte E, Schumacher U. *General anatomy and musculoskeletal system (Thieme Atlas of Anatomy)*: Georg Thieme Verlag; 2020.
56. Foti G, Serra G, Iacono V, Marocco S, Bertoli G, Gori S, et al. Identification of non-traumatic bone marrow oedema: the pearls and pitfalls of dual-energy CT (DECT). *Tomography*. 2021;7(3):387-96.
57. Kon E, Ronga M, Filardo G, Farr J, Madry H, Milano G, et al. Bone marrow lesions and subchondral bone pathology of the knee. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2016;24:1797-814.
58. Malloy PC, Fishman E, Magid D. Lymphoma of bone, muscle, and skin: CT findings. *AJR American journal of roentgenology*. 1992;159(4):805-9.
59. Lim CY, Ong KO. Imaging of musculoskeletal lymphoma. *Cancer imaging*. 2013;13(4):448.
60. Stroszczyński C, Oellinger J, Hosten N, Spahn G, Amthauer H, Ricke J, et al. Staging and monitoring of malignant lymphoma of the bone: comparison of ⁶⁷Ga scintigraphy and MRI. *Journal of Nuclear Medicine*. 1999;40(3):387-93.
61. Tannenbaum MF, Noda S, Cohen S, Rissmiller JG, Golja AM, Schwartz DM. Imaging musculoskeletal manifestations of pediatric hematologic malignancies. *American Journal of Roentgenology*. 2020;214(2):455-64.
62. Bachrach LK. *Skeletal development in childhood and adolescence. Primer on the metabolic bone diseases and disorders of bone metabolism*, 7th edn Wiley, Hoboken, New Jersey. 2009:74-9.

63. Shabshin N, Schweitzer ME, Morrison WB, Carrino JA, Keller MS, Grissom LE. High-signal T2 changes of the bone marrow of the foot and ankle in children: red marrow or traumatic changes? *Pediatric radiology*. 2006;36:670-6.
64. Pal C, Tasker A, Ostlere S, Watson M. Heterogeneous signal in bone marrow on MRI of children's feet: a normal finding? *Skeletal radiology*. 1999;28:274-8.



11. EKLER

11.1. Ek 1: Özgeçmiş

Ege Üniversitesi Tıp Fakültesinde tıp eğitimime başladım. 2020 Temmuz ayından itibaren Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Radyoloji Anabilim dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya devam etmekteyim.



11.2. Ek 2: Etik Kurul Karar Formu

ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ GİRİŞİMSSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU KARAR FORMU

ÇALIŞMANIN AÇIK ADI	Pediyatrik Ayak Bileği Manyetik Rezonans İncelemesinde Kırmızı Kemik İliği Değişikliklerinin Ölçümü
---------------------	--

	DİĞER:	☐	
KARAR BİLGİLERİ	Girişimsel Olmayan Klinik Araştırma Toplantı No:14 Karar No: 2024-14/12	Tarih: 24/10/2024	Yukarıda bilgileri verilen başvuru dosyası ile ilgili belgeler araştırmanın/çalışmanın gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş ve uygun bulunmuş olup araştırmanın/çalışmanın başvuru dosyasında belirtilen merkezlerde gerçekleştirilmesinde etik ve bilimsel sakınca bulunmadığına toplantıya katılan etik kurul üyelerin oy birliğiyle karar verilmiştir. Klinik Araştırmalar Hakkında Yönetmelik kapsamında yer alan araştırmalar/çalışmalar için Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu'ndan izin alınması gerekmektedir.

EBYU GİRİŞİMSSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU	
ETİK KURULUN ÇALIŞMA ESASI	Klinik Araştırmalar Hakkında Yönetmelik, İyi Klinik Uygulamalar Kılavuzu, Helsinki Bildirgesi
BAŞKANIN UNVANI / ADI / SOYADI:	Doç. Dr. Ertuğrul ERHAN

Unvanı/Adı/Soyadı	Uzmanlık Alanı	Kurumu	Cinsiyet		Araştırma ile İlişkisi		Katılım *		İmza
Doç. Dr. Ertuğrul ERHAN	Kulak Burun Boğaz	EBYU Tıp Fakültesi	E ☒	K ☐	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐	
Doç. Dr. Sonay AYDIN	Radyoloji	EBYU Tıp Fakültesi	E ☒	K ☐	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐	
Doç. Dr. Ayhan KARS	Kulak Burun Boğaz	EBYU Tıp Fakültesi	E ☒	K ☐	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐	
Doç.Dr. Feriye DANIŞMAN KALINDEMİRTAŞ	Fizyoloji	EBYU Tıp Fakültesi	E ☐	K ☒	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐	
Dr. Öğr. Üyesi Özlem ÇELİK AYDIN	Tıbbi Farmakoloji	EBYU Tıp Fakültesi	E ☐	K ☒	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐	
Dr. Öğr. Üyesi Bülent DABANLIOĞLU	Tıbbi Mikrobiyoloji	EBYU Tıp Fakültesi	E ☒	K ☐	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐	
Dr. Öğr. Üyesi Betül KALKAN YILMAZ	Kadın Hastalıkları ve Doğum	EBYU Tıp Fakültesi	E ☐	K ☒	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐	
Dr. Öğr. Üyesi Tuğba ERKMEK DOĞRU	Tıbbi Biyokimya	EBYU Tıp Fakültesi	E ☐	K ☒	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐	
Dr. Öğr. Üyesi Ersan GÖRSÖY	Aile Hekimliği	EBYU Tıp Fakültesi	E ☒	K ☐	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐	

2

Etik Kurul Başkanı
Unvanı/Adı/Soyadı:
İmza:

Not: Etik kurul başkanı, imzasının yer almadığı her sayfaya imza atmalıdır.

11.3. Ek 3: Etik Kurul Karar Formu

ERZİNCAN BİNALI YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ GİRİŞİMSSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU KARAR FORMU

ÇALIŞMANIN AÇIK ADI		Pediatrik Ayak Bileği Manyetik Rezonans Görüntülemesinde Kırmızı Kemik İliği Değişikliklerinin Ölçümü	
DİĞER:		☐	
KARAR BİLGİLERİ	Girişimsel Olmayan Klinik Araştırma Toplantı No:02 Karar No: 2025-02/02	Tarih: 23/01/2025	
	Yukarıda bilgileri verilen başvuru dosyası ile ilgili belgeler araştırmanın/çalışmanın gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş ve Doç. Dr. Erdem FATİHOĞLU' nun 15.01.2025 tarih ve 422540 sayılı dilekçesi görülmüştür. 24/10/2024 tarih ve 2024-14/12 karar numarası ile onay alan "Pediatrik Ayak Bileği Manyetik Rezonans İncelemesinde Kırmızı Kemik İliği Değişikliklerinin Ölçümü" konulu çalışmanın adının "Pediatrik Ayak Bileği Manyetik Rezonans Görüntülemesinde Kırmızı Kemik İliği Değişikliklerinin Ölçümü" şeklinde değiştirilmesine oy birliğiyle karar verilmiştir.		

EBYU GİRİŞİMSSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU	
ETİK KURULUN ÇALIŞMA ESASI	Klinik Araştırmalar Hakkında Yönetmelik, İyi Klinik Uygulamaları Kılavuzu, Helsinki Bildirgesi
BAŞKANIN UNVANI / ADI / SOYADI:	Doç. Dr. Ertuğrul ERHAN

Unvanı/Adı/Soyadı	Uzmanlık Alanı	Kurumu	Cinsiyet		Araştırma ile İlgili		Katkım *	
Doç. Dr. Ertuğrul ERHAN	Kulak Burun Boğaz	EBYU Tıp Fakültesi	E ☒	K ☐	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐
Doç. Dr. Senay AYDIN	Radyoloji	EBYU Tıp Fakültesi	E ☒	K ☐	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐
Doç. Dr. Ayhan KARS	Kulak Burun Boğaz	EBYU Tıp Fakültesi	E ☒	K ☐	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐
Doç. Dr. Feriðan DANIŞMAN KALINDEMİR TAŞ	Fizyoloji	EBYU Tıp Fakültesi	E ☐	K ☒	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐
Dr. Öğr. Üyesi Özdem ÇELİK AYDIN	Tıbbi Farmakoloji	EBYU Tıp Fakültesi	E ☐	K ☒	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐
Dr. Öğr. Üyesi Bülent DABANLIOĞLU	Tıbbi Mikrobiyoloji	EBYU Tıp Fakültesi	E ☒	K ☐	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐
Dr. Öğr. Üyesi Bülent KALKAN YILMAZ	Kadın Hastalıkları ve Doğum	EBYU Tıp Fakültesi	E ☐	K ☒	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐
Dr. Öğr. Üyesi Tuğba ERKMEN DOĞRU	Tıbbi Biyokimya	EBYU Tıp Fakültesi	E ☐	K ☒	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐
Dr. Öğr. Üyesi Erman GÜRSOY	Aile Hekimliği	EBYU Tıp Fakültesi	E ☒	K ☐	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐

2

Etik Kurul Başkanı
Unvanı/Adı/Soyadı:
İmza:

Not: Etik kurul başkanı, imzasının yer almadığı her sayfaya imza atmaktadır.

11.4. Ek 4: Benzerlik Raporu

6% Genel Benzerlik

Her yıl İstanbul Kültür Varlıklarını Koruma Bölgesi sınırları içerisinde bulunan

Rapordan Filtrelenen

- Biogeografie
- Artenreichtum

Hariç tutulacaklar

- 1 Çıktı Kaynak

Ön Sıradaki Kaynaklar

- | | |
|----|---|
| 7% | İnternet kayıtları |
| 4% | Kayıtlar |
| 1% | Gönderilen çağrılar (Öğrenci Matrukesi) |

Bütünlük Bayrakları

Başvurular için E-Posta Adresleri

Perlu diingat bahwa paparan media merupakan faktor yang tidak terkontrol.

Statistical analysis