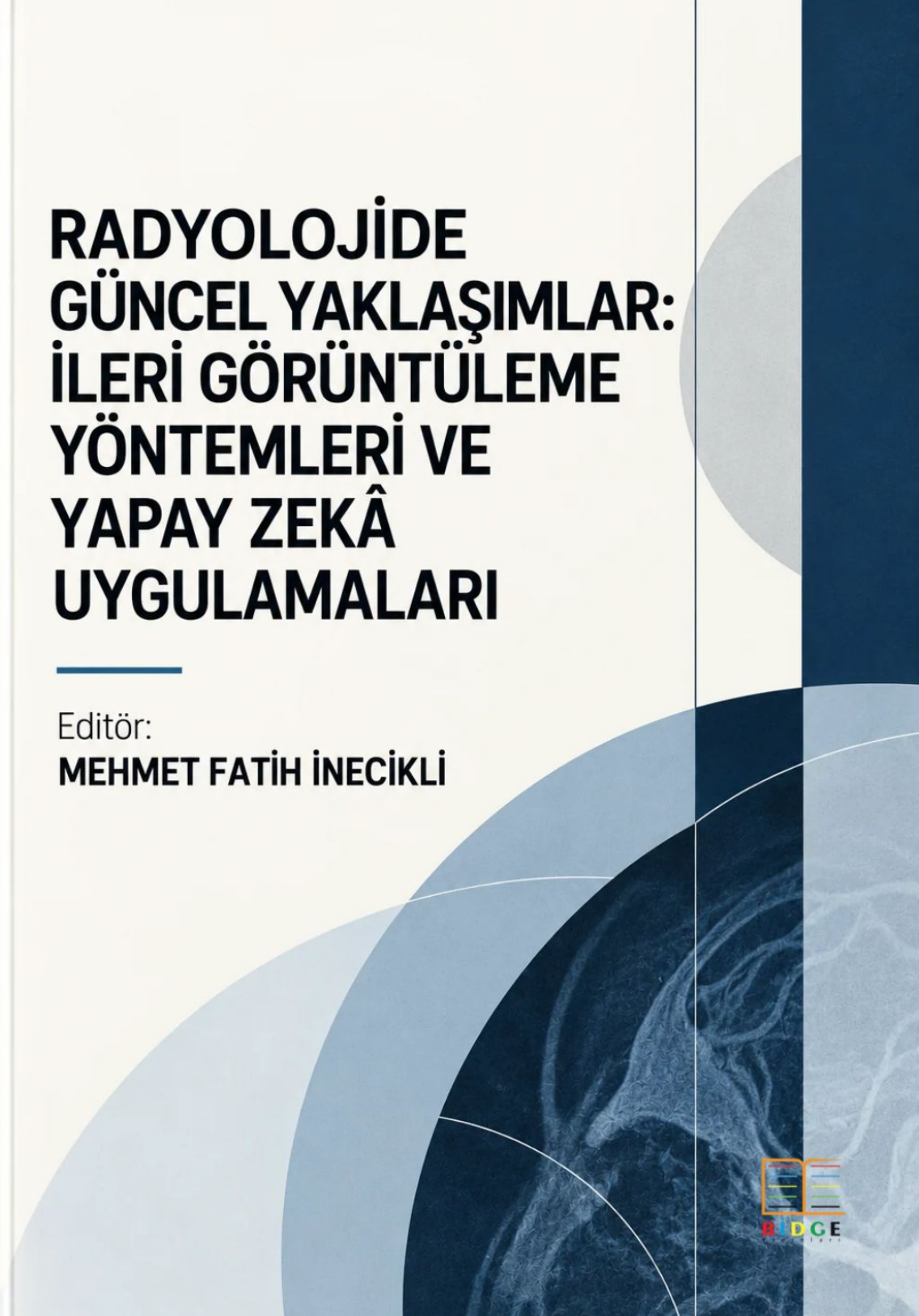
RADYOLOJİDE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR: İLERİ GÖRÜNTÜLEME YÖNTEMLERİ VE YAPAY ZEKÂ UYGULAMALARI

Editör:
MEHMET FATİH İNECİKLİ



BİDGE Yayınları

RADYOLOJİDE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR: İLERİ GÖRÜNTÜLEME YÖNTEMLERİ VE YAPAY ZEKÂ UYGULAMALARI

Editör: MEHMET FATİH İNECİKLİ

ISBN: 978-625-5057-11-2

1. Baskı
Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL
Yayınlama Tarihi: 2026-10-25
BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374
Yayın hakları © BİDGE Yayınları
www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com
Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.
Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya / Ankara

İÇİNDEKİLER

GEBELİK VE LAKTASYONDA MEME GÖRÜNTÜLEMEDE GÜVENLİK: RADYASYON DOZU, KONTRAST MADDE SEÇİMİ VE GÖRÜNTÜLEME ALGORİTMASI 1
ELİF SENEM ŞAHİN

TEMPORAL KEMİK TRAVMALARINDA RADYOLOJİK YAKLAŞIM 27
PINAR ÇAKMAK

AKSİLLA GÖRÜNTÜLEME 56
MEHMET YAĞTU

MULTİPARAMETRİK PROSTAT MANYETİK REZONANS GÖRÜNTÜLEME 72
MUSTAFA FATİH ERKOC

YAPAY ZEKA VE RADYOLOJİNİN GELECEĞİ 82
MUSTAFA FATİH ERKOÇ

GİRİŞİMSEL RADYOLOJİDE YAPAY ZEKÂ: İŞLEM ÖNCESİ PLANLAMADAN TEDAVİ YANITININ DEĞERLENDİRİLMESİNE 96
ERKAN BİLGİN

BÖLÜM 1

GEBELİK VE LAKTASYONDA MEME GÖRÜNTÜLEMEDE GÜVENLİK: RADYASYON DOZU, KONTRAST MADDE SEÇİMİ VE GÖRÜNTÜLEME ALGORİTMASI

Elif Senem ŞAHİN[1]

Giriş

Gebelik ve laktasyonda meme yakınmasıyla başvuran kadının değerlendirilmesinde en temel sorun, hangi tetkikin yapılacağından çok tetkikin yapılıp yapılamayacağına ilişkin kararsızlıktır. İyonizan radyasyonun fetüse, kontrast maddelerin fetüse ve anne sütüne etkisi konusundaki kaygılar, hasta ve hekim tarafında tetkikin ertelenmesine veya emzirmenin gereksiz yere kesilmesine yol açabilmektedir. Oysa gebelikte veya doğumdan sonraki bir yıl içinde tanı konan meme kanseri olarak tanımlanan gebelikle ilişkili meme kanseri (GİMK) yaklaşık 3.000–10.000 gebelikte bir görülmekte ve tüm meme kanserlerinin %3'ünden azını oluşturmaktadır; gebelikte biyopsi yapılan ele gelen kitlelerin %80'inden fazlası benign olsa da, fizyolojik değişikliklerin ardına

[1] Uzm. Dr., T.C. Sağlık Bakanlığı Kahta Devlet Hastanesi, Radyoloji Bölümü, Orcid: 0000-0002-6510-4391

gizlenen bu tabloda tanı gecikmesi önemli bir sorundur (Joshi vd., 2013; Kieturakis vd., 2021; Salkowski vd., 2025).

Güvenlik kaygılarının büyük bölümü, tetkiklerin gerçek doz ve maruziyet düzeylerinin bilinmemesinden kaynaklanır. Türkiye'de 45 ilden radyoloji teknikeri, radyolog, çocuk hekimi ve bu iki alandaki asistanlardan oluşan 404 sağlık çalışanıyla yapılan bir ankette, katılımcıların yalnızca %18'i kontrastlı bilgisayarlı tomografi (BT), %23'ü kontrastlı manyetik rezonans görüntüleme (MRG) sonrasında emzirmeye ara verilmesinin gerekmediğini belirtmiş; kontrastlı BT sonrasında %79'u, kontrastlı MRG sonrasında %77'si sütün 48 saate varan sürelerle sağılıp atılmasını önermiştir. Mamografi sonrasında emzirmenin kesilmesine gerek olmadığını bilenlerin oranı ise yalnızca %56'dır ve katılımcıların %63'ü bu konudaki bilgisini yetersiz bulmuştur (Karatekin vd., 2024). Oysa güncel kılavuzlara göre bu durumların hiçbirinde emzirmeye ara verilmesi gerekmemektedir. Bu bulgu, kanıt ile uygulama arasındaki açıklığın boyutunu göstermektedir.

Bu bölümün amacı, gebe ve emziren kadında meme görüntülemesinin güvenlik boyutunu kılavuzlar ışığında ele almaktır. Hastalıkların görüntüleme bulguları değil, tetkik seçimini belirleyen üç soru üzerinde durulmuştur: fetüsün ve bebeğin aldığı doz ne kadardır, hangi kontrast madde hangi koşulda kullanılabilir ve yakınmaya göre hangi yöntem hangi sırayla seçilmelidir. ACR, 2018'de tek başlıkta ele aldığı konuyu güncel sürümde gebelik ve laktasyon için iki ayrı uygunluk kriterinde değerlendirmektedir (diFlorio-Alexander vd., 2018; Dogan vd., 2026; Salkowski vd., 2025). Bu bölümde, güncel American College of Radiology (ACR) Uygunluk Kriterleri, ACR ile Society for Pediatric Radiology (SPR) ortak uygulama parametresi, American College of Obstetricians and Gynecologists (ACOG) komite görüşü ile ACR ve European Society of Urogenital Radiology (ESUR) kontrast madde kılavuzları temel alınmıştır.

Fizyolojik Değişikliklerin Görüntülemeye Etkisi

Gebelikte östrojen ve progesteron etkisiyle duktal ve lobüler yapılar çoğalır, damarlanma artar ve laktasyonda prolaktin denetiminde lobüler bezler sütle dolarak genişler (Kieturakis vd., 2021; Vashi vd., 2013). Bu değişiklikler güvenlik açısından iki nedenle önemlidir. Birincisi, mamografide dansite artışı ve MRG'de zemin kontrastlanmasının belirginleşmesi yöntemlerin duyarlılığını etkiler ve yöntem seçimini değiştirir. İkincisi, artmış damarlanma ve duktal genişleme girişimsel işlemlerde kanama, enfeksiyon ve süt fistülü riskini artırır. Emziren kadında incelemeden hemen önce emzirme veya süt sağma, meme dansitesini ve duktal gerginliği azaltan, maliyetsiz, kolay ve her yöntemde uygulanabilen bir önlemdir (Dogan vd., 2026; Kieturakis vd., 2021).

Radyasyon Dozu ve Fetal Güvenlik

Deterministik Etkiler ve Eşik Dozlar

İyonizan radyasyonun fetüs üzerindeki etkileri deterministik ve stokastik olarak iki grupta incelenir. Deterministik etkiler (gebelik kaybı, malformasyon, büyüme geriliği, bilişsel işlev kaybı) belirli bir eşik dozun üzerinde ortaya çıkar ve şiddeti dozla artar. ACOG, 50 mGy'in altındaki fetal dozlarda malformasyon, büyüme geriliği veya gebelik kaybı gibi deterministik etkilerin bildirilmediğini belirtmektedir (American College of Obstetricians and Gynecologists [ACOG], 2017). Merkezi sinir sistemi etkileri açısından en duyarlı dönem gebeliğin 8–15. haftalarıdır; ağır zihinsel etkilenme için eşiğin 60–310 mGy aralığında olabileceği öne sürülmüş, klinik olarak belgelenen en düşük doz ise 610 mGy olmuştur (ACOG, 2017). ACR–SPR uygulama parametresine göre de 50 mGy'in altındaki dozlarda gebeliğin hiçbir döneminde deterministik etki beklenmez; 50–100 mGy aralığındaki olası etkiler

bilimsel olarak belirsizdir ve klinik olarak saptanamayacak kadar hafif olması olasıdır; 100 mGy'in üzerinde ise gebelik haftasına göre değişen etkiler görülebilir (American College of Radiology & Society for Pediatric Radiology [ACR–SPR], 2023). Bu ilişki Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Gebelik haftasına ve fetal doza göre beklenen deterministik etkiler

Gebelik haftası	**<50 mGy**	**50–100 mGy**	**>100 mGy**
0–2	Yok	Yok	Yok
3–4	Yok	Olasılıkla yok	Olası kendiliğinden düşük
5–10	Yok	Belirsiz; klinik olarak saptanamayacak kadar hafif	Dozla artan olası malformasyonlar
11–17	Yok	Belirsiz; klinik olarak saptanamayacak kadar hafif	Doz arttıkça bilişsel işlev kaybı riskinin sıklığı ve şiddeti artar.
18–27	Yok	Yok	Tanısal görüntüleme dozlarında klinik olarak anlamlı bilişsel işlev kaybı beklenmez.
>27	Yok	Yok	Tanısal görüntüleme dozları için geçerli etki yok

Kaynak: ACR–SPR (2023)'den uyarlanmıştır.

Stokastik Etkiler

Stokastik etkiler, özellikle çocukluk çağı kanserleri, eşik değeri olmayan ve olasılığı dozla artan etkilerdir. ACR–SPR parametresinde 10 mGy'lik maruziyetten sonra çocukluk çağı malignitesi riskinin %0,2–0,3 olan temel düzeyden %0,3–0,7'ye yükselebileceği, yaşam boyu atfedilebilir kanser riskinin ise her 10 mGy için yaklaşık %0,4 olduğu bildirilmektedir (ACR–SPR, 2023). ACOG da rahim içi maruziyete bağlı kanser riskinin belirsiz, ancak

olasılıkla çok küçük olduğunu; 10–20 mGy'lik fetal dozun lösemi riskini yaklaşık 3.000'de bir olan temel düzeyin 1,5–2 katına çıkarabileceğini belirtmektedir (ACOG, 2017). Bu oranlar, aşağıda gösterileceği gibi mamografide fetal dozun 10 mGy'in en az binde biri düzeyinde olduğu göz önüne alındığında, meme görüntülemesinde mutlak risk artışının son derece düşük olması beklenir.

Meme Görüntülemesinde ve Evreleme Tetkiklerinde Fetal Doz

Mamografide ışın demeti memeye yönlendirilir ve fetüs birincil ışın alanının dışındadır; fetüse ulaşan doz esas olarak anne dokularındaki iç saçılmadan kaynaklanır. ACOG'un derlediği verilere göre mamografide fetal doz 0,001–0,01 mGy'dir; bu değer akciğer grafisi ile aynı düzeydedir, deterministik etkiler için kabul edilen 50 mGy eşiğinin binlerce kat altındadır ve fetüsün gebelik boyunca doğal fon radyasyonundan aldığı yaklaşık 1 mGy'lik dozun yaklaşık %0,1–1'i kadardır (ACOG, 2017; Tremblay vd., 2012). İki pozlu mamografide memenin aldığı ortalama glandüler doz yaklaşık 3 mGy olup yaklaşık yedi haftalık doğal fon radyasyonuna karşılık gelir (Kieturakis vd., 2021). Monte Carlo ve fantom çalışmasında standart iki pozlu mamografide uterusun aldığı doz, görüntülenen memenin ortalama glandüler dozunun yüz binde birinden az, mutlak değer olarak meme başına 0,03 μGy'den düşük bulunmuştur; bu değer ilk trimesterdeki fetal dozu temsil eder ve gebe hastada toraks BT'de fetüsün aldığı dozun 100–700 kat altındadır (Sechopoulos vd., 2008). ACR–SPR parametresi uygun biçimde yapılan bir mamografide fetal dozu önemsiz kabul etmekte, ACR'nin güncel gebelik kriterleri de fetüse ulaşan saçılan radyasyonu ihmal edilebilir olarak nitelendirmektedir (ACR–SPR, 2023; Salkowski vd., 2025).

Meme kanseri tanısı alan gebede gündeme gelebilecek evreleme tetkiklerinin fetal dozları ise birbirinden belirgin biçimde farklıdır (Tablo 2). Toraks BT'de fetal doz 1 mGy'in altında kalırken,

abdomen ve pelvis BT ile tüm vücut pozitron emisyon tomografisi-BT'de (PET-BT) bildirilen üst sınır 50 mGy'e yaklaşmaktadır; gerçek doz protokole, tarama alanına ve gebelik haftasına göre değişir (ACOG, 2017). İyi yönetilen koşullarda tek fazlı abdomen-pelvis BT'de fetal dozun 35 mGy'in altında, tipik olarak 10–25 mGy olduğu bildirilmektedir (ACR–SPR, 2023). Bu değerler deterministik eşiğin altındadır; ancak yinelenen veya çok fazlı incelemelerde toplam doz eşiğe yaklaşabileceğinden, bu tetkiklerin gebelikte ancak sonucun tedaviyi değiştireceği durumlarda istenmesi gerekir. ESMO uzlaşı bildirisi evreleme stratejisinin radyolog ve medikal fizik uzmanıyla birlikte planlanmasını ve toplam fetal maruziyet için 100 mGy'in üst sınır kabul edilmesini önermektedir (Loibl vd., 2023). Birden fazla iyonizan radyasyonlu tetkik gerektiğinde toplam fetal dozun medikal fizik uzmanınca hesaplanması uygundur (ACOG, 2017).

Tablo 2. Meme görüntülemesi ve evreleme tetkiklerinde yaklaşık fetal dozlar

Tetkik	**Fetal doz (mGy)**	**Gebelikte kullanım**
Mamografi (iki poz)	0,001–0,01	Endikasyon varsa yapılır
Akciğer grafisi (iki poz)	0,0005–0,01	Sistemik evrelemede ilk basamak
Toraks BT	0,01–0,66	Yüksek metastaz riskinde, düşük dozlu protokolle
Tc-99m kemik sintigrafisi	4–5	İkinci basamak; yalnızca yarar/risk oranı açıkça üstünse
Abdomen BT	1,3–35	Kaçınılır; ultrason ve kontrastsız MRG tercih edilir
Pelvis BT	10–50	Kaçınılır; kontrastsız MRG tercih edilir
Tüm vücut F-18 PET-BT	10–50	İkinci basamak; yalnızca yarar/risk oranı açıkça üstünse

Kaynak: Doz değerleri ACOG (2017) ve Tremblay vd. (2012) kaynaklarından alınmış, kullanım önerileri Loibl vd. (2023) temel alınarak yazar tarafından eklenmiştir. Fetal doz gebelik haftasına, annenin vücut yapısına ve çekim parametrelerine göre değişir; verilen aralıklar tipik bir incelemenin dozu olarak değil, bildirilen sınırlar olarak yorumlanmalıdır.

Doz Optimizasyonu

Gebe hastada doz optimizasyonunun ilk adımı gerekçelendirmedir: tetkik klinik soruyu yanıtlayacaksa yapılmalı, yanıtlamayacaksa hiç yapılmamalıdır. ACOG, klinik olarak gerekli radyografi, BT ve nükleer tıp incelemelerinde fetal dozların zararlı kabul edilen düzeylerin oldukça altında kaldığını ve bu tetkiklerin gebelik nedeniyle ertelenmemesi ya da hastadan esirgenmemesi gerektiğini vurgulamaktadır (ACOG, 2017). Meme görüntülemesinde bu ilke, semptomatik hastada ultrasonun temel yöntem olması, mamografinin ise yaş ve bulgu gerektirdiğinde gecikmeden eklenmesi anlamına gelir.

İkinci adım, tetkikin en düşük dozla ve tekrar gerektirmeyecek kalitede yapılmasıdır. Uygulamada şu önlemler öne çıkar:

- Emziren kadında çekimden hemen önce emzirme veya süt sağma ile dansitenin azaltılması ve sıkıştırmanın iyileştirilmesi.
- Doğru pozisyonlama ve yeterli sıkıştırma ile tekrar çekimlerin önlenmesi.
- Tomosentez kullanılıyorsa ayrı bir iki boyutlu çekim yerine sentetik iki boyutlu görüntülerden yararlanılması.
- Evreleme amaçlı BT'de tarama alanının sınırlandırılması, tek fazlı ve düşük dozlu protokollerin seçilmesi.

Karın bölgesine kurşun koruyucu yerleştirilmesi uzun yıllar rutin uygulanmıştır. Sechopoulos vd. (2008) koruyucunun diğer organların dozunu anlamlı ölçüde düşürmediğini, çünkü dozun büyük bölümünün memede saçılıp gövdeye meme üzerinden giren ışınlardan kaynaklandığını; zaten çok düşük olan uterus dozunu ise iki ila yedi kat azalttığını göstermiş ve gebeliği bilinen hastada

kurşun önlük kullanılabileceğini belirtmiştir. Bununla birlikte azaltılan doz mutlak değer olarak ihmal edilebilir düzeydedir ve güncel kılavuzlar bu uygulamayı önermemektedir. American Association of Physicists in Medicine (AAPM), gonad ve fetüs koruyucularının rutin kullanımının bırakılmasını önermiş; gerekçe olarak tanısal dozların düşüklüğünü, iç saçılmanın yüzeyel koruyucuyla azaltılamayacağını ve koruyucunun görüntü kalitesini bozarak, otomatik ışınlama kontrolünü etkileyerek veya tekrar çekime yol açarak dozu artırabileceğini göstermiştir (American Association of Physicists in Medicine [AAPM], 2019). ACR–SPR parametresi de görüntüleme alanının dışındaki pelvisin korunmasını önermemekte, koruyucunun iç saçılmayı azaltmadığına, bazı koşullarda iç saçılmayı ve buna bağlı olarak fetal dozu artırabileceğine dikkat çekmektedir (ACR–SPR, 2023). American Society of Breast Surgeons (ASBrS) da gebelikte mamografinin fetal koruyucu kullanılmadan yapılmasını önermektedir (Johnson vd., 2025). Buna karşılık ESMO uzlaşı bildirisi koruyucu gereksiniminin radyologla görüşülmesini, modern cihazlarda ışının hassas biçimde yönlendirildiğini, birincil ışının daha az hassas olduğu durumlarda ise koruyucunun önerildiğini belirtmektedir (Loibl vd., 2023). Hastanın kaygısı koruyucuyla değil, dozun büyüklüğü hakkında doğru bilgiyle giderilmelidir.

Laktasyonda iyonizan radyasyonun süte, süt üretimine veya emzirilen bebeğe herhangi bir etkisi yoktur; mamografi ve diğer röntgen tetkiklerinden sonra emzirme kesintisiz sürdürülür ve sağılan sütün atılması gerekmez (ACOG, 2017; Dogan vd., 2026).

Görüntüleme Yöntemlerinin Güvenlik ve Performans Açısından Karşılaştırılması

Ultrasonografi iyonizan radyasyon içermez, gebeliğin her döneminde, laktasyonda güvenlidir ve semptomatik hastada her yaşta genellikle uygun kabul edilen başlangıç yöntemidir (Dogan

vd., 2026; Salkowski vd., 2025). ACR gebelikte ultrasonun GİMK için duyarlılığının ve negatif öngörü değerinin %100'e ulaştığını, mamografinin duyarlılığının ise %74–100 arasında olduğunu bildiren çalışmalara yer vermektedir (Salkowski vd., 2025). Yirmi beş çalışmayı ve 1.681 hastayı kapsayan meta-analizde ultrasonun birleşik duyarlılığı %81, özgüllüğü ise %85 olarak bulunmuştur (Weber vd., 2025). Mamografi ve dijital meme tomosentezi (DBT) gebelikte ve laktasyonda kontrendike değildir; güncel ACR kriterlerinde 30 yaş ve üzerindeki semptomatik gebe ve emziren kadınlarda ultrasonla birlikte genellikle uygun başlangıç yöntemleri arasında yer alır (Dogan vd., 2026; Salkowski vd., 2025). Aynı meta-analizde mamografinin birleşik duyarlılığı %72, özgüllüğü %93'tür. DBT bu hasta grubunda dens dokunun maskeleme etkisini azaltabilir, ancak gebe ve emziren kadınlarda tanısal performansını doğrudan inceleyen çalışma henüz yoktur (Kieturakis vd., 2021; Weber vd., 2025).

Kontrastsız MRG'nin fetüse zarar verdiğine ilişkin kanıt yoktur. Ontario'da 1,4 milyondan fazla doğumun incelendiği kohort çalışmasında ilk trimesterde MRG'ye maruz kalan 1.737 gebelikte ölü doğum veya yenidoğan ölümü, konjenital anomali, neoplazi ve işitme veya görme kaybı riskinde anlamlı artış saptanmamıştır (Ray vd., 2016). Bununla birlikte meme MRG'nin tanısal değeri dinamik kontrastlı incelemeye dayandığından ve gadolinyum gebelikte önerilmediğinden, ACR gebelikteki tüm klinik senaryolarda kontrastlı ve kontrastsız meme MRG'yi genellikle uygun olmayan yöntemler arasında değerlendirmektedir (Salkowski vd., 2025). Difüzyon ağırlıklı ve difüzyon tensör görüntülemeye dayalı kontrastsız protokoller gebelerde denenmiş, ön çalışmada 11 lezyonun dokuzu saptanmıştır; bu yöntemler henüz kılavuzlara girmemiştir (Nissan vd., 2022). Laktasyonda ise dinamik kontrastlı MRG güvenle yapılabilir; artmış zemin kontrastlanması lezyonların görünürlüğünü azaltabilse de bilinen GİMK olgularında MRG

duyarlılığı yüksek kalmaktadır (Nissan vd., 2022). Kontrast tutulumunun ilk 10–15 saniyesini yakalayan ultra hızlı sekansların, zemin kontrastlanmasını en aza indirerek emziren kadınlarda değerlendirmeyi kolaylaştırdığı bildirilmektedir (Dogan vd., 2026).

Tablo 3. Meme görüntüleme yöntemlerinin gebelik ve laktasyondaki güvenlik özeti

Yöntem	Gebelik	Laktasyon
Ultrasonografi	Güvenli. Semptomatik hastada her yaşta başlangıç yöntemi.	Güvenli. Semptomatik hastada her yaşta başlangıç yöntemi. Öncesinde emzirme veya süt sağma önerilir.
Mamografi / DBT	Fetal doz 0,001–0,01 mGy. 30 yaş ve üzerinde semptomatik hastada ve kuşkulu bulguda yapılır. Kurşun koruyucu önerilmez.	Süte etkisi yoktur. Emzirme sürdürülür. Öncesinde emzirme veya süt sağma önerilir.
Kontrastsız MRG	Fetüse zarar gösterilmemiştir. Meme için tanısal değeri sınırlıdır.	Güvenli. Tek başına kullanım endikasyonu yoktur.
Dinamik kontrastlı MRG	Rutin olarak önerilmez.	Güvenli. Emzirme sürdürülür.

Kaynak: ACOG (2017), ACR–SPR (2023), Dogan vd. (2026), Kieturakis vd. (2021) ve Salkowski vd. (2025) kaynaklarından yararlanılarak hazırlanmıştır.

Kontrast Madde Seçimi

Gebelikte Gadolinyum Bazlı Kontrast Maddeler

Gadolinyum bazlı kontrast maddeler plasentayı geçer, fetal böbreklerden amniyon sıvısına atılır ve fetüs tarafından yutularak yeniden dolaşıma katılabilir. Ray vd. (2016) gebeliğin herhangi bir döneminde gadolinyumlu MRG'ye maruz kalan çocuklarda romatolojik, inflamatuvar ve infiltratif deri hastalıkları (düzeltilmiş hazard oranı 1,36; %95 güven aralığı 1,09–1,69) ile ölü doğum ve yenidoğan ölümü (düzeltilmiş göreli risk 3,70; %95 güven aralığı 1,55–8,85) riskinin arttığını bildirmiştir. Çalışmada çocuklar en fazla

dört yaşına kadar izlenmiş, nefrojenik sistemik fibrozis benzeri tablo açısından anlamlı fark saptanmamış ve ek analizde romatolojik ve inflamatuvar hastalıklarla ilişki yalnızca ilk trimesterdeki maruziyette gösterilmiştir. Gadolinyuma maruz kalan gebelik sayısı azdır (397) ve ölü doğum ile yenidoğan ölümü sonucu yalnızca yedi olguya dayanmaktadır; yazarlar çoklu karşılaştırma ve yetersiz istatistiksel güç nedeniyle bulguların keşifsel nitelikte değerlendirilmesi gerektiğini belirtmiştir (Ray vd., 2016). Kılavuzlar ayrıca karşılaştırma grubunun kontrastsız MRG değil hiç MRG çekilmeyen gebelerden oluşmasını önemli bir sınırlılık olarak vurgulamaktadır (ACOG, 2017; American College of Radiology [ACR], 2026). Bu bulgulara dayanarak ACOG, gebelikte gadolinyum kullanımının tartışmalı olduğunu kabul etmekte ve yalnızca yararın olası risklere açıkça üstün geldiği, tanısal performansı anlamlı biçimde artıracağı ve anne veya fetüs açısından sonucu iyileştirmesinin beklendiği durumlarda kullanımını önermektedir (ACOG, 2017). ESUR'un bu konudaki ilk kılavuzu gadolinyumun MRG gerekli olduğunda verilebileceğini belirtmiş olsa da (Webb vd., 2005), güncel kılavuz ise kullanımı çok güçlü endikasyonla ve makrosiklik bir ajanın olanaklı en düşük dozuyla sınırlamaktadır (European Society of Urogenital Radiology [ESUR], 2025). ACR'nin gebelik meme görüntülemesi kriterlerinde, ACOG'un gadolinyumu göreli kontrendikasyon olarak değerlendirdiği; güvenliğini ortaya koyan yeterli kanıt bulunmaması nedeniyle radyoloji derneklerinin gebelikte kullanımından kaçınılmasını önerdiği ve bu nedenle gadolinyumlu meme MRG'sinin rutin kullanımının uygun bulunmadığı belirtilmektedir (Salkowski vd., 2025). ACR Kontrast Madde El Kitabı, gebelikte gadolinyum kullanımını yalnızca klinik açıdan kritik durumlarla sınırlandırmakta; olası yararın fetüse yönelik bilinmeyen riski aşması halinde, nefrojenik sistemik fibrozis riski düşük bir ajanın tanı için yeterli en düşük dozda kullanılmasını önermektedir. Bu durumda radyolog, yönlendiren hekimle görüşerek istenen bilginin

kontrastsız MRG veya başka bir yöntemle elde edilemeyeceğini, elde edilecek bilginin gebelik sırasında anne veya fetüsün yönetimini etkileyeceğini ve incelemenin gebelik sonrasına ertelenmesinin uygun olmadığını belgelendirmelidir. Ayrıca hastadan aydınlatılmış onam alınması önerilmektedir (ACR, 2026). Dolayısıyla gadolinyum gebelikte mutlak olarak yasaklanmış değildir, ancak kılavuzların ortak tutumu kaçınma yönündedir ve meme görüntülemesinde güçlü endikasyon koşulu nadiren karşılanır; ultrason, mamografi ve biyopsi ile tanı ve lokal evreleme çoğu olguda tamamlanabilir.

Laktasyonda Gadolinyum Bazlı Kontrast Maddeler

Gadopentetat dimeglumin ile yapılan farmakokinetik çalışmada anneye verilen dozun çok küçük bir bölümünün süte geçtiği gösterilmiştir (Kubik-Huch vd., 2000). ACR kontrast madde el kitabına göre damar içi verilen dozun %0,04'ünden azı 24 saat içinde süte geçer; bebeğin sindirim sisteminden emilen miktar ise alınanın %1'inden azdır. Dolayısıyla bebeğin sistemik olarak maruz kalması beklenen miktar, anneye verilen dozun %0,0004'ünden azdır (ACR, 2026). Sütteki atılımın enjeksiyondan yaklaşık dört saat sonra en yüksek düzeye ulaştığı bildirilmiştir (Nissan vd., 2022).

Bu verilere dayanarak ACR ve ACOG gadolinyum sonrasında emzirmenin kesintisiz sürdürülebileceğini belirtmektedir (ACOG, 2017; ACR, 2026). ESUR da makrosiklik gadolinyum bazlı ajanların kullanıldığı durumlarda emzirmenin olağan biçimde sürdürülebileceğini, sütün 24 saat atılmasının gerekli olmadığını bildirmiştir (ESUR, 2025). ACR'nin laktasyon kriterleri de kontrastlı incelemeler dahil görüntülemenin zamanlamasına ilişkin kanıta dayalı bir kısıtlama bulunmadığını vurgulamaktadır (Dogan vd., 2026). Dolayısıyla emziren kadında ajan seçiminde makrosiklik ajanların tercih edilmesi, kılavuzların ortak paydasını karşılayan pratik bir yaklaşımdır. Bilgilendirmeye karşın kaygısı süren anneye,

incelemeden önce süt sağıp saklaması ve inceleme sonrasında 12–24 saat sütünü sağıp atması seçeneği sunulabilir; ancak bu uygulama tıbbi bir zorunluluk değildir ve emzirmeye 24 saatten uzun ara verilmesinin bir yararı yoktur; el kitabı, bu bilgiler aktarıldıktan sonra geçici olarak ara verme kararının anneye bırakılmasını önermektedir (ACR, 2026).

İyotlu Kontrast Maddeler

İyotlu kontrast maddeler meme görüntülemesinde esas olarak evreleme amaçlı BT'de gündeme gelir. Laktasyonda damar içi verilen iyotlu kontrast maddenin %1'inden azı süte geçer ve bunun %1'inden azı bebeğin sindirim sisteminden emilir; bebeğin sistemik olarak aldığı doz anneye verilenin %0,01'inden azdır ve emzirmenin kesilmesi gerekmez (ACOG, 2017; ACR, 2026). ACR, anne sütüyle iyotlu kontrasta maruz kalan bebeklerde rutin tiroid izlemi de önermemektedir (ACR, 2026). Gebelikte iyotlu kontrast maddeler plasentayı geçer. Hayvan çalışmalarında teratojenik etki gösterilmemiş, serbest iyodürün fetal tiroid üzerindeki olası etkilerine ilişkin kuramsal kaygılar ise insan çalışmalarında doğrulanmamıştır. Bununla birlikte ACOG, iyotlu kontrast maddelerin yalnızca hasta yönetimini etkileyebilecek ek tanısal bilgi sağlayacağı ve kullanımının klinik olarak gerekli olduğu durumlarda uygulanmasını önermektedir (ACOG, 2017). ESUR, radyografik incelemenin zorunlu olduğu durumlarda iyotlu ajanların gebelikte verilebileceğini, ancak yenidoğanda yaşamın ilk haftasında tiroid işlevinin kontrol edilmesi gerektiğini belirtmektedir (ESUR, 2025; Webb vd., 2005). ACR ise suda çözünen iyotlu kontrastın anneye damar içi verilmesine bağlı belgelenmiş yenidoğan hipotiroidisi olgusu bulunmadığını, tüm yenidoğanlara zaten rutin tiroid taraması yapıldığı için ek bir önleme gerek olmadığını ve tanı için gerektiğinde iyotlu kontrastın gebe hastadan esirgenmemesini belirtmektedir (ACR, 2026). Yenidoğan tiroid taramasının rutin uygulandığı ülkelerde iki öneri uygulamada örtüşür. Kontrastlı

mamografi de iyotlu kontrast madde ve ek radyasyon dozu gerektirir; ACR, gebelikte iyotlu kontrastın fetüse olası zararına ilişkin veri bulunmadığını, laktasyonda ise yöntemin güvenli olduğunu ancak bu hasta grubuna özgü veri bulunmadığını belirtmekte ve kontrastlı mamografiyi her iki dönemdeki tüm klinik senaryolarda genellikle uygun olmayan yöntemler arasında saymaktadır (Dogan vd., 2026; Salkowski vd., 2025).

Radyofarmasötikler

Sentinel lenf nodu biyopsisi ve evreleme tetkikleri nedeniyle radyofarmasötikler de meme kanserli gebe ve emziren kadında güvenlik değerlendirmesinin parçasıdır. Gebelikte sentinel lenf nodu biyopsisi düşük dozlu Tc-99m işaretli kolloid ile yapılabilir; verilen dozun büyük bölümü sentinel lenf nodunda tutulduğundan sistemik maruziyet düşük ve fetal risk çok azdır (Loibl vd., 2023). Lenfatik haritalamada modellenen fetal doz 1,4 µGy ile 4,3 mGy arasındadır (Johnson vd., 2025). Mavi boyalardan gebelikte kaçınılır: metilen mavisi teratojen olabilir, izosülfan mavisi ise anafilaksi riski taşır; bu nedenle tek ajan olarak radyoaktif kolloid tercih edilir (Johnson vd., 2025; Loibl vd., 2023).

Emziren kadında Tc-99m kolloid sonrasında ASBrS, sınırlı veriye dayanarak sütün 24 saat sağılıp atılmasını önermekte, ancak bunun temkinli bir tahmin olabileceğini de belirtmektedir; indosiyanin yeşili sonrasında ise emzirmeye ara verilmesi gerekmez (Johnson vd., 2025). İyotlu kontrastlı BT ve kemik sintigrafisi sonrasında emzirmeye ara verilmez. Florodeoksiglukoz süte anlamlı düzeyde geçmez; ancak annenin vücudundan yayılan radyasyon nedeniyle PET-BT sonrasında anne ile bebeğin 12 saat ayrı kalması, bu sürede sağılan sütün başka biri tarafından verilmesi önerilir (Johnson vd., 2025). ACR tıbbi olarak gerekli nükleer tıp tetkikleri için emzirmenin kesilmesinin gerekmediğini belirtmekte (Dogan vd., 2026), ACOG ise radyonüklidlerin süte geçişinin bileşiğe ve

hastaya göre değiştiğini vurgulayarak emzirme ve nükleer tıp uzmanlarına danışılmasını önermektedir (ACOG, 2017).

Tablo 4. Gebelik ve laktasyonda kontrast madde ve radyofarmasötik kullanımına ilişkin öneriler

Ajan	Gebelik	Laktasyon
Gadolinyum bazlı ajanlar	Plasentayı geçer. Yalnızca çok güçlü endikasyonda, makrosiklik ajanın en düşük dozuyla. Meme MRG için önerilmez.	Dozun %0,04'ünden azı süte geçer; bebeğin sistemik maruziyeti %0,0004'ün altındadır. Emzirme sürdürülür.
İyotlu kontrast maddeler	Plasentayı geçer. Gerekli ise kullanılır. ACR ek izlem önermemektedir; ESUR ilk hafta tiroid işlev kontrolü önermektedir.	Bebeğin sistemik maruziyeti anne dozunun %0,01'inden azdır. Emzirme sürdürülür.
Tc-99m kolloid (sentinel lenf nodu)	Düşük dozla yapılabilir; tek ajan olarak tercih edilir. Mavi boyadan kaçınılır.	ASBrS sütün 24 saat sağılıp atılmasını önerir (temkinli yaklaşım).
F-18 florodeoksigluk oz	İkinci basamak; yalnızca yarar riske açıkça üstünse (Tablo 2).	Süte anlamlı düzeyde geçmez. Anne ile bebek 12 saat ayrı kalır; sağılan süt verilebilir.

Kaynak: ACOG (2017), ACR (2026), ESUR (2025), Johnson vd. (2025) ve Loibl vd. (2023) kaynaklarından yararlanılarak hazırlanmıştır.

Görüntüleme Algoritması

Yukarıda özetlenen doz ve kontrast verileri, klinik senaryoya göre yöntem seçimini büyük ölçüde belirler. Algoritmanın temel mantığı, klinik soruyu en düşük riskle yanıtlayacak uygun yöntemle başlanması, gerekirse tamamlayıcı incelemelere geçilmesi ve güvenlik kaygısının hiçbir basamakta tanının ertelenmesine gerekçe yapılmamasıdır.

Semptomatik Hasta

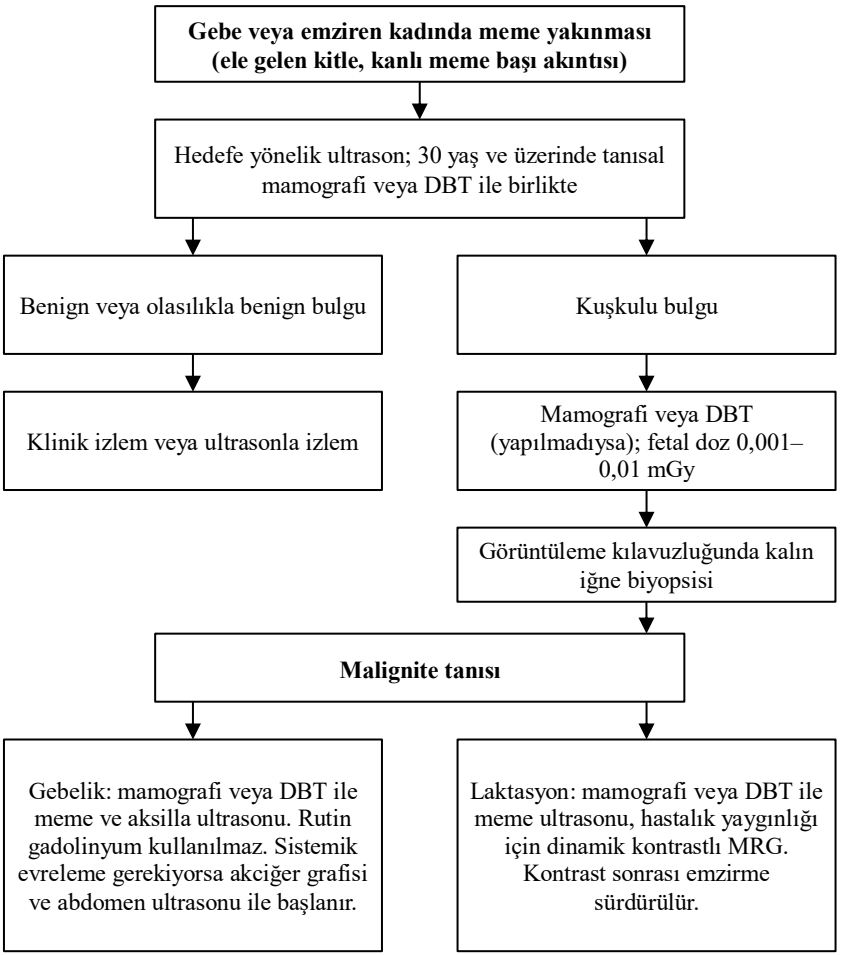
Gebelik ve laktasyonda en sık başvuru nedeni ele gelen kitledir. Güncel ACR kriterleri gebelik ve laktasyon için aynı yaş ayrımını kullanmaktadır: 30 yaşın altındaki kadınlarda fokal ağrı

veya ele gelen kitlede başlangıç yöntemi ultrasondur ve mamografi ile DBT başlangıçta genellikle uygun değildir; 30 yaş ve üzerindeki kadınlarda ise ultrason, tanısal mamografi ve DBT'nin her üçü de genellikle uygun başlangıç yöntemleridir ve birlikte veya birbirini tamamlayacak biçimde kullanılır (Dogan vd., 2026; Salkowski vd., 2025). İki hafta veya daha uzun süre devam eden ele gelen lezyonlarda görüntüleme ertelenmemelidir (Kieturakis vd., 2021).

Sonraki basamak ultrason bulgusuna göre belirlenir. Gebelikte ele gelen kitlede ultrason bulguları olasılıkla benign ise izlem ultrasonla yapılır. Ultrason bulguları kuşkulu ise tanısal mamografi veya DBT ve görüntüleme kılavuzluğunda kalın iğne biyopsisi genellikle uygundur; ince iğne aspirasyonu ise ancak seçilmiş olgularda uygun olabilir (Salkowski vd., 2025). Kesin benign görüntüleme özellikleri göstermeyen solid lezyonlarda doku örneklemesi için eşik düşük tutulmalıdır (Vashi vd., 2013a).

Klinik olarak kuşkulu meme başı akıntısında da aynı yaş ayrımı geçerlidir: 30 yaşın altında ultrason, 30 yaş ve üzerinde ultrasonla birlikte tanısal mamografi veya DBT genellikle uygundur; MRG başlangıç yöntemi olarak önerilmez. Enfeksiyon veya apse kuşkusunda başlangıç yöntemi ultrasondur, mamografi ve DBT seçilmiş olgularda uygun olabilir; antibiyotiğe yanıt vermeyen enfeksiyon kuşkulu kabul edilmeli ve inflamatuvar meme kanseri açısından değerlendirilmelidir (Dogan vd., 2026; Salkowski vd., 2025). Semptomatik hastadaki yaklaşım Şekil 1'de özetlenmiştir.

Şekil 1. Gebe veya emziren kadında meme yakınmasında görüntüleme algoritması



Kaynak: Dogan vd. (2026), Loibl vd. (2023) ve Salkowski vd. (2025) kaynaklarından yararlanılarak hazırlanmıştır.

Tarama

Tarama kararı yaşa ve risk düzeyine göre verilir. Gebelikte 40 yaş ve üzerindeki kadınlarda risk düzeyinden bağımsız olarak, 25 yaş ve üzerindeki yüksek riskli kadınlarda mamografi veya DBT ile tarama genellikle uygundur; 25 yaşın altındaki yüksek riskli

gebelerde mamografi önerilmez. Gebelikte ultrason seçilmiş kadınlarda tamamlayıcı yöntem olarak uygun olabilir, MRG ise hiçbir risk grubunda tarama amacıyla önerilmez (Salkowski vd., 2025).

Laktasyonda ortalama riskli 40 yaş ve üzerindeki kadınlarda ve 25 yaş ve üzerindeki ortalamanın üzerinde riskli kadınlarda mamografi veya DBT ile tarama genellikle uygundur. Laktasyonda, 25 yaş ve üzerindeki ortalamanın üzerinde riskli kadınlarda kontrastlı meme MRG'si tamamlayıcı tarama yöntemi olarak genellikle uygun kabul edilmektedir. Kontrastlı MRG, ortalama riskli 40 yaş ve üzerindeki kadınlarda ve 25 yaşın altındaki ortalamanın üzerinde riskli kadınlarda ise uygun olabilir. Ultrasonografi, laktasyon döneminde tarama amacıyla genel olarak uygun bulunmamaktadır (Dogan vd., 2026). Daha önce yüksek riskli kadınlarda tarama MRG'sinin emzirmenin sonlanmasından 6–8 hafta sonrasına bırakılması önerilmekteydi (Nissan vd., 2022); güncel kriterler uzun süre emziren yüksek riskli kadında taramanın laktasyon döneminde sürdürülmesini desteklemektedir.

Yeni Tanı Almış Meme Kanseri

Gebelikte lokal ve bölgesel evrelemede meme ve aksilla ultrasonu ile tanısal mamografi veya DBT genellikle uygundur; kontrastlı ve kontrastsız MRG önerilmez (Salkowski vd., 2025). Laktasyonda tanı alan hastalarda meme ultrasonu, tanısal mamografi veya DBT ve dinamik kontrastlı MRG genellikle uygundur; aksilla ultrasonu uygun olabilir (Dogan vd., 2026). ESMO uzlaşı bildirisi de gebelikte meme ultrasonunu primer tümörün ve bölgesel lenf nodlarının değerlendirilmesinde ilk basamak yöntem olarak tanımlamakta, mamografiyi tamamlayıcı saymakta ve dinamik kontrastlı MRG'den kaçınılmasını önermektedir; difüzyon ağırlıklı kontrastsız MRG seçilmiş olgularda tümör yaygınlığının

belirlenmesine yardımcı olabilir, ancak nadiren gerekir (Loibl vd., 2023).

Gebelikte sistemik evrelemenin kapsamını lokal ve bölgesel evre belirler; erken evre hastaların çoğunun kapsamlı evrelemeden yarar görmesi beklenmez. ESMO'ya göre akciğer grafisi ve abdomen ultrasonu metastaz taramasında kolay erişilebilir başlangıç yöntemleridir. Bunlar sonuç vermezse veya metastaz riski yüksekse, tüm omurga, pelvis kemikleri ve karaciğere yönelik difüzyon ağırlıklı kontrastsız MRG ile düşük dozlu toraks BT önerilir. Olanak varsa tüm vücut difüzyon ağırlıklı MRG tek seansta evreleme yöntemi olarak önerilmektedir. Düşük dozlu PET-BT ve kemik sintigrafisi ise ancak ikinci basamak yöntemlerdir; çözülemeyen uzak bulgularda, annenin yararı fetüsün riskine açıkça üstün geldiğinde veya MRG'ye erişilemediğinde seçici olarak kullanılır (Loibl vd., 2023). Laktasyonda ise evreleme tetkiklerinde kısıtlama yoktur (Johnson vd., 2025).

Girişimsel İşlemlerde Güvenlik

Kuşkulu lezyonlarda doku tanısı gebelik veya laktasyon gerekçesiyle ertelenmemelidir. Ultrason kılavuzluğunda kalın iğne biyopsisi, stereotaktik veya tomosentez kılavuzluğunda biyopsi ve tel ile işaretleme gebelikte ve laktasyonda güvenlidir; MRG kılavuzluğunda biyopsi ise kontrast gerektirdiğinden yalnızca emziren kadında yapılabilir (Kieturakis vd., 2021). Artmış damarlanma ve duktal genişleme nedeniyle kanama riski bir miktar yüksektir. Bu döneme özgü komplikasyon olan süt fistülü ilk kez kalın iğne biyopsisi sonrasında tanımlanmıştır (Schackmuth vd., 1993). Gebelikte süt fistülü riski düşüktür, doğuma yaklaştıkça artar ve laktasyonda daha yüksektir (Salkowski vd., 2025); bununla birlikte riskin çok düşük olduğu ve gerekli bir biyopsinin yapılmasına engel oluşturmaması gerektiği vurgulanmaktadır

(Johnson vd., 2025). Riski azaltmak için şu önlemler önerilir (Johnson vd., 2025; Kieturakis vd., 2021):

- İşlemden hemen önce emzirme veya süt sağma ile duktal gerginliğin azaltılması.
- Olanaklı en ince iğnenin kullanılması ve hedefe en kısa yoldan ulaşılması.
- Genişlemiş duktusların geçilmesinden kaçınılması ve giriş yerinin meme başı-areola kompleksinden uzak seçilmesi.
- Giriş yerinin dikiş veya doku yapıştırıcısı ile kapatılmaması.

Lokal anestezi ve titanyum klips yerleştirilmesi gebelikte ve laktasyonda güvenlidir; işlem sonrasında emzirme olağan biçimde sürdürülür. Biyopsi yerinden birkaç gün süt sızması olağandır ve kendiliğinden geçer (Johnson vd., 2025). İnce iğne aspirasyonu güvenli olmakla birlikte, gebelikteki hücresel değişikliklerin neoplaziden ayırt edilmesindeki güçlük nedeniyle yanlış pozitif sonuca yol açabileceğinden daha az önerilir (Salkowski vd., 2025). Patoloji istem formunda gebelik veya laktasyon durumunun belirtilmesi bu nedenle önemlidir. Hasta kanama ve süt fistülü riski hakkında işlem öncesi bilgilendirilmelidir (Dogan vd., 2026).

Hasta Bilgilendirme, Onam ve Kayıt

Güvenlik verilerinin hastaya nasıl aktarıldığı, en az verilerin kendisi kadar önemlidir. ACR–SPR parametresi doğurganlık çağındaki tüm hastaların gebelik açısından sorgulanmasını önermekle birlikte, mamografiyi, akciğer grafisini ve abdomen-pelvis dışındaki BT incelemelerini gebelik durumunun doğrulanmasını gerektirmeyen tetkikler arasında saymaktadır (ACR–SPR, 2023). Başka bir deyişle mamografi öncesinde gebelik

testi istenmesine gerek yoktur; ancak gebeliği bilinen hastada tetkikin gerekçesi ve beklenen fetal doz hastayla konuşulmalıdır.

Aynı parametre, bilgilendirmenin olumsuz değil olumlu bir çerçeveyle yapılmasını önermektedir: risk anlatılırken fetüsün etkilenmeme olasılığının yüksekliği vurgulanmalıdır (ACR–SPR, 2023). Meme görüntülemesi için bu görüşmede şu noktalar yer alabilir:

- Mamografide fetal doz, deterministik etkilerin bildirildiği en düşük dozun binlerce kat altındadır.
- Tetkikin ertelenmesinin riski, tetkikin kendisinin riskinden büyüktür.
- Mamografi, gadolinyumlu MRG ve iyotlu kontrastlı BT sonrasında emzirmeye ara verilmesi gerekmez.
- Emzirme veya süt sağma, incelemeden hemen önce yapılırsa görüntü kalitesini artırır.

Gebelik durumu ve bunun nasıl belirlendiği radyoloji bilgi sistemine kaydedilmeli; fetal doz hesabı gerektiğinde bu hesap medikal fizik uzmanı tarafından yapılmalı ve belgelenmelidir (ACR–SPR, 2023). Emzirmeye ilişkin önerilerin de raporda veya hasta bilgilendirme formunda yazılı olarak yer alması, farklı hekimlerden çelişkili öneri alınmasını önler.

Sonuç

Gebelik ve laktasyonda meme görüntülemesinde güvenlik, tetkikten kaçınmak değil, doğru tetkiki doğru sırayla ve doğru bilgilendirmeyle yapmak anlamına gelir. Mamografide fetal doz 0,001–0,01 mGy düzeyindedir ve deterministik etkiler için kabul edilen 50 mGy eşiğinin çok altındadır; kurşun koruyucu önerilmez. Gebelikte dinamik kontrastlı meme MRG rutin olarak önerilmez ve gadolinyum yalnızca çok güçlü klinik endikasyon varlığında

düşünülmelidir; laktasyonda ise güvenlidir. Gadolinyum bazlı ve iyotlu kontrast maddelerden sonra emzirmeye ara verilmesi gerekmez. Semptomatik hastada ultrason temel yöntemdir; 30 yaş ve üzerinde mamografi veya DBT başlangıç değerlendirmesine eklenebilir ve kuşkulu bulguda biyopsi geciktirilmez; evreleme tetkikleri fetal doza göre seçilir.

Özellikle gebelik ve laktasyonda meme görüntüleme yöntemlerinin tanısal performansına ilişkin kanıtların önemli bölümü geriye dönük çalışmalara dayanmaktadır; DBT'yi ve kontrastsız MRG tekniklerini bu hasta grubunda değerlendiren ileriye dönük çalışmalara gereksinim vardır (Weber vd., 2025). Kanıt ile uygulama arasındaki açıklığın kapatılmasında radyoloğa düşen görev, güncel kılavuzları bilmek ve hastayı, yönlendiren hekimi ve teknik ekibi doz ve kontrast güvenliği konusunda tutarlı biçimde bilgilendirmektir.

Kaynakça

American Association of Physicists in Medicine. (2019). *AAPM position statement on the use of patient gonadal and fetal shielding* (PS 8-A). https://www.aapm.org/org/policies/details.asp?id=2552

American College of Obstetricians and Gynecologists. (2017). Committee Opinion No. 723: Guidelines for diagnostic imaging during pregnancy and lactation. *Obstetrics & Gynecology, 130*(4), e210–e216. https://doi.org/10.1097/AOG.0000000000002355

American College of Radiology. (2026). *ACR manual on contrast media*. https://www.acr.org/Clinical-Resources/Contrast-Manual

American College of Radiology, & Society for Pediatric Radiology. (2023). *ACR–SPR practice parameter for imaging pregnant or potentially pregnant patients with ionizing radiation* (Resolution 31).

diFlorio-Alexander, R. M., Slanetz, P. J., Moy, L., Baron, P., Didwania, A. D., Heller, S. L., Holbrook, A. I., Lewin, A. A., Lourenco, A. P., Mehta, T. S., Niell, B. L., Stuckey, A. R., Tuscano, D. S., Vincoff, N. S., Weinstein, S. P., & Newell, M. S. (2018). ACR Appropriateness Criteria® breast imaging of pregnant and lactating women. *Journal of the American College of Radiology, 15*(11, Suppl.), S263–S275. https://doi.org/10.1016/j.jacr.2018.09.013

Dogan, B. E., Salkowski, L. R., Weinstein, S. P., Bartell, S., Chikarmane, S., Dibble, E. H., Dodelzon, K., Goldfarb, S., Kasales, C., Kunjummen, J. M., Kuzmiak, C. M., Maimone, S., Patel, M., Paulis, L. V., Yoon-Flannery, K., & Lewin, A. A. (2026). ACR Appropriateness Criteria® breast imaging

during lactation. *Journal of the American College of Radiology, 23*(8), 1768–1785. https://doi.org/10.1016/j.jacr.2026.03.002

European Society of Urogenital Radiology. (2025). *ESUR Contrast Media Safety Committee guidelines 2025*. https://www.esur.org/esur-guidelines-2025/

Johnson, H. M., Miller, M. E., & Mitchell, K. B. (2025). Oncolactation for patients with breast cancer: Executive summary from the American Society of Breast Surgeons. *Annals of Surgical Oncology, 32*, 8720–8727. https://doi.org/10.1245/s10434-025-17742-7

Joshi, S., Dialani, V., Marotti, J., Mehta, T. S., & Slanetz, P. J. (2013). Breast disease in the pregnant and lactating patient: Radiological-pathological correlation. *Insights into Imaging, 4*(5), 527–538. https://doi.org/10.1007/s13244-012-0211-y

Karatekin, Ş., Şenol, E., & Karabayır, N. (2024). Should breastfeeding be interrupted after radiological imaging examinations? Evidence and clinical applications. *Children, 11*(4), Article 453. https://doi.org/10.3390/children11040453

Kieturakis, A. J., Wahab, R. A., Vijapura, C., & Mahoney, M. C. (2021). Current recommendations for breast imaging of the pregnant and lactating patient. *American Journal of Roentgenology, 216*(6), 1462–1475. https://doi.org/10.2214/AJR.20.23905

Kubik-Huch, R. A., Gottstein-Aalame, N. M., Frenzel, T., Seifert, B., Puchert, E., Wittek, S., & Debatin, J. F. (2000). Gadopentetate dimeglumine excretion into human breast milk during lactation. *Radiology, 216*(2), 555–558. https://doi.org/10.1148/radiology.216.2.r00au09555

Loibl, S., Azim, H. A., Jr., Bachelot, T., Berveiller, P., Bosch, A., Cardonick, E., Denkert, C., Halaska, M. J., Hoeltzenbein, M., Johansson, A. L. V., Maggen, C., Markert, U. R., Peccatori, F., Poortmans, P., Saloustros, E., Saura, C., Schmid, P., Stamatakis, E., van den Heuvel-Eibrink, M., . . . Amant, F. (2023). ESMO expert consensus statements on the management of breast cancer during pregnancy (PrBC). *Annals of Oncology, 34*(10), 849–866. https://doi.org/10.1016/j.annonc.2023.08.001

Nissan, N., Bauer, E., Moss Massasa, E. E., & Sklair-Levy, M. (2022). Breast MRI during pregnancy and lactation: Clinical challenges and technical advances. *Insights into Imaging, 13*, Article 71. https://doi.org/10.1186/s13244-022-01214-7

Ray, J. G., Vermeulen, M. J., Bharatha, A., Montanera, W. J., & Park, A. L. (2016). Association between MRI exposure during pregnancy and fetal and childhood outcomes. *JAMA, 316*(9), 952–961. https://doi.org/10.1001/jama.2016.12126

Salkowski, L. R., Lewin, A. A., Weinstein, S. P., Bartell, S., Birsner, M. L., Borges, V. F., Dibble, E. H., Dodelzon, K., Dogan, B. E., Kasales, C., Kunjummen, J. M., Kuzmiak, C. M., Merrill, A., Parghi, C., Paulis, L. V., Sharpe, R. E., Jr., & Slanetz, P. J. (2025). ACR Appropriateness Criteria® breast imaging during pregnancy. *Journal of the American College of Radiology, 22*(11, Suppl.). https://doi.org/10.1016/j.jacr.2025.08.045

Schackmuth, E. M., Harlow, C. L., & Norton, L. W. (1993). Milk fistula: A complication after core breast biopsy. *American Journal of Roentgenology, 161*(5), 961–962. https://doi.org/10.2214/ajr.161.5.8273635

Sechopoulos, I., Suryanarayanan, S., Vedantham, S., D'Orsi, C. J., & Karellas, A. (2008). Radiation dose to organs and tissues

from mammography: Monte Carlo and phantom study. *Radiology, 246*(2), 434–443. https://doi.org/10.1148/radiol.2462070256

Tremblay, E., Thérasse, E., Thomassin-Naggara, I., & Trop, I. (2012). Quality initiatives: Guidelines for use of medical imaging during pregnancy and lactation. *RadioGraphics, 32*(3), 897–911. https://doi.org/10.1148/rg.323115120

Vashi, R., Hooley, R., Butler, R., Geisel, J., & Philpotts, L. (2013a). Breast imaging of the pregnant and lactating patient: Imaging modalities and pregnancy-associated breast cancer. *American Journal of Roentgenology, 200*(2), 321–328. https://doi.org/10.2214/AJR.12.9814

Vashi, R., Hooley, R., Butler, R., Geisel, J., & Philpotts, L. (2013b). Breast imaging of the pregnant and lactating patient: Physiologic changes and common benign entities. *American Journal of Roentgenology, 200*(2), 329–336. https://doi.org/10.2214/AJR.12.9845

Webb, J. A. W., Thomsen, H. S., & Morcos, S. K. (2005). The use of iodinated and gadolinium contrast media during pregnancy and lactation. *European Radiology, 15*(6), 1234–1240. https://doi.org/10.1007/s00330-004-2583-y

Weber, B. W., Mao, L., Salem, K., Hitchcock, M., Keller, A. H., Elezaby, M. A., Salkowski, L. R., Bozzuto, L. M., & Fowler, A. M. (2025). Performance of diagnostic breast imaging in symptomatic pregnant and lactating patients: Systematic review and meta-analysis. *Radiology: Imaging Cancer, 7*(3), Article e240281. https://doi.org/10.1148/rycan.240281

BÖLÜM 2

TEMPORAL KEMİK TRAVMALARINDA RADYOLOJİK YAKLAŞIM

PINAR ÇAKMAK1

Giriş

Temporal kemik travmaları, kafa travmasının görece küçük bir alt grubunu oluştursa da, işitme ve denge fonksiyonlarının yanı sıra fasiyal sinir, internal karotid arter, juguler bulbus ve dural venöz sinüsler gibi kritik yapıların etkilenebilmesi nedeniyle radyolojik açıdan özel önem taşır. Bu bölgedeki kırıklar çoğunlukla yüksek enerjili travmaların bir parçasıdır ve izole bir kemik yaralanmasından çok, çoklu kraniyofasiyal travmanın bir bileşeni olarak karşımıza gelmektedir. Güncel yaklaşımda amaç yalnızca kırık hattını tanımlamak değil, kırığın klinik sonucu değiştirebilecek anatomik yapılara uzanımını sistematik olarak ortaya koymaktır (Kennedy et al., 2014; Kurihara et al., 2020; Zayas et al., 2011).

Temporal kemik; dış, orta ve iç kulağın elemanlarını içeren, kafa tabanının en karmaşık anatomik bölgelerinden biridir. Petroz segmentin yoğun kortikal yapısı, mastoid hava hücrelerinin değişken pnömatizasyonu ve çok sayıda kanal, fissür ve foramenden oluşan

[1] Doç. Dr., Pamukkale Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyoloji AD., Orcid: 0000-0003-4652-6748

yapısı, travmatik kuvvetlerin farklı düzlemlerde ilerlemesine yol açar. Bu nedenle aynı darbe mekanizması farklı hastalarda farklı kırık paternleri oluşturabilir. Kadavra çalışmalarında temporal kemiğin kırılması için yüksek enerji gerektiği gösterilmiş, bu durum temporal kemik kırıklarının neden sıklıkla eşlik eden kafa içi yaralanmalarla birlikte görüldüğünü açıklayan temel mekanik özelliklerden biri olarak değerlendirilmiştir (Travis et al., 1977).

Temporal kemik kırıkları motorlu taşıt kazaları, düşmeler, yaya araç çarpışmaları, spor yaralanmaları ve darp sonrasında gelişebilir. Klasik serilerde motorlu taşıt kazaları baskın neden iken, daha yakın dönem travma kohortlarında düşmelerin giderek daha önemli bir etiyolojik faktör haline geldiği bildirilmiştir. Günümüzde çok dedektörlü bilgisayarlı tomografi (BT) sistemlerinin yaygınlaşması, daha önce gözden kaçabilecek nondeplase veya kompleks kırıkların saptanmasını kolaylaştırmış ve temporal kemik travmasının görüntüleme yaklaşımını önemli ölçüde değiştirmiştir (Cannon & Jahrsdoerfer, 1983; Schubl et al., 2016).

Travmaya bağlı otolojik yakınmalar geniş bir spektrum gösterir. Hemotimpanum, otoraji, iletim tipi işitme kaybı, sensörinöral işitme kaybı, tinnitus, vertigo, fasiyal paralizi ve beyin omurilik sıvısı (BOS) otoresi başlıca klinik bulgulardır. Temporal kemik kırıkları ayrıca epidural hematom, subdural hematom, subaraknoid kanama, serebral kontüzyon ve vasküler yaralanmalarla birliktelik gösterebilir. Bu nedenle radyolojik değerlendirme, otolojik yapıların yanı sıra komşu intrakraniyal kompartmanları da kapsamalıdır (Brodie & Thompson, 1997; Prasad et al., 2022; Schubl et al., 2016).

Travma Açısından Önemli Temporal Kemik Anatomisi

Temporal kemik skuamöz, mastoid, petroz, timpanik ve stiloid bileşenlerden oluşur. Petroz segment orta ve posterior kraniyal fossalar arasında uzanır ve içerisinde koklea, vestibül ve

semisirküler kanalları çevreleyen otik kapsülü barındırır. Otik kapsül, temporal kemiğin en yoğun mineralize bölgelerinden biridir. Buna karşın mastoid hava hücreleri ve orta kulak boşluğu daha düşük dirençli alanlar oluşturur. Travmatik kuvvetlerin çoğu bu nedenle otik kapsülü doğrudan kesmek yerine hava hücreleri, fissürler ve foramenler boyunca ilerleme eğilimindedir (Hasso & Ledington, 1988; Kennedy et al., 2014).

Fasiyal sinir internal akustik kanaldan çıktıktan sonra labirentin segment, genikülat ganglion, timpanik segment ve mastoid segment boyunca kendi kanalında seyreder. Genikülat ganglion ve proksimal timpanik segment travmatik yaralanmanın sık görüldüğü alanlardır. İnternal karotid arter petroz karotis kanalı içinde, sigmoid sinüs ve juguler bulbus ise posterior-inferior temporal kemik komşuluğunda yer alır. Ossiküler zincir, özellikle inkus ve inkudostapedial eklem, travmatik kuvvetlere karşı görece hassastır. Bu anatomik yakınlık nedeniyle tek bir kırık hattı aynı anda işitme, fasiyal sinir ve vasküler yapılarda hasara neden olabilir (Chen et al., 2018; Meriot et al., 1997; Zayas et al., 2011).

Temporal kemikte fissürler, sütürler, vasküler kanallar gibi birçok normal anatomik yapı lineer uzanımı nedeniyle kırık hatlarını taklit edebilir (Kurihara et al., 2020). Belirgin, düzgün veya iç içe geçmiş kenarlar, çok düzlemli incelemede tek boyutlu görünüm, simetri ve yumuşak doku hasarının olmaması gibi özellikler, normal bir anatomik yapı olduğunu doğrulamada sıklıkla faydalıdır (Connor et al., 2005).

Görüntüleme

Akut Travmada Bilgisayarlı Tomografi

Akut temporal kemik travmalarında ilk basamak görüntüleme yöntemi kontrastsız BT'dir. Çok dedektörlü BT ile elde edilen ince kesitli hacimsel veriler, kemik algoritması kullanılarak aksiyel ve koronal düzlemlerde, gerektiğinde ise oblik multiplanar

rekonstrüksiyonlarla değerlendirilebilir. İncelemede kırık hattının lokalizasyonu ve uzanımının yanı sıra orta kulak ve mastoid hava hücrelerinde opasifikasyon, dış kulak yolu opasifikasyonu, temporomandibular eklemde hava, temporal kemiğe komşu pnömosefali ve pnömolabirent gibi kırığa eşlik edebilecek doğrudan ve dolaylı bulgular da araştırılmalıdır (Kurihara et al., 2020; Ulano et al., 2017).

Modern çok dedektörlü BT sistemleriyle gerçekleştirilen standart travma kraniyal BT incelemeleri, temporal kemik kırıklarının büyük bölümünün saptanmasına olanak sağlar. Uygun görüntü kalitesi ve rekonstrüksiyonların bulunduğu olgularda otik kapsül, fasiyal sinir kanalı, karotis kanalı ve ossiküler zincir gibi önemli anatomik yapılar da değerlendirilebilir. Bu nedenle her temporal kemik kırığında rutin olarak ek yüksek çözünürlüklü temporal kemik BT incelemesi gerekli değildir. Standart travma BT'sinin yetersiz kaldığı veya ayrıntılı anatomik değerlendirmeye gereksinim duyulan olgularda yüksek çözünürlüklü temporal kemik BT uygulanabilir (Schubl et al., 2016; Szczupak et al., 2021).

Yüksek çözünürlüklü temporal kemik BT; fasiyal paralizi, persistan iletim tipi işitme kaybı, ossiküler zincir yaralanması şüphesi, otik kapsül tutulumu, BOS kaçağı, vasküler yaralanma kuşkusu ve cerrahi planlama gibi ayrıntılı anatomik değerlendirmenin gerekli olduğu durumlarda önem taşır. Yüksek uzaysal çözünürlük, özellikle ossiküler zincir ve fasiyal sinir kanalı gibi küçük anatomik yapıların ayrıntılı olarak incelenmesine olanak sağlar. Ek temporal kemik BT gereksinimi belirlenirken hastanın klinik bulguları, yaşı, mevcut travma BT'sinin görüntü kalitesi ve incelemeden elde edilecek ek tanısal bilgi göz önünde bulundurulmalıdır (Kennedy et al., 2014; Szczupak et al., 2021).

Manyetik Rezonans Görüntüleme

Manyetik rezonans görüntüleme (MRG), kortikal kemik kırıklarını göstermede BT'nin yerini tutmaz; ancak membranöz labirent, intralabirentin kanama, koklear ve vestibüler sinirler, meningoensefalosel ve eşlik eden beyin parankim yaralanmalarında tamamlayıcı rol oynar. Özellikle BT'de açıklayıcı bir lezyon saptanmayan travma sonrası sensörinöral işitme kaybında MRG yararlı olabilir (Kurihara et al., 2020; Maillot et al., 2016).

BT Anjiyografi ve BT Venografi

Karotis kanalına uzanan temporal kemik kırıkları, internal karotid arter yaralanması açısından önem taşır. Karotis kanal kırığı tek başına arteriyel yaralanmanın kesin bir göstergesi olmamakla birlikte diseksiyon, tromboz, psödoanevrizma ve oklüzyon gibi vasküler komplikasyonlarla ilişkili olabilir. Özellikle petroz temporal kemik kırıklarında karotis kanalının tutulumu, künt internal karotid arter yaralanması riskini artıran bir bulgudur. Karotis kanalını içeren kırıklarda, klinik bulgular ve eşlik eden travmatik yaralanmalar dikkate alınarak internal karotid arterin BT anjiyografi ile değerlendirilmesi gerekebilir (York et al., 2005).

Sigmoid sinüs, transvers sinüs veya juguler bulbus komşuluğuna uzanan kırıklar venöz yapıların yaralanmasına ve travmatik venöz sinüs trombozuna neden olabilir. Kırık hattının dural venöz sinüs veya juguler bulbus ile doğrudan ilişkili olduğu olgularda venöz yapıların dikkatle değerlendirilmesi gerekir. Kontrastsız BT'de venöz sinüs içerisinde hiperdansite veya intraluminal hava saptanması venöz yaralanma ya da tromboz açısından şüphe uyandırmalıdır. Bu bulguların varlığında veya kırık hattının venöz sinüsleri doğrudan etkilediği durumlarda BT venografi ile ileri değerlendirme yapılabilir (Delgado Almandoz et al., 2010).

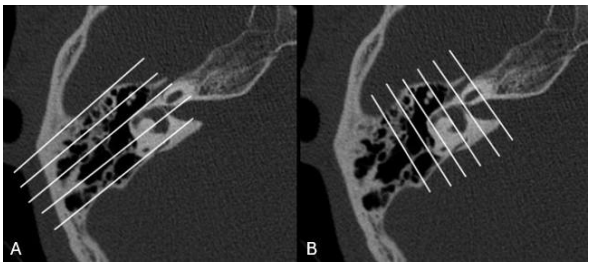
Temporal Kemik Kırıklarının Sınıflandırılması

Geleneksel Sınıflandırma

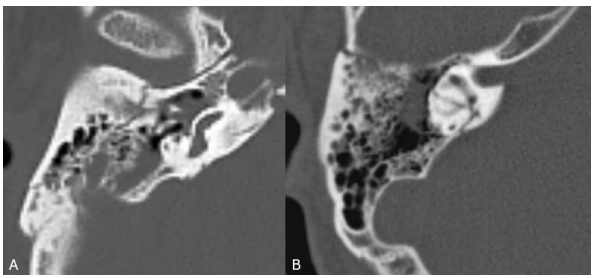
Geleneksel sınıflandırmada temporal kemik kırıkları, kırık hattının petroz kemiğin uzun eksenine göre yönelimi esas alınarak longitudinal, transvers ve mikst olarak sınıflandırılır (Şekil 1). Longitudinal kırıklar petroz kemiğin uzun eksenine yaklaşık paralel seyreder ve genellikle lateral temporal bölgeye gelen travmalarla ilişkilidir. Kırık hattı skuamöz temporal kemikten başlayarak dış kulak yolu, orta kulak ve petrotimpanik fissür üzerinden petroz apekse doğru uzanabilir. Bu kırıklara hemotimpanum, timpanik membran hasarı, ossiküler zincir yaralanması ve iletim tipi işitme kaybı eşlik edebilir (Cannon & Jahrsdoerfer, 1983; Morales Puebla et al., 2021).

Transvers kırıklar petroz kemiğin uzun eksenine dik veya dike yakın seyir gösterir ve daha çok frontal ya da oksipital yönden gelen travmalarla ilişkilidir (Şekil 2). Bu kırıklarda otik kapsül, internal akustik kanal ve fasiyal sinir kanalı daha sık etkilenebilir ve sensörinöral işitme kaybı görülebilir. Bununla birlikte yüksek çözünürlüklü BT ile gerçek kırık çizgilerinin büyük bölümünün tam anlamıyla longitudinal veya transvers olmadığı, önemli bir kısmının oblik ya da kompleks (mikst tip) özellik taşıdığı anlaşılmıştır (Şekil 3) (Ghorayeb & Yeakley, 1992; Ishman & Friedland, 2004).

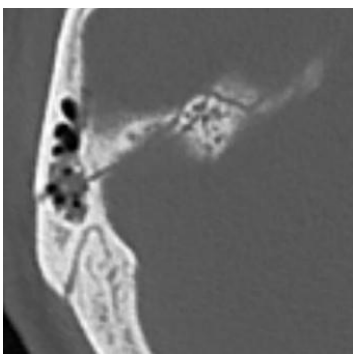
Geleneksel sınıflandırma temporal kemik kırıklarının tanımlanmasında kullanılmakla birlikte, klinik sonuçların değerlendirilmesinde otik kapsül tutulumu önem taşır. Otik kapsül tutulumu özellikle sensörinöral işitme kaybı, fasiyal paralizi ve vertigo ile ilişkilidir. Bu nedenle radyolojik değerlendirmede kırık hattının yöneliminin yanı sıra otik kapsülün korunmuş veya etkilenmiş olduğunun da belirtilmesi gerekir (Morales Puebla et al., 2021).



Şekil1: Geleneksel sınıflandırmada kırık hattı ekseni ve petroz kemik ilişkisi, aksiyal plan temporal kemik BT görüntüsünde; longutudinal kırık ekseni (A), transvers kırık ekseni (B)



Şekil 2:Longutudinal ve transvers kırık, aksiyal plan temporal kemik BT görüntüsünde; petroz kemik uzun aksına paralel yerleşimli longutudinal kırık hattı (A), petroz kemik uzun aksına dik yerleşimli transvers kırık hattı (B)



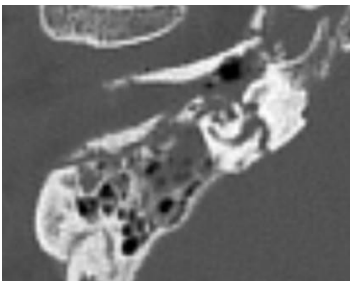
Şekil 3: Mikst tip kırık, aksiyal plan temporal kemik BT görüntüsünde; hem longutudinal hemde transvers bileşeni bulunan mikst tip kırık hattı

Otik Kapsül Temelli Sınıflandırma

Otik kapsül temelli sınıflandırmada temporal kemik kırıkları, otik kapsülü koruyan (otic capsule sparing, OCS) ve otik kapsülü ihlal eden (otic capsule violating, OCV) kırıklar olmak üzere iki gruba ayrılır. OCV kırıklar, OCS kırıklara kıyasla fasiyal paralizi, beyin omurilik sıvısı (BOS) kaçağı ve ileri derecede sensörinöral işitme kaybı gibi ciddi komplikasyonlarla daha sık ilişkilidir. Bu nedenle otik kapsül bütünlüğünün değerlendirilmesi, temporal kemik travmalarında klinik açıdan önemli prognostik bilgiler sağlar (Dahiya et al., 1999; Little & Kesser, 2006).

OCV kırıklar, etkilenen iç kulak yapısına göre farklı özellikler gösterebilir. Kırık hattı koklea, vestibül veya semisirküler kanalları ayrı ayrı ya da birlikte etkileyebilir (Şekil 4). Koklea veya vestibül tutulumu, yalnızca semisirküler kanal tutulumuna kıyasla daha belirgin işitme kaybıyla ilişkili olabilir. Bu nedenle OCV kırıkların değerlendirilmesinde yalnızca otik kapsül ihlalinin varlığının belirtilmesi yerine, etkilenen spesifik iç kulak yapılarının da raporlanması klinik ve prognostik açıdan yararlıdır (Park et al., 2023).

Temporal kemik kırıkları petroz kemiğin tutulumuna göre petroz ve nonpetroz olarak da sınıflandırılabilir. Petroz temporal kemiği içeren kırıklarda BOS kaçağı, fasiyal sinir yaralanması ve sensörinöral işitme kaybı gibi komplikasyonlar daha sık görülebilir. Radyolojik değerlendirmede sınıflandırmanın yanı sıra kırık hattının otik kapsül, fasiyal sinir kanalı, ossiküler zincir, karotis kanalı ve diğer kritik anatomik yapılarla ilişkisinin doğrudan tanımlanması önem taşır (Ishman & Friedland, 2004; Zayas et al., 2011).



Şekil 4: Otik kapsülü ihlal eden kırık, aksiyal plan temporal kemik BT görüntüsünde; vestibülü kat eden mikst tip kırık hattı

Sekonder BT Bulguları

Temporal kemik kırıkları, özellikle ince ve nondeplase olduklarında standart aksiyel BT kesitlerinde doğrudan seçilemeyebilir. Bu olgularda eşlik eden dolaylı BT bulguları kırık varlığı açısından önemli ipuçları sağlar. Orta kulak ve mastoid hava hücrelerinde opasifikasyon, temporomandibular eklemde hava, mastoid ve stiloid proses komşuluğunda hava ile pnömosefali temporal kemik kırığına eşlik edebilen başlıca dolaylı bulgulardır (Ulano et al., 2017).

Timpanik Kavite ve Ossiküler Zincir Yaralanmaları

Hemotimpanum

Orta kulak ve mastoid hava hücrelerinde travma sonrası yumuşak doku dansitesi en sık hemotimpanuma bağlıdır. Akut dönemde hemotimpanum iletim tipi işitme kaybına yol açabilir ve ossiküler zincirin değerlendirilmesini zorlaştırabilir. Bu nedenle erken BT'de orta kulağın tamamen opak olması, ossiküler yaralanmanın olmadığı anlamına gelmez. Klinik olarak iletim tipi kayıp hemotimpanumun rezorpsiyonundan sonra devam ederse ossiküler zincir hasarı yeniden değerlendirilmelidir (Maillot et al., 2017; Zayas et al., 2011).

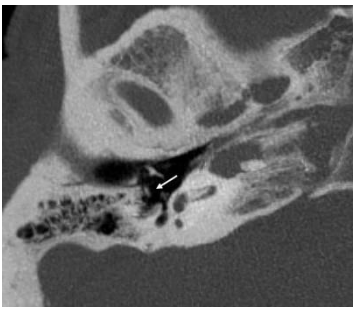
Ossiküler Dislokasyon ve Kırıklar

Ossiküler zincir yaralanmaları çoğunlukla dislokasyon veya subluksasyon şeklinde ortaya çıkarken, ossikül kırıkları daha nadir görülür. En sık etkilenen eklem inküdostapedial eklemdir (Şekil 5); bunu inküdomalleolar eklem izler. İnküdomalleolar eklem bütünlüğünün değerlendirilmesinde aksiyel BT görüntülerinde malleus başı ile inkus gövdesinin oluşturduğu karakteristik "dondurma külahı" görünümü önemlidir. Bu görünümün bozulması inküdomalleolar eklem dislokasyonu açısından şüphe uyandırır (Şekil 6). İnkusun tam dislokasyonu ve stapediovestibüler dislokasyon daha nadir görülen ancak klinik açıdan önemli yaralanmalardır (Lantos et al. 2019; Maillot et al., 2017).

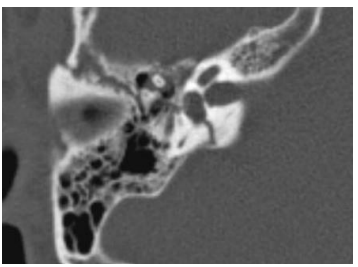
İnkus, uzun kolunun ince yapısı ve ligamentöz desteğinin görece sınırlı olması nedeniyle ossiküler kırıklardan en sık etkilenen kemikçiktir. Stapes krus ve malleus manubrium kırıkları daha seyrek görülür (Şekil 7). Stapes taban plağının oval pencere ile ilişkisinin bozulması veya stapesin vestibüle deplasmanı, perilenfatik fistül ve belirgin odyovestibüler semptomlarla ilişkili olabilir. Bu nedenle ince kesitli temporal kemik BT'de ossiküler zincirin bütünlüğü, ossiküllerin birbirleriyle ilişkisi ve stapes-oval pencere kompleksi ayrıntılı olarak değerlendirilmelidir (Kurihara et al., 2020; Choe et al., 2002).

Posttravmatik iletim tipi işitme kaybında ossiküler zincir yaralanmaları önemli bir neden oluşturur. İnce kesitli aksiyel ve koronal BT görüntüleri ossiküler yaralanmaların değerlendirilmesinde temel görüntüleri oluştururken, gerektiğinde oblik multiplanar ve üç boyutlu rekonstrüksiyonlardan yararlanılabilir. Üç boyutlu rekonstrüksiyonlar ossiküler anatomiyi ve yaralanmanın uzaysal özelliklerini göstermede, özellikle cerrahi planlama aşamasında tamamlayıcı bilgi sağlayabilir. Bununla birlikte tanısal değerlendirme aksiyel, koronal ve gerektiğinde oblik

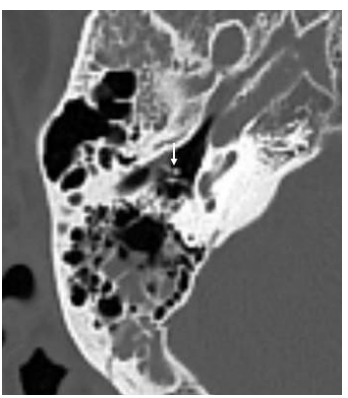
plan görüntüler üzerinden yapılmalı, üç boyutlu görüntüler tamamlayıcı olarak kullanılmalıdır (Maillot et al., 2017).



Şekil 5: İnkudostapedial eklemde dislokasyon (beyaz ok), aksiyal plan temporal kemik BT görüntüsünde; inkus uzun bacağında posteriora doğru deplasman



Şekil 6: İnkudomalleolar dislokasyon, aksiyal plan temporal kemik BT görüntüsünde



Şekil7: Manubrium mallei kırığı (beyaz ok) , aksiyal plan temporal kemik BT görüntüsünde

Fasiyal Sinir Kanalı Yaralanması

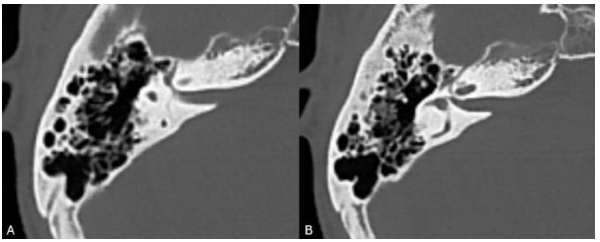
Travmatik fasiyal paralizi, temporal kemik kırıklarının önemli nörolojik komplikasyonlarından biridir. Paralizinin başlangıç zamanı ve şiddeti, fasiyal sinir yaralanmasının niteliği ve prognozu açısından önem taşır. Gecikmiş veya inkomplet paralizi genellikle sinir ödemi ve intrakanaliküler hematomla ilişkiliyken, travma anında gelişen tam paralizi sinir kesisi, ciddi kontüzyon veya kemik fragmanına bağlı kompresyon ile ilişkili olabilir (Brodie & Thompson, 1997; Darrouzet et al., 2001).

Yüksek çözünürlüklü temporal kemik BT'de fasiyal sinir kanalının labirentin segmenti, genikülat ganglion bölgesi, timpanik segmenti ve mastoid segmenti ayrı ayrı değerlendirilmelidir. BT, özellikle genikülat ganglion ve labirentin segment düzeyindeki travmatik değişikliklerin saptanmasında yararlıdır (Şekil 8). Posterior genu ve mastoid segment yaralanmalarının değerlendirilmesinde ise duyarlılık daha düşüktür (Chen et al., 2018).

Radyolojik değerlendirmede kırık hattının fasiyal sinir kanalıyla ilişkisi, etkilenen kanal segmenti, kanal bütünlüğü ve eşlik eden kemik değişiklikleri ayrıntılı olarak incelenmelidir. Kanal içerisine deplase kemik fragmanları, kanal deformitesi ve sinir üzerinde kompresyona neden olabilecek kemik fragmanları özellikle belirtilmelidir. Travmatik fasiyal paralizide klinik başlangıç ve şiddet, elektrofizyolojik bulgular ve görüntüleme bulguları birlikte değerlendirilmelidir (Darrouzet et al., 2001; Chen et al., 2018).

Fasiyal sinir yaralanmasının lokalizasyonu, olası cerrahi yaklaşımın belirlenmesinde önem arzetmektedir. Özellikle genikülat ganglion ve labirentin segment tutulumu ile daha distal fasiyal kanal yaralanmalarının ayrımı cerrahi planlamaya katkı sağlar. Bu nedenle

raporlamada fasiyal sinir kanalının etkilenen segmenti ve eşlik eden travmatik değişiklikler açık biçimde tanımlanmalıdır (Diaz et al., 2016).



Şekil 8:Fasial sinir labirintin segment (A) ve genikulat ganglionu (B) kateden hipodens kırık hattı, aksiyal plan temporal kemik BT görüntüsünde

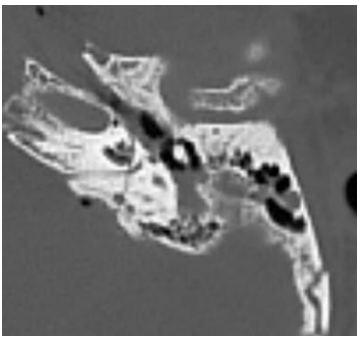
Otik Kapsül, İç Kulak ve İşitme Kaybı

Otik kapsül ihlali, travma sonrası sensörinöral işitme kaybı ile yakından ilişkili önemli bir radyolojik bulgudur.

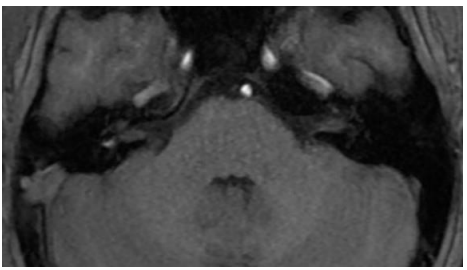
Pnömolabirent, iç kulağın perilenfatik boşluklarında hava bulunmasıdır ve otik kapsül veya oval ve yuvarlak pencere bütünlüğünün bozulmasına işaret eden önemli bir BT bulgusudur (Şekil 9). Kırık hattının çok ince veya doğrudan seçilemediği olgularda da labirent içerisinde hava saptanabilir. Pnömolabirent varlığında koklea, vestibül, semisirküler kanallar ile oval ve yuvarlak pencere bölgeleri travmatik yaralanma açısından ayrıntılı olarak değerlendirilmelidir (Molnár et al., 2021; Prisman et al., 2011).

Travma sonrası sensörinöral işitme kaybı, BT'de belirgin bir temporal kemik kırığı veya otik kapsül ihlali saptanmaksızın da gelişebilir. Bu durumda labirentin kontüzyon, intralabirentin hemoraji ve santral işitsel yol yaralanmaları olası nedenler arasında yer alır. BT, kemik yaralanmalarının ve pnömolabirentin

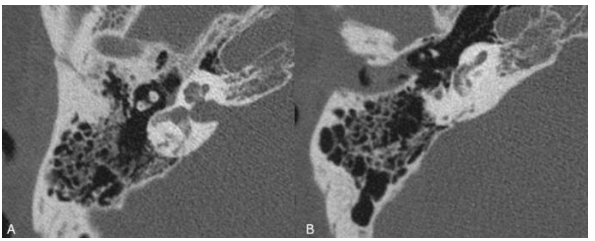
değerlendirilmesinde temel görüntüleme yöntemi olmakla birlikte, intralabirentin hemoraji ve santral işitsel yol lezyonlarının değerlendirilmesinde MRG görüntüleme yöntemi olarak tercih edilmelidir. İntralabirentin hemoraji kontrastsız T1 ağırlıklı görüntülerde hiperintensite gösterebilir (Şekil 10). Kronik dönemde labirentitis ossifikans gelişirse, BT'de labirent lümeninde ossifikasyon, MRG'de ise normal sıvı sinyalinde kayıp izlenebilir (Şekil 11). Bu bulgular, özellikle koklear implant planlanan hastalarda cerrahi yaklaşımı etkileyebilir (Maillot et al., 2016).



Şekil 9: Pnömolabirent , kohleayı kat eden kırık hattı ve kohlea içerisinde hava, aksiyal plan temporal kemik BT görüntüsünde



Şekil 10: Sağda vestibül içi kanama, aksiyal yağ baskılı T1 MR görüntüsünde vestibül içi hiperintensite



Şekil 11: Labirentitis ossifikans, aksiyal plan temporal kemik BT görüntüsünde; vestibül ve lateral semisirküler kanal içinde ossifikasyon (A), kohlea bazal turnde ossifikasyon(B)

Perilenfatik Fistül

Perilenfatik fistül, iç kulaktaki perilenfatik boşluk ile orta kulak arasında travmatik iletişim gelişmesidir. En sık oval pencere veya yuvarlak pencere düzeyinde oluşur. Stapes taban plakası kırığı, stapediovestibüler dislokasyon ve pencere kenarındaki kırıklar temel mekanizmalardır. Klinik olarak vertigo, dengesizlik ve sensörinöral ya da mikst işitme kaybı görülebilir (Prisman et al., 2011).

BT'deki en önemli bulgu pnömolabirenttir. Oval veya yuvarlak pencere komşuluğunda açıklanamayan sıvı birikimi de fistül olasılığını destekleyebilir. Penetran dış kulak yolu travmalarında stapesin vestibüle itilmesi veya yabancı cismin oval pencere düzeyine ulaşması acil cerrahi değerlendirme gerektiren bir durumdur. Bu nedenle penetran kulak travmasında yabancı cismin trasesi, stapes konumu ve labirent içi hava özellikle değerlendirilmelidir (Choe et al., 2002; Prisman et al., 2011).

BOS Kaçağı ve Tegmen Yaralanmaları

Tegmen timpani veya tegmen mastoideum kırıklarına eşlik eden dural yırtıklar, beyin omurilik sıvısının (BOS) orta kulak ve mastoid hava hücrelerine geçişine neden olabilir. Timpanik membran perforasyonu varlığında BOS otoresi gelişebilirken, timpanik membranın intakt olduğu durumlarda BOS östaki tüpü aracılığıyla nazofarenkse geçerek rinore şeklinde ortaya çıkabilir.

OCV kırıklarda BOS kaçağı görülme olasılığı daha yüksektir (Dahiya et al., 1999).

Travmatik BOS fistüllerinin önemli bir bölümü travmayı izleyen ilk hafta içerisinde spontan olarak kapanabilir. Persistan BOS kaçağı ise menenjit ve diğer intrakraniyal enfeksiyöz komplikasyonlar açısından önem taşır. Görüntülemede BOS kaçağına neden olabilecek kemik defektinin lokalizasyonu, boyutu ve komşu anatomik yapılarla ilişkisi ayrıntılı olarak değerlendirilmelidir (Brodie & Thompson, 1997).

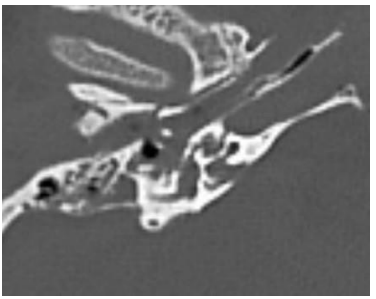
İnce kesitli BT ve koronal-sagittal multiplanar rekonstrüksiyonlar, özellikle tegmen timpani ve tegmen mastoideum defektlerinin değerlendirilmesinde temel görüntüleme yöntemidir. Meningoensefalosel şüphesi olan veya persistan BOS kaçağının BT ile lokalize edilemediği durumlarda MRG tamamlayıcı bilgiler sağlayabilir. Travma sonrası BOS kaçağının 7–10 günden uzun sürmesi durumunda MRG görüntüleme önerilebilir ve özellikle eşlik eden ensefalosel ile menenjit gibi komplikasyonların değerlendirilmesinde önemli rol oynar. Ayrıca MRG sisternografi, intratekal kontrast madde uygulanarak veya uygulanmadan gerçekleştirilebilir. Kontrastsız MRG sisternografi, yüksek çözünürlüklü T2 ağırlıklı sekanslarla BOS kaçağının lokalizasyonunu ortaya koyarken, kontrastlı MRG sisternografi kontrast maddenin subaraknoid boşluktan orta kulak veya mastoid hava hücrelerine geçişini göstererek kaçağın doğrudan değerlendirilmesine olanak tanır. BT sisternografi ise rutin değerlendirmede kullanılmayıp, standart BT ve MRG ile kaçak odağının belirlenemediği seçilmiş olgularda uygulanabilir (Kurihara et al., 2020; Lantos et al., 2019).

Vasküler Yaralanmalar

İnternal Karotid Arter

Petroz karotis kanalını içeren temporal kemik kırıkları; internal karotid arter diseksiyonu, trombozu, oklüzyonu ve psödoanevrizması gibi ciddi vasküler komplikasyonlarla ilişkili olabilir (Şekil 12). Karotis kanal kırığı internal karotid arter yaralanmasını tek başına kesin olarak öngören bir bulgu değildir. Bununla birlikte karotis kanalının tutulumu, klinik bulgular ve eşlik eden diğer travmatik yaralanmalarla birlikte değerlendirildiğinde ileri vasküler görüntüleme gereksiniminin belirlenmesinde önem taşır (York et al., 2005).

BT anjiyografide internal karotid arter lümeninde düzensizlik, fokal veya uzun segment stenoz, oklüzyon, psödoanevrizma ve aktif kontrast ekstravazasyonu gibi travmatik vasküler bulgular araştırılmalıdır. Özellikle petroz karotis kanalına uzanan kırık hatları dikkatle değerlendirilmelidir. Raporlamada karotis kanal tutulumunun varlığı ve kırık hattının kanal ile ilişkisi açıkça belirtilmeli; vasküler yaralanma şüphesi bulunan olgularda BT anjiyografi ile ileri değerlendirme yapılmalıdır (Kennedy et al., 2014; Lantos et al., 2019). BT anjiyografi, hızlı ve noninvaziv olması nedeniyle travmatik karotis arter yaralanmalarının değerlendirilmesinde ilk tercih edilen görüntüleme yöntemidir. Bununla birlikte, özellikle düşük dereceli vasküler yaralanmalarda tanısal duyarlılığının sınırlı olabilmesi nedeniyle, klinik şüphenin devam ettiği veya BT anjiyografi bulgularının kesin tanı için yetersiz kaldığı olgularda dijital substraksiyon anjiyografi (DSA) uygulanabilir. Ayrıca seçilmiş olgularda stent yerleştirilmesi, embolizasyon ve diğer endovasküler girişimlerin planlanmasına ve uygulanmasına olanak sağlar (Lee et al., 2014).



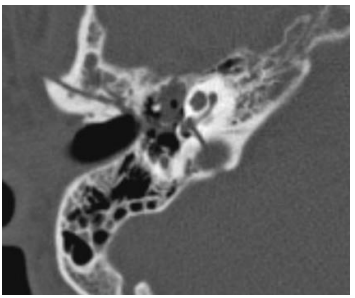
Şekil 12: Karotis kanal kırığı; aksiyal plan temporal kemik BT görüntüsünde; vestibül ve kohleayı kat ederek karatis kanal anterior duvara uzana kırık hattı

Sigmoid Sinüs ve Juguler Bulbus

Temporal kemik kırıklarının sigmoid sinüs, transvers sinüs veya juguler bulbusa uzanması travmatik dural venöz sinüs trombozu ve daha nadiren venöz laserasyon ile ilişkili olabilir (Şekil 13). Özellikle petroz temporal kemiği içeren ve transvers-sigmoid sinüs kompleksi ya da juguler bulbus komşuluğuna uzanan kırıklar venöz yaralanma açısından önem taşır. Bu nedenle kırık hattının dural venöz sinüsler ve juguler bulbus ile anatomik ilişkisi BT görüntülerinde dikkatle değerlendirilmelidir (Delgado Almandoz et al., 2010).

Kontrastsız BT'de venöz sinüs içerisinde hiperdens trombüs veya intraluminal hava, venöz yaralanma ya da tromboza işaret edebilir (Ulano et al., 2017). Bununla birlikte komşu epidural hematomun venöz sinüse dıştan basısı, lümen daralmasına neden olarak trombozu taklit edebilir. Venöz sinüs trombozu veya yaralanmasından şüphelenilen olgularda BT venografi, sinüs lümeninin açıklığının ve intraluminal dolum defektlerinin değerlendirilmesinde kullanılabilir. MR venografi ise özellikle subakut dönemde veya BT venografi bulgularının kesin olmadığı durumlarda tamamlayıcı görüntüleme yöntemi olarak tercih edilebilir (Kurihara et al., 2020). Ayrıca DSA, endovasküler işlemler

planlanırken veya şüpheli BT/MR bulgularını açıklığa kavuşturmak için yararlıdır (Ghoneim et al., 2020).



Şekil 13: Juguler bulbusa uzanan kırık hattı, aksiyal plan temporal kemik BT görüntüsünde

Dış Kulak Yolu, Timpanik Plak ve Temporomandibular Eklem

Dış kulak yolunun anterior duvarının oluşumuna katılan timpanik plak, glenoid fossa ve temporomandibular eklem ile yakın anatomik komşuluğu nedeniyle temporal kemik travmalarında etkilenebilir. Timpanik plak kırıkları ossiküler zincir yaralanmalarıyla birlikte görülebilir. Bu kırıklar ayrıca iyileşme sürecinde dış kulak yolunda stenoz gelişimine ve buna bağlı iletim tipi işitme kaybına neden olabileceğinden klinik açıdan önem taşır (Wood et al., 2014).

Temporomandibular eklem içerisinde hava bulunması, dış kulak yolunun anterior duvarı veya timpanik plak yaralanmasına eşlik edebilen bir BT bulgusudur; ancak tek başına timpanik plak kırığı için özgül değildir. Radyolojik değerlendirmede dış kulak yolu duvarları, timpanik plak ve glenoid fossa bütünlüğü ile temporomandibular eklemde hava varlığı ve eşlik eden mandibular kondil yaralanmaları birlikte değerlendirilmelidir (Wood et al., 2014).

Pediatrik Temporal Kemik Travmaları

Çocuklarda temporal kemiğin yapısal özellikleri ve mastoid pnömatizasyonun yaşla birlikte gelişmesi, temporal kemik kırıklarının patern ve klinik özelliklerinin erişkinlerden farklılık göstermesine neden olabilir. Pediatrik yaş grubunda düşmeler ve motorlu taşıt kazaları başlıca travma nedenleri arasında yer alır. Hemotimpanum, dış kulak yolu kanaması ve iletim tipi işitme kaybı sık görülen bulgulardır (Williams et al., 1992; Bhindi et al., 2018).

Pediatrik temporal kemik kırıkları da geleneksel sınıflandırmaya veya otik kapsül tutulumuna göre sınıflandırılabilir. Pediatrik olgularda da erişkinlerle benzer şekilde OCV kırıklarda sensörinöral işitme kaybı riski, OCS kırıklara göre daha yüksektir. (Bhindi et al., 2018; Dunklebarger et al., 2014; Poupore et al., 2024).

Pediatrik olgularda geleneksel sınıflandırma fasiyal sinir yaralanmasını, otik kapsül temelli sınıflandırma ise sensörinöral işitme kaybını öngörmede daha başarılıdır; BOS otoresi ve iletim tipi işitme kaybını ise iki sistem de öngörememektedir. Bu nedenle pediatrik temporal kemik travmalarının radyolojik değerlendirilmesinde kırığın sınıflandırılmasının yanı sıra otik kapsül, fasiyal sinir kanalı, ossiküler zincir, orta kulak, tegmen ve diğer kritik anatomik yapıların tutulumu ayrı ayrı raporlanmalıdır (Poupore et al., 2024). Pediatrik olgularda ince kesitli BT görüntülerinden elde edilen üç boyutlu rekonstrüksiyonların iki boyutlu değerlendirmeye eklenmesi, kraniyofasiyal kırıkların saptanmasında duyarlılığı artırmakta ve kırık hatlarının açık sütürler, aksesuar sütürler ve sinkondrozlardan ayırt edilmesine yardımcı olmaktadır (Koch, 2014; Orman et al., 2015).

Radyolojik Raporlama İçin Sistematik Yaklaşım

Temporal kemik travmasında raporlama, yalnızca kırığın yönünü tanımlayan kısa bir ifadeden daha ayrıntılı olmalıdır. Güncel literatür, kritik anatomik yapıların tek tek değerlendirilmesinin

klinik yönetim açısından daha yararlı olduğunu göstermektedir. Aşağıdaki kontrol listesi günlük pratikte kullanılabilir (Kennedy et al., 2014; Kurihara et al., 2020; Zayas et al., 2011).

- Kırığın tarafı, sayısı, deplasmanı ve longitudinal, transvers, oblik veya kompleks yönelimi.
- Otik kapsülün korunup korunmadığı; koklea, vestibül ve semisirküler kanalların ayrı ayrı tutulumu.
- Pnömolabirent, intralabirentin patoloji ve oval/yuvarlak pencere yaralanması.
- Fasiyal sinir kanalının etkilenen segmenti ve kanal içine deplase kemik fragmanı.
- Ossiküler zincir bütünlüğü; inküdomalleolar ve inküdostapedial eklemler, stapes taban plakası ve ossikül kırıkları.
- Tegmen timpani ve tegmen mastoideum bütünlüğü, kemik defektinin lokalizasyonu, orta kulak ve mastoid hava hücrelerinde sıvı varlığı; BOS kaçağı şüphesinde yüksek çözünürlüklü temporal kemik BT, MR, MR sisternografi ve seçilmiş olgularda BT sisternografi gereksinimi.
- Karotis kanalının tutulumu ve BT anjiyografi/DSA gereksinimi.
- Sigmoid sinüs, transvers sinüs ve juguler bulbus yaralanmaları açısından BT venografi, MR venografi ve seçilmiş olgularda kateter venografi/DSA gereksinimi.
- Dış kulak yolu, timpanik plak ve temporomandibular eklem.
- Eşlik eden epidural/subdural hematom, subaraknoid kanama, kontüzyon, pnömosefali ve diğer kafa tabanı kırıkları.

Temporal kemik travmalarının görüntülenmesinde temel yöntem ince kesitli çok dedektörlü BT'dir. Modern BT sistemleri travma protokollerinde kırıkların büyük bölümünü saptayabilse de, fasiyal paralizi, persistan işitme kaybı, ossiküler yaralanma, BOS kaçağı, otik kapsül veya vasküler yapı tutulumu şüphesinde hedefe yönelik temporal kemik BT gerekli olabilir. MRG, özellikle intralabirentin hemoraji, membranöz labirent ve yumuşak doku komplikasyonlarının değerlendirilmesinde tamamlayıcıdır (Kurihara et al., 2020; Schubl et al., 2016; Szczupak et al., 2021).

Kırıkların geleneksel sınıflandırılması tarihsel önemini korumakla birlikte, güncel kanıtlar otik kapsül tutulumu ve spesifik kritik yapıların değerlendirilmesinin klinik sonuçları öngörmede daha anlamlı olduğunu göstermektedir. Otik kapsül, fasiyal sinir kanalı, ossiküler zincir, tegmen, karotis kanalı ve dural venöz sinüslerle ilişkinin sistematik biçimde raporlanması; komplikasyonların erken tanınmasına, uygun ileri görüntülemenin seçilmesine ve multidisipliner tedavinin planlanmasına doğrudan katkı sağlar (Dahiya et al., 1999; Little & Kesser, 2006; Park et al., 2023).

Kaynakça

Bhindi, A., Carpineta, L., Al Qassabi, B., Waissbluth, S., Ywakim, R., Manoukian, J. J., & Nguyen, L. H. P. (2018). Hearing loss in pediatric temporal bone fractures: Evaluating two radiographic classification systems as prognosticators. International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology, 109, 158–163. https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2018.04.005

Brodie, H. A., & Thompson, T. C. (1997). Management of complications from 820 temporal bone fractures. American Journal of Otology, 18(2), 188–197.

Cannon, C. R., & Jahrsdoerfer, R. A. (1983). Temporal bone fractures: Review of 90 cases. Archives of Otolaryngology, 109(5), 285–288. https://doi.org/10.1001/archotol.1983.00800190007002

Chen, Y., Zhang, K., Xu, Y., Che, Y., Guan, L., & Li, Y. (2018). Reliability of temporal bone high-resolution CT in patients with facial paralysis in temporal bone fracture. American Journal of Otolaryngology, 39(2), 150–152. https://doi.org/10.1016/j.amjoto.2017.12.003

Choe, K. S., Arigo, J., & Zeifer, B. (2002). Stapediovestibular dislocation. Otology & Neurotology, 23(1), 102–103. https://doi.org/10.1097/00129492-200201000-00022

Connor, S. E., Tan, G., Fernando, R., & Chaudhury, N. (2005). Computed tomography pseudofractures of the mid face and skull base. Clinical Radiology, 60(12), 1268–1279. https://doi.org/10.1016/j.crad.2005.05.016

Dahiya, R., Keller, J. D., Litofsky, N. S., Bankey, P. E., Bonassar, L. J., & Megerian, C. A. (1999). Temporal bone fractures: Otic capsule sparing versus otic capsule violating clinical and

radiographic considerations. Journal of Trauma, 47(6), 1079–1083. https://doi.org/10.1097/00005373-199912000-00014

Darrouzet, V., Duclos, J. Y., Liguoro, D., Truilhe, Y., De Bonfils, C., & Bebear, J. P. (2001). Management of facial paralysis resulting from temporal bone fractures: Our experience in 115 cases. Otolaryngology–Head and Neck Surgery, 125(1), 77–84. https://doi.org/10.1067/mhn.2001.116182

Delgado Almandoz, J. E., Kelly, H. R., Schaefer, P. W., Lev, M. H., Gonzalez, R. G., & Romero, J. M. (2010). Prevalence of traumatic dural venous sinus thrombosis in high-risk acute blunt head trauma patients evaluated with multidetector CT venography. Radiology, 255(2), 570–577. https://doi.org/10.1148/radiol.10091565

Diaz, R. C., Cervenka, B., & Brodie, H. A. (2016). Treatment of temporal bone fractures. Journal of Neurological Surgery Part B: Skull Base, 77(5), 419–429. https://doi.org/10.1055/s-0036-1584197

Dunklebarger, J., Branstetter, B. F., IV, Lincoln, A., Sippey, M., Cohen, M., Gaines, B., & Chi, D. (2014). Pediatric temporal bone fractures: Current trends and comparison of classification schemes. The Laryngoscope, 124(3), 781–784. https://doi.org/10.1002/lary.21891

Ghoneim, A., Straiton, J., Pollard, C., Macdonald, K., & Jampana, R. (2020). Imaging of cerebral venous thrombosis. Clinical Radiology, 75(4), 254–264. https://doi.org/10.1016/j.crad.2019.12.009

Ghorayeb, B. Y., & Yeakley, J. W. (1992). Temporal bone fractures: Longitudinal or oblique? The case for oblique temporal bone

fractures. The Laryngoscope, 102(2), 129–134. https://doi.org/10.1288/00005537-199202000-00005

Hasso, A. N., & Ledington, J. A. (1988). Traumatic injuries of the temporal bone. Otolaryngologic Clinics of North America, 21(2), 295–316.

Ishman, S. L., & Friedland, D. R. (2004). Temporal bone fractures: Traditional classification and clinical relevance. The Laryngoscope, 114(10), 1734–1741. https://doi.org/10.1097/00005537-200410000-00011

Kennedy, T. A., Avey, G. D., & Gentry, L. R. (2014). Imaging of temporal bone trauma. Neuroimaging Clinics of North America, 24(3), 467–486. https://doi.org/10.1016/j.nic.2014.03.003

Koch, B. L. (2014). Pediatric considerations in craniofacial trauma. Neuroimaging Clinics of North America, 24(3), 513–529. https://doi.org/10.1016/j.nic.2014.03.002

Kurihara, Y. Y., Fujikawa, A., Tachizawa, N., Takaya, M., Ikeda, H., & Starkey, J. (2020). Temporal bone trauma: Typical CT and MRI appearances and important points for evaluation. RadioGraphics, 40(4), 1148–1162. https://doi.org/10.1148/rg.2020190023

Lantos, J. E., Leeman, K., Weidman, E. K., Dean, K. E., Peng, T., & Pearlman, A. N. (2019). Imaging of temporal bone trauma: A clinicoradiologic perspective. Neuroimaging Clinics of North America, 29(1), 129–143. https://doi.org/10.1016/j.nic.2018.08.005

Lee, T. S., Ducic, Y., Gordin, E., & Stroman, D. (2014). Management of carotid artery trauma. Craniomaxillofacial Trauma &

Reconstruction, 7(3), 175–189. https://doi.org/10.1055/s-0034-1372521

Little, S. C., & Kesser, B. W. (2006). Radiographic classification of temporal bone fractures: Clinical predictability using a new system. Archives of Otolaryngology–Head & Neck Surgery, 132(12), 1300–1304. https://doi.org/10.1001/archotol.132.12.1300

Maillot, O., Attyé, A., Boutet, C., Boubagra, K., Perolat, R., Zanolla, M., Grand, S., Schmerber, S., & Krainik, A. (2017). The relationship between post-traumatic ossicular injuries and conductive hearing loss: A 3D-CT study. Journal of Neuroradiology, 44(5), 333–338. https://doi.org/10.1016/j.neurad.2017.04.001

Maillot, O., Attyé, A., Boyer, E., Heck, O., Kastler, A., Grand, S., Schmerber, S., & Krainik, A. (2016). Post traumatic deafness: A pictorial review of CT and MRI findings. Insights into Imaging, 7(3), 341–350. https://doi.org/10.1007/s13244-016-0490-9

Meriot, P., Veillon, F., Garcia, J. F., Nonent, M., Jezequel, J., Bourjat, P., & Bellet, M. (1997). CT appearances of ossicular injuries. RadioGraphics, 17(6), 1445–1454. https://doi.org/10.1148/radiographics.17.6.9397457

Molnár, D., Mező, M., Vaska, Z., Sevecsek, Z., & Helfferich, F. (2021). Report of an otic capsule disrupting fracture of the temporal bone: Visualization of pneumolabyrinth and functional assessment. Cureus, 13, e12425. https://doi.org/10.7759/cureus.12425

Morales Puebla, J. M., López Juanes, N., Varo Alonso, M., Sánchez Cuadrado, I., Gavilán Bouzas, J., & Lassaletta Atienza, L. (2021). Clinical-radiological correlation in temporal bone

fractures. Acta Otorrinolaringológica Española (English Edition), 72(5), 295–304. https://doi.org/10.1016/j.otoeng.2020.09.003

Orman, G., Wagner, M. W., Seeburg, D., Zamora, C. A., Oshmyansky, A., Tekes, A., Poretti, A., Jallo, G. I., Huisman, T. A. G. M., & Bosemani, T. (2015). Pediatric skull fracture diagnosis: Should 3D CT reconstructions be added as routine imaging? Journal of Neurosurgery: Pediatrics, 16(4), 426–431. https://doi.org/10.3171/2015.3.PEDS1553

Park, E., Chang, Y. S., Kim, B. J., Chang, M., Im, G. J., Choi, J., Jung, H. H., & Rah, Y. C. (2023). Improved prediction of hearing loss after temporal bone fracture by applying a detailed classification for otic capsule-violating fracture: A wide scope analysis with large case series. Otology & Neurotology, 44(2), 153–160. https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000003786

Poupore, N. S., Britt, A. F., Nguyen, S. A., & White, D. R. (2024). Complications after pediatric temporal bone fractures by classification system: A systematic review and meta-analysis. Otolaryngology–Head and Neck Surgery, 170(4), 1009–1019. https://doi.org/10.1002/ohn.638

Prasad, B. K., Basu, A., Sahu, P. K., & Rai, A. K. (2022). A study of otological manifestations of temporal bone fractures. Indian Journal of Otolaryngology and Head & Neck Surgery, 74(Suppl 1), 351–359. https://doi.org/10.1007/s12070-020-02111-5

Prisman, E., Ramsden, J. D., Blaser, S., & Papsin, B. (2011). Traumatic perilymphatic fistula with pneumolabyrinth: Diagnosis and management. The Laryngoscope, 121(4), 856–859. https://doi.org/10.1002/lary.21439

Schubl, S. D., Klein, T. R., Robitsek, R. J., Trepeta, S., Fretwell, K., Seidman, D., & Gottlieb, M. (2016). Temporal bone fracture: Evaluation in the era of modern computed tomography. Injury, 47(9), 1893–1897. https://doi.org/10.1016/j.injury.2016.06.026

Szczupak, M., Kravietz, A., Patel, J., Grobman, A., Sidani, C., & Hoffer, M. E. (2021). Utilization of computed tomography in temporal bone fractures at a large Level I trauma center. The Laryngoscope, 131(1), E278–E282. https://doi.org/10.1002/lary.28565

Travis, L. W., Stalnaker, R. L., & Melvin, J. W. (1977). Impact trauma of the human temporal bone. Journal of Trauma, 17(10), 761–766. https://doi.org/10.1097/00005373-197710000-00003

Ulano, A. C., Vedantham, S., & Takhtani, D. (2017). Revisiting the indirect signs of a temporal bone fracture: Air, air, everywhere. Emergency Radiology, 24(5), 497–503. https://doi.org/10.1007/s10140-017-1498-2

Williams, W. T., Ghorayeb, B. Y., & Yeakley, J. W. (1992). Pediatric temporal bone fractures. The Laryngoscope, 102(6), 600–603. https://doi.org/10.1288/00005537-199206000-00002

Wood, C. P., Hunt, C. H., Bergen, D. C., Carlson, M. L., Diehn, F. E., Schwartz, K. M., McKenzie, G. A., Morreale, R. F., & Lane, J. I. (2014). Tympanic plate fractures in temporal bone trauma: Prevalence and associated injuries. AJNR American Journal of Neuroradiology, 35(1), 186–190. https://doi.org/10.3174/ajnr.A3609

York, G., Barboriak, D., Petrella, J., DeLong, D., & Provenzale, J. M. (2005). Association of internal carotid artery injury with carotid canal fractures in patients with head trauma. AJR

American Journal of Roentgenology, 184(5), 1672–1678. https://doi.org/10.2214/ajr.184.5.01841672

Zayas, J. O., Feliciano, Y. Z., Hadley, C. R., Gomez, A. A., & Vidal, J. A. (2011). Temporal bone trauma and the role of multidetector CT in the emergency department. RadioGraphics, 31(6), 1741–1755. https://doi.org/10.1148/rg.316115506

BÖLÜM 3

AKSİLLER LENF NODU RADYOLOJİK DEĞERLENDİRİLMESİ

MEHMET YAĞTU[1]

Giriş

Aksiller bölgenin sistematik olarak incelenmesi, gerek tarama gerekse tanısal amaçlı meme görüntüleme değerlendirmesinin önemli bir bileşenidir. Meme kanserli hastalarda bölgesel lenf nodlarının durumu; hastalığın evrelendirilmesi, prognozun öngörülmesi, neoadjuvan ya da adjuvan tedavi kararlarının verilmesi ve uygun cerrahi yöntemin belirlenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Geçmişte nodal evrelemenin temel yöntemi olarak kabul edilen aksiller lenf nodu diseksiyonu, lenfödem, duyu değişiklikleri, omuz hareketlerinde kısıtlanma ve kronik ağrı gibi önemli morbiditelere yol açabilmektedir. Bu nedenle yöntem, klinik olarak uygun hasta gruplarında büyük ölçüde sentinel lenf nodu biyopsisi ve daha sınırlı, hedefe yönelik cerrahi uygulamalarla yer değiştirmiştir (Giuliano et al., 2017; Le-Petross et al., 2022).

[1] Uzman Doktor, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Atatürk Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Radyoloji Kliniği, ORCID: 0009-0005-4272-7544

Günümüzde aksiller görüntülemenin temel hedefi mikroskobik metastatik tutulumu kesin olarak dışlamak değildir. Görüntüleme; morfolojik açıdan şüpheli lenf nodlarının tanınmasına, örnekleme için en uygun nodun belirlenmesine, aksiller hastalık yükünün tahmin edilmesine ve tedavi öncesi işaretleme sürecinin planlanmasına katkı sağlar. Ayrıca neoadjuvan tedavi sonrasında elde edilen bulgular, uygulanacak cerrahi yaklaşımın şekillendirilmesinde yol gösterici olabilir. Yüksek uzaysal çözünürlüğü, gerçek zamanlı ve dinamik incelemeye olanak sağlaması ve aynı seansta görüntüleme eşliğinde girişim yapılabilmesi nedeniyle ultrasonografi, aksiller değerlendirmenin temel görüntüleme yöntemidir. Mamografi, manyetik rezonans görüntüleme ve 18F-FDG PET/BT ise hasta özellikleri ve klinik gereksinimler doğrultusunda aksiller değerlendirmeyi tamamlayan bilgiler sunmaktadır (Ecanow et al., 2013; Le-Petross et al., 2022).

Aksillanın Değerlendirilmesi

Aksiller inceleme yalnızca lenf nodlarının varlığını veya boyutunu kaydetmekten ibaret değildir. Radyolog; hastanın bilinen veya olası primer meme malignitesini, geçirilmiş cerrahi ve radyoterapiyi, enfeksiyon ve sistemik hastalık öyküsünü, yakın dönemde yapılan aşıları, dermatolojik ve inflamatuvar hastalıkları ve karşı aksillanın görünümünü birlikte değerlendirmelidir. Tek taraflı, yeni gelişen veya belirgin asimetrik adenopati ile bilateral ve simetrik lenf nodu büyümesinin olası nedenleri farklıdır. Görüntüleme bulgularının klinik öykü ve meme bulgularıyla uyumsuz olduğu durumlarda occult meme kanseri, lenfoproliferatif hastalık ve meme dışı primerler de ayırıcı tanıya alınmalıdır.

Meme kanseri tanısı bulunan hastada görüntüleme raporu, en şüpheli lenf nodunun yerini ve seviyesini, morfolojik özelliklerini, mümkünse şüpheli lenf nodu sayısını, internal mammaryan veya supraklaviküler istasyon tutulumunu ve biyopsi ya da işaretleme yapılıp yapılmadığını açık biçimde belirtmelidir. Aksiller ultrasonun negatif olması düşük hacimli hastalığı ve mikrometastazı dışlamaz;

bu nedenle negatif görüntüleme sonucu, klinik olarak endike sentinel lenf nodu biyopsisinin yerine geçmez (Alvarez et al., 2006; Houssami et al., 2011).

Aksiller Anatomi ve Lenfatik Drenaj

Aksilla; vasküler, lenfatik ve nöral yapıların yağdan zengin bağ dokusu içinde seyrettiği piramidal biçimli bir anatomik boşluktur. Aksiller lenf nodları klasik olarak pektoral, subskapular, lateral, santral ve apikal gruplara ayrılır. Cerrahi ve radyolojik iletişimde en sık pektoralis minör kasına göre tanımlanan Berg seviyeleri kullanılır. Seviye I lenf nodları pektoralis minörün lateralinde, seviye II nodlar kasın posteriorunda ve interpektoral Rotter aralığında, seviye III nodlar ise kasın medialinde ve klavikula altına uzanan apikal bölgede yer alır. Rutin meme görüntülemesinde çoğunlukla seviye I ve kısmen seviye II nodlar görülür; seviye III değerlendirmesi hedefli ultrason, MRG veya kesitsel görüntüleme gerektirebilir.

Memenin lenfatik drenajı yüzeyel kutanöz-subkutanöz pleksuslar ile derin fasiyal-glandüler pleksuslar üzerinden gerçekleşir. Drenajın büyük bölümü ipsilateral aksillaya olmakla birlikte intramammaryan, interpektoral, internal mammaryan, infraklaviküler ve supraklaviküler lenf nodları interval istasyonlar olarak rol oynayabilir. Derin yerleşimli veya medial kadran tümörlerinde internal mammaryan drenajın önemi artabilir. Cerrahi, radyoterapi veya lenfatik obstrüksiyon sonrası alışılmadık drenaj yolları ve karşı aksillaya subkutan geçiş gelişebilir; bu nedenle tedavi öyküsü anatomik dağılımın yorumunda önemlidir (Ecanow et al., 2013).

Lenf Nodunun Normal Yapısı ve Metastatik Tutulum

Normal lenf nodu ince bir kapsül, korteks, parakorteks, medüller sinüsler ve yağ içeren hilustan oluşur. Afferent lenfatikler konveks yüzeyden nod içine girer; lenf sıvısı subkapsüler sinüsten kortikal ve medüller sinüslere geçerek hilustaki efferent lenfatiklere boşalır. Normal nod genellikle oval veya böbrek biçiminde, düzgün

sınırlı, ince ve eş kalınlıkta korteksli, belirgin yağlı hiluslu bir yapı olarak izlenir. Hilustan başlayan düzenli dallanan vasküler patern normal veya reaktif nod lehinedir.

Metastatik hücreler çoğunlukla afferent lenfatiklerle subkapsüler sinüse ulaşır ve ilk olarak giriş bölgesinde odaksal birikim oluşturur. Bu süreç başlangıçta lokalize veya eksantrik kortikal kabarıklık biçiminde görülebilir. Tümör yükü arttıkça korteks asimetrik veya diffüz kalınlaşır, yağlı hilus yer değiştirir ve son aşamada oblitere olabilir. Nodal mimarinin bozulması yuvarlaklaşma, düzensiz sınır, heterojenite ve ekstranodal yayılıma bağlı perinodal yağ planlarında silinmeye yol açar. Neovaskülarizasyon periferik veya penetran damarlarla kendini gösterebilir. Bu patofizyolojik sıra, morfolojiye dayalı değerlendirmenin neden salt boyut ölçümünden daha değerli olduğunu açıklar (Choi et al., 2009; Stachs et al., 2015).

Patolojik sınıflamada 0,2 mm ve daha küçük tümör hücre kümeleri izole tümör hücreleri, 0,2 mm'den büyük ve 2 mm'yi aşmayan odaklar mikrometastaz, 2 mm'den büyük odaklar makrometastaz olarak tanımlanır. İzole tümör hücreleri ve mikrometastazlar görüntüleme yöntemlerinin uzaysal ve kontrast çözünürlük sınırlarının altında kalabilir. Dolayısıyla görüntülemenin temel başarısı makroskopik morfolojik değişikliklerin ve biyopsiyle doğrulanabilecek hastalığın saptanmasıdır (Amin et al., 2017).

Tablo 1. Aksiller lenf nodlarında benign ve şüpheli morfolojik özellikler

Özellik	**Benign/normal görünüm**	**Metastaz açısından şüpheli görünüm**
Şekil	Oval veya böbrek biçimli	Yuvarlaklaşma; uzun/kısa eksen oranında azalma
Korteks	İnce, düzgün ve eş kalınlıkta	Fokal kabarıklık, eksantrik veya diffüz kalınlaşma; düzensiz kortikal sınır
Yağlı hilus	Geniş ve korunmuş	İtilmiş, daralmış, çentiklenmiş veya kaybolmuş
Sınır	Keskin ve düzgün	Belirsiz veya düzensiz; perinodal yağ planlarında silinme
Vaskülarite	Hilustan başlayan düzenli dallanma	Periferik/penetran damarlar veya anarşik nonhiler vaskülarite
Diğer	Homojen korteks	Heterojenite, nekroz veya primer tümöre benzer mikrokalsifikasyonlar

Kaynak: Ecanow et al. (2013), Choi et al. (2009) ve Stachs et al. (2015) temel alınarak hazırlanmıştır.

Ultrasonografi ve Renkli Doppler Ultrasonografi

Ultrasonografi, aksiller lenf nodlarının değerlendirilmesinde en yaygın ve en erişilebilir görüntüleme yöntemidir. İyonizan radyasyon içermemesi, yüksek frekanslı lineer probla korteks ve hilusun ayrıntılı gösterilebilmesi, karşı tarafla karşılaştırmaya izin vermesi ve şüpheli noddan aynı seansta örnekleme yapılabilmesi başlıca üstünlükleridir. Bununla birlikte duyarlılık; metastatik odak boyutu, nodun derinliği, hastanın vücut yapısı, tümör biyolojisi, kullanılan eşik değer ve uygulayıcı deneyimine göre değişir. Sistematik derlemeler aksiller ultrasonun genel olarak orta düzeyde duyarlı, daha yüksek özgüllüğe sahip olduğunu; negatif incelemenin mikroskobik hastalığı dışlamadığını göstermektedir (Alvarez et al., 2006; Le-Petross et al., 2022).

İnceleme için hasta sırtüstü veya hafif oblik pozisyonda yatırılır; ipsilateral kol abduksiyon ve dış rotasyona getirilerek el başın üzerine veya arkasına yerleştirilir. Yüksek frekanslı lineer prob kullanılır. Derin aksilla veya fazla yağ dokusu bulunan hastalarda daha düşük frekanslı prob gerekebilir. Tarama, aksiller kuyruktan başlanarak lateral göğüs duvarı boyunca inferiora ve aksiller apeks yönüne uzatılır. Seviye II-III nodların değerlendirilmesinde kolun gövdeye yaklaştırılması ve pektoralis minörün referans alınması yararlı olabilir. Bilinen meme kanserinde supraklaviküler fossa ve klinik gereklilik halinde internal mammaryan zincir de değerlendirilmelidir.

Gri skala incelemede normal nod oval, düzgün sınırlı, ince ve uniform korteksli, geniş ekogen yağlı hiluslu görünür. Lobüle dış kontur tek başına malignite anlamına gelmez; korteks ve hilusun birbirini takip ederek daralıp genişlemesi benign nodlarda görülebilir. En önemli şüpheli bulgular fokal veya eksantrik kortikal kalınlaşma, hiler konturu izlemeyen konveks kortikal çıkıntı, kortikal sınırın belirsizleşmesi, hilusun itilmesi ya da kaybı ve nodun yuvarlaklaşmasıdır. Kortikal kalınlık için sıklıkla 3 mm eşiği kullanılsa da tek, evrensel bir eşik yoktur. Küçük nodlar doğal olarak daha yuvarlak ve hilusu daha az belirgin olabileceğinden ölçüm mutlak değerle sınırlı kalmamalı; morfoloji, asimetri ve karşı aksilla ile karşılaştırma birlikte ele alınmalıdır (Choi et al., 2009; Stachs et al., 2015).

Lenf nodu boyutu tek başına zayıf bir metastaz belirtecidir. Büyük reaktif nodlar benign olabilirken, küçük nodlarda makrometastaz bulunabilir. Kısa eksen artışı ve uzun/kısa eksen oranındaki azalma yardımcı olmakla birlikte kortikal morfoloji ve hilus değişiklikleri daha değerlidir. Primer tümörde mikrokalsifikasyon bulunması halinde nod içinde benzer karakterde kalsifikasyon saptanması metastaz açısından yüksek şüphe oluşturur. Diffüz ve düzgün kortikal kalınlaşma ise enfeksiyon, aşı,

granülomatöz hastalık, romatolojik hastalık veya dermatolojik inflamasyon gibi benign durumlarda da görülebilir.

Renkli Doppler inceleme düşük duvar filtresi ve düşük hız ölçeğiyle yapılmalıdır. Normal ve reaktif nodlarda kanlanma çoğunlukla hilustan giren düzenli vasküler ağaç biçimindedir. Periferik damarlar, korteksi penetre eden damarlar, hilusla ilişkisi olmayan düzensiz vasküler odaklar ve anarşik dağılım malignite lehinedir. Özellikle fokal kortikal kalınlaşma gösteren bölümde artmış vasküler kodlanma biyopsi hedefinin seçimine yardımcı olabilir. Power Doppler ve mikrovasküler akım teknikleri düşük hızlı ve ince damarların görünürlüğünü artırabilir; ancak teknik ayarlar ve hareket artefaktları nedeniyle bulgular gri skala morfolojisinin yerine değil, tamamlayıcısı olarak kullanılmalıdır.

Elastografi metastatik nodların artmış sertliğini göstermeyi amaçlayan yardımcı bir yöntemdir. Meta-analizlerde umut verici tanısal performans bildirilmekle birlikte cihaz, teknik ve eşik değerler arasında heterojenlik vardır. Bu nedenle elastografi tek başına biyopsi veya cerrahi kararını belirleyen standart bir yöntem değildir; konvansiyonel ultrason bulgularıyla birlikte yorumlanmalıdır (Huang et al., 2020; Li et al., 2023).

Benign ve Malign Nedenlerin Ayırıcı Tanısı

Aksiller adenopati meme kanserine özgü değildir. Enfeksiyonlar, kedi tırmığı hastalığı, tüberküloz ve diğer granülomatöz hastalıklar, romatolojik ve dermatolojik hastalıklar, silikon implant rüptürüne bağlı silikon lenfadenopatisi, lenfoma ve metastatik melanoma başlıca ayırıcı tanılardır. Reaktif nodlarda kortikal kalınlaşma ve hiperemi görülebilir; ancak hilusun korunması, düzgün kortikal sınır ve yalnızca hiler vaskülarite benigniteyi destekler. Klinik öyküyle açıklanamayan, tek taraflı, persistan veya morfolojik olarak yüksek şüpheli nodlarda doku tanısı gerekir.

Yakın dönemde yapılan aşılar geçici ipsilateral aksiller lenfadenopatiye neden olabilir. Bu durumda aşı yeri ve zamanı

kaydedilmeli; meme bulgusu bulunmayan, düşük riskli ve tipik reaktif morfolojili olgularda gereksiz biyopsiden kaçınmak için klinik bağlama uygun izlem planlanmalıdır. Buna karşılık eşlik eden şüpheli meme bulgusu, bilinen ipsilateral meme kanseri veya progresif morfolojik anormallik varsa aşı öyküsü patolojik değerlendirmeyi ertelemek için tek başına yeterli değildir.

Mamografi

Mamografide normal aksiller lenf nodu, özellikle mediolateral oblik projeksiyonda, düzgün sınırlı oval bir dansite ve radyolüsen yağlı hilus şeklinde görülür. Şüpheli bulgular yuvarlaklaşma, hiler çentiğin kaybı, kortikal dansite artışı, düzensiz veya spiküle sınır, perinodal yağ dokusunda infiltrasyon ve nod içinde primer tümöre benzer mikrokalsifikasyonlardır. Bununla birlikte mamografinin aksiller kapsaması değişkendir ve çoğunlukla yalnızca seviye I nodların bir kısmı görüntülenir. Bu nedenle mamografi aksiller evreleme için tek başına yeterli değildir; mamografide saptanan anormal nod hedefli ultrasonla değerlendirilmelidir (Ecanow et al., 2013; Le-Petross et al., 2022).

Manyetik Rezonans Görüntüleme

Meme MRG, her iki aksillanın karşılaştırmalı olarak ve geniş bir anatomik alan içinde değerlendirilmesine olanak verir. Aksiller apeks, interpektoral alan, internal mammaryan zincir ve supraklaviküler bölge ultrasona göre daha kapsamlı biçimde görülebilir. Yağlı hilus, yağ baskısız serilerde çevre yağ dokusuyla benzer sinyal gösterirken korteks T1 ağırlıklı görüntülerde daha düşük, T2 ağırlıklı görüntülerde görece yüksek sinyallidir. Yuvarlak şekil, kortikal kalınlaşma, hiler kayıp, heterojen sinyal ve kontrastlanma, düzensiz sınır ve perinodal ödem metastaz açısından şüphelidir. Perinodal ödem ve kapsül dışı düzensizlik ekstranodal yayılımı düşündürebilir.

Dinamik kontrastlanma paternleri tek başına yeterince özgül değildir. Difüzyon ağırlıklı görüntüleme ve ADC haritaları artmış hücreselliğe bağlı kısıtlanmayı gösterebilir; ancak benign ve malign

nodlar arasında ADC değerlerinin örtüşmesi, küçük nodlarda kısmi hacim etkisi ve farklı çekim protokolleri nedeniyle kesin bir eşik bulunmamaktadır. Sistematik derlemeler MRG'nin aksiller nodal metastazı saptamada yararlı olduğunu, ancak negatif sonucun patolojik evrelemeyi dışlayamayacağını göstermektedir (Kuijs et al., 2015; Liang et al., 2017).

Pozitron Emisyon Tomografisi/Bilgisayarlı Tomografi

18F-FDG PET/BT, metabolik aktiviteyi anatomik bilgiyle birleştirerek bölgesel ve uzak hastalık yükünü aynı incelemede değerlendirebilir. Aksiller lenf nodlarında fokal artmış FDG tutulumu metastaz lehine olmakla birlikte küçük metastazlarda kısmi hacim etkisi duyarlılığı sınırlar; inflamatuvar ve enfeksiyöz nodlar ise yanlış pozitif sonuçlara yol açabilir. PET/BT'nin özgüllüğü genellikle duyarlılığından yüksektir. Erken evre ve klinik olarak nod negatif hastalarda yalnızca aksiller evreleme amacıyla rutin PET/BT kullanımı uygun değildir; yöntem daha çok lokal ileri hastalıkta veya uzak evreleme endikasyonu bulunan olgularda anlam kazanır (Le-Petross et al., 2022; Liang et al., 2017).

Tablo 2. Aksilla değerlendirmesinde görüntüleme yöntemlerinin temel rolleri

Yöntem	**Temel üstünlük**	**Başlıca sınırlılık**	**Klinik kullanım**
Ultrasonografi	Korteks-hilus morfolojisi; dinamik ve karşılaştırmalı inceleme; biyopsi olanağı	Operatör bağımlılığı; mikrometastaz için düşük duyarlılık	İlk basamak değerlendirme ve girişim rehberliği
Mamografi/DBT	Meme ve kısmen seviye I aksillanın birlikte değerlendirilmesi	Sınırlı aksiller kapsama	Meme incelemesinde tesadüfi nod bulgusu; US'ye yönlendirme
Meme MRG	İki aksilla ve derin nodal istasyonların	Maliyet; özgül olmayan	Meme MRG endikasyonu olan hastada

	geniş alanlı değerlendirilmesi	kontrastlanma ve difüzyon bulguları	tamamlayıcı nodal değerlendirme
18F-FDG PET/BT	Bölgesel ve uzak metabolik hastalık yükünün birlikte gösterilmesi	Küçük metastazlarda düşük duyarlılık; inflamatuvar yanlış pozitiflik	Lokal ileri hastalık ve sistemik evreleme endikasyonu

Kaynak: Le-Petross et al. (2022), Kuijs et al. (2015) ve Liang et al. (2017) temel alınarak hazırlanmıştır.

Görüntüleme Eşliğinde Aksiller Lenf Nodu Biyopsisi

Şüpheli aksiller lenf nodunda ultrason eşliğinde ince iğne aspirasyon biyopsisi veya kor iğne biyopsisi uygulanabilir. İnce iğne aspirasyonu hızlı, düşük maliyetli ve düşük komplikasyon riskli bir yöntemdir; sitopatolog eşliğinde hızlı yeterlilik değerlendirmesi tanısal verimi artırabilir. Bununla birlikte örnek yetersizliği, lenfoma alt tiplendirmesi ve tümör morfolojisi için sınırlı materyal dezavantajlarıdır. Kor iğne biyopsisi daha fazla doku sağlar, histolojik mimariyi ve immünohistokimyasal incelemeyi mümkün kılar ve genel olarak daha yüksek duyarlılığa sahiptir. Meta-analizler her iki yöntemin de yüksek özgüllük taşıdığını, kor biyopsinin özellikle yeterli örnek alındığında duyarlılık açısından avantajlı olduğunu göstermektedir (Balasubramanian et al., 2018; Pyo et al., 2020).

Hedef olarak en büyük nod yerine morfolojik olarak en şüpheli nod seçilmelidir. Fokal kortikal kalınlaşma varsa iğne o bölgeye yönlendirilmelidir. Damar-sinir paketi, aksiller arter ve ven ile torakodorsal ve uzun torasik sinirlerin olası seyri göz önünde bulundurulmalı; güvenli iğne yolu gerçek zamanlı olarak izlenmelidir. Derin veya kritik komşuluklu nodlarda yarı otomatik iğneler kontrolü artırabilir. Meme dışı primer, lenfoma veya granülomatöz hastalık olasılığında kor biyopsi ve uygun ek laboratuvar incelemeleri tercih edilmelidir.

Görüntüleme Eşliğinde Aksiller İşaretleme ve Hedeflenmiş Aksiller Diseksiyon

Neoadjuvan sistemik tedavi planlanan ve biyopsiyle nod pozitifliği doğrulanan hastalarda, tedavi öncesi patolojik nodun işaretlenmesi giderek önem kazanmıştır. Tedavi sonrası nod küçülebilir, morfolojisi normale dönebilir veya sentinel nod olmayabilir. Bu nedenle başlangıçta pozitif olduğu bilinen nodun cerrahi sırasında bulunabilmesi için ultrason eşliğinde klip veya başka bir marker yerleştirilmesi, patolojik yanıtın doğrudan değerlendirilmesini sağlar.

Hedeflenmiş aksiller diseksiyon, sentinel lenf nodlarının çıkarılması ile işaretli nodun hedefli eksizyonunu birleştirir. ACOSOG Z1071 ve SENTINA çalışmaları başlangıçta nod pozitif olup neoadjuvan tedavi sonrası klinik olarak nod negatif hale gelen hastalarda yalnızca sentinel lenf nodu cerrahisinin yanlış negatiflik sorununun altını çizmiştir. İşaretli nodun çıkarıldığının doğrulanması ve birden fazla sentinel nodun örneklenmesi yanlış negatifliği azaltır (Boughey et al., 2013, 2016; Kuehn et al., 2013). Caudle ve arkadaşlarının hedeflenmiş aksiller diseksiyon yaklaşımı, işaretli nodun sentinel nodlarla birlikte çıkarılmasının evreleme doğruluğunu artırabileceğini göstermiştir (Caudle et al., 2016).

İşaretleme için cerrahi klipler, hidrojel içeren markerlar, nitinol tabanlı klipler, radyoaktif iyot tohumları, manyetik tohumlar, radar reflektörleri ve karbon süspansiyonu gibi yöntemler kullanılabilir. Seçim; yerel mevzuat, nükleer tıp altyapısı, maliyet, markerın MRG görünürlüğü, yer değiştirme riski ve cerrahi planla ilişkilidir. MARI yönteminde biyopsiyle pozitif nod tedavi öncesinde radyoaktif iyot tohumu ile işaretlenerek tedavi sonrası selektif olarak çıkarılır (Donker et al., 2015). Marker yerleştirme raporunda nod seviyesi, marker tipi, yerleşimi ve varsa mamografik veya MRG görünürlüğü belirtilmelidir.

Neoadjuvan Tedavi Sonrası Aksiller Değerlendirme

Neoadjuvan tedavi sürecinde primer tümör ile aksiller metastazların yanıtı farklı olabilir. Tedavi sonrası ultrason, MRG veya PET/BT'de lenf nodunun küçülmesi, korteksin incelmesi, yağlı hilusun yeniden belirginleşmesi, vaskülaritenin ve FDG tutulumunun azalması yanıt lehinedir. Buna karşılık stabil veya artan boyut, persistan kortikal düzensizlik, hiler kayıp, perinodal invazyon veya devam eden belirgin metabolik aktivite rezidü hastalık şüphesini artırır.

Radyolojik tam yanıt, nodların normal morfolojiye dönmesi veya patolojik metabolik aktivitenin kaybolması olarak tanımlanabilir; ancak görüntüleme ile küçük rezidü metastatik odakların dışlanması mümkün değildir. Neoadjuvan tedavi sonrası aksiller yanıtı değerlendiren meta-analizler, ultrason, MRG ve PET/BT'nin patolojik tam yanıtı tek başına yeterli doğrulukla belirleyemediğini göstermektedir (Samiei et al., 2021). Bu nedenle cerrahi karar görüntüleme bulgularına ek olarak başlangıç nodal evre, biyolojik alt tip, klinik yanıt, marker durumu ve güncel multidisipliner protokollerle verilmelidir.

Tedavi sonrası görüntülemede işaretli nodun bulunması kritik önemdedir. Klip sonografik olarak görünmüyorsa mamografi/DBT, MRG veya uygun lokalizasyon tekniğinden yararlanılabilir. Radyolog, işaretli nodun rezidü morfolojisini ve diğer şüpheli nodların sayısını raporlamalı; lokalizasyon işleminde markerın hedeflenen nod içinde veya hemen komşuluğunda olduğundan emin olmalıdır. İşaretli nodun cerrahi spesimen grafisinde veya uygun intraoperatif yöntemle doğrulanması, hedeflenmiş yaklaşımın güvenilirliğini artırır.

Raporlama İçin Pratik Yaklaşım

Standartlaştırılmış bir aksiller ultrason raporunda klinik endikasyon ve taraf, değerlendirilen nodal istasyonlar, en şüpheli nodun seviyesi ve konumu, kortikal kalınlık ve dağılımı, hilus durumu, şekil, sınır ve vaskülarite özellikleri, şüpheli nod sayısı, karşı aksilla ile karşılaştırma ve önerilen işlem yer almalıdır. Biyopsi

yapılmışsa hedeflenen nodun özellikleri, kullanılan yöntem ve iğne kalınlığı, örnek sayısı, marker yerleştirilip yerleştirilmediği ve komplikasyon bilgisi kaydedilmelidir.

Morfolojik olarak düşük şüpheli bir nod için yalnızca "büyümüş lenf nodu" ifadesi yetersizdir. Benzer biçimde "reaktif" tanımı klinik öykü ve tipik benign morfolojiyle desteklenmelidir. Bilinen meme kanserinde şüpheli nodun saptanması, biyopsi sonucunun cerrahi yaklaşımı değiştirebileceği durumlarda görüntüleme eşliğinde örneklemeyi gerektirir. Rapor, multidisipliner ekibin klinik sorusuna doğrudan yanıt vermeli ve görüntüleme sınırlarını açıkça ifade etmelidir.

Sonuç

Aksiller görüntüleme, meme kanserinin tanı ve tedavi sürecinde giderek daha kişiselleştirilmiş bir role sahiptir. Ultrasonografi morfolojik değerlendirme ve girişim rehberliği için temel yöntemdir; mamografi, MRG ve PET/BT klinik bağlama göre tamamlayıcı bilgi sağlar. Metastaz öngörüsünde en değerli bulgular kortikal morfoloji, yağlı hilusun durumu, nod şekli, sınır özellikleri ve vasküler paterndir; boyut tek başına yeterli değildir. Görüntüleme negatifliği mikroskobik metastazı dışlamaz ve patolojik evrelemenin yerine geçmez.

Neoadjuvan tedavi çağında radyoloğun sorumluluğu yalnızca anormal nodu saptamak değil, doğru nodu biyopsi yapmak, tedavi öncesinde işaretlemek, tedavi sonrası markerı ve nodal yanıtı değerlendirmek ve hedeflenmiş aksiller cerrahiye güvenilir yol haritası sağlamaktır. Standart teknik, ayrıntılı morfolojik raporlama ve multidisipliner iş birliği, aksiller cerrahinin gereksiz morbiditesini azaltırken onkolojik güvenliğin korunmasına katkıda bulunur.

Kaynakça/References

Alvarez, S., Añorbe, E., Alcorta, P., López, F., Alonso, I., & Cortés, J. (2006). Role of sonography in the diagnosis of axillary lymph node metastases in breast cancer: A systematic review. American Journal of Roentgenology, 186(5), 1342-1348. https://doi.org/10.2214/AJR.05.0936

Amin, M. B., Edge, S. B., Greene, F. L., Byrd, D. R., Brookland, R. K., Washington, M. K., Gershenwald, J. E., Compton, C. C., Hess, K. R., Sullivan, D. C., Jessup, J. M., Brierley, J. D., Gaspar, L. E., Schilsky, R. L., Balch, C. M., Winchester, D. P., Asare, E. A., Madera, M., Gress, D. M., & Meyer, L. R. (Eds.). (2017). AJCC cancer staging manual (8th ed.). Springer.

Balasubramanian, I., Fleming, C. A., Corrigan, M. A., Redmond, H. P., Kerin, M. J., & Lowery, A. J. (2018). Meta-analysis of the diagnostic accuracy of ultrasound-guided fine-needle aspiration and core needle biopsy in diagnosing axillary lymph node metastasis. British Journal of Surgery, 105(10), 1244-1253. https://doi.org/10.1002/bjs.10920

Boughey, J. C., Ballman, K. V., Le-Petross, H. T., McCall, L. M., Mittendorf, E. A., Ahrendt, G. M., Wilke, L. G., Taback, B., Feliberti, E. C., Hunt, K. K., & Haffty, B. G. (2016). Identification and resection of the clipped node decreases the false-negative rate of sentinel lymph node surgery in patients presenting with node-positive breast cancer (T0-T4, N1-N2) who receive neoadjuvant chemotherapy: Results from ACOSOG Z1071 (Alliance). Annals of Surgery, 263(4), 802-807. https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000001375

Boughey, J. C., Suman, V. J., Mittendorf, E. A., Ahrendt, G. M., Wilke, L. G., Taback, B., Leitch, A. M., Kuerer, H. M., Bowling, M., Flippo-Morton, T. S., Byrd, D. R., Ollila, D. W., Julian, T. B., McLaughlin, S. A., McCall, L., Symmans, W. F., Le-Petross, H. T., Haffty, B. G., Buchholz, T. A., ... Hunt, K. K. (2013). Sentinel lymph node surgery after neoadjuvant chemotherapy in patients with node-positive breast cancer: The ACOSOG Z1071 (Alliance) clinical trial. JAMA, 310(14), 1455-1461. https://doi.org/10.1001/jama.2013.278932

Caudle, A. S., Yang, W. T., Krishnamurthy, S., Mittendorf, E. A., Black, D. M., Gilcrease, M. Z., Bedrosian, I., Hobbs, B. P., DeSnyder, S. M., Hwang, R. F., Adrada, B. E., Shaitelman, S. F., Chavez-MacGregor, M., Smith, B. D., Candelaria, R. P., Babiera, G. V., Dogan, B. E., Santiago, L., Hunt, K. K., & Kuerer, H. M. (2016). Improved axillary evaluation following neoadjuvant therapy for patients with node-positive breast cancer using selective evaluation of clipped nodes: Implementation

of targeted axillary dissection. Journal of Clinical Oncology, 34(10), 1072-1078. https://doi.org/10.1200/JCO.2015.64.0094

Choi, Y. J., Ko, E. Y., Han, B. K., Shin, J. H., Kang, S. S., & Hahn, S. Y. (2009). High-resolution ultrasonographic features of axillary lymph node metastasis in patients with breast cancer. The Breast, 18(2), 119-122. https://doi.org/10.1016/j.breast.2009.02.004

Donker, M., Straver, M. E., Wesseling, J., Loo, C. E., Schot, M., Drukker, C. A., van Tinteren, H., Sonke, G. S., Rutgers, E. J. T., & Vrancken Peeters, M.-J. T. F. D. (2015). Marking axillary lymph nodes with radioactive iodine seeds for axillary staging after neoadjuvant systemic treatment in breast cancer patients: The MARI procedure. Annals of Surgery, 261(2), 378-382. https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000000558

Ecanow, J. S., Abe, H., Newstead, G. M., Ecanow, D. B., & Jeske, J. M. (2013). Axillary staging of breast cancer: What the radiologist should know. RadioGraphics, 33(6), 1589-1612. https://doi.org/10.1148/rg.336125060

Giuliano, A. E., Ballman, K. V., McCall, L., Beitsch, P. D., Brennan, M. B., Kelemen, P. R., Ollila, D. W., Hansen, N. M., Whitworth, P. W., Blumencranz, P. W., Leitch, A. M., Saha, S., Hunt, K. K., & Morrow, M. (2017). Effect of axillary dissection vs no axillary dissection on 10-year overall survival among women with invasive breast cancer and sentinel node metastasis: The ACOSOG Z0011 (Alliance) randomized clinical trial. JAMA, 318(10), 918-926. https://doi.org/10.1001/jama.2017.11470

Houssami, N., Ciatto, S., Turner, R. M., Cody, H. S., III, & Macaskill, P. (2011). Preoperative ultrasound-guided needle biopsy of axillary nodes in invasive breast cancer: Meta-analysis of its accuracy and utility in staging the axilla. Annals of Surgery, 254(2), 243-251. https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e31821f1564

Huang, X. W., Huang, Q. X., Huang, H., Cheng, M. Q., Tong, W. J., Xian, M. F., & Liu, J. B. (2020). Diagnostic performance of quantitative and qualitative elastography for axillary lymph node metastasis in breast cancer: A systematic review and meta-analysis. Frontiers in Oncology, 10, 552177. https://doi.org/10.3389/fonc.2020.552177

Kuehn, T., Bauerfeind, I., Fehm, T., Fleige, B., Hausschild, M., Helms, G., Lebeau, A., Liedtke, C., von Minckwitz, G., Nekljudova, V., Schmatloch, S., Schrenk, P., Staebler, A., & Untch, M. (2013). Sentinel-lymph-node biopsy in patients with breast cancer before and after

neoadjuvant chemotherapy (SENTINA): A prospective, multicentre cohort study. The Lancet Oncology, 14(7), 609-618. https://doi.org/10.1016/S1470-2045(13)70166-9

Kuijs, V. J. L., Moossdorff, M., Schipper, R. J., Beets-Tan, R. G. H., Heuts, E. M., Keymeulen, K. B. M. I., Smidt, M. L., & Lobbes, M. B. I. (2015). The role of MRI in axillary lymph node imaging in breast cancer patients: A systematic review. Insights into Imaging, 6(2), 203-215. https://doi.org/10.1007/s13244-015-0404-2

Le-Petross, H. T., Slanetz, P. J., Lewin, A. A., Bao, J., Chen, B., Chernyak, V., Desai, S. R., Eghtedari, M., Heller, S. L., Holbrook, A. I., Kilcoyne, A., Lourenco, A. P., Moy, L., Newell, M. S., Rauch, G. M., Slanetz, P. J., & Expert Panel on Breast Imaging. (2022). ACR Appropriateness Criteria® imaging of the axilla. Journal of the American College of Radiology, 19(5S), S87-S113. https://doi.org/10.1016/j.jacr.2022.02.010

Li, J., Wang, Y., Li, Q., Zhu, Y., Zhu, C., Chen, M., & Cui, X.-W. (2023). Diagnostic value of multiple ultrasound diagnostic techniques for axillary lymph node metastases in breast cancer: A systematic analysis and network meta-analysis. Frontiers in Oncology, 12, 1043185. https://doi.org/10.3389/fonc.2022.1043185

Liang, X., Yu, J., Wen, B., Xie, J., Cai, Q., & Yang, Q. (2017). MRI and FDG-PET/CT based assessment of axillary lymph node metastasis in early breast cancer: A meta-analysis. Clinical Radiology, 72(4), 295-301. https://doi.org/10.1016/j.crad.2016.12.001

Pyo, J.-S., Jung, J., Lee, S. G., Kim, N.-Y., & Kang, D.-W. (2020). Diagnostic accuracy of fine-needle aspiration cytology and core-needle biopsy in the assessment of the axillary lymph nodes in breast cancer: A meta-analysis. Diagnostics, 10(9), 717. https://doi.org/10.3390/diagnostics10090717

Samiei, S., de Mooij, C. M., Lobbes, M. B. I., Keymeulen, K. B. M. I., van Nijnatten, T. J. A., & Smidt, M. L. (2021). Diagnostic performance of noninvasive imaging for assessment of axillary response after neoadjuvant systemic therapy in clinically node-positive breast cancer: A systematic review and meta-analysis. Annals of Surgery, 273(4), 694-700. https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000004356

Stachs, A., Thi, A. T.-H., Dieterich, M., Stubert, J., Hartmann, S., Glass, Ä., Reimer, T., & Gerber, B. (2015). Assessment of ultrasound features predicting axillary nodal metastasis in breast cancer: The impact of cortical thickness. Ultrasound International Open, 1(1), E19-E24. https://doi.org/10.1055/s-0035-1555872

BÖLÜM 4

MULTİPARAMETRİK PROSTAT MANYETİK REZONANS GÖRÜNTÜLEME [1]

[1] Prof. Dr, Yozgat Bozok Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyoloji AD, Orcid: 0000-0002-6266-5177

Giriş

Prostat kanseri teşhis ve yönetiminde son on yılda yaşanan evrimi anlamak, modern üroradyolojinin temelini oluşturur. Tarihsel olarak prostat kanseri taraması ve teşhisi, serum prostat spesifik antijen (PSA) ölçümü ve dijital rektal muayene (DRE) ile başlamış, ardından transrektal ultrasonografi (TRUS) eşliğinde yapılan sistematik biyopsilerle devam etmiştir. Ancak bu körlemesine (sistematik) biyopsi yaklaşımı, klinik olarak anlamsız, düşük riskli hastalıkların aşırı teşhisine (overdiagnosis) yol açarken; özellikle prostatın anterior veya apikal yerleşimli agresif tümörlerinin gözden kaçmasına neden olmuştur. Günümüzde bu tablo, multiparametrik prostat manyetik rezonans görüntülemenin (mpMRG) klinik pratiğe girmesiyle köklü bir "görüntüleme eşliğinde hassas tıp" (image-guided precision medicine) paradigmasına dönüşmüştür.

Bölüm I: Donanım Standartları ve Teknik Gereksinimler

Prostat mpMRG'nin tanısal etkinliği, görüntü kalitesine doğrudan bağlıdır. Amerikan Radyoloji Koleji (ACR) ve Avrupa Ürogenital Radyoloji Derneği (ESUR) kılavuzlarına göre, prostat görüntülemesinde ideal olan 3.0 Tesla (3T) manyetik alan gücüne sahip cihazların kullanılmasıdır. 3.0T sistemler, 1.5T sistemlere göre iki kat daha yüksek sinyal-gürültü oranı (SNR) sunarak daha yüksek uzaysal (spatial) ve zamansal çözünürlük sağlar. Ancak, modern yazılımlarla güncellenmiş ve uygun sargılarla (coil) desteklenmiş 1.5T cihazlar da kabul edilebilir tanısal kalite sunabilmektedir.

Yüzeyel (pelvik phased-array) sargılara ek olarak endorektal sargı (ERC) kullanımı tartışmalı bir konudur. ERC, rektuma yerleştirilerek prostata çok yakın bir mesafeden sinyal alır ve SNR'yi 5 kata kadar artırabilir. Özellikle 1.5T cihazlarda veya

mikroskobik ekstrakapsüler uzanımın (ECE) değerlendirildiği evreleme aşamalarında ERC kullanımı "ideal" olarak kabul edilebilir. Ancak ERC'nin maliyeti, hasta rahatsızlığı, hava ile şişirildiğinde difüzyon ağırlıklı görüntülerde (DWI) distorsiyona yol açan manyetik duyarlılık (susceptibility) artefaktları yaratması gibi dezavantajları vardır (Alexander A, 2025.13). . Bu nedenle modern 3.0T sistemlerde, endorektal sargı olmadan, sadece pelvik yüzey sargıları ile son derece yüksek kalitede görüntüler elde etmek standart pratik haline gelmiştir.

1.1. Hasta Hazırlığı

Optimum görüntü kalitesi için hasta hazırlığı kritik öneme sahiptir. Rektumdaki dışkı ve hava, manyetik duyarlılık artefaktlarına yol açarak özellikle Difüzyon Ağırlıklı Görüntülemeyi (DWI) ve ADC haritalarını bozabilir. Bu nedenle hastaların incelemeden 2-3 saat önce bir lavman (örn. Fleet enema) uygulaması ve tetkikten önce hafif bir diyetle (yaklaşık 4 saatlik açlık) gelmesi önerilir. Bağırsak peristaltizmini azaltmak için glukagon veya skopolamin gibi antispazmodik ajanlar kullanılabilir. Ayrıca, seminal veziküllerin fizyolojik olarak distandü kalması ve kanser invazyonu açısından daha iyi değerlendirilebilmesi için hastalardan işlemden 48-72 saat öncesinden itibaren cinsel perhiz yapmaları istenir.

Eğer hasta yakın zamanda TRUS biyopsisi geçirmişse, biyopsiye bağlı kanamalar T1 ağırlıklı serilerde hiperintens, T2 ve DWI serilerinde ise tümörü taklit edebilecek veya gizleyebilecek şekilde hipointens görülür. Bu nedenle, evreleme veya tanısal amaçlı MRG'nin biyopsiden en az 6-8 hafta sonra yapılması klinik bir kuraldır.

1.2. Temel MRG Sekansları ve Biyofiziksel Prensipler

Multiparametrik MRG terimi, anatomik ve fonksiyonel görüntüleme tekniklerinin sinerjik kombinasyonunu ifade eder.

T2-Ağırlıklı Görüntüleme (T2W): Anatomik değerlendirmenin temel taşıdır. Yüksek uzaysal çözünürlükle prostatın zonal anatomisini mükemmel şekilde ortaya koyar (aksiyel, koronal ve sagital planlarda, maksimum 3-4 mm kesit kalınlığı ile). Sağlıklı bir prostatta, periferik zon (PZ) duktal yapılarında bol miktarda su içerdiği için T2W kesitlerde parlak (hiperintens) görünür. Kanser dokusu ise normal glandüler yapıyı yıkarak yoğun hücre paketleri oluşturduğu için su içeriğini kaybeder ve koyu (hipointens) bir odak olarak izlenir (Giganti G, 2023.629). Radyolojide malign lezyonların bu sınırları belirsiz, koyu görünümüne "silinmiş karakalem" (erased charcoal) işareti denir. T2W aynı zamanda prostat kapsülünü, nörovasküler demetleri ve seminal vezikülleri değerlendirerek lokal evreleme (T evrelemesi) yapılmasını sağlar.

Difüzyon Ağırlıklı Görüntüleme (DWI) ve ADC Haritası: Fonksiyonel görüntülemenin en kritik bileşenidir. Su moleküllerinin doku içindeki rastgele (Brownian) hareketini ölçer. Prostat kanseri gibi hücre yoğunluğu (sellülarite) yüksek ve nükleus/sitoplazma oranı artmış tümörlerde suyun serbest hareketi kısıtlanır. Bu "kısıtlanmış difüzyon", yüksek b-değerli ($b \geq 1400$ s/mm²) görüntülerde parlak (hiperintens) sinyal, ADC (Görünür Difüzyon Katsayısı) haritasında ise koyu (hipointens) sinyal olarak karşımıza çıkar. Niceliksel ADC değerleri, tümörün agresifliği (Gleason skoru) ile ters orantılıdır. Yani ADC değeri ne kadar düşükse, tümör o kadar agresiftir. Klinik pratikte 750-900 x 10^{-6} mm²/s'nin altındaki ADC değerleri malignite açısından yüksek şüphe uyandırır.

Dinamik Kontrastlı Görüntüleme (DCE-MRI): Gadolinyum bazlı kontrast maddelerin intravenöz enjeksiyonu sırasında ve sonrasında hızlı ardışık T1 ağırlıklı kesitlerin alınmasıdır. Tümör anjiyogenezisini değerlendirir. Kanserli dokularda, tümörün büyümesini desteklemek için oluşan yeni ve düzensiz damarlar

(neovaskülarizasyon) "sızdırgan" (leaky) özelliktedir. Bu nedenle malign lezyonlar, normal prostat dokusuna kıyasla kontrast maddeyi çok daha hızlı alır (erken fokal boyanma - wash-in) ve hızlıca atar (wash-out). Mevcut PI-RADS kılavuzlarında DCE'nin rolü, farmakokinetik eğrilerden (Tofts modeli, Ktrans, kep vb.) ziyade "pozitif" veya "negatif" olarak kalitatif bir değerlendirmeye indirgenmiştir.

Bölüm II: PI-RADS v2.1 Raporlama Sistemi ve Zonal Kurallar

Prostat Görüntüleme Raporlama ve Veri Sistemi (PI-RADS), mpMRG bulgularının standardizasyonu için geliştirilmiştir. Güncel PI-RADS v2.1, klinik olarak anlamlı prostat kanseri (csPCa - Gleason skoru ≥ 7, hacim > 0.5 cc veya ekstrakapsüler uzanım) bulunma olasılığını 1 ile 5 arasında bir skorla ifade eder:

PI-RADS 1: Çok düşük risk

PI-RADS 2: Düşük risk

PI-RADS 3: Orta (Şüpheli) risk

PI-RADS 4: Yüksek risk

PI-RADS 5: Çok yüksek risk

Zonal anatomik değerlendirme kuralları PI-RADS v2.1'in kalbidir: Periferik Zon (PZ): PZ'de kanser tespiti için dominant sekans DWI'dır. Bir lezyon DWI'da yüksek kısıtlanma gösteriyorsa (DWI skoru 4), T2W skoru ne olursa olsun genel PI-RADS skoru 4 olur. Eğer PZ'de lezyon DWI'da PI-RADS 3 (orta şüphe) skorunu alıyorsa, "eşitlik bozucu" (tie-breaker) olarak DCE devreye girer. DCE pozitifse (erken fokal boyanma varsa), lezyon PI-RADS 4'e yükseltilir; negatifse 3 olarak kalır. Transizyonel Zon (TZ): TZ, BPH nodülleri (glandüler ve stromal nodüller) nedeniyle son derece heterojendir ve BPH nodülleri de difüzyon kısıtlanması ve kontrast tutulumu gösterebilir (Emmett E, 2024.65). Bu nedenle TZ'de

dominant sekans T2W'dir. Klasik, iyi sınırlı BPH nodülleri PI-RADS 1 veya 2 alırken, kapsülsüz, homojen, lentiküler "silinmiş karakalem" lezyonlar kanser şüphesi taşır. Eğer TZ'deki bir lezyon T2W'de PI-RADS 3 alıyorsa, eşitlik bozucu olarak DWI'ya bakılır. DWI skoru ≥4 ise lezyon PI-RADS 4'e yükseltilir.

Her iki zonda da, şüpheli lezyonun en büyük çapı 1.5 cm'yi geçiyorsa veya ekstrakapsüler uzanım (ECE) bulgusu varsa lezyon doğrudan PI-RADS 5 olarak sınıflandırılır. Prostat, PI-RADS v2.1'e göre 41 anatomik sektöre ayrılır ve radyolog, en yüksek skora sahip olan "indeks lezyonu" (veya ECE gösteren lezyonu) belirleyerek haritalandırmalıdır.

Bölüm III: Biyopsi, Klinik Karar Verme ve PSA Dansitesi

PI-RADS 4 ve 5 lezyonlar büyük olasılıkla kanser barındırdığından biyopsi endikasyonu kesindir. PROMIS ve PRECISION gibi dönüm noktası niteliğindeki randomize klinik çalışmalar, MRG eşliğinde hedefe yönelik (füzyon) biyopsilerin, geleneksel TRUS biyopsilerine göre daha fazla "klinik olarak anlamlı kanser" (csPCa) tespit ettiğini ve gereksiz "anlamsız" kanser tanısını (Gleason 6) azalttığını kanıtlamıştır (Klotz K, 2021,534). PI-RADS 3 lezyonları klinik bir zorluk (gri zon) olmaya devam etmektedir. Burada PSA Dansitesi (PSAD) (Total PSA / Prostat Hacmi) önemli bir risk modifikatörüdür. PI-RADS 3 bir lezyonda PSAD ≥ 0.15 ng/mL/cc ise biyopsi eğilimi artarken, < 0.10 ng/mL/cc olan hastalarda yakın aktif izlem (active surveillance) düşünülebilir..

Bölüm IV: Biparametrik MRG Yaklaşımı

Kontrast maddenin (gadolinyum) getirdiği maliyet, zaman kaybı ve böbrek yetmezliği olan hastalardaki riskler (NSF), DCE sekansının çıkarıldığı ve sadece T2W ile DWI'dan oluşan "Biparametrik MRG" (bpMRG) protokollerinin doğmasına yol açmıştır. Literatür (meta-analizler), bpMRG'nin klinik olarak

anlamlı kanser tespitinde mpMRG'ye benzer bir doğruluk (sensitivite ve spesifisite) sunduğunu göstermektedir. Hızlı, ekonomik ve kontrast gerektirmeyen bu yöntem, özellikle popülasyon taramaları veya ilk biyopsi öncesi triyaj için büyük bir potansiyele sahiptir. Ancak, DCE'nin eksikliği, PZ'deki PI-RADS 3 lezyonların PI-RADS 4'e yükseltilememesine ve kalça protezi olan hastalarda DWI'ın artefakt nedeniyle bozulduğu durumlarda alternatif bir sekansın bulunmamasına yol açabilir.

Bölüm V: Tedavi Planlaması ve Fokal Terapi Sonrası Takip

Prostat MRG, sadece teşhis için değil, radikal prostatektomi öncesi lokal evreleme (sinir koruyucu cerrahinin planlanması) için de paha biçilmezdir. Ekstrakapsüler uzanımın (ECE) MRG bulguları arasında tümörün kapsüle 1 cm'den fazla geniş tabanlı oturması, kapsülde dışa doğru bombeleşme, rektoprostatik açının silinmesi ve nörovasküler demetin asimetrisi yer alır (McHugh M, 2025,14).Seminal vezikül invazyonu (SVI) ise T2 ağırlıklı serilerde normal hiperintens sıvının kaybı ve direkt tümöral uzanım ile tanınır.

Günümüzde, radikal cerrahinin inkontinans ve erektil disfonksiyon gibi morbiditelerinden kaçınmak için, sadece indeks lezyonun ablate edildiği Fokal Terapi (Kriyoterapi, HIFU, IRE, Lazer Ablasyon, MTC vb.) giderek popülerleşmektedir. Fokal terapi sonrası radyoloğun tedavi edilen bölgeyi (ablasyon zonu) MRG ile takip etmesi zorunludur (Jochumsen C, 2024,54).

Tedavi modalitesine göre erken dönem (ilk 6 ay) MRG bulguları farklılık gösterir. Örneğin fokal kriyoterapide, hücre zarlarının buz kristalleri ile yırtılması aşırı hemorajiye neden olur; bu durum T1W serilerinde belirgin hiperintensite olarak izlenir. Mikrodalga doku koagülasyonunda (MTC) ise termal fiksasyon nedeniyle daha hafif bir T1 hiperintensitesi görülür. Erken dönemde her iki tedavide de granülasyon dokusu ve inflamasyona bağlı

olarak ablasyon kavitesi çevresinde "çevresel (rim) tarzda kontrastlanma" ve T2/DWI'da hipointens bir halka görülmesi tipiktir. Ancak geç dönemde (>12 ay) bulgular ortaklaşır ve skar (fibrozis) dokusuna dönüşür. Fibrozis, tüm sekanslarda (T2W, DWI, ADC) koyu (hipointens) sinyal verir ve DCE'de kontrast tutmaz. Eğer fokal tedavi sonrasında bu ablasyon alanı içinde (in-field) veya sınırında, fokal nodüler ve erken güçlü kontrast tutan, aynı zamanda belirgin difüzyon kısıtlaması gösteren (ADC haritasında çok düşük, yüksek b-değerli DWI'da yüksek sinyal) bir alan saptanırsa, bu durum tümör nüksü (rezidü/rekürrens) lehine yorumlanmalıdır. Bu takipleri standardize etmek için yakın zamanda PI-FAB ve TARGET gibi yeni skorlama sistemleri önerilmiştir. Bu sistemlerde lokal nüks tespiti için dominant sekans DCE'dir.

Bölüm VI: Kontrast Madde Güvenliği ve Nefrojenik Sistemik Fibrozis (NSF)

Gadolinyum bazlı kontrast maddelerin (GBCA) böbrek fonksiyon bozukluğu olan hastalarda kullanımı, uzun yıllar Nefrojenik Sistemik Fibrozis (NSF) korkusuyla kısıtlanmıştır. NSF, cildin ve iç organların fibrozisi ile giden, ölümcül olabilen sistemik bir hastalıktır. Ancak, Amerikan Radyoloji Koleji'nin (ACR) 2025 Kontrast Madde Kılavuzu, bu konudaki paradigmaları kökten değiştirmiştir.

GBCA'lar termodinamik ve kinetik yapılarına göre Sınıf I (Lineer) ve Sınıf II (Makrosiklik) olarak ayrılır. NSF vakalarının neredeyse tamamı, stabil olmayan Sınıf I lineer ajanlarla görülmüştür. Günümüzde prostat MRG'de kullandığımız gadobutrol, gadoterat meglumin, gadoteridol gibi Sınıf II makrosiklik ajanlarla, diyaliz hastalarında veya eGFR < 30 mL/dk/1.73m² olan ciddi kronik böbrek yetmezliği hastalarında bile kanıtlanmış unconfounded (karışım olmayan) NSF vakası

bildirilmemiştir. Bu doğrultuda ACR ve Ulusal Böbrek Vakfı (NKF) konsensus raporları; Sınıf II ajanların standart dozda (0.1 mmol/kg) kullanılmasının son derece güvenli olduğunu, bu hastalar için eGFR testi bakılmasının artık zorunlu (opsiyonel) olmadığını ve MRG işleminin ardından hastaların acil diyalize alınmasına gerek olmadığını belirtmektedir. Ayrıca, kontrast ajanın engellenmesinin yol açacağı gecikmiş kanser teşhisi riskinin, NSF riskinden (neredeyse sıfır) çok daha ağır bastığı unutulmamalıdır. Yine de, diyaliz hastalarında rutin damar içi iyotlu ajanlar ve BT yerine MRG önerilirken; eGFR eşik değerleri dikkate alınarak doğru ajan seçimi radyoloğun asli sorumluluğundadır.

Sonuç

Multiparametrik Prostat MRG, sadece şüpheli lezyonları bulmakla kalmayan, aynı zamanda histolojik agresifliklerini öngörebilen, biyopsiyi yönlendiren ve fokal/radikal tedavilerin takibini sağlayan devrimsel bir biyobelirteçtir. Radyoloji pratiğinde PI-RADS v2.1 kurallarına sıkı sıkıya uyulması, donanım optimizasyonu ve klinisyen (ürolog-radyolog-patolog) işbirliği, hasta yönetimini en üst seviyeye taşıyacaktır. İlerleyen yıllarda yapay zeka (AI) ve radyomiklerin (radiomics) bu sisteme entegrasyonu, insan gözünün ayırt edemeyeceği mikro-fokusların tespiti ile tanıda yeni bir çığır açacaktır.

Kaynakça/Referances

Alexander & ark.(2025). Biparametric vs Multiparametric MRI for Prostate Cancer Diagnosis: The PRIME Diagnostic Clinical Trial." *JAMA.(334,13)*

Giganti & ark.(2023). Prostate Imaging after Focal Ablation (PI-FAB): A Proposal for a Scoring System for Multiparametric MRI of the Prostate After Focal Therapy." *European urology oncology* vol. 6(6),629

Emmett & ark.(2024). Reproducibility and Accuracy of the PRIMARY Score on PSMA PET and of PI-RADS on Multiparametric MRI for Prostate Cancer Diagnosis Within a Real-World Database. *Journal of nuclear medicine : official publication, Society of Nuclear Medicine* (65,94).

McHugh & ark.(2025). Assessment of a Polygenic Risk Score in Screening for Prostate Cancer." *The New England journal of medicine* (392,14)

Jochumsen & ark.(2024). PSMA PET/CT for Primary Staging of Prostate Cancer - An Updated Overview." *Seminars in nuclear medicine (54,39).*

Klotz & ark.(2021).Comparison of Multiparametric Magnetic Resonance Imaging-Targeted Biopsy With Systematic Transrectal Ultrasonography Biopsy for Biopsy-Naive Men at Risk for Prostate Cancer: A Phase 3 Randomized Clinical Trial. *JAMA oncology* (7,534).

BÖLÜM 5

YAPAY ZEKA VE RADYOLOJİNİN GELECEĞİ

MUSTAFA FATİH ERKOÇ[1]

[1] Prof. Dr, Yozgat Bozok Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyoloji AD, Orcid: 0000-0002-6266-5177

Giriş ve Tarihsel Perspektif

Tıbbi görüntüleme disiplini, Andreas Vesalius'un 1543'te insan anatomisini yeniden tanımlamasından ve Wilhelm Conrad Röntgen'in 1895 yılında X-ışınlarını keşfetmesinden bu yana tıp tarihindeki en büyük teknolojik devrimlere öncülük etmiştir. 1970'lerde Godfrey Hounsfield'in bilgisayarlı tomografiyi (BT) icadı ile analog dönemden dijital görüntülemeye geçiş yapan radyoloji, tıbbın tamamen dijitalleşen ilk branşı olmuştur. Günümüzde ise PACS (Görüntü Arşivleme ve İletişim Sistemleri) ve RIS (Radyoloji Bilgi Sistemleri) altyapılarının olgunlaşmasıyla radyoloji, "bilişsel otomasyon" olarak adlandırılan ve endüstri devriminin fiziksel iş gücünü dönüştürmesine benzer şekilde entelektüel iş gücünü dönüştüren yeni bir kırılma noktasının tam merkezinde yer almaktadır (Baklacı Ş, 2025.18).

Geçmişte yapay zekanın (YZ) radyologların yerini alıp almayacağına dair spekülatif tartışmalar yapılırken, 2025 ve 2026 yıllarına gelindiğinde bu teknolojinin mevcut iş akışlarına nasıl kusursuzca entegre edileceği, klinik çıktıları nasıl iyileştireceği ve yatırım getirisinin (ROI) nasıl sağlanacağı odak noktası haline gelmiştir. Özellikle Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından onaylanan yapay zeka tabanlı tıbbi cihaz sayısının bine yaklaşması ve bunların yaklaşık yüzde 80'inin radyoloji alanında olması, pazarın deneysel aşamadan tam ölçekli üretim ve uygulama aşamasına geçtiğinin en net kanıtıdır. Küresel yapay zeka tıbbi görüntüleme pazarının, eksponansiyel bir büyüme ile önümüzdeki yıllarda on milyarlarca dolarlık bir hacme ulaşması öngörülmektedir. Yapay zeka artık izole bir yazılım aracı olmaktan çıkarak radyoloji departmanlarının temel "altyapı stratejisi" haline gelmiş durumdadır.

Bölüm I: Bilişsel Otomasyon, Görüntü Edinimi ve İş Akışı Optimizasyonu

Günümüz radyoloji pratiği; artan görüntüleme hacimleri, kronik hastalıkların yaygınlaşması, karmaşıklaşan vakalar ve küresel ölçekteki uzman eksikliği nedeniyle benzeri görülmemiş bir baskı altındadır. Dünya genelinde on binlerce radyolog açığı bulunduğu tahmin edilmekte ve bu durum hasta güvenliğini tehdit eden gecikmelere yol açmaktadır. Bu noktada yapay zeka, bir lüks olmaktan çıkıp sistemin sürdürülebilirliği için bir zorunluluğa dönüşmüştür (Kumar R,2025:224).

YZ algoritmaları, radyoloji iş akışını en temel adımından, yani görüntü ediniminden (acquisition) itibaren optimize etmektedir. Hastanın cihaza doğru konumlandırılması, görüntü kalitesini doğrudan etkileyen bir faktördür. Yeni nesil BT ve mamografi cihazlarında kullanılan 3D derinlik algılayıcı kameralar ve yapay zeka sistemleri, hastanın anatomik referans noktalarını otomatik olarak tanıyarak cihazı en uygun doz ve pozisyonda ayarlamaktadır. Görüntü rekonstrüksiyonu aşamasında, makine öğrenmesi ve derin öğrenme tabanlı teknikler sayesinde, görüntüdeki gürültü (noise) ve artefaktlar baskılanarak çok daha düşük radyasyon dozlarıyla veya daha kısa MR çekim süreleriyle yüksek kaliteli standart görüntüler elde edilebilmektedir (Zhou N,2022.13).. Çekim süresinin kısalması (örneğin MR'da %50'ye varan oranlarda), özellikle pediatrik ve klostrofobik hastalarda konforu artırırken, cihazların günlük hasta kapasitesini maksimize etmekte ve operasyonel verimliliği zirveye taşımaktadır.

Görüntüleme sonrasında YZ, iş listesi (worklist) önceliklendirmesinde hayati bir rol oynamaktadır. Geleneksel sistemlerde hastalar geliş sırasına göre değerlendirilirken, akıllı triyaj sistemleri acil patolojileri saniyeler içinde tespit etmektedir. İntrakraniyal kanama, inme (stroke), pulmoner emboli veya pnömotoraks gibi zamana duyarlı kritik bulgular algoritmalar

tarafından anında işaretlenerek radyoloğun ekranında en üste taşınmaktadır (Wang, 2024: 18). Nörovasküler görüntülemede kullanılan gelişmiş YZ platformları, inme vakalarında kapı-iğne (door-to-needle) sürelerini ortalama bir saatten fazla kısaltarak hayat kurtarıcı müdahalelerin önünü açmakta ve kalıcı sakatlıkları önlemektedir.

Bilgi işlem yöneticilerinin (CIO) rolü de bu süreçte "Baş Entegrasyon Sorumlusu"na dönüşmektedir. Parçalı çözümler yerine, hastane bilgi sistemleriyle tam uyumlu çalışan "Orkestrasyon Katmanları" ve IHE (Integrating the Healthcare Enterprise), HL7 FHIRcast, RadElement CDE gibi uluslararası birlikte çalışabilirlik (interoperability) standartları sayesinde, YZ sonuçları doğrudan radyoloğun raporlama ekranına entegre edilmektedir. Raporlama süreçlerinde ise büyük dil modellerinden (LLM) ve üretken yapay zekadan (Generative AI) gücünü alan asistanlar, radyoloğun bulgularını sentezleyerek yapılandırılmış, eksiksiz taslak raporlar oluşturabilmekte, böylece klinisyenlerin bilgisayar başında geçirdiği idari süre (pajama time) dramatik biçimde azaltılmaktadır.

1.1. Radyomiks: Görünmeyeni Nicelleştirmek ve Derin Öğrenme Mimarileri

Radyolojinin geleceğini şekillendiren en güçlü kavramlardan biri "radyomiks"tir (radiomics). Tıbbi görüntüler yalnızca gözle görülen anatomik veriler değil, çıplak insan gözünün algılayamayacağı hücresel, fonksiyonel ve moleküler düzeyde bilgi taşıyan devasa veri setleridir. Radyomiks, BT, MR veya PET taramalarından şekil, yoğunluk (intensity) ve doku (texture) ile ilgili binlerce sayısal özelliği otomatik olarak çıkarıp analiz eder.

Radyomiks iş akışı; görüntülerin elde edilmesi, standardize edilmesi (ön işleme), ilgilenilen lezyonun (ROI/VOI) manuel veya otomatik olarak bölütlenmesi (segmentasyon) ve ardından

özelliklerin çıkarılması adımlarından oluşur. Bu aşamada yoğunluk bazlı istatistikler, hacimsel ölçümler ve gri seviye eş-oluşum matrisleri (GLCM) gibi uzamsal ilişkileri tanımlayan doku özellikleri hesaplanır. Farklı cihazlardan ve kurumlardan gelen verilerdeki teknik değişkenliklerin (batch effect) giderilmesi için ComBat gibi istatistiksel harmonizasyon yöntemleri kullanılarak veriler uyumlu hale getirilir. Çıkarılan binlerce özellik arasından en kararlı (stable) ve gereksiz tekrarlardan arınmış olanlar, makine öğrenmesi modellerine beslenerek klinik bir "radyomiks imzası" (radiomic signature) oluşturulur.

Derin öğrenme (Deep Learning) ise, özellikleri önceden tanımlama ihtiyacını ortadan kaldırarak süreci bir üst seviyeye taşımaktadır. Evrişimsel Sinir Ağları (CNN'ler), görüntüleri katman katman analiz ederek düşük seviyeli kenar dokularından, yüksek seviyeli patolojik formlara kadar kendi özelliklerini otonom olarak öğrenir (Cheng,2024:24). Daha yenilikçi bir mimari olan Transformer modelleri ve öz-dikkat (self-attention) mekanizmaları, tümörün sadece kendisini değil, etrafındaki dokuyla (örneğin peritümöral ödem) olan ilişkisini de değerlendirerek tanısal gücü artırmaktadır.

Bu teknolojiler, "sanal biyopsi" konseptini gerçeğe dönüştürmektedir. Tümör heterojenitesini değerlendiren algoritmalar; lezyonun iyi huylu mu kötü huylu mu olduğunu yüksek doğrulukla sınıflandırabilmekte, hastanın genetik mutasyon profilini tahmin edebilmekte (radyogenomik) ve immünoterapi, kemoterapi gibi hedefe yönelik tedavilere ne düzeyde yanıt verileceğini öngörebilmektedir. Görüntüleme verilerinin genomik, proteomik ve elektronik sağlık kayıtlarıyla birleştirildiği "çok modlu veri füzyonu" (multimodal data fusion) sayesinde, kişiselleştirilmiş onkoloji ve hassas tıp uygulamalarında radyolojinin rolü eşsiz bir seviyeye ulaşmaktadır.

1.2. Klinik Uygulama Sahaları ve Kanıta Dayalı Başarılar

Yapay zekanın radyolojideki etkisi çok geniş bir yelpazeye yayılmıştır. Meme görüntülemesinde, hastanın mamogramından doğrudan 5 yıllık meme kanseri riskini hesaplayabilen derin öğrenme modelleri (örneğin Mirai), standart yaş bazlı tarama protokollerinin yerini kişiselleştirilmiş tarama takvimlerine bırakmasını sağlamaktadır. Algoritmalar, mamografilerdeki şüpheli kitleleri veya mikrokalsifikasyonları işaretleyerek gözden kaçan kanser vakalarını minimize etmekte ve erken teşhis oranlarını artırmaktadır.

Toraks radyolojisinde, akciğer kanseri taraması için çekilen düşük doz BT'lerde modüllerin tespiti, hacimsel ölçümü ve malignite riskinin sınıflandırılması yapay zeka ile otomatikleşmiştir. Rutin akciğer grafilerinde pnömoni, atelektazi veya pnömotoraks gibi bulguların yapay zeka tarafından saptanarak "normal" ve "anormal" ayrımının yapılması, iş yükünün optimize edilmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Prostat kanseri tanısında kullanılan multiparametrik MR incelemelerinde YZ asistanları, gözden kaçabilecek klinik olarak anlamlı kanser odaklarının tespit oranını dramatik şekilde iyileştirmekte; acil servislerde kas-iskelet sistemi grafilerindeki gizli kırıkların saniyeler içinde saptanması, hasta bekleme sürelerini ve olası komplikasyonları azaltmaktadır. Pediatrik endokrinolojide el-bilek grafilerinden kemik yaşı tayini gibi standart ama zaman alıcı işlemler, tam otonom yapay zeka ölçümleriyle standardize edilmiştir.

Bölüm II: Radyoloğun Değişen Rolü: İş Gücü ve İnsan-Makine Etkileşimi

Radyoloji dünyasında kabul gören temel gerçek şudur: Yapay zeka radyologların yerini almayacaktır; ancak yapay zekayı kullanan radyologlar, kullanmayanların yerini alacaktır.

Algoritmalar bir "ikinci okuyucu" veya güvenlik ağı olarak konumlanmaktadır. YZ tekrarlayan, yorucu ölçüm ve lezyon segmentasyonu görevlerini üstlenirken, radyologlar klinik bağlamı sentezleyen, hastanın tedavi kararlarına yön veren ve multidisipliner tümör konseylerinde stratejik liderlik yapan "görüntüleme komutanları" rolüne bürünmektedir.

Bu süreçte "otomasyon önyargısı" (automation bias) ve "algoritmik kaçınma" (algorithmic aversion) tıp pratiğinin yeni psikolojik dinamikleridir. Otomasyon önyargısı, yorgun ve yoğun hekimlerin YZ'nin verdiği kararı (yanlış bile olsa) sorgulamadan kabul etme eğilimidir (Yang,2025.26). Buna karşılık algoritmik kaçınma, hekimin yeniliğe, kara kutu sistemlere veya işini kaybetme korkusuna dayalı olarak doğru çalışan bir algoritmayı reddetmesidir. Modern radyoloji, bu iki uç nokta arasında denge kurarak, teknolojiye güvenen ancak eleştirel insan muhakemesini (human-in-the-loop) asla elden bırakmayan bir pratik modeline doğru ilerlemektedir.

Bölüm III: Radyoloji Eğitiminde Yapay Zeka Entegrasyonu

Yapay zekanın klinik rutine bu denli dahil olması, radyoloji uzmanlık eğitiminin (asistanlık) ve tıp müfredatının baştan aşağı güncellenmesini gerektirmektedir. Amerikan Tıp Fizikçileri Birliği (AAPM), Amerikan Radyoloji Koleji (ACR), Kuzey Amerika Radyoloji Derneği (RSNA) ve Tıbbi Görüntüleme Bilişimi Derneği (SIIM) gibi dev kuruluşların ortak çabalarıyla "Radyolojide YZ Okuryazarlığı Müfredatı" oluşturulmuştur. Yeni nesil hekimlerin yalnızca anatomi ve patoloji bilmesi değil, yapay zeka modellerinin nasıl eğitildiğini, istatistiksel sınırlarını, eğitim verilerinin zayıflıklarını ve sistemlerin ne zaman yanılsama (hallucination) yapabileceğini bilmesi şarttır.

Bu eğitim süreci "GrandFusion" olarak adlandırılan teorik çerçevelerle desteklenmektedir. Dewey'in deneyimsel öğrenme

teorisi ile harmanlanan simülasyon temelli YZ laboratuvarları, asistanların güvenli bir ortamda algoritmalarla çalışmasını sağlamaktadır. Kurt Lewin'in "Çözülme, Değişim ve Yeniden Donma" (Unfreeze, Change, Refreeze) değişimi yönetimi teorisi uyarınca kurumlar, YZ'yi kültürel olarak benimsemekte ve teknoloji kabul modeli (TAM) ilkelerine göre sistemin kullanım kolaylığı ve faydasına ikna olmaktadırlar. Eğitimde ayrıca Sanal Gerçeklik (VR) ve Artırılmış Gerçeklik (AR) teknolojileri ile YZ entegre edilerek, karmaşık anatomik yapıların ve girişimsel prosedürlerin interaktif bir şekilde öğrenilmesi sağlanmaktadır.

Bölüm IV: Etik Kurallar, Algoritmik Önyargı ve Açıklanabilirlik

Yapay zekanın tıp pratiğine girmesi, tıp etiği alanında derin tartışmaları beraberinde getirmiştir. En önemli sorunlardan biri "algoritmik önyargı"dır (bias). Algoritmalar, eğitildikleri verilerin kalitesi ve çeşitliliği kadar iyidir. Eğer bir kanser tespit algoritması sadece belirli bir coğrafi bölgenin, belirli bir cihaz markasının (örneğin sadece Hologic mamografi cihazları) veya belirli bir etnik grubun görüntüleriyle eğitilirse, farklı popülasyonlarda veya farklı hastanelerde "ortak değişken kayması" (covariate shift) yaşanacak ve algoritmanın performansı dramatik şekilde düşecektir. Bu durum, azınlık gruplar veya dezavantajlı hastalar için ciddi tanısal hatalara ve sağlıkta eşitsizliğe yol açabilir. Bunun önüne geçmek için modellerin çok merkezli, geniş ve temsiliyet gücü yüksek verilerle eğitilmesi zorunludur. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) prensipleri gereği, otonominin korunması, insan refahı, şeffaflık ve adalet, yapay zekanın tasarım felsefesine yerleştirilmelidir.

Derin öğrenme algoritmalarının "kara kutu" (black box) yapısı, klinik güveni zedeleyen bir diğer unsurdur. Açıklanabilir Yapay Zeka (Explainable AI - XAI), modelin neden belirli bir karara ulaştığını klinisyene göstermeyi hedefler. Saliency maps

(belirginlik haritaları), Grad-CAM gibi ısı haritası yöntemleri, algoritmanın görüntünün hangi pikseline odaklanarak "kötü huylu" kararı verdiğini görselleştirerek radyoloğun sisteme güven duymasını veya hatayı yakalamasını sağlamaktadır. Veri gizliliğini korumak adına ise "İşbirlikli Öğrenme" (Federated Learning) öne çıkmaktadır; bu sistemde hasta verileri hastane dışına çıkmadan, sadece modelin eğitilmiş ağırlıkları merkezi sisteme gönderilerek hem hasta mahremiyeti (KVKK, GDPR, HIPAA) korunmakta hem de küresel çapta güçlü YZ modelleri yaratılabilmektedir..

Bölüm V: Hukuk, Düzenleyici Çerçeveler ve Tıbbi Malpraktis

YZ sistemlerinin malpraktis (tıbbi hata) davalarındaki yeri hukukun en güncel araştırma konularındandır. Radyologlar günümüzde "Çifte Sorumluluk Riski" (Dual Liability Risk) altındadır. Birincisi, YZ'nin yanlış bir tespiti onaylanır ve hasta zarar görürse, hekimin "insan denetimini" tam yapmadığı gerekçesiyle sorumlu tutulmasıdır. İkincisi ise, YZ'nin standart bakım (standard of care) haline geldiği bir senaryoda, kurumsal olarak YZ kullanmamakta direnip (örneğin kanama veya kırık tespiti için YZ satın almamak) gözle patoloji atlandığında, teknolojiden faydalanmayarak ihmal gösterilmesi riskidir.

Penn State Üniversitesi tarafından yapılan sahte jüri (mock-juror) çalışmalarında, YZ kullanımı sırasında hata yapan radyologlara yönelik hukuki algı incelenmiştir. Eğer bir radyolog, YZ bir görüntüyü normal olarak işaretledikten sonra görüntüyü sadece bir kez inceler ve lezyonu kaçırırsa, jürinin hekimi suçlu bulma ihtimali yüksektir. Ancak hekim; YZ'den önce kendi başına filmi okur, sonra YZ'nin kararına bakar ve filmi ikinci kez değerlendirirse, hukuki sorumluluk algısı belirgin şekilde azalmaktadır. Bu nedenle klinik dokümantasyon hayati önem taşır; radyolog raporda YZ aracını kullandığını, kendi bağımsız klinik

muhakemesini devreye soktuğunu ve YZ'ye neden katıldığını veya YZ'nin bulgusunu neden reddettiğini net bir şekilde belirtmelidir.

Düzenleyici kurumlar da (FDA, EMA) bu hıza ayak uydurmaya çalışmaktadır. Geleneksel tıbbi cihazların aksine yapay zeka zamanla öğrenen ve değişen bir yapıdadır. FDA'nın SaMD (Software as a Medical Device) eylem planı kapsamında, algoritmaların belli sınırlar içinde yeniden eğitilebilmesine olanak tanıyan "Önceden Belirlenmiş Değişiklik Kontrol Planları" (PCCP) uygulanmaktadır. Avrupa Birliğinin yürürlüğe koyduğu AB Yapay Zeka Yasası (EU AI Act) ise tıbbi YZ'yi "yüksek riskli" kategoride değerlendirerek piyasaya sürüm sonrası sürekli denetim (post-market surveillance), veri kalitesi şeffaflığı ve model kayması (concept drift) takibi şartı koşmaktadır. Üretken yapay zeka (LLM'ler) gibi çıktıları her seferinde değişebilen modellerin radyoloji raporlamasında tek başına klinik karar için kullanımı, doğruluk ve tekrarlanabilirlik sorunları nedeniyle şu an için mevcut medikal regülasyonlarca onaylanmış değildir; bu araçlar sadece araştırma veya asistan desteği niteliğindedir.

Bölüm VI: Küresel Pazar Dinamikleri ve Türkiye’nin Stratejik Vizyonu

Medikal görüntülemede yapay zeka, milyarlarca dolarlık yatırımların aktığı bir arenadır. Sektör, belirli bir patolojiyi çözen tekil uygulamalardan (point solutions), yüzlerce algoritmayı içinde barındıran hastane entegre işletim sistemlerine (AI Operating Systems) doğru kaymaktadır (Wellington A, 2023,61). GE HealthCare, Siemens Healthineers, Philips gibi donanım devleri cihazlarına doğal YZ özellikleri eklerken, dev teknoloji ve bulut şirketleri veri altyapısı ve platform sağlayıcısı olarak rekabete dahil olmaktadır.

Bu küresel yarışta Türkiye, "Sağlık Teknolojilerinde 2026 Rotası" kapsamında dijital sağlık ekosistemini güçlü bir şekilde

inşa etmektedir. T.C. Sağlık Bakanlığı, TÜSEB ve TEKNOFEST gibi platformlar üzerinden teşvik edilen "Sağlıkta Yapay Zeka" vizyonu, Türkiye'yi sadece teknoloji ithal eden değil, teknoloji üreten bir konuma taşımayı hedeflemektedir. İTÜ ARI Teknokent gibi inovasyon merkezlerinden çıkan Traick, Viseur AI, Arch Teknoloji gibi yerli derin teknoloji girişimleri; CES gibi uluslararası fuarlarda tanı hızlandırma, radyolojik triyaj ve süreç optimizasyonu gibi alanlardaki yapay zeka ürünlerini tüm dünyaya ihraç etmektedir. Türk Radyoloji Derneği (TRD), yapay zeka uygulamaları rehberleri yayımlayarak yerel klinik standartları, verilerin KVKK ve ilgili yönetmelikler çerçevesinde anonimleştirilmesini ve güvenliğini denetim altına almaktadır. Yapay zeka, ulusal güvenlik ve kalkınma stratejilerinde malzeme bilimleri ile birlikte Türkiye'nin en kritik atılım alanlarından biri olarak tanımlanmaktadır.

Sonuç

Radyoloji ve yapay zekanın ortak geleceği, teknolojinin insanı dışladığı distopik bir kurgu değil, insan-makine işbirliğinin en güçlü ve en faydalı halini temsil eden bir sinerjidir. İş akışı otomasyonu, radyomiks özellikleri, düşük dozlu yüksek çözünürlüklü görüntüleme ve derin öğrenme algoritmaları; tanısal kesinliği artırmakta, sağlık sistemlerinin maliyetlerini düşürmekte ve kişiselleştirilmiş tedavinin kapılarını sonuna kadar aralamaktadır.

Ancak bu geçiş sürecinin başarılı olması; algoritmaların eğitildiği verilerin temsiliyet gücüne (bias yönetimi), açıklanabilir YZ (XAI) yaklaşımlarına, etik ve yasal düzenlemelerin uyumuna ve teknolojiye entegre olmuş yeni nesil radyologların eğitimine bağlıdır. Radyologlar, yetkilerini teknolojiye devretmek yerine, yapay zekanın sunduğu analitik gücü arkalarına alarak rutin iş yükünden kurtulacak, multidisipliner takımların vazgeçilmez

liderleri ve hasta odaklı klinik süreçlerin en donanımlı yöneticileri haline geleceklerdir. Bu teknolojik paradigma değişimi, tıp biliminin temel felsefesi olan "önce zarar verme" ilkesiyle birleştiğinde, insanlık için daha erişilebilir, daha adil ve daha kesin bir sağlık hizmetinin güvencesi olacaktır.

Kaynakça/Referances

Kumar R & ark.(2025). Intelligence Architectures and Machine Learning Applications in Contemporary Spine Care (2025). *Intelligence Architectures and Machine Learning Applications in Contemporary Spine Care*. Bioengineering 69(2), 224.

Baklacı Ş & ark.(2025). Radyolojide Yapay Zeka ile Hata ve Risk Yönetimi: Daha Güvenli ve Hızlı Tanı. *Radyolojide Yapay Zeka ile Hata ve Risk Yönetimi: Daha Güvenli ve Hızlı Tanı*. CranioCatch Blog 72(10),18. .

Zhou N & ark.(2022). Review of Deep Learning Models for Spine Segmentation. *Review of Deep Learning Models for Spine Segmentation*. Proceedings of the 2022. International Conference on Multimedia Retrieval 24(2),13.

Wang, A & ark.(2024). Deep learning assisted segmentation of the lumbar intervertebral disc: a systematic review and meta-analysis). *Deep learning assisted segmentation of the lumbar intervertebral disc: a systematic review and meta-analysis*. BMC Musculoskelet Disord 26,18.

Cheng, Y & ark.(2024).K (Accurate Intervertebral Disc Segmentation Approach Based on Deep Learning). *Accurate Intervertebral Disc Segmentation Approach Based on Deep Learning*. Diagnostics (Basel). 22(1),24.

Yang, X & ark.(2025). Performance of Artificial Intelligence in Diagnosing Lumbar Spinal Stenosis *Performance of Artificial Intelligence in Diagnosing Lumbar Spinal Stenosis: A Systematic Review and Meta-Analysis*. Spine 14(1),26.

Wellington A & ark.(2023). The use of machine learning for predicting candidates for outpatient spine surgery. *The use of*

machine learning for predicting candidates for outpatient spine surgery: a review. J Spine Surg.19(9),61.

BÖLÜM 6

GİRİŞİMSEL RADYOLOJİDE YAPAY ZEKÂ: İŞLEM ÖNCESİ PLANLAMADAN TEDAVİ YANITININ DEĞERLENDİRİLMESİNE ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN INTERVENTIONAL RADIOLOGY: FROM PREPROCEDURAL PLANNING TO TREATMENT RESPONSE ASSESSMENT

ERKAN BİLGİN[1]

Giriş

Girişimsel radyoloji, görüntüleme ile gerçek zamanlı klinik karar vermeyi birleştiren, hasta anatomisi ile işlem tekniği arasındaki etkileşimin doğrudan tedavi başarısını belirlediği bir uzmanlık alanıdır. Her hastada lezyonun konumu, komşu kritik yapılar, vasküler varyasyonlar, tümör biyolojisi, giriş yolu ve beklenen tedavi yanıtı yeniden değerlendirilir. Yapay zekâ (YZ), bu çok değişkenli karar ortamında görüntü, klinik veri ve işlem bilgilerini birlikte işleyerek hekime karar desteği sağlayabilecek bir araç olarak öne çıkmaktadır. Avrupa Kardiyovasküler ve Girişimsel Radyoloji

[1]Uz. Dr., Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Dr. Abdurrahman Yurtaslan Ankara Onkoloji Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Radyoloji Kliniği, Ankara, Türkiye. ORCID: 0000-0002-2054-1571.

Derneğinin (CIRSE) görüş belgesi, girişimsel radyologların bu araçların geliştirilmesi ve klinik denetlenmesinde etkin rol üstlenmesi gerektiğini vurgulamaktadır (Najafi et al., 2023).

Tanısal radyolojide geliştirilen lezyon saptama ve sınıflama algoritmalarından farklı olarak girişimsel radyolojide YZ sisteminin başarısı yalnızca doğru bir görüntü çıktısına bağlı değildir. Önerilen giriş yolu gerçekten uygulanabilir mi, solunum hareketi sırasında iğne güvenli kalabilir mi, hedef organın deformasyonu hesaba katılmış mıdır ve algoritmanın önerisi bir komplikasyonu önleyebilir mi? Bu sorular, teknik performans ile klinik yarar arasındaki ayrımı ortaya koyar. Literatürde segmentasyon, risk tahmini, görüntü birleştirme, navigasyon ve tedavi sonucu öngörüsü gibi geniş bir uygulama yelpazesi tanımlanmakla birlikte bunların önemli bir kısmı henüz araştırma veya sınırlı doğrulama aşamasındadır (Glielmo et al., 2024; Lesaunier et al., 2025).

Yakın tarihli derleme çalışmalarında YZ araştırmalarının ağırlıklı olarak girişimsel onkolojiye, özellikle de tedavi öncesi hasta seçimi ve tedavi sonu yanıt tahminine yöneldiği görülmektedir. Bunun nedenleri arasında onkolojik görüntülemenin tekrarlanabilir veri sunması, işlem öncesi ve sonrası kesitsel görüntülerin karşılaştırılabilmesi ve lokal tümör kontrolü gibi ölçülebilir sonlanımların bulunması sayılabilir. Buna karşılık vasküler girişimler, biyopsiler ve acil embolizasyonlarda heterojen hasta anatomisi, zaman baskısı ve farklı operatör tercihleri YZ geliştirmeyi güçleştirmektedir (Lastrucci et al., 2025).

Bu bölümde YZ uygulamaları, algoritma türlerinden ziyade girişimsel radyoloğun iş akışı temel alınarak değerlendirilmektedir: işlem öncesi hedef ve hasta seçimi, işlem sırasında görüntüleme ve yönlendirme, işlem sonrasında yanıt ve komplikasyon değerlendirmesi. Onkolojik girişimlere daha geniş yer verilmekle birlikte vasküler girişimler, robotik navigasyon, yöntemsel güvenilirlik ve etik konular ayrıca ele alınmaktadır.

TEMEL KAVRAMLAR VE KLİNİK KARAR DESTEĞİ

Yapay zekâ, belirli örüntüleri tanımlayan veya karar önerisi üreten hesaplamalı sistemler için kullanılan üst kavramdır. Makine öğrenmesinde algoritmalar, kuralların tek tek kodlanması yerine örnek verilerden ilişkileri öğrenir. Derin öğrenme ise çok katmanlı sinir ağlarından yararlanarak özellikle görüntü üzerinde lezyon tespiti, organ sınırlarının çizilmesi veya girişimsel cihazın izlenmesi gibi görevleri yerine getirebilir. Radyomiks, BT, MR veya ultrason görüntülerinden şekil, yoğunluk, tekstür ve mekânsal heterojenlik gibi sayısal özelliklerin çıkarılmasıdır; bu özellikler klinik değişkenlerle birleştirilerek öngörü modelleri oluşturulabilir (Lambin et al., 2017).

Bir modelin yüksek doğruluk oranına sahip olması, yeni bir hastanede aynı şekilde çalışacağını garanti etmez. Kesit kalınlığı, yeniden yapılandırma algoritması, MR sekans parametreleri, kontrast fazı ve lezyon çizimindeki gözlemci farklılığı, özellikle radyomiks özelliklerini belirgin biçimde değiştirebilir. Görüntü biyobelirteçlerinin standardizasyonu için geliştirilen Image Biomarker Standardization Initiative (IBSI), özellik tanımlarının ve hesaplama süreçlerinin şeffaf biçimde bildirilmesinin önemini ortaya koymuştur (Zwanenburg et al., 2020).

Girişimsel radyoloji açısından klinik karar desteği üç ana gruba ayrılabilir. Birinci grup, ‘‘ne yapılmalı?’’ sorusunu hedefler: biyopsinin gerekliliği, ablasyonun uygunluğu veya embolizasyon yanıtı. İkinci grup, ‘‘nasıl yapılmalı?’’ sorusuna yöneliktir: iğne yolu, prob yerleşimi, hedeflenen ablasyon marjı veya damar kateterizasyon planı. Üçüncü grup ise ‘‘işlemden sonra ne oldu?’’ sorusuna yanıt arar: rezidü tümör, nüks, komplikasyon veya yeniden girişim gereksinimi. Bu üç grup birbirini tamamlamakla birlikte her biri için ayrı performans ölçütleri ve klinik doğrulama tasarımları gerekir.

Üretken YZ ve görüntü anlayabilen çok modlu büyük dil modelleri de bu çerçevede değerlendirilmektedir. Bu sistemler rapor özetleme, kontrol listesi üretme ve olası giriş yollarını tartışma açısından ilgi çekicidir; ancak anatomik yanılgı, tutarsız yanıt ve gerçekte var olmayan yapı veya gerekçe üretme riski nedeniyle doğrulanmış navigasyon yazılımlarıyla eşdeğer kabul edilmemelidir.

ONKOLOJİK GİRİŞİMSEL RADYOLOJİ UYGULAMALARI

Hasta seçimi, hedef tanımlama ve işlem öncesi planlama

Perkütan ablasyon, embolizasyon ve biyopsi kararları yalnızca görüntüde görülen bir lezyona değil; hastanın performans durumuna, organ rezervine, önceki tedavilere, tümör yaygınlığına ve beklenen klinik kazanıma dayanır. Çok değişkenli algoritmaların teorik üstünlüğü, bu bilgileri aynı anda değerlendirerek belirli bir hasta için tedavi yararı veya komplikasyon olasılığına ilişkin olasılıksal bir tahmin sunabilmesidir. Girişimsel onkolojideki YZ derlemesi; organ, tümör ve tedavi alanlarının segmentasyonu, işlem simülasyonu, görüntü kalitesi iyileştirme, sonuç tahmini ve nüks saptama uygulamalarının araştırıldığını; buna karşın klinik rutine geçmiş yöntemlerin sınırlı olduğunu göstermektedir (Matsui et al., 2025).

İşlem öncesi otomatik segmentasyon, tümör yükünün hesaplanması ve lezyonların anatomik komşuluklarının gösterilmesi açısından yararlıdır. Karaciğer lezyonlarında portal ve hepatik venlere uzaklık, safra yollarıyla ilişki veya yakın komşu organların belirlenmesi; böbrek tümörlerinde toplayıcı sistem ve büyük damarlara mesafe; akciğer lezyonlarında plevraya, fissürlere ve büllere göre giriş yolu planı bu yaklaşımın pratik örnekleridir. Bununla birlikte segmentasyonun teknik başarısı ile optimal tedavi seçiminin klinik olarak kanıtlanması birbirinden ayrılmalıdır.

Gelecekte güvenilir bir planlama platformu, tümörü ve riskli komşulukları tanımlamanın ötesinde, olası bütün giriş yollarını hekime seçenekler halinde sunabilir. Her yol için parankim geçiş uzunluğu, beklenen iğne açısı, kritik yapı teması ve hastanın pozisyonuna bağlı erişilebilirlik raporlanabilir. Böyle bir sistem, hekimin deneyimini ikame etmekten çok kişiye özgü alternatifleri sistematik biçimde karşılaştırmasına yardımcı olacaktır.

BT eşliğinde akciğer biyopsisinde iğne yolu planlama

Akciğer biyopsisi, YZ destekli girişim planlamasının en somut araştırma örneklerinden biridir. Klinik uygulamada hedef lezyona erişim ile sağlıklı parankim geçişinin azaltılması, fissürlerin ve büllerin korunması, vasküler yapılardan uzak durulması arasında denge kurulur. Ayrıca plevra giriş açısı, hastanın pozisyonu, solunum hareketi, lezyon boyutu ve olası pnömotoraks riski dikkate alınır. Bu kararların yalnızca iki boyutlu bir kesitte değil, farklı düzlemlerde değerlendirilmesi gerekir.

Too ve arkadaşları, transtorasik akciğer biyopsisi için üç boyutlu evrişimsel sinir ağı tabanlı lezyon segmentasyonu ile Bayes optimizasyonunu birleştiren yol planlama yazılımını değerlendirmiştir. Lezyon saptama için 235 BT incelemesi ve 354 lezyonla gerçekleştirilen doğrulamada ROC eğrisi altında kalan alan (AUC) 0,974 olarak bildirilmiştir. Planlanan iğne yollarının %85,3'ü uygulanabilir bulunmuş, önerilen yolların %82'si gerçek işlem yollarıyla çalışmanın tanımladığı açısal eşleşme ölçütünü karşılamıştır. Bu bulgular teknik fizibiliteyi desteklemekle birlikte yazılımın pnömotoraksı azalttığını veya biyopsi tanısal verimini artırdığını tek başına kanıtlamaz (Too et al., 2024).

Hoffman ve arkadaşlarının 2025 yılında yayımlanan küçük ölçekli çalışması, çok modlu üretken YZ modelinin 30 BT eşliğinde akciğer biyopsisi için giriş açısı önermesini incelemiştir. Bağımsız değerlendiriciler 30 önerinin 28'ini (%93,3) teorik olarak güvenli ve

uygulanabilir kabul etmiş; modelin önerdiği yolun akciğer parankiminden geçtiği medyan mesafe, gerçek işlem yoluna göre daha kısa bulunmuştur (5 mm ve 23 mm). Ancak öneriler kesitsel görüntüler ve önceden işaretlenmiş anatomik kısıtlamalar kullanılarak üretilmiş; gerçek zamanlı prospektif uygulama, klinik komplikasyon azalması veya modelin bağımsız otonom yeterliliği gösterilmemiştir (Hoffman et al., 2025).

Bu iki çalışma birlikte değerlendirildiğinde YZ'nin olası bir ''ikinci planlayıcı'' olarak değeri belirginleşmektedir. Yine de işlem sırasında gelişen atelektazi, solunum amplitüdündeki değişim, hasta hareketi, lezyonun plevrayla yer değiştirmesi veya komşu damarların dinamik konumu statik planı geçersiz kılabilir. Dolayısıyla iğne yolu seçimi ve son güvenlik kontrolü girişimsel radyologda kalmalıdır. Klinik kullanım için gerekli sonraki basamak, operatörler arası karşılaştırmalı ve prospektif çalışmalarda komplikasyon, yeniden yönlendirme, işlem süresi ve tanısal yeterlilik gibi gerçek sonlanımların araştırılmasıdır.

Termal ablasyonda planlama ve lokal progresyonun öngörülmesi

Radyofrekans ve mikrodalga ablasyon ile kriyoablasyonda lokal kontrol, yalnızca lezyona enerji uygulanmasına değil, üç boyutlu tümör kapsamına ve yeterli güvenlik marjının elde edilmesine bağlıdır. Probun yerleşim açısı, aktif uç uzunluğu, damar komşuluğu, ısı dağılımı ve soğutucu etkiler ablasyon alanını değiştirebilir. YZ modelleri işlem öncesi organ ve tümör segmentasyonu, tahmini ablasyon hacmi, çoklu prob planı ve işlem sonrası ablate edilen alanın karşılaştırılması açısından değerlendirilmektedir.

Ren ve arkadaşları, erken evre hepatoselüler karsinomda mikrodalga ablasyonu sonrasında lokal tümör progresyonunu tahmin etmek amacıyla klinik ve ablasyona ilişkin değişkenlerden

makine öğrenmesi modelleri geliştirmiştir. Bildirilen veri setinde 607 hastalık geliştirme grubuna ek olarak 299 hastalık dış değerlendirme verisi kullanılmış; en iyi performans gösteren CatBoost modeli için AUC 0,898 raporlanmıştır. Bununla birlikte öngörülen riskin doğrudan işlem kararı veya ablasyon kapsamı üzerinde etkili olabilmesi için farklı merkezlerde, cihazlarda ve tedavi protokollerinde ileri doğrulama gereklidir (Ren et al., 2023).

Ablasyon marjlarının sayısal değerlendirilmesi, tek başına YZ'den daha geniş bir görüntü işleme alanıdır. İşlem öncesi tümörün ve işlem sonrası ablasyon zonunun eşleştirilmesi, görüntü kayıtlandırma (registration) ve segmentasyon aşamalarını içerir. Hendriks ve arkadaşlarının sistematik derlemesinde ablasyon marjı ölçümünde belirgin yöntem heterojenliği bulunduğu; çalışmalarda manuel veya yarı otomatik segmentasyonun yanı sıra rijit ve deformasyon temelli kayıtlandırma yöntemlerinin kullanıldığı vurgulanmıştır. Özellikle organ hareketi, doku büzüşmesi ve ablasyon sonrası anatomik deformasyon, marj hesabını etkileyebilir (Hendriks et al., 2023).

Girişimsel radyolog açısından en anlamlı hedef, ‘‘ablasyon zonunun ortalama çapı’’ değil, tümörün çevresinde en dar marjın nerede ve ne kadar olduğunun haritalanmasıdır. Otomatik veya yarı otomatik üç boyutlu marj haritaları, yetersiz kapsanmış alanların aynı seansta ek ablasyonla tamamlanmasına yardımcı olabilir. Ancak güvenilir sistemlerin kontrast fazı uyumu, görüntü kayıtlandırma hatası ve ısıya bağlı hacim değişikliklerini açıkça yönetmesi gerekir. Bu nedenle nihai marj kararı, yalnızca yazılım çıktısına dayandırılmamalıdır.

Tiroid, renal ve pulmoner ablasyonlarda da benzer bir yaklaşım kullanılabilir. Örneğin tiroidde kritik yapılara yaklaşım ve hidrodiseksiyon ihtiyacının öngörülmesi, böbrek tümörlerinde toplayıcı sistemin korunması ya da akciğerde plevral komşuluğun gösterilmesi yararlı uygulama hedefleridir. Bununla birlikte bu

örneklerin bir kısmı halen kavramsal veya araştırma düzeyinde olup tüm organlar için klinik etkinliği kanıtlanmış standart YZ uygulamaları olarak sunulmamalıdır.

TACE/TARE: hasta seçimi ve tedavi yanıtı tahmini

Hepatoselüler karsinomda transarteriyel kemoembolizasyon (TACE) kararı, tümör boyutu ve sayısı yanında karaciğer fonksiyonu, vasküler invazyon, performans durumu ve alternatif sistemik tedavileri dikkate alır. Bu nedenle yalnızca görüntü heterojenliğine dayanan radyomiks modellerinden çok, klinik ve görüntüleme özelliklerini birleştiren çok değişkenli sistemlerin daha anlamlı olabileceği düşünülmektedir. YZ araştırmaları genellikle işlem öncesi BT/MR özelliklerinden yanıt, progresyon veya sağkalım tahmini üretmeyi hedeflemektedir.

Kang ve arkadaşlarının dört merkezden 276 hastayı kapsayan retrospektif çalışmasında, rezeksiyona uygun olmayan hepatoselüler karsinomlu hastalarda TACE ile hedefe yönelik tedavi ve immünoterapi kombinasyonuna yanıtı öngörmek için çok parametreli MR radyomiks özellikleri ile klinik veriler birlikte değerlendirilmiştir. Çalışmada iki bağımsız dış değerlendirme kohortunun kullanılması, yalnızca tek merkez içi test yapan çalışmalara göre yöntemsel bir güçtür. Ancak bulguların tek başına TACE'ye veya tek başına sistemik tedaviye genellenmesi doğru değildir; model belirli bir kombinasyon rejimini incelemektedir (Kang et al., 2025).

Keshavarz ve arkadaşlarının 2025 sistematik derlemesi, toplam 4.486 hastayı içeren 23 çalışmada yapay zekâ ile TACE yanıtı veya klinik sonuç tahminini incelemiştir. mRECIST yanıtını öngören modellerin AUC değerleri 0,55 ile 0,97 arasında değişmiş, radyomiks içeren modellerin performansı ortalama olarak radyomiks içermeyenlerden daha yüksek bildirilmiştir. Bu geniş performans aralığı, veri seçimi, sonlanım tanımı, test tasarımı ve

merkezler arası farklılıkların klinik karar desteği açısından önemli olduğunu göstermektedir (Keshavarz et al., 2025).

Nezami ve Mirza-Aghazadeh-Attari, görüntü kılavuzlu minimal invaziv tedavilerin yanıtını tahmin eden YZ araştırmalarının çoğunun TACE'ye odaklandığını; pek çok çalışmada tek merkezli veri ve dış değerlendirme eksikliğinin bulunduğunu vurgulamıştır. Bu nedenle ''yüksek AUC'' ile ''rutin tedavi stratejisini değiştirmeye yeterli kanıt'' aynı anlamda kullanılmamalıdır (Nezami & Mirza-Aghazadeh-Attari, 2024).

Radyoembolizasyon (TARE) ve diğer transarteriyel tedavilerde YZ için olası kullanım alanları, tümör/perfüzyon dağılımı, damar ağacının analizi, işlem planı ve tedavi sonrası değişikliklerin sayısallaştırılmasıdır. Ancak farklı embolik ajanlar, kateter konumları, doz planlama yaklaşımları ve eşzamanlı tedaviler nedeniyle ortak bir öngörü modelini farklı merkezlere taşımak güçtür. Karaciğer fonksiyon rezervi ve güvenlik değişkenleri, yalnızca görüntü özelliklerinden oluşan modellere göre daha kapsamlı biçimde değerlendirilmelidir (Matsui et al., 2025; Nezami & Mirza-Aghazadeh-Attari, 2024).

İşlem sırası görüntüleme, füzyon ve erken yanıt değerlendirmesi

Kontrastlı BT veya MR'de işaretlenen lezyonun işlem sırasında ultrasonla yeterince seçilememesi, özellikle küçük, derin veya tedavi sonrası sınırları belirsiz tümörlerde önemli bir güçlük oluşturur. Görüntü füzyonu; işlem öncesi hacimsel veriler ile canlı ultrason veya işlem içi BT arasında anatomik ilişki kurmayı amaçlar. YZ destekli segmentasyon ve hareket düzeltme algoritmaları, kayıtlandırmayı hızlandırma ve organ deformasyonunu kısmen telafi etme potansiyeline sahiptir. Buna karşın görüntü eşleştirme hatası belirli bir toleransın dışına çıktığında sistemi otomatik olarak

güvenli kabul etmek mümkün değildir (Glielmo et al., 2024; Matsui et al., 2025).

İşlem sırasında kullanılan konik ışınlı BT ve dijital subtraksiyon anjiyografisinden elde edilen görüntülerin otomatik iyileştirilmesi de araştırılan alanlardandır. Gürültü azaltma, hareket artefaktını yönetme veya vasküler yapıların vurgulanması, özellikle selektif embolizasyonda karar vermeyi kolaylaştırabilir. Ancak algoritmanın damar lümenini veya kollateral ağı yanlış yeniden oluşturması, gereksiz kateterizasyon ya da hedef dışı embolizasyon riski doğurabilir. Bu nedenle görüntü kalitesi kazanımı, orijinal verinin incelenebilirliğini ortadan kaldırmamalıdır.

Tedavi sonrası erken değerlendirmede amaç, nekroz ile rezidü canlı tümörü ayırabilmek, şüpheli alanı konumlandırmak ve takip görüntülemesini doğru zamanda planlamaktır. Radyomiks ve derin öğrenme araçları kontrastlanma örüntülerindeki ince farklılıkları tanımlayabilir. Bununla birlikte işlem sonrası inflamasyon, hemoraji, koagülasyon nekrozu ve perfüzyon değişiklikleri görüntü bulgularını etkilediğinden modelin hangi zaman aralığındaki görüntülerle eğitildiği kritik önemdedir (Matsui et al., 2025; Nezami & Mirza-Aghazadeh-Attari, 2024).

Tablo 1. Girişimsel radyolojide yapay zekâ uygulamalarının iş akışına göre örnek sınıflaması.

İşlem aşaması	Örnek YZ görevi	Pratikte değerlendirilecek sonlanım	Mevcut yaklaşım
İşlem öncesi	Lezyon/organ segmentasyonu, risk ve giriş yolu tahmini	Güvenli yol, hekim uyumu, karar değişikliği	Çoğunlukla retrospektif doğrulama
İşlem sırası	Görüntü füzyonu, cihaz takibi, hareket düzeltme	Hedefleme hatası, süre, komplikasyon	Seçilmiş fizibilite/teknik çalışmalar
İşlem sonrası	Ablasyon marjı, rezidü tümör, TACE yanıtı	Lokal kontrol, yeniden girişim, dış test	Araştırma; klinik fayda için ek kanıt gerekli

Kaynak: Yazar tarafından mevcut literatür temel alınarak oluşturulmuştur.

VASKÜLER GİRİŞİMLERDE YAPAY ZEKÂ

Damar anatomisi ve endovasküler işlem planlama

Vasküler girişimlerde çok katmanlı görüntü verilerinin doğru biçimde yorumlanması, lezyonun sınıflanması kadar işlem stratejisinin belirlenmesine de katkı sağlar. BT anjiyografi üzerinde aort, iliak arterler, renal arterler veya dallanma varyasyonlarının otomatik segmentasyonu; anevrizma boyutları, proksimal boyun geometrisi, iliak erişim yolları ve kalsifikasyon yükü gibi parametrelerin ölçümünü kolaylaştırabilir. Endovasküler anevrizma onarımı (EVAR) ve torasik endovasküler aort onarımı (TEVAR) için ön planlama, bu bakımdan önemli bir uygulama alanıdır.

Mukhtar ve arkadaşlarının 2026 tarihli vasküler girişimsel radyoloji derlemesi, damar ve anevrizma segmentasyonundan endoleak saptamaya, stenoz değerlendirmesinden EVAR/TEVAR sonrası sonlanım tahminine kadar pek çok görüntü temelli uygulamayı incelemiştir. Derlemede bazı görevler için yüksek segmentasyon benzerliği veya ayırt edicilik bildirilse de performans ölçütleri heterojen olup bunların tümünün prospektif klinik etkiyi gösterdiği söylenemez. Özellikle girişimsel anatominin varyasyonları ve kullanılan cihazların farklılığı, modellerin taşınabilirliğini sınırlar (Mukhtar et al., 2026).

Bir EVAR planlama aracı için yalnızca doğru aort segmentasyonu yeterli değildir. İliak tortüozite, minimal damar çapı, trombüs dağılımı, proksimal tutunma bölgesi, olası aksesuar renal arterler ve uygun cihaz boyutlandırmasının eşzamanlı değerlendirilmesi gerekir. Algoritmanın otomatik ölçümleri hekimin ölçümleriyle uyumlu olsa bile endoleak, migrasyon veya yeniden girişim sıklığında azalma sağlayıp sağlamadığı ayrıca araştırılmalıdır.

Anjiyografi ve embolizasyonda karar desteği

Anjiyografik işlemlerde kontrast enjeksiyon zamanlaması, projeksiyon seçimi, kateterin dallanma noktasına göre konumu ve hedef damar ağının ayrıntıları klinik deneyime dayanır. YZ tabanlı damar ağacı segmentasyonu veya akım örüntüsü analizi, özellikle karmaşık tümör besleyicilerinin belirlenmesinde ve kateter navigasyonunda destek sağlayabilir. Ancak angiografik görüntüde ortaya çıkan damar örtüşmesi, solunum hareketi ve vazospazm, yanlış pozitif damar devamlılığı oluşturabilecek faktörlerdir.

Kanama embolizasyonu özelinde modelin görevi yalnızca kanayan bölgeyi işaretlemek olmamalıdır; bronşiyal arterlerin interkostal arterlerle ilişkisi, spinal dallar, nonbronşiyal sistemik kollateraller ve işlem sırasında gelişen hemodinamik değişiklikler göz önünde bulundurulmalıdır. Yanlış bir damar sınıflaması, hedef dışı embolizasyon açısından kabul edilemeyecek sonuçlara neden olabilir. Bu nedenle otonom embolizasyon yaklaşımından önce operatöre öneri sunan ve kararın dayanağını gösteren denetlenebilir sistemlere odaklanmak daha uygun görünmektedir (Najafi et al., 2023; Mukhtar et al., 2026).

Bu klinik bağlamda başarının ölçütü yalnızca ‘‘doğru damarın işaretlenmesi’’ değildir; teknik embolizasyon başarısı, erken hemostaz, tekrar işlem gereksinimi, işlem süresi, kontrast/radyasyon kullanımı ve iskemik komplikasyonlar gibi hasta odaklı sonlanımlar esas alınmalıdır. Algoritmaların nadir ancak ciddi komplikasyonları öngörmesi, olay sıklığının düşük olması nedeniyle geniş ve çok merkezli veriler gerektirir.

İşlem sırasında navigasyon ve robotik sistemler

Robotik kateter yönlendirme, artırılmış gerçeklik ve görüntü tabanlı navigasyon sistemleri çoğu zaman YZ ile aynı çerçevede tartışılsa da bu teknolojiler eş anlamlı değildir. Robotik bir sistem önceden tanımlanmış mekanik hareketleri uygulayabilir; YZ bileşeni

ise damar yolu seçimi, cihaz konumunun saptanması veya olası riskin önceden tahmin edilmesi gibi ek karar işlevlerini üstlenebilir. Dolayısıyla bir teknolojinin robotik olması, mutlaka öğrenen veya otonom bir YZ sisteminin kullanıldığı anlamına gelmez.

Seah ve arkadaşları girişimsel radyolojide YZ için prosedür öncesi planlama, anlık görüntü yorumlama ve girişim sonrası hasta izlemi gibi bütünleşik bir yaklaşım önermiştir. Von Ende ve arkadaşları da artırılmış ve sanal gerçeklik uygulamalarının işlem eğitimi ile görüntü tabanlı navigasyon için potansiyelini tartışmıştır. Bu araçların geniş klinik kullanıma geçişinde yalnızca teknik doğruluk değil, eğitim, maliyet, kullanım kolaylığı ve acil durumda manuel kontrole dönüş olanağı önemlidir (Seah et al., 2022; von Ende et al., 2023).

SINIRLILIKLAR, ETİK VE KLİNİĞE AKTARIM

Girişimsel radyoloji verilerinin tanısal radyoloji verilerine göre daha az standart olması, algoritma geliştirmede temel sorunlardan biridir. Operatör tecrübesi, kurum protokolü, ekipman seçimi, hasta pozisyonu, anestezi yaklaşımı ve işlem sırası karar değişiklikleri çoğu zaman yapılandırılmış veri olarak kaydedilmez. Böyle bir ortamda model, hastanın biyolojisinden çok belirli bir merkezin tercihlerini öğrenebilir. Uygulama maliyeti, veri sahipliği, hastanın mahremiyeti, düzenleyici süreçler ve hukuki sorumluluklar da gerçek klinik entegrasyonu etkiler (Mazaheri et al., 2021).

Veri sızıntısı önemli bir yöntemsel tehlikedir. Aynı hastanın farklı görüntülerinin eğitim ve test kümelerine ayrı ayrı dağıtılması, model performansını olduğundan yüksek gösterebilir. Birden fazla lezyonu bulunan onkoloji hastalarında hasta bazlı ayırma zorunludur. Sadece rastgele ayrılmış aynı merkez olgularına dayanan bir test yerine, farklı cihaz, farklı merkez ve farklı zaman döneminden bağımsız veri kullanılması klinik taşınabilirliği daha iyi sınar. Ayrıca AUC yanında duyarlılık, özgüllük, kalibrasyon, karar

eğrisi analizi, operatör iş yükü ve gerçek komplikasyon sonuçları raporlanmalıdır.

Modelin klinikte öneri üretme biçimi de önemlidir. Örneğin ‘‘en güvenli yol budur’’ şeklinde açıklamasız tek seçenek sunmak yerine, olası yolların kritik yapılara uzaklıklarını, varsayımları ve güven düzeyini göstermek hekimin denetimini kolaylaştırabilir. Anlamlı bir hata tespit edildiğinde yazılımın önerisinin reddedilebilmesi, işlem planının manuel sürdürülebilmesi ve karar kaydının tutulması hasta güvenliğinin temel bileşenleridir.

YZ araştırmalarının şeffaf raporlanması için güncellenmiş Checklist for Artificial Intelligence in Medical Imaging (CLAIM 2024), görüntüleme verilerinin kaynağı, referans standart, veri ayrımı, test stratejisi ve sonuçların ayrıntılı bildirimine rehberlik etmektedir. Klinik öngörü modellerinin raporlanmasında ise TRIPOD+AI, makine öğrenmesi ve geleneksel regresyon modelleri için ortak ilkeler sunmaktadır. Bu belgeler, model performansının tek sayı ile sunulduğu yayınlara karşı önemli bir yöntemsel çerçeve sağlar (Tejani et al., 2024; Collins et al., 2024).

Son olarak YZ tabanlı sistemlerin eğitim, kalite kontrol ve sorumluluk alanları açık olmalıdır. Hastaya uygulanacak girişim, bir algoritmanın tavsiyesinden ibaret değildir; yarar-zarar değerlendirmesi, alternatiflerin görüşülmesi, aydınlatılmış onam ve işlem sırasında gerektiğinde strateji değiştirme sorumluluğu klinik ekiptedir. Algoritma kullanımına ilişkin hastane politikaları, veri güvenliği, sürüm takibi ve olası performans kayması için denetim süreçleri oluşturulmalıdır. Her yeni model, klinik kararlara etkisi ve hasta sonlanımları gösterilmedikçe yerleşik standart tedavi olarak sunulmamalıdır.

GELECEK PERSPEKTİFİ VE SONUÇ

Önümüzdeki dönemde en gerçekçi dönüşüm, tek başına bütün işlemi yapan otonom bir sistemden ziyade farklı kaynaklardan

gelen bilgileri tutarlı biçimde birleştiren ‘‘girişimsel karar destek platformları’’ olabilir. Böyle bir platform işlem öncesi segmentasyon ve risk öngörüsü oluşturabilir, işlem sırasında güncellenmiş görüntüyle planı yeniden değerlendirebilir ve işlem sonrasında ablasyon marjını veya tedavi yanıtını nesnel biçimde gösterebilir. İnsan denetimindeki bu model, algoritmaların güçlü olduğu veri işleme kapasitesi ile girişimsel radyoloğun klinik muhakemesini birleştirme potansiyeline sahiptir.

Güncel kanıtlar akciğer biyopsisinde YZ destekli yol planlama, hepatoselüler karsinomda ablasyon sonrası lokal progresyon tahmini ve TACE yanıt öngörüsünün araştırma açısından olgunlaşmakta olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte yüksek ayırt edicilik ölçütleri, gerçek klinik yararın yerine geçmez. Girişimsel radyolojide YZ’nin değeri; doğru hastayı seçme, daha güvenli giriş yolu belirleme, işlemi standartlaştırma ve nüksü erken saptama gibi hasta odaklı hedeflerde prospektif ve çok merkezli çalışmalarla gösterildiğinde belirginleşecektir. Bu süreçte girişimsel radyoloğun rolü, algoritmayı pasif biçimde kullanmak değil, klinik problemi tanımlamak, uygun sonlanımı seçmek ve sonuçları eleştirel biçimde değerlendirmek olacaktır.

Kaynakça/References

Collins, G. S., Moons, K. G. M., Dhiman, P., Riley, R. D., Beam, A. L., Van Calster, B., Ghassemi, M., Liu, X., Reitsma, J. B., van Smeden, M., Boulesteix, A.-L., Camaradou, J. C., Celi, L. A., Denaxas, S., Denniston, A. K., Glocker, B., Golub, R. M., Harvey, H., Heinze, G., ... Logullo, P. (2024). TRIPOD+AI statement: Updated guidance for reporting clinical prediction models that use regression or machine learning methods. *BMJ*, *385*, e078378. https://doi.org/10.1136/bmj-2023-078378

Glielmo, P., Fusco, S., Gitto, S., Zantonelli, G., Albano, D., Messina, C., Sconfienza, L. M., & Mauri, G. (2024). Artificial intelligence in interventional radiology: State of the art. *European Radiology Experimental*, *8*, Article 62. https://doi.org/10.1186/s41747-024-00452-2

Hendriks, P., Boel, F., Oosterveer, T. T. M., Broersen, A., de Geus-Oei, L.-F., Dijkstra, J., & Burgmans, M. C. (2023). Ablation margin quantification after thermal ablation of malignant liver tumors: How to optimize the procedure? A systematic review of the available evidence. *European Journal of Radiology Open*, *11*, Article 100501. https://doi.org/10.1016/j.ejro.2023.100501

Hoffman, T., Worthington, M., Sarkar, D., Solomon, S. B., & Cornelis, F. H. (2025). Feasibility study on using multimodal large language model for CT-guided lung biopsy trajectory planning. *CVIR Oncology*, *1*, Article 5. https://doi.org/10.1007/s44343-025-00005-3

Kang, W., Tang, P., Luo, Y., Lian, Q., Zhou, X., Ren, J., Cong, T., Miao, L., Li, H., Huang, X., Ou, A., Li, H., Yan, Z., Di, Y., Li, X., Ye, F., Zhu, X., & Yang, Z. (2025). Multiparametric MRI-based machine learning radiomics for predicting treatment response to transarterial chemoembolization combined with targeted and immunotherapy in unresectable hepatocellular carcinoma: A multicenter study. *Academic Radiology*, *32*(4), 2013–2026. https://doi.org/10.1016/j.acra.2024.10.038

Keshavarz, P., Nezami, N., Yazdanpanah, F., Khojaste-Sarakhsi, M., Mohammadigoldar, Z., Azami, M., Hajati, A., Ebrahimian Sadabad, F., Chiang, J., McWilliams, J. P., Lu, D. S. K., & Raman, S. S. (2025). Prediction of treatment response and outcome of transarterial chemoembolization in patients with hepatocellular carcinoma using artificial intelligence: A systematic review of efficacy. *European Journal of Radiology*, *184*, Article 111948. https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2025.111948

Lambin, P., Leijenaar, R. T. H., Deist, T. M., Peerlings, J., de Jong, E. E. C., van Timmeren, J., Sanduleanu, S., Larue, R. T. H. M., Even, A. J. G., Jochems, A., van Wijk, Y., Woodruff, H., van Soest, J., Lustberg, T., Roelofs, E., van Elmpt, W., Dekker, A., Mottaghy, F. M., Wildberger, J. E., & Walsh, S. (2017). Radiomics: The bridge between medical imaging and personalized medicine. *Nature Reviews Clinical Oncology*, *14*(12), 749–762. https://doi.org/10.1038/nrclinonc.2017.141

Lastrucci, A., Iosca, N., Wandael, Y., Barra, A., Lepri, G., Forini, N., Ricci, R., Miele, V., & Giansanti, D. (2025). AI and interventional radiology: A narrative review of reviews on opportunities, challenges, and future directions. *Diagnostics*, *15*(7), Article 893. https://doi.org/10.3390/diagnostics15070893

Lesaunier, A., Khlaut, J., Dancette, C., Tselikas, L., Bonnet, B., & Boeken, T. (2025). Artificial intelligence in interventional radiology: Current concepts and future trends. *Diagnostic and Interventional Imaging*, *106*(1), 5–10. https://doi.org/10.1016/j.diii.2024.08.004

Matsui, Y., Ueda, D., Fujita, S., Fushimi, Y., Tsuboyama, T., Kamagata, K., Ito, R., Yanagawa, M., Yamada, A., Kawamura, M., Nakaura, T., Fujima, N., Nozaki, T., Tatsugami, F., Fujioka, T., Hirata, K., & Naganawa, S. (2025). Applications of artificial intelligence in interventional oncology: An up-to-date review of the literature. *Japanese Journal of Radiology*, *43*(2), 164–176. https://doi.org/10.1007/s11604-024-01668-3

Mazaheri, S., Loya, M. F., Newsome, J., Lungren, M., & Gichoya, J. W. (2021). Challenges of implementing artificial intelligence in interventional radiology. *Seminars in Interventional Radiology*, *38*(5), 554–559. https://doi.org/10.1055/s-0041-1736659

Mukhtar, H., Ganjizadeh, A., Misra, A., Kane, J., Wang, P., Singh, P. G., Lemieux, A., Baranwal, G., Kilari, S., Erickson, B. J., & Misra, S. (2026). Imaging-based artificial intelligence in vascular and interventional radiology: A narrative review. *Journal of Imaging Informatics in Medicine*, Advance online publication. https://doi.org/10.1007/s10278-025-01803-0

Najafi, A., Cazzato, R. L., Meyer, B. C., Pereira, P. L., Alberich, A., López, A., Ronot, M., Fritz, J., Maas, M., Benson, S., Haage, P., & Gomez Munoz, F. (2023). CIRSE position paper on artificial intelligence in interventional radiology. *CardioVascular and Interventional Radiology*, *46*(10), 1303–1307. https://doi.org/10.1007/s00270-023-03521-y

Nezami, N., & Mirza-Aghazadeh-Attari, M. (2024). The evolution of AI in predicting response to minimally invasive image-guided therapies. *Radiology: Imaging Cancer*, *6*(1), e249004. https://doi.org/10.1148/rycan.249004

Ren, H., An, C., Fu, W., Wu, J., Yao, W., Yu, J., & Liang, P. (2023). Prediction of local tumor progression after microwave ablation for early-stage hepatocellular carcinoma with machine learning. *Journal of Cancer Research and Therapeutics*, *19*(4), 978–987. https://doi.org/10.4103/jcrt.jcrt_319_23

Seah, J., Boeken, T., Sapoval, M., & Goh, G. S. (2022). Prime time for artificial intelligence in interventional radiology. *CardioVascular and Interventional Radiology*, *45*(3), 283–289. https://doi.org/10.1007/s00270-021-03044-4

Tejani, A. S., Klontzas, M. E., Gatti, A. A., Mongan, J. T., Moy, L., Park, S. H., & Kahn, C. E. (2024). Checklist for Artificial Intelligence in Medical Imaging (CLAIM): 2024 update. *Radiology: Artificial Intelligence*, *6*(4), e240300. https://doi.org/10.1148/ryai.240300

Too, C. W., Fong, K. Y., Hang, G., Sato, T., Nyam, C. Q., Leong, S. H., Ng, K. W., Ng, W. L., & Kawai, T. (2024). Artificial intelligence-guided segmentation and path planning software for transthoracic lung biopsy. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*, *35*(5), 780–789.e1. https://doi.org/10.1016/j.jvir.2024.02.006

von Ende, E., Ryan, S., Crain, M. A., & Makary, M. S. (2023). Artificial intelligence, augmented reality, and virtual reality advances and applications in interventional radiology. *Diagnostics*, *13*(5), Article 892. https://doi.org/10.3390/diagnostics13050892

Zwanenburg, A., Vallières, M., Abdalah, M. A., Aerts, H. J. W. L., Andrearczyk, V., Apte, A., Ashrafinia, S., Bakas, S., Beukinga, R. J., Boellaard, R., Bogowicz, M., Boldrini, L., Buvat, I., Cook, G. J. R., Davatzikos, C., Depeursinge, A., Desseroit, M.-C., Dinapoli, N., Dinh, C. V., ... Löck, S. (2020). The Image Biomarker Standardization Initiative: Standardized quantitative radiomics for high-throughput image-based phenotyping. *Radiology*, *295*(2), 328–338. https://doi.org/10.1148/radiol.2020191145


BİDGE