

Haziran, 2026

RADYOLOJİ ALANINDA TEORİ VE UYGULAMALAR

EDITÖR
PROF. DR. NECDET ÖZEL

DOI: 10.5281/zenodo.21397493

Radyoloji Alanında Teori ve Uygulamalar

Editör

Prof. Dr. Necdet Özel

İmtiyaz Sahibi
Platanus Publishing®

Editör
Prof. Dr. Necdet Özel

Kapak & Mizanpaj & Sosyal Medya
Platanus Yayın Grubu

Birinci Basım
Haziran, 2026

Yayımcı Sertifika No
45813

ISBN
978-625-6977-39-2

©copyright
Bu kitabın yayım hakkı Platanus Publishing'e aittir. Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin alınmadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Adres: Natoyolu Cad. Fahri Korutürk Mah. 157/B, 06480, Mamak,
Ankara, Türkiye.

Telefon: +90 312 390 1 118
web: www.platanuspublishing.com
e-mail: platanuskita@gmail.com



Platanus Publishing®

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1.....5

Aterosklerotik Ekstrakraniyal Karotis Arter Darlıklarında Endovasküler Tedavi

Hasanali Durmaz & Erdem Birgi

BÖLÜM 2.....15

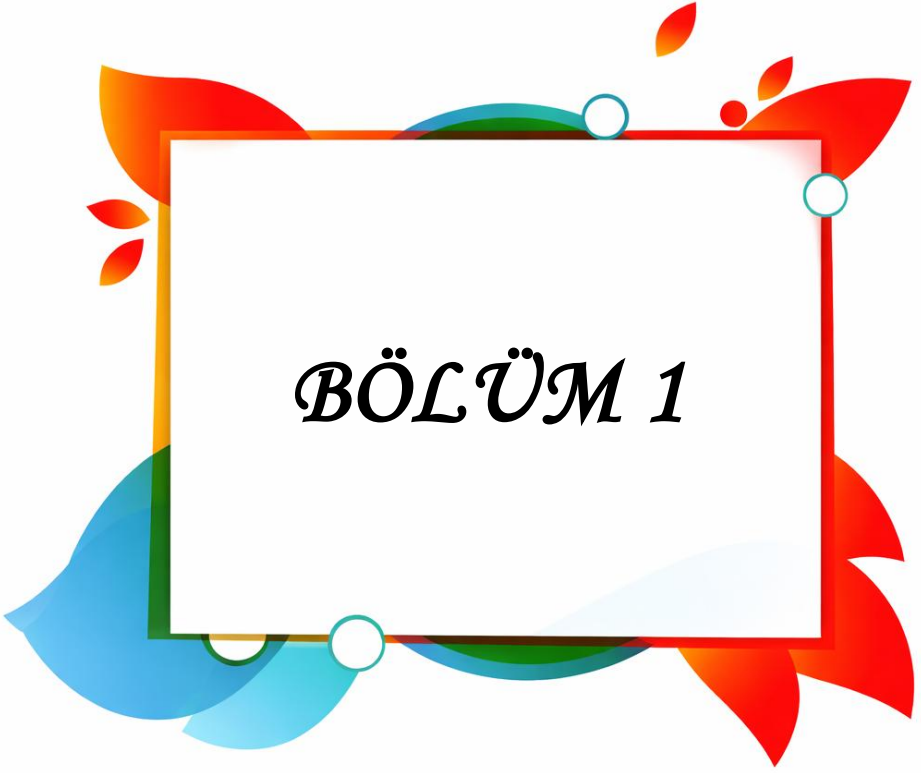
Multinodüler Guatr Hastalarında Tiroid Arter Embolizasyonu

Bekir Sıtkı Said Ulusoy

BÖLÜM 3.....79

Foundation Radiomics: El Yapımı Özelliklerden Evrensel Görüntüleme Biyobelirteçlerine Geçiş

Fatih Işık



BÖLÜM 1

Aterosklerotik Ekstrakraniyal Karotis Arter Darlıklarında Endovasküler Tedavi

Hasanali Durmaz¹ & Erdem Birgi²

GİRİŞ

İskemik inme ve geçici iskemik atakların (GİA) yaklaşık %10-15'inin temel nedeni aterosklerotik ekstrakraniyal karotis arter hastalığıdır (Bonati et al., 2021; Spiliopoulos et al., 2024). Karotis arter stentleme (KAS) işlemi, 1994 yılından bu yana karotis endarterektomiye (KEA) minimal invaziv, güvenli ve etkili bir alternatif olarak gelişimini sürdürmektedir (Spiliopoulos et al., 2024). Günümüzde girişimsel radyolojideki teknolojik gelişmeler, yeni jenerasyon stentler ve emboli koruma cihazları sayesinde endovasküler tedavi oldukça başarılı sonuçlar vermektedir.

Bu bölümde, akut iskemik inme ve tandem oklüzyonu ile gelen acil olgular kapsam dışı bırakılmış olup sadece elektif şartlarda semptomatik veya asemptomatik ekstrakraniyal karotis arter darlıklarının endovasküler tedavisi girişimsel radyoloji perspektifinden ele alınmıştır.

ENDİKASYONLAR VE HASTA SEÇİMİ

Başarılı bir endovasküler tedavinin temeli, doğru hasta seçimine, görüntüleme bulgularının hassas analizine ve detaylı klinik değerlendirmeye dayanır. Doğru hasta seçimi için karotis darlığının sadece tek bir tetkikle değil; ilk aşamada Doppler ultrasonografi ile değerlendirilip ardından Bilgisayarlı Tomografi Anjiyografi (BTA) veya Manyetik Rezonans Anjiyografi (MRA) ile doğrulanması standart bir yaklaşımdır (AbuRahma et al., 2022). Özellikle BTA ile hem arkus aorta ve supraaortik damarların anatomisi hem de darlığa neden olan plak yapısı değerlendirilir. Komplike olgularda karotis revaskülarizasyon endikasyonunun konulması ve en uygun tedavi yönteminin belirlenmesi; nörologlar, girişimsel radyologlar ve kalp damar cerrahlarının yer aldığı multidisipliner bir konsey tarafından gerçekleştirilmelidir (Naylor et al., 2023).

Semptomatik Hastalar: Son 6 ay içinde ipsilateral inme, GİA veya amaurozis fugaks geçiren ve %50-99 aralığında darlığı bulunan hastalar cerrahi

¹ Doç. Dr., Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara Şehir Hastanesi, Radyoloji Kliniği
ORCID: 0000-0003-3230-9240

² Doç. Dr., Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Ankara Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Radyoloji Kliniği, ORCID: 0000-0001-7808-7300

veya stentleme için temel adaylardır (Bonati et al., 2021; Spiliopoulos et al., 2024). Özellikle KEA açısından cerrahi riskin yüksek olduğu anatomik ve fizyolojik durumlarda (boyun bölgesine önceden radyoterapi alınması, trakeostomi varlığı, yüksek seviyeli lezyonlar, önceki KEA sonrası gelişen restenoz, kontralateral karotis oklüzyonu veya hastanın boyun cerrahisine uygun olmayan obezite/immobilite durumu) KAS öncelikli olarak tercih edilmelidir (AbuRahma et al., 2022; Spiliopoulos et al., 2024).

Asemptomatik Hastalar: Asemptomatik hastalarda darlık derecesi ve medikal tedavi ile inme riski dengesi dikkate alınmalıdır. Son yayımlanan CREST-2 (2025) çalışması, yüksek dereceli (≥ 70) asemptomatik darlığı olan hastalarda yoğun medikal tedaviye stentlemenin eklenmesinin, ortalama 4 yıllık takiplerde inme veya ölüm riskini tek başına medikal tedaviye kıyasla belirgin şekilde düşürdüğünü (%6.0-%2.8) kanıtlamıştır (Brott et al., 2025). Buna karşın, düşük ve orta inme riski taşıyan asemptomatik hastalarda (ECST-2 çalışması) ilk 2 yılda optimal medikal tedaviye revaskülarizasyon eklenmesinin ilave bir fayda sağlamadığı da gösterilmiştir (Donners et al., 2025). Dolayısıyla, asemptomatik olgularda rutin işlemden ziyade, görüntüleme ve klinik risk faktörleri göz önünde bulundurularak elektif KAS kararı alınmalıdır (Naylor et al., 2023).

KONTRENDİKASYONLAR

Elektif KAS işleminin bazı mutlak kontrendikasyonları mevcuttur. Aortik ark anatomisinin endovasküler erişime olanak tanımayacak kadar kötü olması (örn. ileri derece Tip 3 arkus veya masif kalsifikasyonlar) ve akut olmayan elektif şartlarda karotis arteri içinde taze/intraluminal trombus (serbest yüzen trombus) bulunması KAS için kesin kontrendikasyon oluşturur (Naylor et al., 2023; Spiliopoulos et al., 2024). Damarın ileri derecede tortüöz olması veya işlem sırasında beyin koruma cihazlarının yerleştirilmesinin imkansız olduğu durumlar ise rölatif kontrendikasyonlardır (Spiliopoulos et al., 2024). eGFR düşüklüğü (kronik böbrek yetmezliği), elektif karotis stentleme (KAS) işlemi için mutlak bir kontrendikasyon değildir, ancak tedavi kararını doğrudan etkileyen ve dikkatli yönetilmesi gereken önemli bir risk faktörüdür (Spiliopoulos et al., 2024).

İŞLEM ÖNCESİ HAZIRLIK VE MEDİKAL TEDAVİ

Girişimsel radyoloji ünitesine alınacak hastaların işlem öncesi optimizasyonu şarttır. Hastaların işleme mutlaka ikili antiplatelet tedavi (DAPT) altında girmesi gerekir; elektif işlemden 5-7 gün önce asetilsalisilik asit (ASA) (100 mg) ve klopidoğrel (75 mg) başlanmalıdır (Spiliopoulos et al., 2024). Tüm KAS hastalarına perioperatif ve uzun dönem inme ve mortalite riskini azaltmak amacıyla statin tedavisi başlanması kuvvetle önerilmektedir (AbuRahma et al., 2022). Ayrıca hastaların böbrek fonksiyonları değerlendirilmeli ve kontrast nefropatisini önlemek adına hidrasyon sağlanmalıdır (Spiliopoulos et al., 2024). Karotis stentlemede kontrast enjeksiyonu karotis/subklavyen düzeyinden yapıldığı için ESUR (European Society of Urogenital Radiology) sınıflamasına

göre “intraarteriyel ikinci geçiş renal maruziyet” grubuna girer; bu grupta risk eşiği genellikle eGFR <30 mL/dk/1.73 m² olarak alınır (Guidelines-2025-ESUR-vf-1, n.d.).

ENDOVASKÜLER TEDAVİ TEKNİKLERİ

Temel standart yaklaşım transfemoral erişimdir. Damar ponksiyonu sırasında başarıyı artırmak, lokal hematoma riskini azaltmak için mutlaka ultrasonografi (US) eşliğinde giriş yapılmalı ve lokal anestezi uygulanmalıdır (Spiliopoulos et al., 2024). Transfemoral aksesin zorlu veya riskli olduğu kompleks aortik arkus anatomilerinde (tip 3 arkus vb.) transradial/transbrakiyal yollar tercih edilebilir (Naylor et al., 2023; Spiliopoulos et al., 2024). Günümüzde giderek yaygınlaşan bir diğer yöntem ise Transkarotis Arter Revaskülarizasyonu'dur (TCAR). TCAR, doğrudan proksimal ana karotis arterden girilerek ve dinamik akım geri çevirme (flow reversal) sistemi ile serebral emboliyi önleyerek yapılan hibrid bir tekniktir (Kashyap et al., 2022; Spiliopoulos et al., 2024). Hem standart cerrahi riskli hastalarda hem de yüksek riskli grupta 1 yıllık takiplerde nörolojik komplikasyonların %1'in altında olmasıyla yüksek güvenlik profili sergilemiştir (AbuRahma et al., 2022; Jim et al., 2025). Hatta yakın tarihli analizlerde asemptomatik hastalarda TCAR yönteminin, transfemoral stentlemeye kıyasla inme insidansını daha fazla azalttığı gösterilmiştir (Columbo et al., 2025).

KAS prosedürleri sırasında nörolojik koruma rutin bir standarttır (AbuRahma et al., 2022; Naylor et al., 2023). İki temel sistem mevcuttur: Distal filtreler ve proksimal balon oklüzyon/akım çevirme sistemleri (AbuRahma et al., 2022; Spiliopoulos et al., 2024). Proksimal koruma sistemleri, internal karotis arterin çok tortüöz veya yoğun kalsifik olduğu, distal filtrenin darlıktan geçirilmesinin yüksek emboli riski taşıdığı olgularda çok daha avantajlıdır (Spiliopoulos et al., 2024). Ancak eksternal karotis arter (ECA) veya ana karotis arter (CCA) orjininde ciddi lezyon varsa proksimal balonların yerleştirilmesi kontrendikedir (Naylor et al., 2023).

Stent hücre tasarımı hastanın anatomisine ve plak morfolojisine göre seçilir (Naylor et al., 2023). Açık hücreli (örn. Protege) stentler kıvrımlı damarlarda anatomik uyum sağlarken, kapalı hücreli (örn. Wallstent) stentler yüksek embolik risk taşıyan veya ülser plakların üzerini daha iyi kapatır (Spiliopoulos et al., 2024). Yeni nesil çift katmanlı (dual-layer micromesh) stentler (örn. CGuard, Roadsaver) plak prolapsusunu engellemede üstün özelliklere sahiptir ve elektif vakalarda güvenle tercih edilebilir (Naylor et al., 2023; Spiliopoulos et al., 2024).

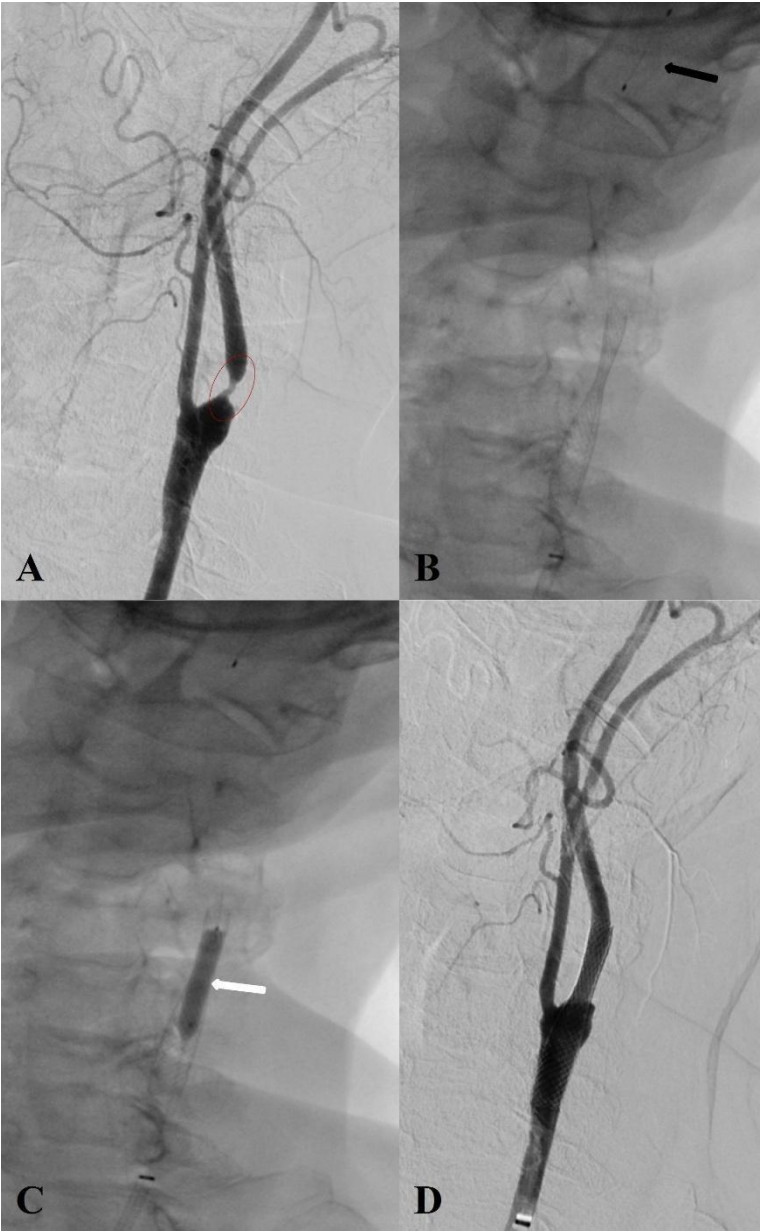
Darlığın şiddetine göre işlem öncesi pre-dilatasyon (2-4 mm çaplı balonlarla) ve stent yerleştirildikten sonra post-dilatasyon (4-6 mm çaplı balonlarla) uygulanır (Spiliopoulos et al., 2024). Baroreseptörlerin uyarılmasına bağlı gelişebilecek derin bradikardi, asistoli ve hipotansiyonu engellemek için balon şişirilmeden hemen önce intravenöz atropin uygulanmalıdır (Naylor et al., 2023). Şunu unutmamak gerekir ki endovasküler KAS işleminin asıl amacı arterin

anatomik olarak maksimum açıklığa kavuşturulması değil, plağın stent ile örtülerek distal embolizasyonun engellenmesidir; bu nedenle agresif post-dilatasyondan kaçınılmalıdır (Spiliopoulos et al., 2024).

Resim 1 ve 2’de iki farklı hastaya ait işlem basamakları gösterilmektedir.



Resim 1. Üç ay önce geçirilmiş serebrovasküler olay öyküsü bulunan ve sekelsiz iyileşen 67 yaşındaki erkek hastada sağ internal karotis arter darlığının endovasküler tedavisi. Dijital subtraksiyon anjiyografide; sağ internal karotis arter orijininde yaklaşık %90 oranında kritik darlık izlenmektedir (A). Distal emboli koruyucu filtre yerleştirildikten sonra, 2,5 mm çaplı balon ile predilatasyon uygulanmaktadır (siyah ok: distal emboli koruyucu filtre, beyaz ok: predilatasyon balonu) (B). Stent yerleştirilmesi sonrasında rezidü darlık izlenmektedir (C). Postdilatasyon sonrasında distal emboli koruyucu filtrenin çıkarılması gösterilmektedir (siyah ok) (D). Kontrol DSA görüntüsünde stent ve balon sonrası sağ internal karotis arterde tam patensi sağlandığı izlenmektedir (E). Kontrol serebral anjiyografide distal emboli bulgusu saptanmamıştır (F).



Resim 2. Bir ay önce geçirilmiş geçici iskemik atak öyküsü bulunan 76 yaşındaki erkek hastada sol internal karotis arter darlığının endovasküler tedavisi. Dijital subtraksiyon anjiyografide; sol internal karotis arter orijininde yaklaşık %70 oranında darlık izlenmektedir (A). Stent yerleştirilmesi sonrasında elde olunan görüntüde, stentin distal kesiminde tam açılmayan segment dikkati çekmektedir (siyah ok: distal emboli koruyucu filtre) (B). Stentin tam açılmayan segmentine 4 mm çaplı balon ile dilatasyon uygulanmaktadır (beyaz ok) (C). Balon dilatasyonu ve stentleme işlemi sonrasında elde olunan kontrol DSA görüntüsünde, sol internal karotis arterde tam patensi sağlandığı izlenmektedir (D).

KOMPLİKASYONLAR VE YÖNETİMİ

Karotis stentleme sonrasında gelişebilecek majör komplikasyonlar inme ve hemodinamik instabilitedir.

İnme: KAS sonrası gelişen inmelerin %94'ü iskemik kökenlidir ve genellikle ipsilateral bölgede izlenir (Naylor et al., 2023). İşlem sırasında veya hemen bitiminde (hasta anestezi altında değilse masadan kalkmadan önce) nörolojik muayene yapılmalıdır. Herhangi bir nörolojik defisit anında, serebral dolaşımın ve stent açıklığının değerlendirilmesi için hızla görüntüleme ve anjiyografi kontrolü yapılmalıdır (Accreditation Commission, n.d.; Naylor et al., 2023).

Hemodinamik İnstabilite: Stentin karotis sinüse yaptığı mekanik baskı sebebiyle vazovagal yanıtla sekonder ciddi hipotansiyon görülebilir.

Serebral Hiperperfüzyon Sendromu: Uzun süreli şiddetli ipsilateral darlıkların aniden açılması sonrası ipsilateral beyin parankiminde oteregülasyon kaybı nedeniyle kanamanın veya ödemin tetiklendiği; nadir fakat mortalitesi yüksek bir sendromdur (Kashyap et al., 2022; Naylor et al., 2023). En önemli profilaktik adım perioperatif ve postoperatif dönemde kan basıncının çok sıkı kontrol altında (normotansif aralıkta) tutulmasıdır (Kashyap et al., 2022).

İŞLEM SONRASI MEDİKAL TEDAVİ VE HASTA TAKIBI

Karotis arter stentleme (KAS) işleminin uzun dönem başarısı ve komplikasyonların önlenmesi, işlem sonrası uygulanan medikal tedavinin titizlikle yönetilmesine bağlıdır.

Antiplatelet Tedavi: Stent trombozunu ve erken dönem embolik olayları engellemek için, hastalar işlem sonrasında en az 4 hafta boyunca DAPT devam etmelidir (AbuRahma et al., 2022; Naylor et al., 2023). Bu rejim genellikle ASA (75-325 mg/gün) ve klopidoğrel (75 mg/gün) kombinasyonundan oluşur (Naylor et al., 2023). Dört haftalık sürecin sonunda, hastanın eşlik eden başka bir kardiyak veya vasküler hastalık endikasyonu bulunmuyorsa, ikili tedavi sonlandırılmalıdır. Uzun dönemde kanama riskini artırmamak adına ömür boyu tekli antiplatelet tedaviye (tercihen sadece 75 mg/gün klopidoğrel veya düşük doz ASA) geçilmesi şiddetle önerilmektedir. Yüksek gastrointestinal kanama riski taşıyan hastalarda tedaviye proton pompa inhibitörü (PPI) eklenecekse, klopidoğrel'in antiplatelet etkisini zayıflatmayan ajanların (örn. pantoprazol) seçilmesine dikkat edilmelidir (Naylor et al., 2023).

Lipid Düşürücü Tedavi: İşlem öncesinde başlanan statin tedavisi, plağı stabilize edici, anti-enflamatuar ve nöroprotektif etkileri nedeniyle perioperatif ve uzun dönem inme/miyokard enfarktüsü riskini azaltmakta kritik rol oynar. Statin tedavisinin işlem sonrası aniden kesilmesinden, artmış kardiyovasküler morbidite ve mortalite riski nedeniyle kesinlikle kaçınılmalıdır (AbuRahma et al., 2022).

Hemodinamik Monitörizasyon ve Kan Basıncı Kontrolü: KAS uygulanan hastalar işlem sonrasında en az 24 saat boyunca yoğun bakım ünitelerinde yakından takip edilmelidir. Bu süreçte kan basıncı yönetimi hayati önem taşır (Spiliopoulos et al., 2024).

Uzun süredir stenotik olan damarın aniden açılması beyin parankiminde hiperperfüzyona, ödeme veya intrakraniyal kanamaya yol açabilir. Bunu önlemek için sistolik kan basıncının <140 mmHg ve diyastolik kan basıncının <90 mmHg seviyelerinde tutulması hedeflenmelidir. Dirençli postoperatif hipertansiyon durumunda intravenöz sodyum nitroprussid gibi hızlı etkili ve yarı ömrü kısa vazodilatörler tercih edilebilir (AbuRahma et al., 2022; Spiliopoulos et al., 2024).

Nörolojik Değerlendirme ve Görüntüleme Takipleri: Genel anestezi uygulanmamış hastalarda anjiyo masasından kalkmadan önce, tüm hastalarda ise işlem sonrası ilk 24 saat içinde mutlaka detaylı bir nörolojik muayene yapılmalıdır. Erken dönemde preoperatif NIHSS skorunda >2 puanlık bir artış veya yeni bir nörolojik defisit saptanırsa acil görüntüleme ve anjiyografik değerlendirme yapılmalıdır (Accreditation Commission, n.d.; Naylor et al., 2023).

Uzun dönem takip stratejisi olarak, stent açıklığını ve olası re-stenozları değerlendirmek için işlem sonrası ilk 1-3 ay içerisinde Doppler ultrasonografi yapılmalı ve sonrasında hastalar klinik risklerine göre yıllık ultrasonografi kontrolleriyle izlenmelidir (Accreditation Commission, n.d.).

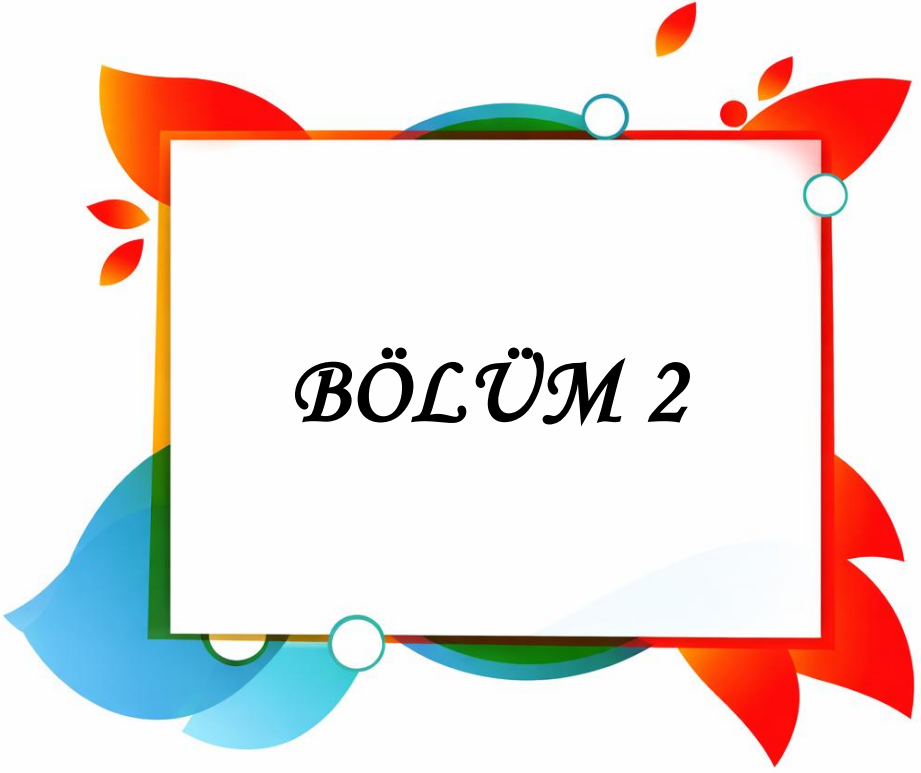
SONUÇ

Aterosklerotik ekstrakraniyal karotis darlıklarının endovasküler tedavisi uygun hasta seçimi, iyi medikal optimizasyon ve deneyimli girişimsel radyoloji ekipleri tarafından uygulandığında düşük komplikasyon ve yüksek başarı oranlarına sahiptir. Özellikle darlığın derecesi ve hastanın bireysel anatomik/cerrahi risk profili detaylıca incelenerek multidisipliner olarak tedavi stratejisine karar verilmelidir.

REFERANSLAR

1. Bonati LH, Kakkos S, Berkefeld J, et al. European Stroke Organisation guideline on endarterectomy and stenting for carotid artery stenosis. *Eur Stroke J*. 2021;6(2):I-XLVII. doi:10.1177/23969873211012121
2. Spiliopoulos S, Blanc R, Gandini R, Müller-Hülsbeck S, Reith W, Moschovaki-Zeiger O. CIRSE Standards of Practice on Carotid Artery Stenting. *Cardiovasc Intervent Radiol*. 2024;47(6):705-716. doi:10.1007/s00270-024-03707-y
3. AbuRahma AF, Avgerinos ED, Chang RW, et al. The Society for Vascular Surgery implementation document for management of extracranial cerebrovascular disease. *J Vasc Surg*. 2022;75(1):26S-98S. doi:10.1016/j.jvs.2021.04.074
4. Naylor R, Rantner B, Ancetti S, et al. Editor's Choice – European Society for Vascular Surgery (ESVS) 2023 Clinical Practice Guidelines on the Management of Atherosclerotic Carotid and Vertebral Artery Disease. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*. 2023;65(1):7-111. doi:10.1016/j.ejvs.2022.04.011
5. Brott TG, Howard G, Lal BK, et al. Medical Management and Revascularization for Asymptomatic Carotid Stenosis. *New England Journal of Medicine*. 2025;394(3):219-231. doi:10.1056/nejmoa2508800
6. Donners SJA, van Velzen TJ, Cheng SF, et al. Optimised medical therapy alone versus optimised medical therapy plus revascularisation for asymptomatic or low-to-intermediate risk symptomatic carotid stenosis (ECST-2): 2-year interim results of a multicentre randomised trial. *Lancet Neurol*. 2025;24(5):389-399. doi:10.1016/S1474-4422(25)00107-3
7. European Society of Urogenital Radiology (ESUR), Contrast Media Safety Committee. ESUR Contrast Media Safety Committee Guidelines 2025. Vienna: European Society of Urogenital Radiology
8. Kashyap VS, So KL, Schneider PA, et al. One-year outcomes after transcarotid artery revascularization (TCAR) in the ROADSTER 2 trial. In: *Journal of Vascular Surgery*. Vol 76. Elsevier Inc.; 2022:466-473.e1. doi:10.1016/j.jvs.2022.03.872
9. Jim J, Dermody M, Peterson B, et al. Prospective, Multicenter Evaluation of Transcarotid Artery Revascularization in Standard-Risk Patients: 30-Day Outcomes of the ROADSTER 3 Study. *Ann Neurol*. Published online March 1, 2025. doi:10.1002/ana.78104
10. Columbo JA, Martinez-Camblor P, Stone DH, et al. Effectiveness of Transcarotid vs Transfemoral Carotid Stenting for Stroke Prevention. *JAMA Netw Open*. 2025;8(4). doi:10.1001/jamanetworkopen.2025.9143

11. Intersocietal Accreditation Commission. IAC Standards for Carotid Stenting Accreditation, 2025. Ellicott City, MD



BÖLÜM 2

Multinodüler Guatr Hastalarında Tiroid Arter Embolizasyonu

Bekir Sıtkı Said Ulusoy¹

GİRİŞ

Multinodüler Guatr Nedir?

Multinodüler guatr (MNG), tiroid bezinde birden fazla nodül oluşumu ile karakterize olan, genellikle benign bir hastalıktır. İyot eksikliği başta olmak üzere birçok farklı faktörle ilişkilendirilen bu durum, dünya genelinde yaygın görülen tiroid hastalıklarından biridir. MNG, hem eutiroid hem de hipertiroidi gibi farklı tiroid fonksiyon bozuklukları ile ilişkili olabilir (1,2).

Tanım ve Sınıflandırma

Multinodüler guatr, tiroid bezinin içinde birden fazla nodülün bulunduğu, düzensiz büyüme ile karakterize edilen bir hastalık tablosudur. Nodüller, boyutlarına, yapısına ve işlevselliğine göre sınıflandırılır (3-7):

- **Nodül Yapısı:**
 - **Solid Nodüller:** Katı doku yapısından oluşur.
 - **Kistik Nodüller:** Sıvı dolu boşluklar içerir.
 - **Mikst Nodüller:** Hem katı hem de sıvı içerik bulundurur.
- **Fonksiyonel Durumuna Göre:**
 - **Toksik Multinodüler Guatr:** Hormon üretimi yapan (hiperfonksiyonel) nodüller ile karakterizedir.
 - **Eutiroid Multinodüler Guatr:** Tiroid hormon düzeyleri normaldir, genellikle semptom vermeyen bir durumdur.

Epidemiyoloji

- Kadınlarda erkeklere oranla daha sık görülür.
- Yaşla birlikte görülme sıklığı artar.
- Endemik olarak iyot eksikliği bulunan bölgelerde daha yaygındır.

Patogenez

Multinodüler guatrın gelişimi multifaktöryel olup genetik, çevresel ve hormonal faktörlerin etkisi altındadır:

1. **İyot Eksikliği:** Tiroid hormon sentezi azalır, TSH düzeyi artar ve tiroid bezi hiperplaziye uğrar.
2. **Genetik Mutasyonlar:** TSH reseptörü genindeki aktivasyon mutasyonları veya RAS mutasyonları, nodül oluşumunda rol oynar.
3. **Heterojen Hormon Yanıtı:** Nodüller arasında değişen duyarlılıklar, otonom büyümeye neden olur.
4. **Mikroçevresel Faktörler:** Kronik inflamasyon ve oksidatif stres nodül gelişimini tetikleyebilir.

Klinik Bulgular

- **Asimptomatik Olgular:**
 - Nodüllerin çoğu küçük olduğunda ve tiroid fonksiyonları etkilenmediğinde semptom vermez.
- **Semptomatik Olgular:**
 1. **Bası Semptomları:**
 - **Disfaji:** Nodüllerin özofagusa baskı yapması nedeniyle yutma güçlüğü.
 - **Dispne:** Trakea kompresyonuna bağlı nefes darlığı.
 - **Dişfoni:** Rekürren laringeal sinirin etkilenmesine bağlı ses kısıklığı.
 2. **Tiroid Fonksiyon Bozuklukları:**
 - **Hipertiroidizm:** Toksik nodüllerin aşırı hormon üretmesi sonucu oluşur. Bulgular:
 - Çarpıntı
 - Aşırı terleme
 - Kilo kaybı
 - Sinirlilik
 - **Eutiroid Durum:** Tiroid hormonları normal seviyededir; nodüller yalnızca fiziksel olarak fark edilir.

3. Kozmetik Sorunlar:

- Tiroid bezinin belirgin büyümesi, boyun estetiğini etkileyebilir.

Tanı

Multinodüler guatr tanısı koymak için kullanılan yöntemler:

1. Anamnez ve Fizik Muayene:

- Ailede tiroid hastalığı öyküsü sorgulanır.
- Boyunda ele gelen düzensiz büyüme ve nodül varlığı değerlendirilir.

2. Laboratuvar Testleri:

- **TSH, Serbest T3 ve T4:** Tiroid fonksiyonlarının değerlendirilmesi.
- **Anti-TPO ve Anti-Tg Antikorları:** Otoimmün tiroid hastalıklarının ekarte edilmesi.

3. Görüntüleme Yöntemleri:

- **Tiroid Ultrasonografisi:** Nodüllerin boyutu, yapısı, solid veya kistik özellikleri değerlendirilir.
- **BT veya MR Görüntüleme:** Trakea veya özofagus kompresyonunun detaylı analizi için kullanılır.
- **Sintigrafi:** Sıcak (hiperfonksiyonel) veya soğuk (hipofonksiyonel) nodüllerin ayrımı yapılır.

4. İnce İğne Aspirasyon Biyopsisi (İİAB):

- Malignite şüphesi olan nodüllerde uygulanır. Özellikle ultrason eşliğinde yapılan biyopsi tanıda altın standarttır.

Ayırıcı Tanı

- **Graves Hastalığı**
- **Tiroiditler (Hashimoto, Subakut Tiroidit)**
- **Tiroid Kanseri**
- **Soliter Toksik Nodül**

Tedavi Yaklaşımı

Tedavi, klinik semptomlara, tiroid hormon düzeylerine, nodül boyutlarına ve malignite riskine bağlı olarak belirlenir:

1. İzlem ve Takip:

- Eutiroid ve küçük nodüllü hastalar düzenli ultrason ve biyokimyasal değerlendirme ile takip edilir.

2. Medikal Tedavi:

- Antitiroid ilaçlar veya radyoaktif iyot tedavisi toksik nodüllü hastalarda kullanılabilir.

3. Cerrahi Tedavi:

- Büyük guatr, bası semptomları veya malignite şüphesi durumunda tiroid cerrahisi uygulanır.

4. Minimal İnvaziv Yöntemler:

- **Tiroid Arter Embolizasyonu:** Bası semptomlarını azaltmak veya nodül boyutlarını küçültmek için etkili bir yöntemdir.
- **Lokal Ablasyon Yöntemleri:** Radyofrekans veya lazer ablasyon kullanılabilir.

Sonuç

Multinodüler guatr, yaygın bir tiroid hastalığıdır ve doğru tanı ile bireysel bir tedavi yaklaşımı gerektirir. Hastalığın seyrini ve tedavi yöntemlerini belirlemek için multidisipliner bir yaklaşım önemlidir.

Multinodüler Guatrın Epidemiyolojisi ve Etiyolojisi

Epidemiyoloji

Multinodüler guatr (MNG), dünya genelinde tiroid hastalıkları arasında oldukça yaygındır ve özellikle iyot eksikliği bulunan bölgelerde daha sık görülür. Epidemiyolojik veriler, coğrafi ve çevresel faktörlerin yanı sıra genetik yatkınlığın da bu hastalığın oluşumunda önemli bir rol oynadığını göstermektedir (8-10).

1. Prevalans:

- MNG, yaşla birlikte artan bir prevalansa sahiptir.

- İyot eksikliği bölgelerinde yetişkin popülasyonun %30-50'sinde guatr görülebilir.
- Endemik iyot eksikliği olmayan bölgelerde MNG sıklığı daha düşüktür, ancak yine de yaşla artar.

2. Cinsiyet Farklılıkları:

- Kadınlarda, erkeklere göre 4-10 kat daha sık görülür. Bu durum, hormonal farklılıklara ve kadınların tiroid hastalıklarına olan yatkınlığına bağlanmaktadır.

3. Yaş Dağılımı:

- 50 yaş üzerindeki bireylerde yaygınlığı belirgin şekilde artar. Bu durum, tiroid bezinin uzun süreli uyarılmasıyla ilişkilidir.

4. Coğrafi Dağılım:

- İyot eksikliği endemik olan bölgelerde (örneğin dağlık alanlar veya içme suyundaki iyot düzeyi düşük olan bölgeler) MNG oranı daha yüksektir.
- İyot takviyesi programlarının uygulandığı bölgelerde hastalığın prevalansı önemli ölçüde azalmıştır.

Etiyoloji

Multinodüler guatrın gelişimi multifaktöryel bir süreçtir. Hastalığın oluşumunda genetik, çevresel ve hormonal faktörlerin yanı sıra tiroid bezinin fizyolojik adaptasyonları önemli rol oynar (11, 12).

1. İyot Eksikliği:

- İyot eksikliği, MNG'nin en yaygın nedenlerinden biridir.
- Tiroid hormonu sentezinde yetersiz iyot alımı, tiroid stimülan hormonunun (TSH) artmasına neden olur. Bu da tiroid foliküllerinde hiperplazi ve hipertrofiye yol açarak nodül oluşumunu başlatır.

2. Genetik Yatkınlık:

- Ailevi geçiş gösterebilir. Genetik mutasyonlar, tiroid hücrelerinde aşırı büyüme ve otonomi ile sonuçlanabilir.

- TSH reseptörü genindeki aktivasyon mutasyonları ve GNAS gen mutasyonları, toksik nodüllerle ilişkilendirilmiştir.
3. **Hormonel Faktörler:**
- Kadınlarda hormonal değişiklikler (örneğin gebelik ve menopoz), tiroid bezinin büyümesine katkıda bulunabilir.
 - Östrojenin tiroid hücreleri üzerindeki etkisi, kadınlarda daha yüksek prevalansın bir nedeni olarak görülmektedir.
4. **Otoimmün Mekanizmalar:**
- Hashimoto tiroiditi gibi kronik inflamatuvar durumlar, nodül oluşumuna katkıda bulunabilir.
 - Ancak otoimmün süreçler, daha çok guatrın eutiroid veya hipotiroid formlarıyla ilişkilidir.
5. **Diğer Çevresel Faktörler:**
- **Sigara Kullanımı:** Tiyosiyanat içeriği nedeniyle iyot alımını azaltarak guatra katkıda bulunabilir.
 - **Beslenme Faktörleri:** Goitrojenik maddeler içeren gıdalar (örneğin lahana, brokoli) tiroid bezinde büyümeyi tetikleyebilir.
 - **Stres ve Oksidatif Hasar:** Kronik stres ve oksidatif hasar, tiroid hücrelerinde DNA hasarına ve nodül oluşumuna neden olabilir.
6. **İnflamatuvar ve Mikrovasküler Faktörler:**
- Kronik inflamasyon ve tiroid mikrovasküler dolaşımındaki bozukluklar, foliküler hiperplaziye yol açabilir.
7. **Yaşlanma ve Kronik TSH Uyarımı:**
- Yaşlanma ile birlikte tiroid bezindeki hücrelerin doğal rejenerasyon kapasitesi azalır, bu da nodül oluşumuna zemin hazırlar.
 - Kronik TSH uyarımı, özellikle iyot eksikliği durumunda nodül gelişimini destekler.
8. **Radyasyon Maruziyeti:**
- Çocukluk çağında tiroid bölgesine alınan radyasyon, nodül gelişim riskini artırabilir.

Patofizyolojik Süreç

MNG'nin patogeneğinde iki ana süreç dikkat çeker (13,14):

1. Heterojen Hücresel Proliferasyon:

- TSH uyarımı altında, farklı tiroid folikülleri değişen yanıtlar verir.
- Bazı foliküller hiperplastik ve hiperfonksiyonel hale gelirken, diğerleri atrofik veya inaktif kalabilir.

2. Mikroçevresel Değişiklikler:

- Oksidatif stres, DNA hasarı ve inflamatuvar süreçler, nodüllerin büyümesini destekleyen bir mikroçevre oluşturur.

Sonuç

Multinodüler guatrın gelişimi, çevresel faktörlerin ve genetik yatkınlığın etkileşiminin bir sonucudur. İyot eksikliği başta olmak üzere tiroid bezine uzun süreli stres uygulayan durumlar, hastalığın oluşumuna katkıda bulunur. Bu nedenle, MNG'nin önlenmesi ve tedavisi için iyot takviyesi programları, erken tanı ve bireyselleştirilmiş tedavi yaklaşımları büyük önem taşır.

Tedavi Yöntemlerine Genel Bakış

Multinodüler guatr (MNG) tedavisi, hastanın klinik durumu, nodülün özellikleri, semptomların şiddeti ve komplikasyon riskine göre bireyselleştirilir. Temel tedavi yöntemleri arasında cerrahi müdahale, medikal tedavi ve minimal invaziv prosedürler bulunur (15-19).

1. Cerrahi Tedavi:

- **Total veya Subtotal Tiroidektomi:** Büyük, semptomatik nodüllerde veya malignite şüphesinde tercih edilir. Ayrıca, hava yolu basısı veya disfaji gibi komplikasyonları olan hastalar için ilk tercihtir.
- Cerrahi, yüksek komplikasyon riski (hipoparatiroidizm, ses kısıklığı) nedeniyle dikkatli seçilmelidir.

2. Radyoaktif İyot (RAI) Tedavisi:

- Toksik multinodüler guatrda yaygın olarak kullanılır. Tiroid hücrelerinin radyasyonla küçülmesini sağlar.

- Büyük nodüller için etkisi sınırlı olabilir ve birkaç ay içinde sonuç alınabilir.

3. Medikal Tedavi:

- Tirotoksikozda antitiroid ilaçlar (metimazol, propiltiourasil) kullanılabilir. Ancak, MNG'nin uzun vadeli tedavisinde sınırlı bir rol oynar.
- Levotiroksin tedavisi, baskılama amacıyla seçilmiş hastalarda kullanılabilir.

4. Minimal İnvaziv Girişimler:

- **Tiroid Arter Embolizasyonu (TAE):** MNG'nin kan akışını azaltarak nodül boyutunda küçülme sağlar. Cerrahiye uygun olmayan veya cerrahiye reddeden hastalar için etkili bir seçenektir.
- **Radyofrekans Ablasyon (RFA) ve Lazer Ablasyon (LA):** Özellikle benign nodüllerde güvenli ve etkili yöntemlerdir.

Sonuç

Tiroid arter embolizasyonu gibi minimal invaziv yaklaşımlar, özellikle cerrahi risk taşıyan veya cerrahiden kaçınan hastalarda, komplikasyon oranlarının düşük olması ve iyileşme süresinin hızlı olması nedeniyle giderek daha fazla tercih edilmektedir. Bu yöntemler, MNG tedavisinde önemli bir alternatif oluşturur.

TİROİD ARTER EMBOLİZASYONUNUN TANIMI VE TARİHÇESİ

Embolizasyon Nedir?

Embolizasyon, kan damarlarını tıkayarak belirli bir organ veya dokudaki kan akışını azaltmayı veya durdurmayı amaçlayan minimal invaziv bir girişimsel radyoloji prosedürüdür. Bu işlem, genellikle anjiyografi eşliğinde yapılır ve tıkanıklık sağlamak için embolik materyaller (örneğin, mikro kürecikler, sıvı embolik ajanlar, koiller veya partiküller) kullanılır (20-22).

Embolizasyonun başlıca amaçları şunlardır:

1. **Kanama Kontrolü:** Travmatik veya cerrahi kaynaklı kanamaların durdurulması.

2. **Tümör Tedavisi:** Tümörlerin kanlanması azaltarak büyümesini engellemek veya tedaviye yardımcı olmak (örneğin, karaciğer tümörlerinde transarteriyel kemoembolizasyon - TACE).
3. **Vasküler Anomalilerin Tedavisi:** Arteriovenöz malformasyon (AVM) veya anevrizma gibi vasküler yapıların tedavisi.
4. **Organ Spesifik Uygulamalar:** Multinodüler guatr gibi hastalıklarda tiroid bezine giden kan akışını azaltarak nodüllerin küçülmesini sağlamak.

Sonuç

Embolizasyon, cerrahiye alternatif olarak kullanılan etkili ve genellikle düşük komplikasyon riski taşıyan bir tedavi seçeneğidir.

Tiroid Arter Embolizasyonunun Gelişimi

Tiroid arter embolizasyonu (TAE), tiroid hastalıklarının minimal invaziv tedavisinde kullanılan yenilikçi bir yöntemdir ve ilk olarak 1990'lı yıllarda uygulanmaya başlanmıştır. Başlangıçta, toksik multinodüler guatr ve tiroid bezi hipertrofinin tedavisi için alternatif bir yaklaşım olarak geliştirilmiştir. Cerrahiye uygun olmayan veya cerrahiye reddeden hastalar için güvenli bir seçenek olarak kabul edilmiştir (23,24).

Bu yöntemin gelişimi, girişimsel radyolojideki teknolojik ilerlemeler ve embolik materyallerin çeşitlenmesiyle mümkün olmuştur. Başlangıçta kullanılan partikül ve koil gibi embolik ajanlar, giderek daha etkili ve kontrollü kan akışı tıkanıklığı sağlayan malzemelerle değiştirilmiştir.

Sonuç

TAE'nin klinik kullanımı, özellikle cerrahiye alternatif bir tedavi yöntemi olarak dikkat çekmiştir. Daha az invaziv olması, genel anestezi gerektirmemesi ve kısa iyileşme süresi gibi avantajları nedeniyle, guatr tedavisinde güvenilir bir seçenek olarak yaygınlaşmıştır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, TAE'nin nodül boyutunda azalma ve semptom kontrolü açısından etkili bir yöntem olduğunu göstermiştir.

TİROİD ARTER EMBOLİZASYONUNUN ENDİKASYONLARI

Multinodüler Guatr Tedavisinde Embolizasyonun Yeri

Multinodüler guatr (MNG) tedavisinde embolizasyon, cerrahi ve diğer invaziv yöntemlere alternatif olarak minimal invaziv bir girişimsel tedavi seçeneği sunar. Özellikle cerrahi müdahaleye uygun olmayan, ileri yaştaki veya eşlik eden ciddi hastalıkları bulunan hastalarda önemli bir tedavi yöntemi olarak kabul edilmektedir.

Embolizasyonun Mekanizması

Tiroid arter embolizasyonu (TAE), tiroid bezini besleyen arterlerin tıkanması yoluyla tiroid dokusuna kan akışını azaltmayı hedefler. Bu işlem, nodül hacminde küçülme ve tiroidin fonksiyonel aktivitesinde azalmaya neden olur. Sonuç olarak, basıya bağlı semptomlar düzelir ve hiperfonksiyonel nodüllerin aktivitesi kontrol altına alınır (25-28).

Kullanım Alanları

1. Toksik Multinodüler Guatr:

- Tirotoksikoz kontrolü için cerrahi veya radyoaktif iyot tedavisine alternatif bir yöntemdir.
- Kan akışının kesilmesiyle hormon üretimi azalır.

2. Büyük ve Bası Yapan Guatrlar:

- Solunum ve yutma zorluğu gibi bası semptomlarını hafifletmek amacıyla kullanılır.
- Cerrahiye uygun olmayan hastalarda semptomatik rahatlama sağlar.

3. Cerrahi Riski Yüksek Hastalar:

- Anesteziye veya cerrahiye uygun olmayan hastalarda etkili bir tedavi seçeneğidir.
- Daha az invaziv olması, iyileşme sürecinin hızlı ve komplikasyon oranının düşük olması avantaj sağlar.

Avantajları

- Genel anestezi gerektirmez; lokal anestezi ve sedasyon ile uygulanabilir.
- Kısa süreli hastanede yatış gerektirir.

- Postoperatif komplikasyon riski düşüktür.
- Cerrahiye kıyasla daha az invaziv bir alternatiftir.

Dezavantajları ve Sınırlamaları

- Nodül küçülmesi ve semptomların düzelmesi zaman alabilir.
- Tam bir tedavi sağlamayabilir; cerrahi kadar radikal değildir.
- Vasküler yapıya bağlı olarak embolizasyon başarısı değişkenlik gösterebilir.

Sonuç

Tiroid arter embolizasyonu, MNG tedavisinde cerrahiye uygun olmayan hastalar için etkili ve güvenilir bir alternatif yöntemdir. Hem semptom kontrolü hem de nodül küçülmesi açısından başarılı sonuçlar sunar. Ancak, yöntemin etkili bir şekilde uygulanabilmesi için deneyimli girişimsel radyologlar tarafından yapılması ve uygun hasta seçiminin titizlikle gerçekleştirilmesi önemlidir.

Cerrahi Alternatiflere Göre Avantajları ve Dezavantajları

Tiroid arter embolizasyonu (TAE), multinodüler guatr (MNG) tedavisinde cerrahiye alternatif olarak geliştirilen minimal invaziv bir yöntemdir. Bu yöntemin cerrahi müdahalelere kıyasla avantajları ve sınırlamaları, hasta seçimi ve tedavi sonuçları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (29-31).

Avantajları

- 1. Minimal İnvaziv Olması:**
 - TAE, genel anestezi gerektirmez ve genellikle lokal anestezi altında yapılır. Bu, özellikle cerrahi riski yüksek olan hastalar için önemli bir avantajdır.
- 2. Daha Düşük Komplikasyon Riski:**
 - Cerrahi müdahalelerde görülen hipoparatiroidizm veya ses telleri felci gibi komplikasyonlar, TAE'de çok nadir görülür.
- 3. Kısa İyileşme Süresi:**
 - İşlem sonrası hastanede yatış süresi genellikle kısadır ve hasta günlük aktivitelerine hızlı bir şekilde dönebilir.
- 4. Cerrahiye Uygun Olmayan Hastalar İçin Seçenek:**

- İleri yaş, ciddi eşlik eden hastalıklar veya cerrahiyi reddeden hastalar için etkili bir alternatif sunar.
- 5. **Bası Semptomlarında Hızlı Rahatlama:**
 - Nodül boyutundaki küçülme ve semptomatik iyileşme, cerrahiye benzer şekilde sağlanabilir.
- 6. **Estetik Avantaj:**
 - Boyunda cerrahi bir iz bırakmaz.

Dezavantajları

1. **Tedavi Etkinliğinde Sınırlamalar:**
 - Cerrahi müdahale tiroid dokusunun tamamen çıkarılmasını sağlarken, TAE nodüllerin yalnızca küçülmesine neden olur. Bu nedenle, tam bir tedavi sağlayamayabilir.
2. **Tekrarlama Riski:**
 - TAE sonrası nodül boyutunda yeniden büyüme görülebilir ve tekrar tedavi gerektirebilir.
3. **Etkisinin Zaman Alması:**
 - Nodüllerin küçülmesi ve semptomların düzelmesi birkaç ay sürebilir. Bu, özellikle hızlı sonuç bekleyen hastalar için dezavantaj oluşturabilir.
4. **Deneyimli Uygulayıcı Gerekliliği:**
 - İşlemin başarıyla uygulanabilmesi için girişimsel radyolojide uzmanlık ve deneyim gereklidir.
5. **Sınırlı Uzun Dönem Veriler:**
 - TAE'nin uzun vadeli etkinliği ve güvenliği, cerrahi yöntemlere kıyasla daha az çalışılmıştır.
6. **Embolik Materyale Bağlı Reaksiyonlar:**
 - Nadir de olsa kullanılan embolik materyallere karşı reaksiyonlar veya işlem sırasında tiroid krizi gibi komplikasyonlar gelişebilir.

Sonuç

Tiroid arter embolizasyonu, cerrahiye uygun olmayan veya cerrahiden kaçınan hastalar için önemli bir alternatif tedavi seçeneği sunar. Ancak, yöntemin

avantajları ve dezavantajları dikkate alınarak, hasta seçiminin titizlikle yapılması ve bireyselleştirilmiş bir tedavi planı oluşturulması önemlidir.

TİROİD ARTER EMBOLİZASYONUNUN TEKNİK YÖNTEMİ

İşlem Öncesi Hazırlık

Tiroid arter embolizasyonunun (TAE) başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için işlem öncesi hazırlık kritik öneme sahiptir. Bu aşama, hasta güvenliğini sağlamak, komplikasyon riskini en aza indirmek ve işlemin etkinliğini artırmak amacıyla yapılır (32,33).

1. Hasta Değerlendirmesi ve Klinik İnceleme

- **Ayrıntılı Tıbbi Öykü:**

Hasta hikayesi alınarak mevcut tiroid hastalığının süresi, semptomları, eşlik eden hastalıklar ve önceki tedavi geçmişi değerlendirilir.

- **Fizik Muayene:**

Tiroid bezi büyüklüğü, nodüllerin varlığı ve boyun bölgesinde baskı semptomları fiziksel olarak incelenir.

2. Görüntüleme Çalışmaları

- **Ultrasonografi (USG):**

Tiroid nodüllerinin boyutu, vaskülaritesi ve yerleşimi hakkında detaylı bilgi sağlanır. İşlem sırasında hedeflenen arterlerin seçimi için rehber niteliğindedir.

- **BT veya MR Anjiyografi:**

Tiroidin kan damarlarının anatomisi değerlendirilir ve arteriyel embolizasyon için uygun damarlar belirlenir.

- **Tiroid Sintigrafisi:**

Özellikle hiperfonksiyonel nodüllerin tanımlanmasında yardımcıdır.

3. Laboratuvar Değerlendirmesi

- **Tiroid Fonksiyon Testleri:**

TSH, T3 ve T4 seviyeleri ölçülerek tiroidin fonksiyonel durumu değerlendirilir. Hiperfonksiyonel nodüller veya tirotoksikoz varlığında özel önlemler alınır.

- **Kan Testleri:**

- Hemogram, koagülasyon testleri (PT, aPTT, INR) işlem sırasında veya sonrasında kanama riskini değerlendirmek için gereklidir.
- Böbrek fonksiyon testleri (üre, kreatinin) kontrast madde kullanımına yönelik riskleri değerlendirmek için önemlidir.

4. Hasta Bilgilendirmesi ve Onam Alınması

- İşlem öncesinde hasta, TAE'nin amacı, prosedürün aşamaları, olası riskler ve beklenen sonuçlar hakkında ayrıntılı şekilde bilgilendirilmelidir.
- Yazılı onam formu alınır.

5. İlaç Kullanımı ve Hazırlık

- **Antikoagülan ve Antiplatelet İlaçlar:**
Hastanın kullandığı kan sulandırıcı ilaçlar varsa, işlem öncesinde kesilmesi gerekebilir (genellikle 5-7 gün önce).
- **Tirotoksikoz Tedavisi:**
Hiperfonksiyonel tiroid dokusu olan hastalarda, işlem sırasında tiroid krizini önlemek için antitiroid ilaçlar (ör. propiltiyourasil) veya beta-blokerler (ör. propranolol) ile tedavi başlanabilir.
- **Alerji Profilaksisi:**
Kontrast maddeye karşı alerji öyküsü olan hastalarda antihistaminik ve steroid profilaksisi uygulanabilir.

6. İşlem Günü Hazırlığı

- **Açlık Durumu:**
İşlemden 6-8 saat önce hastanın oral alımı kesilir.
- **Venöz Erişim:**
İntravenöz kanül yerleştirilerek işlem sırasında kontrast madde veya ilaç uygulaması için hazırlık yapılır.
- **Sedasyon:**
İşlem sırasında rahatlama sağlamak için sedatif ilaçlar işlem öncesinde hazırlanır.

7. Sterilite ve Lokal Hazırlık

- İşlemin uygulanacağı femoral veya radial arter bölgesi steril şekilde hazırlanır. Giriş bölgesinde enfeksiyon varlığı kontrol edilir.

Sonuç

İşlem öncesi hazırlık, TAE'nin başarısı ve güvenliği açısından kritik bir aşamadır. Hasta seçimi, klinik değerlendirme ve uygun hazırlık işlemi, komplikasyon risklerini azaltarak olumlu sonuçların elde edilmesine katkı sağlar.

Kullanılan Ekipman ve Malzemeler

Tiroid arter embolizasyonu (TAE), minimal invaziv bir işlem olduğu için, doğru ekipman ve malzemelerin kullanımı tedavinin başarısı için oldukça önemlidir. İşlem sırasında kullanılan ekipmanlar, damarların görselleştirilmesi, embolizasyon maddesinin hedeflenen bölgeye yönlendirilmesi ve damar tıkanıklığının sağlanmasını amaçlar. İşte bu işlemde yaygın olarak kullanılan ekipmanlar ve malzemeler (34-37):

1. Röntgen Cihazı ve Anjiyografi Sistemi

- **C-Arm Fluoroskopi Cihazı:**

Tiroid arterlerinin görselleştirilmesi ve embolizasyon işleminin yönlendirilmesi için kullanılır. Anjiyografik görüntüleme, işlem sırasında doğru arterin seçilmesini sağlar.

- **Beyaz-Siyah Fluoroskopik Görüntüleme:**

Embolizasyon maddesinin arter içine yerleştirilmesi sırasında hedef bölgenin doğru şekilde tespit edilmesi için gereklidir.

2. Kateter ve İntratüzörler

- **Selektif Kateterler:**

Tiroid arterlerine yönlendirilen özel kateterler, embolizasyon maddesinin hedeflenmesi ve doğru yere yerleştirilmesi için kullanılır. Genellikle femoral arterden geçiş yapılır ve tiroid arterlerine ulaşılır.

- **Tansiyonlu Kateterler:**

Yüksek basınç altında yerleştirilen kateterler, damar yapısına zarar vermeden embolizasyon maddesinin serbest bırakılmasını sağlar.

3. Embolizasyon Maddeleri

- **Partiküler Embolizanlar:**

Bu maddeler, hedef damarları tıkayarak kan akışını durdurur. Genellikle mikropartiküller veya mikrosferler kullanılır.

- **Likit Embolizanlar:**

N-Butil-2-cyanoacrylate (NBCA) gibi sıvı embolizanlar, damarları hızlı bir şekilde tıkayarak kan akışını engeller.

- **Spiraller ve Koil Sistemleri:**

Tiroid arterinin embolize edilmesinde kullanılan metal spiraller, arterlere yerleştirilerek damar tıkanıklığını sağlar.

4. Kontrast Maddeler

- **İyotlu Kontrast Maddeler:**

Anjiyografi sırasında damarların net bir şekilde görselleştirilmesi için iyotlu kontrast maddeler kullanılır. Bu maddeler, arterlerin içinde kontrast yaparak işlem sırasında yönlendirme sağlar.

5. Monitörler ve İzleme Sistemleri

- **EKG ve Hemodinamik Monitörler:**

Hastanın kalp atış hızı, kan basıncı ve oksijen saturasyonu izlenir. Bu, işlem sırasında komplikasyonları engellemeye yardımcı olur.

- **Oksijenasyon İzleme:**

Vücut oksijen seviyeleri takip edilir ve hasta anestezi altında iken oksijenasyon durumunun stabil olması sağlanır.

6. Steril Ekipman ve İhtiyaçlar

- **Steril Setler ve Aletler:**

İşlem sırasında enfeksiyon riskini azaltmak için tüm aletler sterilize edilir.

- **Cerrahi Eldiven ve Örtüler:**

Girişimsel prosedürlerin steril ortamda gerçekleştirilmesi için gereklidir.

Sonuç

Tiroid arter embolizasyonunda kullanılan ekipman ve malzemeler, işlemin başarısını doğrudan etkileyen unsurlardır. Yüksek kaliteli görüntüleme cihazları, doğru kateter ve embolizan seçimleri ile hastanın güvenliğini sağlayan tedavi uygulanabilir.

Teknik Detaylar: Kateterizasyon, Embolizan Maddeler

Tiroid arter embolizasyonu (TAE), minimal invaziv bir girişimsel prosedürdür. Bu işlemin teknik başarıya ulaşabilmesi için doğru kateterizasyon ve uygun embolizan maddelerin seçimi oldukça önemlidir. İşlem, damarların doğru şekilde seçilmesi, embolizan maddelerin etkin bir şekilde yerleştirilmesi ve hedef bölgenin embolize edilmesini sağlar. İşte bu prosedürün temel teknik detayları (35, 38,39):

1. Kateterizasyon

- **Giriş Yeri:**

Embolizasyon işlemi genellikle femoral arterden erişim ile başlar, ancak bazen radial arter de kullanılabilir.

- **Selektif Kateterizasyon:**

Kateter, anjiyografi cihazı rehberliğinde, femoral arterden girilerek tiroid arterlerine yönlendirilir. Kateterin doğru yere yerleştirilmesi, embolizasyon için hedeflenen damarların doğru bir şekilde seçilmesi için kritik öneme sahiptir.

- **Anjiyografik Görüntüleme:**

Kateterin yerleştirilmesinin ardından, tiroid arterlerinin anjiyografik görüntüleri alınır. Bu görüntüler, arterlerin anatomisi ve hastalıklı dokular hakkında bilgi verir, doğru embolizasyon bölgesinin belirlenmesine yardımcı olur.

2. Embolizan Maddeler

Embolizan maddeler, tiroid arterlerini tıkayarak kan akışını durdurur ve tiroid dokusunun küçülmesini veya fonksiyonel olarak baskılanmasını sağlar.

Kullanılan embolizan maddeler, genellikle şunlardır:

- **Partiküler Embolizanlar:**

Mikropartiküller veya mikrosferler, tiroid arterlerine yerleştirildikten

sonra, damarları tıkayarak kan akışını engeller. Bu maddeler genellikle daha kontrollü bir embolizasyon sağlar ve doku tahribatını hedefler.

- **Likit Embolizanlar:**

N-Butil-2-cyanoacrylate (NBCA) gibi sıvı embolizanlar, damarları hızlı bir şekilde tıkayarak etkili bir embolizasyon sağlar. Ancak, bu maddelerin kullanımı dikkatlice izlenmeli ve komplikasyon riski değerlendirilmelidir.

- **Spiraller ve Koil Sistemleri:**

Metal spiraller, damarları mekanik olarak tıkayarak embolizasyon sağlar. Bu tür embolizanlar, genellikle büyük damarlar veya daha güçlü embolizasyon gereksinimlerinde kullanılır.

3. İşlem Süreci ve İzleme

- **Embolizasyon Süreci:**

Kateter doğru arterlere yerleştirildikten sonra, embolizan madde yavaşça serbest bırakılır. Bu işlem, damarların tamamen tıkanmasını sağlar ve kan akışı kesilerek nodüllerin küçülmesine yardımcı olur.

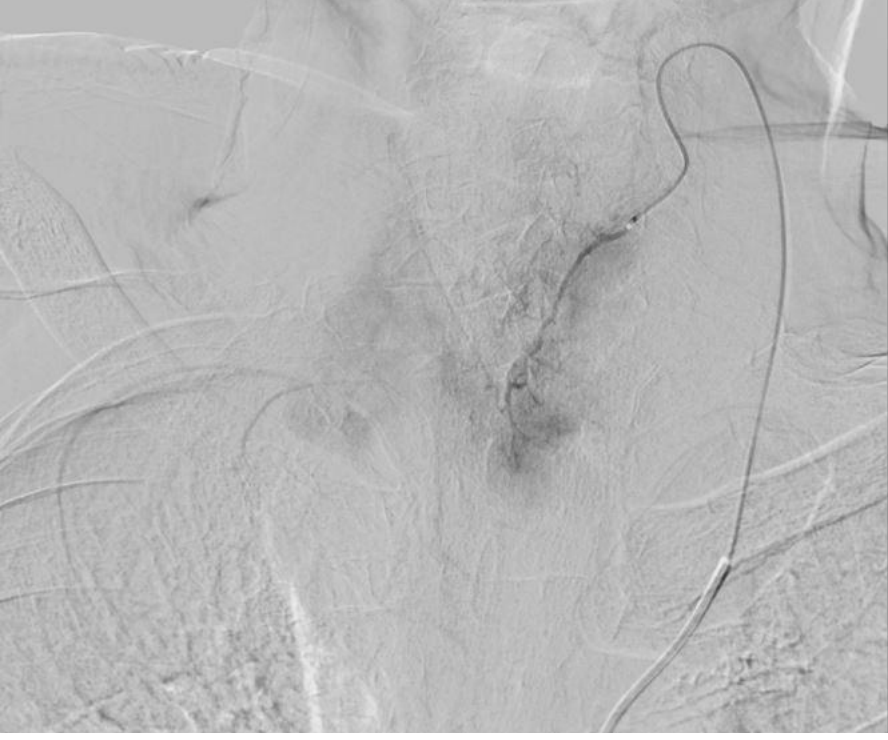
- **Anjiyografik Takip:**

Embolizan maddelerin yerleştirilmesinin ardından, anjiyografik görüntüleme ile damarların tıkanma derecesi ve kan akışının durması doğrulanır. Eğer yeterli embolizasyon sağlanmamışsa, ek embolizanlar kullanılabilir.

Sonuç

Tiroid arter embolizasyonunun başarısı, doğru kateterizasyon ve etkili embolizan madde seçimine dayanır. Kateterizasyon işlemi, damarların seçilmesinde ve embolizan maddelerin doğru bölgeye uygulanmasında belirleyici bir faktördür. Embolizan maddelerin türü, hedeflenen tedavi amacına göre dikkatlice seçilmeli ve işlem sırasında titizlikle uygulanmalıdır.

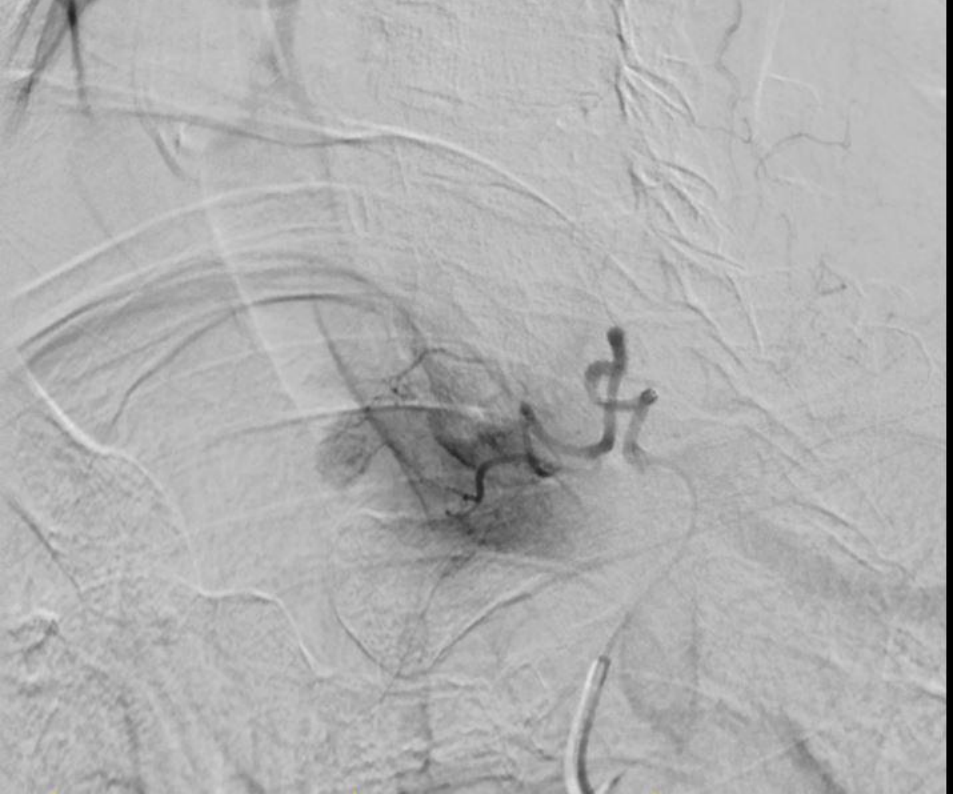
Resim 1: Sağ A. Tyroidea superior Pre-embolizasyon görüntüsü



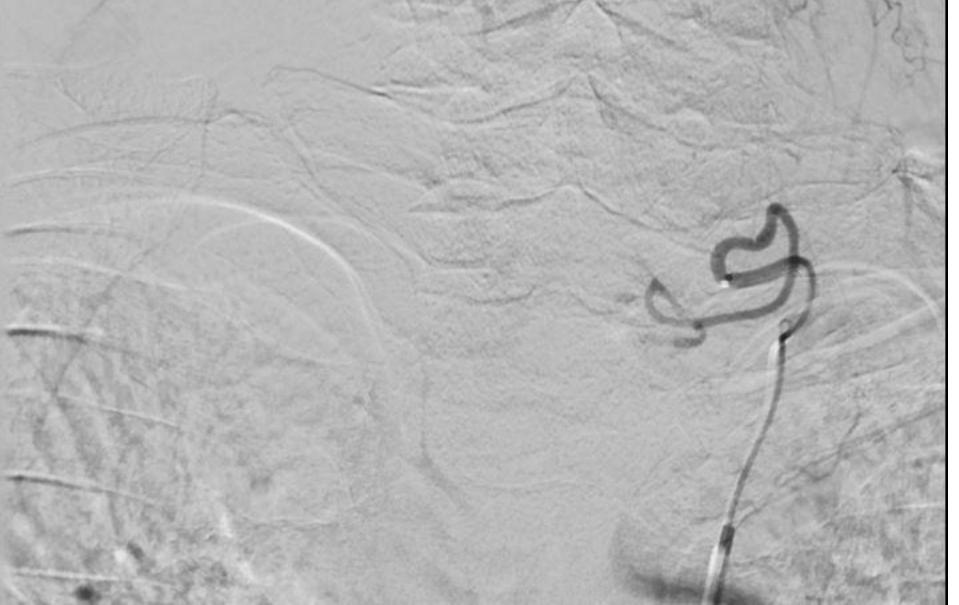
Resim 2: Sağ A. Tyroidea superior Post-embolizasyon görüntüsü



Resim 3: Sağ A. Tyroidea inferior Pre-embolizasyon görüntüsü



Resim 3: Sağ A. Tyroidea inferior Post-embolizasyon görüntüsü



İşlem Sonrası Takip ve Yönetim

Tiroid arter embolizasyonu (TAE), minimal invaziv bir prosedür olup, işlem sonrası hastanın durumu dikkatlice izlenmelidir. İşlem, genellikle hastanın iyileşme sürecini hızlandırır ve komplikasyon risklerini azaltırken, bazı durumlarda ek tedavi veya takip gerekebilir. İşlem sonrası takip ve yönetim, hastanın güvenliğini sağlamak ve olası komplikasyonları önlemek için kritik öneme sahiptir (40-42).

1. İlk İzleme ve İyileşme Süreci

- **Hastanın İzlenmesi:**

İşlem tamamlandıktan sonra hastalar, genellikle birkaç saat boyunca yoğun bakım ünitesinde veya bir gözlem odasında izlenir. Vital bulgular, kan basıncı, kalp hızı ve oksijen saturasyonu dikkatle izlenir.

- **Ağrı Yönetimi:**

Bazı hastalar işlem sonrası hafif ağrı veya rahatsızlık hissedebilir. Bu, genellikle analjeziklerle kontrol altına alınır. Ağrının kontrol edilmesi, hastanın rahatlığını sağlamak için önemlidir.

2. Komplikasyonların Takibi

- **Kanama:**

Embolizasyon sırasında, damarlar tıkanıdığı için kanama riski oldukça düşer, ancak işlem sonrası kanama gözlemi önemlidir. Kanama belirtisi olan hastalarda hemen müdahale edilmelidir.

- **Enfeksiyon:**

Steril teknikle yapılan işlemde enfeksiyon riski düşse de, antibiyotik tedavisi genellikle önerilir. Gözlemler sırasında enfeksiyon belirtileri (ateş, kızarıklık, şişlik) dikkatle izlenmelidir.

- **Vasküler Komplikasyonlar:**

Embolizasyon sonrası damarlar üzerinde tıkanıklık, kan akışında azalma veya embolizan maddelerin yayılması nedeniyle vasküler komplikasyonlar gelişebilir. Bu, anjiyografik takip ile kontrol edilir.

3. Sonraki İzlem

- **Erken Dönem Takibi:**

İşlem sonrası hastalar genellikle 24-48 saat içinde hastaneden taburcu edilir. Ancak, tedavi edilen bölgedeki iyileşme süreci dikkatle izlenir. İleri izlemde tiroid fonksiyonları ve nodüllerin boyutlarındaki değişiklikler değerlendirilir.

- **Tiroid Fonksiyon Testleri:**

Tiroid arter embolizasyonu, tiroid fonksiyonları üzerinde değişikliklere neden olabilir. Bu nedenle, hastalar işlem sonrası tiroid hormon seviyeleri açısından izlenmeli ve takip edilmelidir.

- **İleri Görüntüleme:**

Embolizasyonun etkinliğini değerlendirmek için takip anjiyografisi veya ultrasonografi gibi görüntüleme yöntemleri kullanılabilir. Nodül boyutlarındaki değişiklikler ve kan akışı hakkında bilgi sağlar.

4. Uzun Dönem Takip

- **Fonksiyonel Değerlendirme:**

Hastalar, işlem sonrası iyileşme döneminde belirli aralıklarla tiroid fonksiyonlarını kontrol ettirmelidir. Bu testler, hipotiroidizm veya diğer tiroid bozukluklarının erken tespiti için önemlidir.

- **Ek Tedavi Gereksinimi:**

Bazı hastalar, embolizasyona rağmen semptomlarının tam olarak azalmadığını hissedebilir. Böyle hastalarda ek tedavi seçenekleri, örneğin cerrahi tedavi veya ilaç tedavisi değerlendirilebilir.

Sonuç

Tiroid arter embolizasyonu sonrası takip ve yönetim, hastaların iyileşme sürecini izlemek ve olası komplikasyonları erkenden tespit etmek için kritik öneme sahiptir. Erken dönemde vital bulguların takibi, ağrı yönetimi ve komplikasyon izlemeyi içerirken, uzun dönem takip tiroid fonksiyonları ve hastanın genel sağlığı açısından önemlidir.

TİROİD ARTER EMBOLİZASYONUNUN ETKİNLİĞİ

Multinodüler Guatrın Büyüklüğü ve Hacminin Azaltılması

Tiroid arter embolizasyonu (TAE), multinodüler guatrın tedavisinde kullanılan etkili bir minimal invaziv yöntemdir. Bu işlem, tiroid arterlerinin selektif olarak embolize edilmesiyle gerçekleştirilir, bu da guatrın büyümesine neden olan tiroid dokusuna kan akışının azalmasına yol açar. Sonuç olarak, nodüllerin boyutları küçülür ve bezin genel hacmi azalır. Bu bölümde, TAE'nin multinodüler guatr üzerindeki etkisini, özellikle nodül büyüklüğü ve hacminin azaltılmasını detaylı olarak ele alacağız (43-45).

1. Tiroid Arter Embolizasyonunun Mekanizması

Tiroid arter embolizasyonunun etkinliği, tiroid bezine giden kan akışının selektif olarak azaltılmasıyla sağlanır. Embolizan maddeler, tiroid arterine enjekte edilerek damarların tıkanmasına neden olur. Bu tıkanıklık, tiroid dokusuna oksijen ve besin taşıyan kan akışını keser ve iskemiye yol açar. İskemi, doku hücrelerinin ölmesine neden olarak, nodüllerin küçülmesine ve tiroid bezinin hacminin azalmasına yol açar.

- **Nodül Hacmi ve Büyüklük Azalması:**

TAE'nin temel hedeflerinden biri, büyük ve fonksiyonel olmayan tiroid nodüllerinin boyutunu küçültmektir. İşlem sonrası, embolize edilen nodüllerin büyük kısmında belirgin bir hacim kaybı gözlemlenir. Bu, genellikle birkaç hafta ile birkaç ay arasında bir süre zarfında gerçekleşir.

- **Nodül Büyüklüğündeki Değişim:**

Çalışmalar, tiroid arter embolizasyonu uygulanan hastaların çoğunda, tedavi edilen nodüllerin boyutunda anlamlı bir küçülme olduğunu göstermektedir. Genellikle, embolize edilen nodüllerde %30-%50 arasında bir hacim küçülmesi gözlemlenir. Bu azalma, klinik semptomların iyileşmesine de katkı sağlar.

2. Embolizasyonun Etkisi ve Klinik Sonuçlar

Tiroid arter embolizasyonunun etkinliği, sadece nodül boyutunun küçülmesiyle sınırlı kalmaz; aynı zamanda hastanın genel klinik durumunda da iyileşmeler gözlemlenir.

- **Semptomatik İyileşme:**

Multinodüler guatr hastalarında, özellikle büyük nodüller boyun bölgesinde baskı hissine, yutma güçlüğüne, nefes darlığına ve ses kısıklığına yol açabilir. Tiroid arter embolizasyonu sonrası, nodüllerin küçülmesiyle bu semptomlarda belirgin bir rahatlama sağlanır. Hastalar, özellikle boyunlarındaki şişlik ve baskı hissinden kurtulurlar.

- **Hormon Düzeylerinde Değişim:**

Embolizasyon işlemi genellikle tiroid fonksiyonlarını korur. Ancak, bazı hastalarda işlem sonrası hipotiroidizm gelişebilir. Hipotiroidizm gelişen hastalar, tiroid hormon replasmanı tedavisiyle yönetilebilir. Bu durum, işlem sonrası izleme sürecinde dikkatle izlenmelidir.

- **Yavaş İyileşme Süreci:**

Tiroid arter embolizasyonu, cerrahi müdahaleye göre daha yavaş sonuçlar verir. Nodüllerin küçülmesi genellikle işlem sonrası birkaç hafta ile birkaç ay arasında görülür. Ancak, bu süreçte hastalar, semptomatik olarak iyileşmeye başlarlar.

3. Etkinliği Artıran Faktörler

Tiroid arter embolizasyonunun etkinliği, çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebilir. Bu faktörler, tedavi edilen nodüllerin özelliklerine, embolizasyon tekniğine ve hastanın genel sağlık durumuna bağlıdır.

- **Nodül Tipi ve Lokalizasyonu:**

Büyük ve vasküler nodüller, embolizasyon tedavisinden daha fazla fayda sağlar. Çünkü bu nodüller daha fazla kan akışı gerektirir ve embolizasyon bu kan akışını keserek etkili bir şekilde küçülmelerine yol açar. Nodüllerin tiroidin periferik bölgelerinde bulunması, embolizasyonun etkinliğini artırabilir.

- **Kan Akışının Seviyesi:**

Tiroid arterlerine daha fazla kan akışı olan nodüller, embolizasyondan daha fazla fayda sağlar. Bu tür nodüller, daha fazla oksijen ve besin alır, bu nedenle kan akışının kesilmesi nodüllerin daha belirgin şekilde küçülmesine yol açar.

- **Tedavi Edilen Nodül Sayısı:**

Tek bir büyük nodül yerine, birden fazla nodül tedavi ediliyorsa, her birinin küçülmesi süreci daha karmaşık olabilir. Ancak, TAE'nin çok sayıda nodül üzerinde etkili olduğu gösterilmiştir.

4. Uzun Dönem Etkinlik ve İzlem

Tiroid arter embolizasyonu, genellikle kalıcı bir çözüm sunar. Ancak, bazı hastalarda tedavi sonrası nodüllerin yeniden büyümesi gözlemlenebilir. Bu nedenle, hastaların uzun dönemde izlenmesi ve gerekirse ek tedavi uygulanması önemlidir.

- **Tekrarlayan Büyüme:**

Bazı hastalarda, özellikle büyük nodüller için, embolizasyon sonrası nodül büyüklüğünde bir azalma olsa da, zamanla bu nodüller yeniden büyüyebilir. Bu durumda, ek embolizasyon işlemleri veya cerrahi müdahale gerekebilir.

- **İzleme Yöntemleri:**

Embolizasyon sonrası hastalar, düzenli olarak ultrasonografi ve tiroid fonksiyon testleri ile izlenmelidir. Bu takip, tedavinin etkinliğini değerlendirmenin yanı sıra, hipotiroidizm veya diğer komplikasyonların erken tespiti için de önemlidir.

Sonuç

Tiroid arter embolizasyonu, multinodüler guatrın tedavisinde etkili bir yöntemdir ve nodüllerin boyutunu ve hacmini anlamlı bir şekilde azaltabilir. Bu, özellikle cerrahi müdahale istemeyen hastalar için bir alternatif sunar. Ancak, tedavi sonrası takip ve izleme, olası komplikasyonların yönetilmesi ve uzun dönemdeki etkinliğin değerlendirilmesi açısından önemlidir.

Semptomatik İyileşme

Tiroid arter embolizasyonu (TAE), multinodüler guatr tedavisinde semptomatik iyileşmeyi sağlamada etkili bir minimal invaziv yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bu tedavi, tiroid bezinin büyüyen nodüllerine kan akışının azaltılması yoluyla, tiroid dokusunun iskemiye uğramasına ve dolayısıyla bu nodüllerin küçülmesine neden olur. Nodüllerin küçülmesi, guatrın neden olduğu semptomların hafiflemesine ve hastanın yaşam kalitesinin artmasına yol açar (23,46). Bu bölümde, TAE'nin semptomatik iyileşmeye olan etkisini daha detaylı inceleyeceğiz.

1. Boyun Bölgesindeki Baskı ve Şişlik

Multinodüler guatr, genellikle boyun bölgesinde büyüyen nodüller nedeniyle belirgin şişlik ve baskıya yol açar. Bu şişlik, hastalarda estetik kaygılara yol açmakla birlikte, aynı zamanda çeşitli fonksiyonel sorunlara da neden olabilir. TAE, tiroid arterlerinin embolizasyonu yoluyla nodüllerin boyutlarını küçültür, bu da boyun bölgesindeki baskıyı hafifletir ve şişlikte azalma sağlar.

- **Baskı Semptomları:**

Büyüyen tiroid nodülleri, yemek borusuna veya trakeaya baskı yaparak yutma güçlüğüne, nefes darlığına veya ses kısıklığına yol açabilir. TAE sonrasında, bu baskının azalması, hastaların yutma güçlüğü, nefes darlığı ve ses değişikliği gibi semptomlarını iyileştirir. Hastalar, genellikle birkaç hafta içinde nefes alma ve yutma fonksiyonlarında belirgin bir rahatlama hisseder.

2. Yutma Güçlüğü (Disfaji)

Büyüyen tiroid nodülleri, yemek borusuna baskı yaparak disfajiye yol açabilir. Bu durum, hastaların yemek yerken zorluk yaşamasına neden olur ve hastanın genel yaşam kalitesini düşürür. TAE sonrası, nodüllerin küçülmesi bu baskıyı ortadan kaldırarak, hastaların yutma fonksiyonlarını iyileştirir. Yutma güçlüğü, işlem sonrası genellikle hızla düzelir, ancak bazı hastalarda iyileşme birkaç hafta sürebilir.

- **Semptomatik İyileşme:**

Yutma güçlüğü ve baskı semptomlarında iyileşme, hastaların daha rahat yemek yemelerine, su içmelerine ve genel olarak daha rahat bir yaşam

sürmelerine olanak tanır. Bu semptomlar, genellikle embolizasyon işleminden birkaç hafta sonra belirgin bir şekilde düzelir.

3. Nefes Darlığı (Dispne)

Büyük tiroid nodülleri, trakeaya baskı yaparak nefes darlığına yol açabilir. Nefes alma güçlüğü, özellikle büyük guatrda sık görülen bir semptomdur ve hastaların günlük aktivitelerini zorlaştırır. Tiroid arter embolizasyonu, tiroid bezinin kan akışını azaltarak, nodüllerin küçülmesine ve trakeadaki baskının hafiflemesine yol açar. Bunun sonucunda nefes darlığı şikayetlerinde anlamlı bir iyileşme sağlanır.

- **Hızlı Semptomatik İyileşme:**

Nefes darlığı, embolizasyon işleminden genellikle birkaç gün içinde hafifler, ancak tam iyileşme süreci kişisel farklara göre değişebilir. TAE'nin etkisiyle, hastalar daha rahat nefes alabilir ve fiziksel aktivitelerini daha kolay gerçekleştirebilir.

4. Ses Kısıklığı (Horseness)

Büyüyen tiroid nodülleri, ses tellerine baskı yaparak ses kısıklığına yol açabilir. Ses kısıklığı, hastaların konuşma kabiliyetini engelleyebilir ve sosyal etkileşimlerini zorlaştırabilir. TAE, nodüllerin küçülmesiyle bu baskıyı ortadan kaldırarak ses kısıklığının düzelmesine yardımcı olur. Bu semptom genellikle tedavi sonrası birkaç hafta içinde iyileşir.

- **İyileşme Süreci:**

Ses kısıklığının iyileşmesi, hastaların iletişim yeteneklerini yeniden kazanmasını sağlar. Sesin normale dönmesi bazen birkaç hafta sürebilir, ancak çoğu hasta tedavi sonrası belirgin bir iyileşme gösterir.

5. Aşırı Tiroid Fonksiyonunun (Hipertiroidizm) Düzelmeye

Bazı multinodüler guatr hastalarında, nodüller tiroid hormonlarını aşırı üretir ve hipertiroidizme yol açar. Hipertiroidizm, hızlanmış kalp atışı, aşırı terleme, kilo kaybı ve sinirlilik gibi semptomlarla kendini gösterir. Tiroid arter embolizasyonu, nodüllerin küçülmesine yol açarak bu aşırı hormon üretimini engelleyebilir. Bunun sonucunda, hastaların metabolik semptomlarında (örneğin, kalp çarpıntısı, terleme) düzelme gözlemlenir.

- **Semptomatik İyileşme:**

Hipertiroidizm semptomları genellikle embolizasyondan birkaç hafta sonra düzelir. Tiroid fonksiyonlarının denetlenmesi, hormon seviyelerinin normalleşmesi için önemlidir.

6. Yaşam Kalitesinin Artması

Multinodüler guatrın semptomları, hastaların günlük yaşam aktivitelerini kısıtlayabilir. Tiroid arter embolizasyonu, semptomların azalmasına yol açarak hastaların yaşam kalitesini önemli ölçüde artırır. Şişlik, baskı, nefes darlığı ve yutma güçlüğü gibi semptomların hafiflemesi, hastaların daha aktif bir yaşam sürmelerini sağlar.

- **Günlük Aktivitelere Dönüş:**

Hastalar, tedavi sonrası daha rahat hareket edebilir, yemek yiyebilir ve sosyal etkileşimde bulunabilir. Bu semptomatik iyileşme, tedavi edilen hastaların genel memnuniyetini artırır.

7. Tedavi Sonrası İzleme ve Değerlendirme

Taşınabilir semptomların iyileşmesi genellikle hastalar için bir dönüm noktası olur. Bununla birlikte, semptomatik iyileşme süreci, her hasta için farklılık gösterebilir. TAE sonrası, hastaların iyileşme süreci yakından izlenmeli ve herhangi bir komplikasyon riski olup olmadığı gözlemlenmelidir.

- **Takip ve İzleme:**

Semptomatik iyileşme sağlandıktan sonra hastaların düzenli takip edilmesi, işlem sonuçlarının değerlendirilmesi ve olası komplikasyonların tespiti için önemlidir. Uzun dönemde, hastaların fonksiyonel iyileşmeleri ve tiroid fonksiyonlarının düzenli olarak izlenmesi gerekir.

Sonuç

Tiroid arter embolizasyonu, multinodüler guatrın semptomatik tedavisinde etkili bir yöntemdir. Nodüllerin küçülmesiyle birlikte, boyun bölgesindeki şişlik, baskı, nefes darlığı, yutma güçlüğü ve ses kısıklığı gibi semptomlarda belirgin bir iyileşme sağlanır. TAE, hastaların yaşam kalitesini artırarak, cerrahi müdahale

gereksinimini azaltabilir. Tedavi sonrası izleme, hastaların iyileşme sürecinin optimal şekilde yönetilmesi için kritik öneme sahiptir.

Uzun Dönem Sonuçlar

Tiroid arter embolizasyonu (TAE), multinodüler guatr tedavisinde kullanılan minimal invaziv bir yöntemdir. Tedavi, tiroid nodüllerinin küçülmesini sağlayarak semptomatik iyileşmeyi hedefler. Bununla birlikte, tedavi sonrası elde edilen uzun dönem sonuçlar, tedavi sürecinin etkinliğini ve hastaların yaşam kalitesindeki değişiklikleri daha kapsamlı şekilde anlamamıza yardımcı olur. Uzun dönem sonuçlar, hem semptomatik iyileşme hem de komplikasyonlar açısından değerlendirilmelidir (47,48).

1. Nodül Boyutunda Azalma ve Tiroid Fonksiyonları

Birçok hasta için, tiroid arter embolizasyonunun ana amacı, nodüllerin boyutlarını küçültmektir. Embolizasyon işlemi sırasında tiroid bezine kan akışının azaltılması sağlanır ve bu da nodüllerin iskemiye uğrayarak küçülmesine yol açar. Uzun dönem izlemde, çoğu hastada nodül boyutunda anlamlı bir azalma görülür.

- **Boyut Azalması:**

TAE sonrası, tiroid nodüllerinin büyüklüğünde başlangıçta belirgin bir azalma gözlemlenir. Bu küçülme genellikle 3-6 aylık süre zarfında daha belirgin hale gelir. Uzun dönemde (1-2 yıl sonrası), nodüllerin hacminde %50-70'e kadar bir azalma raporlanmıştır.

- **Tiroid Fonksiyonları:**

TAE sonrasında, hipertiroidizm gibi tiroid fonksiyon bozuklukları olan hastalarda, tedavi edilen nodüllerin küçülmesi, aşırı hormon üretiminin engellenmesine yardımcı olabilir. Tiroid fonksiyonları, genellikle işlem sonrası normal seviyelere döner. Uzun dönemde, hastaların tiroid fonksiyonları çoğunlukla stabilize olur ve ilave tedavi gereksinimi azalır.

2. Semptomatik İyileşme ve Yaşam Kalitesi

TAE'nin en önemli uzun dönem faydalarından biri, semptomatik iyileşmedir. Nodüllerin küçülmesiyle birlikte, hastaların yaşadığı boyun bölgesindeki baskı,

nefes darlığı, yutma güçlüğü ve ses kısıklığı gibi semptomlar uzun dönemde azalır. Bu iyileşmeler, hastaların genel yaşam kalitesinde belirgin bir artışa yol açar.

- **Semptomatik İyileşme Süreci:**

Embolizasyondan sonraki birkaç hafta içinde hastalar, semptomlarında belirgin bir rahatlama hissederler. Uzun dönemde, hastalar genellikle normal aktivitelerine daha rahat devam edebilirler. Yutma güçlüğü, nefes darlığı ve boyun şişliği gibi şikayetler %70-80 oranında düzelme gösterir.

- **Yaşam Kalitesinde Artış:**

Tiroid arter embolizasyonu, hastaların sosyal etkileşimde bulunmalarını ve günlük aktivitelerini daha rahat yapmalarını sağlar. İyileşen semptomlar, iş verimliliğini artırabilir ve sosyal hayatta katılımı güçlendirebilir.

3. Komplikasyonlar ve Yan Etkiler

Her tıbbi prosedürde olduğu gibi, tiroid arter embolizasyonunun da uzun dönemde komplikasyonları olabilir. Bununla birlikte, tiroid arter embolizasyonunun komplikasyon oranı genellikle düşüktür.

- **Komplikasyonlar:**

- **Post-Embolizasyon Sendromu:** İşlem sonrası bazı hastalarda, baş ağrısı, ateş, halsizlik ve kas ağrıları gibi semptomlarla seyreden post-embolizasyon sendromu görülebilir. Bu durum genellikle kısa süreli olup, tedavi gerektirmez.
- **Tiroid Bezi İskemisi:** Embolizasyonun aşırı yapıldığı durumlarda, tiroid bezinin geniş bölgelerinde iskemi oluşabilir. Bu durum, nadiren hipotiroidizm gelişimine yol açabilir.
- **Kanama ve Enfeksiyon:** Kateterizasyon bölgesinde kanama veya enfeksiyon gibi komplikasyonlar nadiren görülebilir. Bununla birlikte, işlem sonrası hastaların klinik takibi önemlidir.

- **İzlem ve Takip:**

Hastaların tedavi sonrası düzenli olarak izlenmesi önemlidir. Uzun dönemde, nadiren de olsa komplikasyonlar gelişebilir ve erken dönemde müdahale gerektirebilir. TAE sonrası tiroid fonksiyon testleri ve ultrason gibi görüntüleme yöntemleriyle hastaların durumu yakından takip edilmelidir.

4. Tekrar Tedavi Gereksinimi ve Uzun Dönem Etkinlik

Tiroid arter embolizasyonu, çoğu hasta için etkili bir tedavi yöntemi olsa da, bazı hastalarda tedavi sonrası tekrar guatr büyümesi gözlemlenebilir. Bu durum, nadiren de olsa, embolizasyonun etkisinin sınırlı olduğu veya tiroid bezinin yeterince iskemiye uğramadığı hastalarda meydana gelebilir.

- **Tekrar Tedavi Gereksinimi:**

Birçok hasta, tiroid arter embolizasyonu sonrasında kalıcı iyileşme sağlasa da, bazı hastalarda nodüllerin yeniden büyümesi görülebilir. Bu durumda, ikinci bir embolizasyon işlemi veya cerrahi müdahale gerekebilir. Ancak, uzun dönem takiplerde, tedavi gereksinimi genellikle düşük düzeyde kalır.

5. Hastaların Memnuniyeti ve Klinik Başarı

Uzun dönemde, tiroid arter embolizasyonunun hastalar üzerindeki etkisi büyük ölçüde semptomatik iyileşme ve yaşam kalitesindeki artış ile ölçülür. Çoğu hasta, minimal invaziv bir prosedür olan TAE'nin ardından semptomlarda belirgin bir azalma yaşar ve bu durum hastaların tedaviye yönelik genel memnuniyetini artırır. TAE'nin, cerrahi tedaviye göre daha düşük invazivlikte olması, hastaların postoperatif iyileşme sürecini kısaltır ve komplikasyon oranlarını düşürür.

- **Hastaların Memnuniyeti:**

Çoğu hastanın, embolizasyon sonrası semptomlarda iyileşme ve yaşam kalitesinde artış gözlemlemesi, tedaviye olan memnuniyetlerini artırır. Bu tedavi yöntemi, cerrahi tedaviye oranla daha az ağrılı ve daha hızlı iyileşme süreci sunduğundan, hastaların memnuniyeti genellikle yüksektir.

6. Uzun Dönemde Sağlık Ekonomisi

Tiroid arter embolizasyonu, genellikle cerrahi müdahaleye kıyasla daha düşük maliyetlidir. Minimal invaziv bir işlem olduğu için, hastalar daha kısa sürede hastaneden taburcu edilir, böylece hastanede kalma süresi ve tedavi maliyetleri düşer. Ayrıca, komplikasyon oranları düşük olduğundan, uzun dönemde sağlık sistemi üzerindeki mali yük de azalır.

- **Ekonomik Etkiler:**

TAE'nin düşük maliyetli ve etkili bir tedavi yöntemi olarak uzun dönemli sağlık ekonomisi üzerinde olumlu etkiler yarattığı görülmektedir. Bu tedavi, hastalar için cerrahi müdahaleye kıyasla daha az invaziv olduğundan, sağlık harcamalarını azaltabilir.

Sonuç

Tiroid arter embolizasyonunun uzun dönemdeki etkinliği, nodül boyutundaki azalma, semptomatik iyileşme, tiroid fonksiyonlarının düzelmesi ve yaşam kalitesindeki artışla kendini gösterir. Her ne kadar komplikasyonlar ve tekrar tedavi gereksinimi düşük olsa da, bu tedavi yönteminin etkinliği, hastaların çoğunda kalıcı iyileşme sağlamaktadır. Uzun dönemde, TAE'nin hastalar için başarılı bir tedavi seçeneği olduğu ve sağlık ekonomisi açısından da faydalı olduğu söylenebilir.

KOMPLİKASYONLAR VE YÖNETİM

Sık Görülen Komplikasyonlar

Tiroid arter embolizasyonu (TAE), multinodüler guatr tedavisinde minimal invaziv bir seçenek sunar ve genellikle düşük komplikasyon oranları ile ilişkilidir. Ancak, herhangi bir cerrahi veya girişimsel prosedür gibi, TAE de belirli riskler taşır. Sık görülen komplikasyonlar genellikle geçici olup, uygun izleme ve müdahale ile yönetilebilir. Bununla birlikte, bazı komplikasyonlar daha nadiren de olsa ciddi olabilir (25,49-51). Aşağıda, tiroid arter embolizasyonu sonrası karşılaşılan en sık görülen komplikasyonlar detaylı olarak ele alınmıştır.

1. Post-Embolizasyon Sendromu

Tanım ve Sebep:

Post-embolizasyon sendromu, tiroid arter embolizasyonu sonrası en yaygın

görülen komplikasyonlardan biridir. Bu sendrom, embolizasyonun ardından ortaya çıkan, genellikle birkaç gün süren ve genellikle hafif seyreden bir grup semptomu ifade eder. Semptomlar arasında ateş, baş ağrısı, halsizlik, kas ağrıları ve bulantı yer alır. Sendrom, embolizasyon işlemi sırasında tiroid dokusunun iskemiyeye uğraması ve bunun sonucunda ortaya çıkan inflamatuvar yanıt nedeniyle gelişir.

Yönetim:

Post-embolizasyon sendromu çoğunlukla kendiliğinden düzelir ve özel bir tedavi gerektirmez. Ancak, semptomlar şiddetliyse, antienflamatuvar ilaçlar ve ağrı kesiciler kullanılabilir.

2. Tiroid Bezi İskemisi ve Hipotiroidizm

Tanım ve Sebep:

Tiroid arter embolizasyonu sırasında, kan akışının azalması veya kesilmesi nedeniyle tiroid bezinin iskemik hale gelmesi mümkündür. Bu, tiroid hücrelerinin oksijen ve besin kaynaklarından mahrum kalmasına yol açar. Özellikle embolizasyon işleminin aşırı yapılması, tiroid bezinde büyük bir iskemiyeye neden olabilir. Sonuç olarak, bu durum hipotiroidizme (tiroid bezinin yeterli hormon üretmemesi) yol açabilir.

Yönetim:

Tiroid fonksiyonları düzenli olarak izlenmeli ve hipotiroidizm gelişirse, levotiroksin tedavisi başlanmalıdır. Bu durum genellikle geçici olup, tedavi ile hastalar normal tiroid fonksiyonlarına dönebilir. Ancak, nadiren kalıcı hipotiroidizm gelişebilir.

3. Kanama ve Hematom

Tanım ve Sebep:

Kanama, genellikle kateterizasyon bölgesindeki damarların zedelenmesi veya tiroid arterine yönelik direkt travma sonucunda meydana gelir. Hematom, işlem sırasında damarların zedelenmesi sonucu kanın çevre dokularda birikmesiyle ortaya çıkar.

Yönetim:

Kanama genellikle minimaldir ve basit baskı uygulamaları ile durdurulabilir.

Ancak, büyük hematomlar gelişirse, cerrahi drenaj gerekebilir. Kanama durumunda, hastanın klinik durumu ve kanama kaynağı hızla değerlendirilmelidir.

4. Embolizan Madde Göçü

Tanım ve Sebep:

Embolizan maddelerin yanlışlıkla hedef dışı bir bölgeye gitmesi, embolizasyonun potansiyel komplikasyonlarından biridir. Embolizan maddeler genellikle partiküler materyaller veya sıvılar olarak kullanılır. Bu maddeler, tedavi edilen alanın dışında bir dokuya veya organlara taşınabilir, bu da istenmeyen tıkanıklıklar ve hasara yol açabilir.

Yönetim:

Embolizan madde göçü durumu, genellikle müdahale gerektirmez, ancak komplikasyonları yönetmek için hastanın durumuna göre alternatif tedavi seçenekleri değerlendirilebilir. Göç eden materyalin hangi organı etkilediğine bağlı olarak, hastanın kliniği izlenmeli ve gerekli müdahaleler yapılmalıdır.

5. Tiroid Arteri Spazmı

Tanım ve Sebep:

Tiroid arterine yönelik embolizasyon, arterin spazmına neden olabilir. Bu spazmlar, tiroid bezinin kan akışını daha da azaltabilir, bu da geçici hipoperfüzyona yol açabilir. Genellikle, bu durum post-embolizasyon sendromunun bir parçası olarak gelişir.

Yönetim:

Spazmlar, genellikle tedaviye gerek kalmadan kendiliğinden düzelir. Ancak, bazı durumlarda, damar gevşetici ilaçlar kullanılabilir. Semptomların yönetimi için damar genişletici tedavi uygulanabilir.

6. Enfeksiyon

Tanım ve Sebep:

Embolizasyon işlemi sırasında kateterin yerleştirildiği bölgeye bakteriyel enfeksiyon bulaşması mümkündür. Ayrıca, işlem sırasında kullanılan ekipmanların sterilizasyonunun yetersiz olması, enfeksiyon riskini artırabilir.

Yönetim:

Enfeksiyonun belirtileri arasında ateş, kızarıklık, şişlik ve ağrı yer alır.

Enfeksiyon gelişirse, antibiyotik tedavisi başlatılmalıdır. Ciddi enfeksiyon vakalarında, drenaj ve cerrahi müdahale gerekebilir.

7. Hipertiroidizm**Tanım ve Sebep:**

Tiroid arter embolizasyonu genellikle nodüllerin boyutunu küçültmek amacıyla yapılır, ancak nadiren işlem sırasında kalan bazı tiroid dokuları aşırı hormon üretimine yol açabilir. Bu durum, geçici veya kalıcı hipertiroidizme neden olabilir.

Yönetim:

Hipertiroidizm gelişirse, tedavi genellikle antitiroid ilaçlarıyla yapılır. Eğer hipertiroidizm uzun süre devam ederse, radyoaktif iyot tedavisi veya cerrahi müdahale gerekebilir.

8. Akut Boyun Şişliği**Tanım ve Sebep:**

Embolizasyon işlemi sırasında kan akışının kesilmesiyle tiroid dokusunda şişlik gelişebilir. Bu şişlik, boyun bölgesinde baskı oluşturarak yutma ve solunum güçlüğüne yol açabilir.

Yönetim:

Bu durum genellikle kısa sürelidir ve kendiliğinden iyileşir. Ancak, semptomların şiddetli olduğu durumlarda, ağrı kesiciler ve anti-inflamatuvar ilaçlar kullanılabilir. Nadir durumlarda, cerrahi drenaj gerekebilir.

Sonuç

Tiroid arter embolizasyonu, multinodüler guatr tedavisinde etkili bir yöntem olmasına rağmen, belirli komplikasyonlar riski taşır. Ancak, bu komplikasyonlar genellikle geçici olup, hastalar düzenli izleme ve uygun tedavi ile iyileşebilir. İyi bir hasta değerlendirmesi, işlem öncesi dikkatli planlama ve uzmanlık, komplikasyonların minimize edilmesinde önemli rol oynamaktadır.

Nadiren Görülen Komplikasyonlar

Tiroid arter embolizasyonu (TAE), minimal invaziv bir tedavi seçeneği olarak, multinodüler guatr hastalarında etkili sonuçlar sunar. Ancak, her tıbbi prosedür gibi, nadiren de olsa ciddi komplikasyonlar gelişebilir. Bu komplikasyonlar genellikle deneyimli hekimler tarafından önceden tahmin edilemez ve doğru şekilde yönetilebilir. Nadiren görülen komplikasyonlar, genellikle diğer ciddi sağlık durumlarıyla bağlantılı olup, özel dikkat ve müdahale gerektirir (52-59). Aşağıda, tiroid arter embolizasyonu sırasında nadiren karşılaşılan komplikasyonlar detaylı olarak açıklanmıştır:

1. Karotis Arteri Tıkanıklığı ve İskemik Felç

Tanım ve Sebep:

Tiroid arter embolizasyonu sırasında embolizan maddelerin yanlışlıkla karotis arterine gitmesi, karotis tıkanıklığına neden olabilir. Bu durum, beyin damarlarını besleyen ana arterlerden birinin tıkanmasına yol açar. Tıkanıklık, beynin belirli bir bölgesinde oksijen ve besin eksikliğine (iskemi) neden olabilir ve felç (inme) gibi ciddi sonuçlar doğurabilir.

Yönetim:

Karotis arterin tıkanması, acil müdahale gerektirir. Bazen, tıkanıklık tedavi edilebilecek bir damar tıkanıklığı türü olduğunda, balon anjiyoplasti veya stent yerleştirilmesi gerekebilir. Ayrıca, inme belirtisi gösteren hastalar hemen nöroloji uzmanına yönlendirilmelidir.

2. Trakea veya Özofagus Perforasyonu

Tanım ve Sebep:

Tiroid arter embolizasyonu sırasında, nadiren trakea (soluk borusu) veya özofagus (yemek borusu) gibi komşu yapılar zarar görebilir. Bu tür perforasyonlar, embolizan maddelerin yanlışlıkla bu yapılara ulaşması, kateterin aşırı ilerlemesi veya işlem sırasında yapılan manipülasyonların neden olduğu mekanik travma sonucu meydana gelebilir.

Yönetim:

Trakea veya özofagus perforasyonu durumunda, acil cerrahi müdahale gerekebilir. Perforasyonun büyüklüğüne göre, yaranın onarılması ve enfeksiyon

riski açısından antibiyotik tedavisi başlatılmalıdır. Böyle bir komplikasyon oldukça nadir olmakla birlikte, bu tür vakalarda genellikle yoğun bakım ve multispesifik bir tedavi gerekmektedir.

3. Tiroid Arterinin Tam Tıkanması ve Kan Dolaşımının Durması

Tanım ve Sebep:

Tiroid arter embolizasyonu sırasında embolizan materyalin tiroid arterine tamamen yerleşmesi, arterin tam tıkanmasına yol açabilir. Bu durum, tiroid bezinin tamamen oksijensiz kalmasına ve nekroz (doku ölümü) gelişmesine neden olabilir. Sonuç olarak, hastada ciddi hipotiroidizm ve iltihaplanma olabilir.

Yönetim:

Tiroid arterinin tam tıkanması genellikle uzun dönemde hipotiroidizm gelişmesine yol açar. Hastaların tiroid fonksiyonları yakından izlenmeli ve gerekli olduğunda hormon replasman tedavisi uygulanmalıdır. İleri vakalarda, tiroid bezinin cerrahi olarak çıkarılması gerekebilir.

4. Karın İçi Kanama

Tanım ve Sebep:

Embolizan madde bazen çevre organlara, özellikle karın içi yapılarla yakın olan bölgelere sızabilir. Özellikle nadir durumlarda, tiroid arterinin anastomozları ve çevre damarlarla ilişkili kanamalar karın içine kanama yol açabilir.

Yönetim:

Karın içi kanama, genellikle abdominal ultrason veya tomografi ile tespit edilebilir. Kanama durumunda, cerrahi müdahale veya endovasküler koagülasyon gerekebilir. Kanamanın ciddiyetine göre, hastanın durumu acil olarak değerlendirilmelidir.

5. Anjina (Göğüs Ağrısı) ve Myokardiyal İskemik Olaylar

Tanım ve Sebep:

Embolizan maddelerin yanlışlıkla kalp damarlarına gitmesi, nadiren miyokardiyal iskemiye (kalp kası yetersiz kan alması) ve anjina (göğüs ağrısı) neden olabilir. Bu durum, özellikle kalp hastalığı olan hastalarda riski artırabilir.

Yönetim:

Anjina belirtileri görülen hastalar derhal kardiologla değerlendirilmelidir. Tedavi genellikle anjina ataklarının önlenmesine yönelik medikal tedavi ve ağrı yönetimini içerir. Ayrıca, bu tür bir komplikasyonun olduğu hastalarda kalp fonksiyonları dikkatlice izlenmelidir.

6. Alerjik Reaksiyonlar**Tanım ve Sebep:**

Embolizasyon işleminde kullanılan kontrast maddeler veya embolizan maddelere karşı alerjik reaksiyonlar nadiren gelişebilir. Alerjik reaksiyonlar, anafilaksiye kadar ilerleyebilir ve hastanın solunum yolu tıkanıklığına, cilt döküntülerine veya düşük kan basıncına yol açabilir.

Yönetim:

Alerjik reaksiyonlar acil bir tedavi gerektirir. Anafilaksi durumunda, hastaya epinefrin (adrenalin) uygulanmalı ve acil tıbbi müdahale yapılmalıdır. Diğer hafif reaksiyonlar antihistaminikler ve steroid tedavisi ile yönetilebilir.

7. Cilt Yağ Dokusu Nekrozu**Tanım ve Sebep:**

Embolizan maddelerin, işlem sırasında yanlışlıkla dış dokulara, özellikle cilt altı yağına geçmesi sonucu doku nekrozu meydana gelebilir. Bu, embolizan materyalin hedef dışı bir bölgeye gitmesi sonucu gelişir.

Yönetim:

Cilt altı doku nekrozu genellikle kendi kendine iyileşebilir, ancak enfeksiyon riski taşıdığından, hastanın dikkatli izlenmesi gerekir. Enfeksiyon belirtileri gelişirse, antibiyotik tedavisi başlanabilir ve nekrotik doku gerektiğinde cerrahi olarak temizlenebilir.

8. Pulmoner Embolizm**Tanım ve Sebep:**

Tiroid arter embolizasyonu sırasında embolizan maddelerin kan dolaşımına girmesi ve pulmoner arterlere ulaşması durumunda pulmoner embolizm (PE) gelişebilir. Bu durum, akciğer damarlarının tıkanması ve oksijen alımının engellenmesi anlamına gelir.

Yönetim:

Pulmoner embolizm, yaşamı tehdit edici bir durumdur. PE tanısı konduğunda, acil tedavi gereklidir. Tedavi seçenekleri arasında trombolitik tedavi, kan sulandırıcılar (antikoagülanlar) ve oksijen tedavisi bulunur.

Sonuç

Tiroid arter embolizasyonu, genel olarak güvenli bir tedavi yöntemi olsa da, nadiren ciddi komplikasyonlar görülebilir. Bu komplikasyonlar, genellikle doğru zamanında tespit edilip müdahale edilirse yönetilebilir. Hastaların sürekli izlenmesi ve dikkatli değerlendirilmesi, komplikasyon risklerini minimize etmeye yardımcı olabilir. Tiroid arter embolizasyonu yapılacak hastalar için dikkatli hasta seçimi ve uygun hazırlık önemlidir.

TİROİD ARTER EMBOLİZASYONU İLE DİĞER TEDAVİ YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Cerrahi Tedavi

Cerrahi tedavi, multinodüler guatrın tedavisinde geleneksel ve etkili bir yöntemdir. Ancak tiroid arter embolizasyonu (TAE) gibi minimal invaziv tedavi seçeneklerinin ortaya çıkmasıyla, cerrahi müdahale yalnızca belirli hastalarda tercih edilen bir seçenek haline gelmiştir. Cerrahi tedavi, özellikle büyük guatr, ciddi semptomlar ve malignite riski taşıyan hastalarda uygulanmaktadır. Cerrahi müdahale ile tiroid bezi tamamen veya kısmen çıkarılır (60-64).

Aşağıda, cerrahi tedavi ile tiroid arter embolizasyonunun karşılaştırıldığı detaylı bilgiler sunulmaktadır.

1. Cerrahi Tedavi Türleri

Cerrahi tedavi, genellikle şu iki ana kategoriden biriyle yapılır:

- **Total Tiroidektomi:** Tiroid bezinin tamamının cerrahi olarak çıkarılmasıdır. Bu yöntem, malignite riski taşıyan hastalarda veya tiroid fonksiyonu ciddi şekilde bozulmuş hastalarda tercih edilir.
- **Subtotal Tiroidektomi:** Tiroid bezinin sadece bir kısmının çıkarılmasıdır. Genellikle guatrın tek tarafını tutan, semptomatik hastalarda uygulanır.

2. Cerrahi Tedavi Endikasyonları

Cerrahi tedavi genellikle şu durumlarda tercih edilir:

- **Büyük ve Hızla Büyüyen Guatr:** Boyutları 4 cm'den büyük olan guatrlar, tiroid arter embolizasyonu gibi minimal invaziv yöntemlere yanıt vermeyebilir. Böyle durumlarda cerrahi tedavi, daha etkili olabilir.
- **Sıkı Semptomlar:** Solunum zorluğu, disfaji (yutma güçlüğü), ses kısıklığı veya boyun ağrısı gibi semptomlar ortaya çıkarsa cerrahi müdahale tercih edilebilir.
- **Malignite Şüphesi:** Tiroid kanseri şüphesi taşıyan hastalarda cerrahi tedavi, patolojik tanının konulabilmesi ve malignitenin tamamen ortadan kaldırılabilmesi için gereklidir.
- **Toksik Guatr:** Tiroid hormonlarının aşırı üretildiği durumlar (hipertiroidizm) cerrahi tedavi gerektirebilir, özellikle diğer tedavi yöntemlerine (ilaç tedavisi, radyoaktif iyot tedavisi) yanıt vermeyen hastalarda.

3. Cerrahi Tedavi Avantajları

- **Kalıcı Çözüm:** Cerrahi müdahale, tiroid bezini kalıcı olarak çıkararak, guatrın tekrar oluşma olasılığını minimize eder.
- **Kesin Tanı ve İnceleme:** Cerrahi işlem, patolojik inceleme için tiroid dokusunun direkt olarak elde edilmesini sağlar. Böylece, malignite riski olan hastalarda kesin tanı konulabilir.
- **Büyük Guatr Tedavisi:** Özellikle büyük, dev guatrlar için cerrahi müdahale daha etkili olabilir. TAE, büyük guatrları küçültme konusunda bazen yeterli olmayabilir.

4. Cerrahi Tedavi Dezavantajları

- **Anestezi ve Operasyonel Riskler:** Cerrahi tedavi, genel anestezi altında yapıldığından, anestezi ile ilişkili riskler ve cerrahi komplikasyonlar (kanama, enfeksiyon) daha yüksektir.
- **Uzun İyileşme Süreci:** Cerrahi müdahale sonrası hastaların iyileşme süreci genellikle daha uzundur. Ayrıca hastalar, ağrı yönetimi ve iyileşme için daha fazla tıbbi desteğe ihtiyaç duyabilir.

- **Ses Değişiklikleri:** Tiroid cerrahisi, ses tellerine yakın anatomik yapılarla ilişkili olduğundan, ses kısıklığı veya kalıcı ses değişiklikleri riski taşır. Bu risk, özellikle total tiroidektomi işlemi için daha yüksektir.
- **Hormon Desteği Gereksinimi:** Total tiroidektomi sonrasında, hastalar ömür boyu tiroid hormon replasmanı tedavisi almak zorundadır. Tiroid fonksiyonu tamamen kaybolmuş olur.

5. Cerrahi Tedavi ile Tiroid Arter Embolizasyonunun Karşılaştırılması

a. Minimal İnvaziv Olma

- **Tiroid Arter Embolizasyonu:** Minimal invaziv bir prosedürdür. Kateter, vücuda minimal bir kesiden girilerek, hedef bölgeye embolizan madde enjekte edilir. Hasta, genellikle işlem sonrasında birkaç saat içinde taburcu edilebilir.
- **Cerrahi Tedavi:** Cerrahi, invaziv bir müdahale gerektirir ve büyük kesi yapılması gereklidir. Bu nedenle hastanın hastanede kalma süresi uzar ve iyileşme süreci daha uzun olur.

b. Komplikasyon Riski

- **Tiroid Arter Embolizasyonu:** Daha düşük komplikasyon riski taşır. Ancak embolizasyon sırasında karotis arter tıkanıklığı, trakea perforasyonu veya pulmoner embolizm gibi komplikasyonlar görülebilir. Yine de bu komplikasyonlar genellikle cerrahiye göre daha nadirdir.
- **Cerrahi Tedavi:** Kanama, enfeksiyon, sinir hasarı, ses kısıklığı ve hormon dengesizliği gibi komplikasyonlar daha yaygındır. Bu komplikasyonlar, cerrahi müdahalenin invaziv doğasına bağlı olarak daha sıktır.

c. Tedavi Etkinliği ve Sonuçlar

- **Tiroid Arter Embolizasyonu:** Bu yöntem, özellikle büyük ve semptomatik guatrı küçültmek için etkili olabilir. Ancak, sonuçlar genellikle cerrahiden daha geç ortaya çıkar. Bazı hastalarda tekrar embole olma riski olabilir.

- **Cerrahi Tedavi:** Cerrahi müdahale, genellikle hızlı ve kalıcı bir çözüm sunar. Tiroid bezinin tamamının veya büyük kısmının çıkarılması, guatrın yeniden büyüme olasılığını ortadan kaldırır.

d. Hasta Seçimi

- **Tiroid Arter Embolizasyonu:** Minimal invaziv bir seçenek olduğundan, cerrahiden kaçınmak isteyen veya cerrahi riskleri taşıyan hastalar için ideal olabilir. Ayrıca, cerrahi tedaviye uygun olmayan hastalar için de uygun bir alternatif olabilir.
- **Cerrahi Tedavi:** Büyük guatr, malignite riski veya aşırı tiroid fonksiyonu bozuklukları olan hastalar için daha uygun olabilir. Cerrahi tedavi, genellikle semptomların kontrol edilmesinde daha hızlı sonuçlar verir.

Sonuç

Tiroid arter embolizasyonu ve cerrahi tedavi, her iki tedavi yöntemi de multinodüler guatr tedavisinde önemli seçeneklerdir. Ancak, her hastanın durumu özel olarak değerlendirilmelidir. Tiroid arter embolizasyonu, minimal invaziv bir seçenek olarak avantajlar sunarken, cerrahi tedavi daha kalıcı ve hızlı bir çözüm sağlayabilir. Bu nedenle, her iki yöntem de hastanın genel sağlık durumu, guatrın büyüklüğü, semptomlar ve malignite riski gibi faktörler göz önünde bulundurularak seçilmelidir.

Radyoaktif İyot Tedavisi

Radyoaktif iyot tedavisi (RAI), hipertiroidizm ve multinodüler guatr gibi tiroid hastalıklarının tedavisinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Radyoaktif iyot, tiroid hücreleri tarafından selektif olarak alınır ve burada radyoaktif ışınlar vererek hücrelerin yok olmasına veya küçülmesine neden olur. Tiroid arter embolizasyonu (TAE) gibi minimal invaziv tedavi seçeneklerinin etkisiyle RAI, alternatif tedavi yöntemlerinden biri olarak öne çıkmaktadır (5,65-67).

Aşağıda, Radyoaktif İyot Tedavisi (RAI) ile Tiroid Arter Embolizasyonu (TAE) karşılaştırıldığında dikkat edilmesi gereken detaylı bilgiler sunulmaktadır.

1. Radyoaktif İyot Tedavisinin Temel Prensibi

Radyoaktif iyot tedavisi, iyot-131 (I-131) izotopunun kullanımıyla yapılır.

Tiroid bezi, iyotu doğal olarak alır, bu yüzden radyoaktif iyot, tiroid hücrelerine selektif bir şekilde bağlanır. I-131, tiroid hücrelerini ışınlayarak, hiperfonksiyonel nodüllerin veya tiroid bezinin küçülmesine veya tamamen yok olmasına yol açar. Bu tedavi, genellikle hipertiroidizm, toksik multinodüler guatr ve Graves hastalığı gibi hastalıklarda kullanılır.

2. Radyoaktif İyot Tedavisinin Endikasyonları

Radyoaktif iyot tedavisi, genellikle şu durumlarda tercih edilir:

- **Toksik Multinodüler Guatr:** Guatrın aşırı tiroid hormonu üretmesine yol açan nodüller mevcutsa, radyoaktif iyot tedavisi bu nodüllerin küçülmesine veya yok olmasına yardımcı olabilir.
- **Hipertiroidizm:** Tiroid bezinin aşırı hormon üretimi ile ilişkili olan durumlar için, RAI tedavisi tiroidin küçülmesini ve hormon üretiminin düzenlenmesini sağlar.
- **Graves Hastalığı:** Bağışıklık sistemi tarafından tiroid bezine etki eden bu hastalık, RAI ile tedavi edilebilir.
- **Tek nodüllü guatr:** Radyoaktif iyot, özellikle küçük nodüllerin tedavisinde kullanılabilir.

3. Radyoaktif İyot Tedavisinin Avantajları

- **Minimal İnvaziv:** RAI tedavisi, cerrahi müdahale gerektirmez ve genellikle hastalar, tedaviden sonra kısa süre içinde normal yaşantılarına dönebilir.
- **Tekrarlama Riski Düşük:** RAI tedavisi genellikle nodüllerin büyümesini engeller ve tedavi edilen bölgedeki guatrın tekrarlama olasılığı düşer.
- **Düşük Komplikasyon Riski:** Cerrahiye kıyasla daha düşük komplikasyon riski taşır, çünkü vücutta büyük bir kesi yapılmaz ve anestezi gereksizdir.
- **Uygulama Kolaylığı:** İyot tedavisi basit bir oral dozla uygulanır ve genellikle hastaneye yatış gerektirmez.

4. Radyoaktif İyot Tedavisinin Dezavantajları

- **Geç Sonuçlar:** Tedavi sonrasında tiroid bezinin küçülmesi ve iyileşme genellikle birkaç hafta hatta birkaç ay sürebilir. Bu süre boyunca hastalar hala semptomlar yaşayabilir.
- **Hormon Replasmanı İhtiyacı:** RAI tedavisinden sonra, tiroid fonksiyonu genellikle azalır ve hastalar ömür boyu tiroid hormon replasmanı almak zorunda kalabilirler.
- **Radyoaktif Etki:** Tedavi sonrasında hastaların çevresindeki kişilerle belirli bir süre temastan kaçınması gerekebilir, çünkü radyoaktif iyot vücutta kalır ve çevresine ışın yayabilir.
- **Kısıtlı Etki Alanı:** RAI, tüm tiroid nodüllerine etkili olmayabilir. Özellikle büyük nodüller veya belirgin büyümüş guatrılar için tedavi yetersiz kalabilir.
- **Yan Etkiler:** Tedavi, bazı hastalarda geçici ya da kalıcı baş ağrıları, ağız kuruluğu, tat alma bozukluğu gibi yan etkilere neden olabilir.

5. Radyoaktif İyot Tedavisi ile Tiroid Arter Embolizasyonu Arasındaki Farklar

a. Tedavi Yöntemi

- **RAI:** Tiroid bezine radyoaktif iyot verilir ve iyot tiroid hücreleri tarafından alınarak hücrelerin yok olmasına yol açar. Tedavi genellikle ağız yoluyla alınan bir kapsül veya sıvı şeklinde yapılır.
- **TAE:** Tiroid arterlerine bir kateter ile girilir ve embolizan maddeler enjekte edilir. Bu maddeler, guatrın kan akışını keserek hücrelerin ölmesine yol açar.

b. Etkinlik

- **RAI:** Toksik nodüller ve hipertiroidizmde etkilidir, ancak büyük guatrılar üzerinde sınırlı etkisi olabilir. Ayrıca, bazı nodüller tedaviye dirençli olabilir.
- **TAE:** Minimal invaziv bir seçenek olan TAE, özellikle büyük ve semptomatik guatrılar üzerinde etkili olabilir. Ancak, tedavi sonrası etkiler genellikle daha geç ortaya çıkar.

c. Komplikasyonlar

- **RAI:** Radyoaktif iyot tedavisinin genellikle düşük komplikasyon riski vardır, ancak tiroid fonksiyonu kaybı ve geçici yan etkiler görülebilir. Ayrıca, bazı hastalarda tedaviye direnç görülebilir.
- **TAE:** TAE'nin komplikasyonları arasında embolizasyon sırasında damar hasarı, trakea perforasyonu veya karotis arter tıkanıklığı gibi nadir komplikasyonlar olabilir. Ancak, genellikle cerrahi tedaviye göre daha düşük komplikasyon riski vardır.

d. Hedeflenen Grup

- **RAI:** Hipertiroidizmi olan ve küçük nodüllere sahip hastalar için uygundur. Ayrıca, hastaların tiroid fonksiyonlarını stabil hale getirmek için tercih edilebilir.
- **TAE:** Daha büyük guatrlar, ciddi semptomları olan hastalar ve cerrahi riski taşıyan hastalar için daha uygun bir seçenektir.

e. Tedavi Süresi

- **RAI:** Etkiler genellikle birkaç hafta ile birkaç ay arasında görülür. Tedavi sonrası tiroid fonksiyonunun izlenmesi ve hormon replasmanı gerekebilir.
- **TAE:** Sonuçlar daha hızlı gözlemlenebilir, ancak tedavi sonrası izlem gereklidir. Komplikasyonlar nadir olsa da yönetilmesi gerekir.

Sonuç

Radyoaktif iyot tedavisi (RAI) ve tiroid arter embolizasyonu (TAE), her biri kendi avantaj ve sınırlamalarıyla, multinodüler guatr ve hipertiroidizm tedavisinde önemli seçeneklerdir. RAI, genellikle hipertiroidizm ve toksik nodüllerin tedavisinde kullanılırken, TAE büyük ve semptomatik guatrlar için uygun bir alternatif olabilir. Hangi tedavi yönteminin seçileceği, hastanın durumu, guatrın büyüklüğü, semptomlar ve komplikasyon riski gibi faktörlere bağlıdır. Her iki tedavi de minimal invaziv seçenekler sunarken, tedavi süreci ve sonuçlar hastadan hastaya değişiklik gösterebilir.

Diğer Minimal İnvaziv Yöntemler

Multinodüler guatr ve hipertiroidizm gibi tiroid hastalıklarının tedavisinde, minimal invaziv yöntemler giderek daha fazla tercih edilmektedir. Bu yöntemler, hastaların tedavi sürecini hızlandırmak, komplikasyon riskini azaltmak ve iyileşme süresini kısaltmak amacıyla kullanılır. Tiroid arter embolizasyonu (TAE) dışında, tiroid hastalıklarının tedavisinde kullanılan diğer minimal invaziv yöntemler arasında radyoaktif iyot tedavisi (RAI), alkol skleroterapisi, laser ablasyon ve ultrason rehberliğinde termal ablasyon yer alır (68,69). Bu bölüme, bu yöntemlerin her birine dair ayrıntılı bilgiler ve tiroid arter embolizasyonu ile karşılaştırılmaları yer alacaktır.

1. Radyoaktif İyot Tedavisi (RAI)

Radyoaktif iyot tedavisi (RAI), tiroid hastalıklarında, özellikle hipertiroidizm ve toksik multinodüler guatrda yaygın bir minimal invaziv tedavi seçeneğidir. Bu tedavi, iyot-131 (I-131) izotopunun tiroid hücreleri tarafından alınarak orada radyoaktif ışınlar yayması ve hücrelerin ölmesine neden olması prensibine dayanır.

Avantajları

- **Minimal invaziv:** Cerrahi gerektirmez ve genellikle hastaneye yatış gerektirmez.
- **Basit Uygulama:** Oral kapsül veya sıvı şeklinde alınır.
- **Düşük komplikasyon riski:** Genel anestezi ve cerrahi girişim gerektirmez.

Dezavantajları

- **Yavaş Etki:** Etkiler birkaç hafta ya da aylar sürebilir.
- **Geçici Yan Etkiler:** Ağız kuruluğu, tat alma bozukluğu ve halsizlik gibi geçici etkiler görülebilir.
- **Radyoaktif Maruziyet:** Çevreye ışın yayabileceği için tedavi sonrası hastalar belli bir süre izole edilir.

2. Alkol Skleroterapisi

Alkol skleroterapisi, tiroid nodüllerinin tedavisinde kullanılan bir minimal invaziv tekniktir. Bu yöntemde, etanol gibi sklerozan maddeler nodül içine

enjekte edilir. Sklerozan maddeler, tiroid hücrelerinin hasar görmesine yol açarak nodülün küçülmesini sağlar.

Avantajları

- **Düşük maliyet:** Alkol skleroterapisi, diğer tedavi yöntemlerine göre daha ekonomik olabilir.
- **Basit uygulama:** Lokal anestezi altında kolayca yapılabilir.
- **Hızlı iyileşme:** Tedavi sonrası hastaların iyileşmesi genellikle hızlıdır.

Dezavantajları

- **Yalnızca küçük nodüller için etkilidir:** Büyük nodüllerde etkili olamayabilir.
- **Tekrarlama riski:** Nadiren tedaviye dirençli nodüller oluşabilir.
- **Yan etkiler:** Şişlik, ağrı ve enfeksiyon gibi geçici yan etkiler görülebilir.

3. Laser Ablasyon

Laser ablasyon, ultrason rehberliğinde yapılan bir tedavi yöntemidir. Tiroid nodüllerine, lazer ışınıyla yüksek ısı uygulanarak, hücrelerin yok edilmesi sağlanır. Bu yöntem genellikle iyi huylu, semptomatik nodüller için tercih edilir.

Avantajları

- **Minimal invaziv:** Derin kesi gerektirmez.
- **Hızlı iyileşme:** İşlem sonrası hastalar hızlı bir şekilde günlük yaşantılarına dönebilirler.
- **Düşük komplikasyon oranı:** Lazerle tedavi minimal travma oluşturur, bu da iyileşme sürecini hızlandırır.

Dezavantajları

- **Sınırlı etki alanı:** Büyük nodüller için etkili olmayabilir.
- **Yavaş sonuçlar:** İşlem sonrası iyileşme zaman alabilir.
- **Ekipman gereksinimi:** Özel lazer ekipmanları gereklidir.

4. Ultrason Rehberliğinde Termal Ablasyon

Ultrason rehberliğinde termal ablasyon, tiroid nodüllerinin tedavisinde kullanılan diğer bir minimal invaziv yöntemdir. Bu yöntemde, ultrason cihazı

yardımla ığne ile nodül içine ısı enerjisi uygulanır. Bu enerji, nodülün küçülmesine neden olur.

Avantajları

- **Minimal invaziv:** Anestezi gereksizdir ve hastalar hızlıca taburcu edilebilir.
- **Yüksek doğruluk:** Ultrason rehberliği sayesinde işlem son derece doğru yapılır.
- **Düşük komplikasyon riski:** Cerrahiye kıyasla daha düşük risk içerir.

Dezavantajları

- **Yalnızca küçük nodüller için uygun:** Büyük ve sert nodüller için etkili olmayabilir.
- **Uzun süreli etkiler sınırlı:** Bazen birkaç tedavi seansı gerekebilir.
- **Ekipman maliyeti:** Ultrason cihazları ve termal enerji cihazları pahalı olabilir.

5. Tiroid Arter Embolizasyonu (TAE)

Tiroid arter embolizasyonu, tiroid hastalıklarının tedavisinde son yıllarda popülerleşen minimal invaziv bir tedavi seçeneğidir. TAE, guatrın kan akışını sınırlayarak, tiroid hücrelerinin oksijen ve besin alımını engeller ve hücrelerin ölmesine yol açar.

Avantajları

- **Büyük nodüller için etkili:** TAE, büyük ve semptomatik guatrlar üzerinde oldukça etkilidir.
- **Minimal invaziv:** Cerrahi gereksinim olmadan tedavi edilir.
- **Hızlı iyileşme:** İşlem sonrası komplikasyon riski düşüktür, hastalar genellikle hızlı bir şekilde iyileşir.

Dezavantajları

- **Komplikasyon riski:** Nadiren de olsa embolizasyon sırasında komplikasyonlar oluşabilir (damar yaralanması, trakea perforasyonu gibi).
- **Ekipman gereksinimi:** Kateterizasyon için özel ekipman ve uzmanlık gereklidir.

6. Karşılaştırma

Etkililik

- **TAE:** Büyük nodüller ve semptomatik hastalar için etkili bir seçenek olarak öne çıkar.
- **RAI:** Daha küçük nodüller ve hipertiroidizm için uygundur, ancak büyük guatrlar üzerinde etkisi sınırlı olabilir.
- **Laser ablasyon ve termal ablasyon:** Küçük nodüller için uygundur, ancak büyük nodüller ve guatrlar için yeterli etkisi olmayabilir.
- **Alkol skleroterapisi:** Küçük, basit nodüller için etkilidir, ancak büyük nodüllerde sınırlı etki gösterir.

Komplikasyonlar

- **TAE:** Nadiren komplikasyonlara yol açabilir, ancak genellikle cerrahiye göre daha güvenlidir.
- **RAI:** Genellikle düşük komplikasyon riski taşır, ancak radyoaktif maruziyet ve geçici yan etkiler olabilir.
- **Laser ve termal ablasyon:** Düşük komplikasyon riski taşır, ancak büyük nodüller için etkisiz olabilir.

Tedavi Süresi ve İyileşme

- **TAE:** Hızlı iyileşme sağlar, genellikle birkaç gün içinde normal yaşantıya dönülebilir.
- **RAI:** Etkiler genellikle birkaç hafta ile birkaç ay arasında görülür.
- **Laser ve termal ablasyon:** Hızlı iyileşme süresi sunar, ancak birkaç tedavi seansı gerekebilir.
- **Alkol skleroterapisi:** Hızlı iyileşme sağlar, ancak tedavi tekrarı gerekebilir.

Sonuç

Minimal invaziv tedavi seçenekleri, tiroid hastalıklarının yönetiminde önemli bir yer tutmaktadır. Tiroid arter embolizasyonu, özellikle büyük, semptomatik nodüller veya guatrlar için etkili bir tedavi seçeneği sunarken, diğer minimal invaziv yöntemler de kendi avantaj ve sınırlamalarıyla tedaviye katkı sağlar.

Hangi tedavi yönteminin seçileceği, hastanın durumuna, guatrın büyüklüğüne, semptomlara ve tedaviye yanıt verme potansiyeline bağlıdır.

GELECEKTEKİ YÖNELİMLER VE YENİLİKLER

Görüntüleme Tekniklerinde Gelişmeler

Tiroid arter embolizasyonu (TAE), tiroid hastalıklarının tedavisinde giderek yaygınlaşan bir minimal invaziv yaklaşımdır. Bu tedavi, doğru hedefleme ve tedavi sonuçlarının izlenmesi için görüntüleme tekniklerinin yüksek doğrulukla yapılmasını gerektirir. TAE işleminde kullanılan görüntüleme yöntemlerinin gelişimi, tedavi sürecinin etkinliğini artırmış ve komplikasyon risklerini azaltmıştır (26,70-74). Bu bölümde, TAE’de kullanılan başlıca görüntüleme tekniklerinin gelişimi ve bunların klinik pratikteki önemi ele alınacaktır.

1. Anjiyografi

Anjiyografi, TAE’nin temel görüntüleme yöntemi olup, tiroid arterlerinin haritalanmasında kullanılır. Anjiyografi ile kan damarlarının detaylı bir şekilde görüntülenmesi sağlanır, bu da embolizasyon işleminin doğru ve güvenli bir şekilde yapılabilmesini mümkün kılar. Anjiyografi ile tiroid arterlerinin yapısı, kan akışı, anormal damarlar ve kanama riskini artıran durumlar değerlendirilir.

Gelişmeler

- **Dijital Subtraksiyon Anjiyografi (DSA):** Bu teknoloji, damarların daha net ve detaylı bir şekilde görünmesini sağlar. TAE sırasında kullanılan bu yöntem, embolizasyonun hedeflenen bölgeye odaklanmasını ve daha az yan etkiyle gerçekleştirilmesini sağlar.
- **Yüksek çözünürlüklü anjiyografi cihazları:** Gelişmiş anjiyografi cihazları, daha hızlı görüntüleme ve daha net sonuçlar sağlar. Bu sayede embolizasyonun etkinliği ve güvenliği artmıştır.

2. Bilgisayarlı Tomografi (BT) ve BT Anjiyografi

Bilgisayarlı tomografi (BT) ve BT anjiyografi, tiroid arterlerinin preoperatif ve postoperatif değerlendirilmesinde önemli bir yer tutar. BT, özellikle büyük nodüllerin ve guatrın hacmini belirlemek için kullanılırken, BT anjiyografi, damar yapısının detaylı görüntülenmesini sağlar.

Gelişmeler

- **Kontrastlı BT:** Kontrast madde kullanımı, damarların detaylı bir şekilde izlenmesini sağlar. BT anjiyografi ile embolizasyon öncesi ve sonrası damar yapıları karşılaştırılarak tedavi süreci izlenebilir.
- **Multidetektör BT (MDCT):** Yüksek çözünürlük ve hızlı tarama özellikleri sayesinde, MDCT, tiroid arterlerinin daha ayrıntılı şekilde değerlendirilmesini sağlar. Bu teknoloji, embolizasyon sırasında anatomik yapıların doğru şekilde hedeflenmesine yardımcı olur.

3. Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG)

Manyetik rezonans görüntüleme (MRG), tiroid bezinin ve çevresindeki yapıları görüntülemek için kullanılan bir diğer etkili yöntemdir. MR, yumuşak doku kontrastını yüksek çözünürlükle sağlar ve tiroid hastalıklarının sınıflandırılmasında faydalıdır.

Gelişmeler

- **MR Anjiyografi:** MRG, damarların yapısını değerlendirmek için anjiyografi ile birleştiğinde tiroid arterlerinin durumu hakkında daha kapsamlı bilgi verir. MRG, tiroid arterlerinin varlığını, genişliğini ve tümörle olan ilişkisini belirleyebilir.
- **Yüksek çözünürlük MR görüntüleme:** Tiroid bezinin daha küçük nodüllerini ve mikro damar yapılarını tespit etme kapasitesi artmıştır, bu da embolizasyon işleminin daha hedefli bir şekilde yapılmasına olanak tanır.

4. Ultrasonografi (US)

Ultrasonografi, tiroid nodüllerini ve guatrları değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Ultrason, tiroid bezinin yapısal değerlendirilmesinin yanı sıra, embolizasyonun etkinliğini izlemek için de kullanılır.

Gelişmeler

- **Doppler Ultrason:** Doppler ultrason, tiroid arterlerinin kan akışını ölçmek için kullanılır. Bu teknik, arterlerin tam olarak hedeflenmesi ve embolizasyonun başarısının izlenmesinde yardımcı olur. Doppler

ultrason, embolizasyon sonrası kan akışındaki değişiklikleri tespit etmek için de kullanılır.

- **Elastografi:** Elastografi, tiroid nodüllerinin sertliğini değerlendirmek için kullanılır. Bu yöntem, nodüllerin tedaviye yanıtlarını izlemek ve iyileşme süreçlerini değerlendirmek için önemlidir.

5. Hibrid Görüntüleme Yöntemleri

Son yıllarda, birden fazla görüntüleme teknolojisinin bir arada kullanılması, tiroid arter embolizasyonunun etkinliğini artırmıştır. Hibrid görüntüleme, anjiyografi, BT, MRG ve ultrasonografi gibi farklı yöntemlerin birleşimiyle daha ayrıntılı bir değerlendirme yapılmasına olanak tanır.

Gelişmeler

- **PET-CT:** Pozitron Emisyon Tomografisi (PET) ve Bilgisayarlı Tomografi (CT) birleşimi, tiroid nodüllerinin metabolik aktivitelerini izlemeyi sağlar. Bu teknik, kanserli veya agresif nodüllerin tespitinde yardımcı olabilir.
- **PET-MRG:** PET ve MRG'nin birleşimi, tiroid hastalıklarının metabolik ve yapısal özelliklerini aynı anda görüntülemeye olanak tanır. Bu, özellikle kanser şüphesi taşıyan hastalarda kullanışlıdır.

Sonuç

Tiroid arter embolizasyonu (TAE) tedavisinin etkinliği, kullanılan görüntüleme tekniklerine büyük ölçüde bağlıdır. Son yıllarda bu alanda yapılan gelişmeler, tedavi süreçlerini daha güvenli ve etkili hale getirmiştir. Anjiyografi, BT, MRG, ultrason ve hibrid görüntüleme yöntemlerinin bir arada kullanılması, tiroid arter embolizasyonunun doğruluğunu ve güvenliğini artırmış, komplikasyonları azaltmış ve tedavi sonrası sonuçları iyileştirmiştir. Bu görüntüleme teknolojilerindeki gelişmeler, hem tedavi sürecinin hem de hastaların iyileşme hızlarının iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır.

SONUÇ

Tiroid Arter Embolizasyonunun Genel Değerlendirmesi

Tiroid arter embolizasyonu, multinodüler guatr hastalarının tedavisinde cerrahi müdahaleye alternatif bir çözüm olarak hızla kabul görmekte ve

etkinliğini kanıtlamaktadır. Minimal invaziv bir yaklaşım sunan bu yöntem, özellikle cerrahi risklerin yüksek olduğu, yaşlı veya diğer komorbid hastalıklara sahip bireyler için önemli bir tedavi seçeneği oluşturur. Tiroid arterlerine yapılan embolizasyon, tiroid bezinin kanlanması sınırlayarak guatrın büyümesini engeller, semptomları azaltır ve hastaların yaşam kalitesini iyileştirir.

TAE'nin başarı oranı yüksek olmakla birlikte, tedavi sonrası izlem büyük önem taşır. Elde edilen kısa ve uzun dönemdeki başarı, hastaların semptomatik iyileşmesi ve bezdeki hacim azalması gözlemlenmiş olsa da, bazı hastalarda yeniden büyüme görülebilir. Bununla birlikte, cerrahi müdahaleye alternatif bir yöntem olarak TAE'nin sağladığı avantajlar, özellikle düşük komplikasyon oranları ve hızlı iyileşme süreci göz önünde bulundurulduğunda, geleneksel tedavi yöntemlerine göre belirgin bir üstünlük sergilemektedir.

Ancak, her tedavi yönteminde olduğu gibi, TAE'nin de sınırlamaları ve komplikasyonları bulunmaktadır. Bu nedenle, her hasta için kişiselleştirilmiş bir tedavi yaklaşımı gereklidir. Bu bağlamda, intervansiyonel radyologların deneyimi ve doğru hasta seçimi büyük rol oynamaktadır.

Sonuç olarak, tiroid arter embolizasyonu, multinodüler guatr tedavisinde etkili ve güvenli bir alternatif olarak öne çıkmakta, cerrahi tedaviye bir seçenek sunmaktadır. Ancak, her hasta için uygunluk değerlendirilerek, tedavi süreci titizlikle planlanmalı ve başarılı bir sonuç için takip süreçlerine gereken özen gösterilmelidir. Gelecekteki çalışmalar, bu tedavi yönteminin etkinliğini ve uzun dönem sonuçlarını daha kapsamlı bir şekilde ortaya koyarak, klinik uygulamalara katkı sağlamaya devam edecektir.

Multidisipliner Yaklaşımın Önemi

Multinodüler guatr tedavisinde tiroid arter embolizasyonu (TAE) gibi yenilikçi yöntemlerin başarılı olabilmesi, sadece tek bir uzmanlık alanının ötesinde bir yaklaşım gerektirir. TAE'nin etkinliğini en üst düzeye çıkarabilmek için, intervansiyonel radyologlar, endokrinologlar, cerrahlar, patoloji uzmanları ve hasta bakım ekiplerinin ortaklaşa çalıştığı multidisipliner bir yaklaşımın önemi büyük ölçüde vurgulanmaktadır. Bu tür bir iş birliği, her hastanın bireysel gereksinimlerine göre özelleştirilmiş tedavi planlarının geliştirilmesine olanak sağlar.

Multidisipliner yaklaşımla, her uzmanlık alanı, hastanın tedavisindeki farklı boyutları değerlendirerek daha kapsamlı ve etkili çözümler sunar. Endokrinologlar, hastanın tiroid fonksiyonlarını ve hormon seviyelerini izleyerek tedavi sürecine rehberlik ederken, intervansiyonel radyologlar, embolizasyon işleminin doğru ve güvenli bir şekilde uygulanmasını sağlar. Ayrıca cerrahlar, tedavi sürecinde gerekirse cerrahi müdahale için alternatif seçenekler sunar.

Bu iş birliği sayesinde, tedavi sürecinde ortaya çıkabilecek potansiyel komplikasyonlar daha hızlı tespit edilir ve yönetilir. Ayrıca, her bir uzmanlık alanı, tedavi sonrası hastanın izlemine katkı sağlayarak uzun dönem sonuçların iyileştirilmesine olanak tanır.

Sonuç olarak, tiroid arter embolizasyonu gibi yenilikçi tedavi yöntemlerinin başarısı, sadece tıbbi tekniklerle değil, aynı zamanda multidisipliner bir yaklaşımın gücüyle doğrudan ilişkilidir. TAE'nin potansiyelinden en iyi şekilde yararlanabilmek için farklı uzmanlık alanlarının birlikte çalışması, hastaların en yüksek düzeyde bakım almasını ve tedavi süreçlerinin daha verimli hale gelmesini sağlar. Bu şekilde, her hasta için daha sağlıklı, güvenli ve sürdürülebilir sonuçlar elde edilmesi mümkün olur.

KAYNAKLAR

1. Alqahtani SM, Alwohaibi RN, Alahmari MS, Almuhaimeid TM. Multinodular goiter with a retropharyngeal extension: A report of two cases and literature review. *J Family Community Med.* 2024;31(2):176-179. doi: 10.4103/jfcm.jfcm_263_23.
2. Wardak AF, Ghani T, Ardani SI, Musamim MA, Ghani T, Alamy H. A case report of coexisting multinodular goiter with carotid body tumor. *Int J Surg Case Rep.* 2024;117:109570. doi: 10.1016/j.ijscr.2024.109570.
3. Unlu MT, Kostek M, Aygun N, Isgor A, Uludag M. Non-Toxic Multinodular Goiter: From Etiopathogenesis to Treatment. *Sisli Etfal Hastan Tip Bul.* 2022;56(1):21-40. doi: 10.14744/SEMB.2022.56514.
4. Migda B, Migda M, Migda AM, Bierca J, Slowniska-Srzednicka J, Jakubowski W, Slapa RZ. Evaluation of Four Variants of the Thyroid Imaging Reporting and Data System (TIRADS) Classification in Patients with Multinodular Goitre - initial study. *Endokrynol Pol.* 2018;69(2):156-162. doi: 10.5603/EP.a2018.0012.
5. Reid JR, Wheeler SF. Hyperthyroidism: diagnosis and treatment. *Am Fam Physician.* 2005 Aug 15;72(4):623-30.
6. Wong R, Farrell SG, Grossmann M. Thyroid nodules: diagnosis and management. *Med J Aust.* 2018;209(2):92-98. doi: 10.5694/mja17.01204.
7. Melish JS. Thyroid Disease. In: Walker HK, Hall WD, Hurst JW, editors. *Clinical Methods: The History, Physical, and Laboratory Examinations.* 3rd edition. Boston: Butterworths; 1990. Chapter 135.
8. Bel Lassen P, Kyrrilli A, Lytrivi M, Corvilain B. Graves' disease, multinodular goiter and subclinical hyperthyroidism. *Ann Endocrinol (Paris).* 2019;80(4):240-249. doi: 10.1016/j.ando.2018.09.004.
9. Łacka K, Fraczek MM. [Classification and etiology of hyperthyroidism]. *Pol Merkur Lekarski.* 2014;36(213):206-11.
10. Hegedüs L, Bonnema SJ, Bennedbaek FN. Management of simple nodular goiter: current status and future perspectives. *Endocr Rev.* 2003;24(1):102-32. doi: 10.1210/er.2002-0016.
11. Martinez JH, Palermo C, González FF, Laboy I. Overview of thyroid physiology: an essential for understanding familial euthyroid multinodular goiter. *Bol Asoc Med P R.* 2013;105(2):68-71.
12. Paschke R. Molecular pathogenesis of nodular goiter. *Langenbecks Arch Surg.* 2011;396(8):1127-36. doi: 10.1007/s00423-011-0788-5.

13. Al-Sharif AA, Abujbara MA, Chiacchio S, Ajlouni KM, Mariani G. Contribution of radioiodine uptake measurement and thyroid scintigraphy to the differential diagnosis of thyrotoxicosis. *Hell J Nucl Med.* 2010;13(2):132-7.
14. Bossowski A, Stasiak-Barmuta A, Czarnocka B, Urban M, Łyczkowska A, Niedziela M, Bardadin K, Czerwińska J, Dadan J, Baltaziak M. [Cytofluorometric analysis of chosen markers of apoptosis CD95/CD95L (Fas/FasL) in thyroid tissues from young patients with Graves' disease and Hashimoto's thyroiditis]. *Endokrynol Diabetol Chor Przemiany Materii Wieku Rozw.* 2006;12(2):83-90.
15. Tang L, Ma T, Wu F. Recombinant human thyrotropin stimulated ¹³¹I treatment for multinodular goiter. *Nuklearmedizin.* 2016;55(6):228-235. doi: 10.3413/Nukmed-0808-16-03.
16. Azizi F, Takyar M, Madreseh E, Amouzegar A. Treatment of Toxic Multinodular Goiter: Comparison of Radioiodine and Long-Term Methimazole Treatment. *Thyroid.* 2019;29(5):625-630. doi: 10.1089/thy.2018.0397.
17. Singh NK, Ramamourthy B, Hage N, Nagaraju S, Kappagantu KM. Radioactive Iodine in Differentiated Carcinoma of Thyroid: An Overview. *Curr Radiopharm.* 2024;17(1):2-6. doi: 10.2174/0118744710249684231013072013.
18. Cirocchi R, Trastulli S, Randolph J, Guarino S, Di Rocco G, Arezzo A, D'Andrea V, Santoro A, Barczyński M, Avenia N. Total or near-total thyroidectomy versus subtotal thyroidectomy for multinodular non-toxic goitre in adults. *Cochrane Database Syst Rev.* 2015;2015(8):CD010370. doi: 10.1002/14651858.CD010370.pub2.
19. Li Y, Li Y, Zhou X. Total Thyroidectomy versus Bilateral Subtotal Thyroidectomy for Bilateral Multinodular Nontoxic Goiter: A Meta-Analysis. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec.* 2016;78(3):167-75. doi: 10.1159/000444644.
20. Friberg L, Rosenqvist M, Lip GY. Evaluation of risk stratification schemes for ischaemic stroke and bleeding in 182 678 patients with atrial fibrillation: the Swedish Atrial Fibrillation cohort study. *Eur Heart J.* 2012;33(12):1500-10. doi: 10.1093/eurheartj/ehr488.
21. Park S, Kim JH, Hwang JH, Choi WS. Thyroid Artery Embolization for Tracheostomy Site Bleeding: A Report of Three Cases. *J Korean Soc Radiol.* 2024;85(5):976-980. doi: 10.3348/jksr.2023.0160.
22. Son HY, An SY, Kim EY, Ahn SB, Lee BC. Selective embolization for hypervascular metastasis from differentiated thyroid cancer: a case series. *J Med Case Rep.* 2014;8:405. doi: 10.1186/1752-1947-8-405.
23. Jaroszuk A, Kamiński G. [Arterial thyroid embolization in thyroid diseases]. *Pol Merkur Lekarski.* 2011;31(185):284-7.

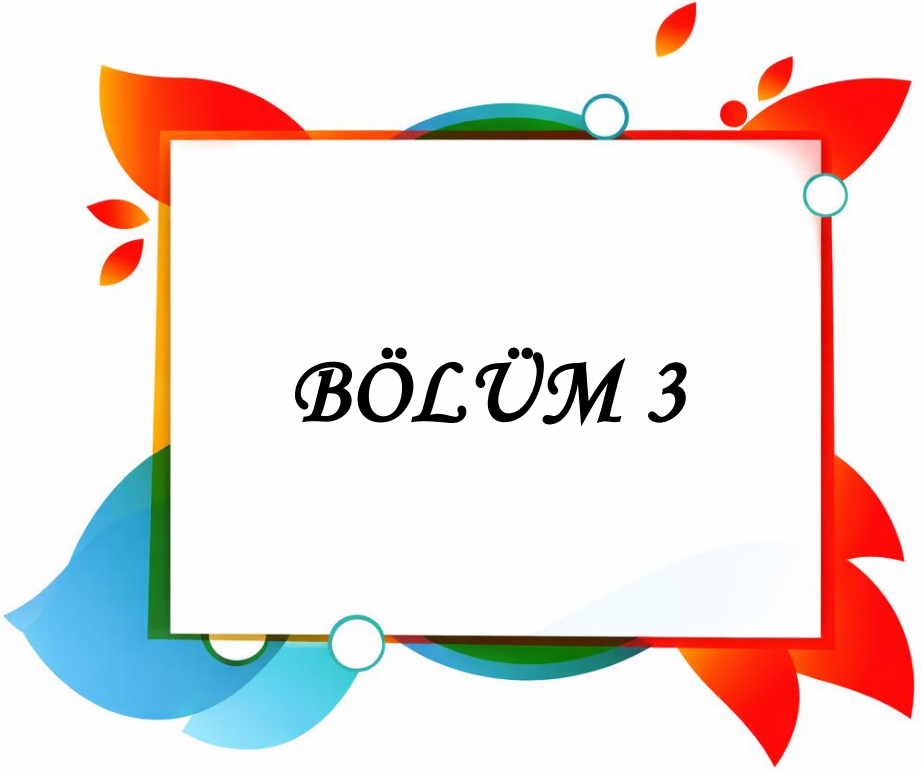
24. Dedecjus M, Tazbir J, Kaurzel Z, Lewinski A, Strozyk G, Brzezinski J. Selective embolization of thyroid arteries as a prereseptive and palliative treatment of thyroid cancer. *Endocr Relat Cancer*. 2007;14(3):847-52. doi: 10.1677/ERC-07-0011.
25. Makarov IV, Pismenny IV, Karpova DO, Romanov RM, Fadeicheva SN. [Surgical treatment of a patient with stage v multinodular toxic goiter, severe thyrotoxicosis, strangulation syndrome and severe comorbidities]. *Khirurgia (Mosk)*. 2023;(1):94-98. doi: 10.17116/hirurgia202301194.
26. Tartaglia F, Salvatori FM, Pichelli D, Sgueglia M, Blasi S, Custureri F. Preoperative embolization of thyroid arteries in a patient with a large cervicomediastinal hyperfunctioning goiter. *Thyroid*. 2007;17(8):787-92. doi: 10.1089/thy.2006.0217.
27. de Diego Sastre JI, Prim Espada MP. [Results of multinodular goiter surgery]. *An Otorrinolaringol Ibero Am*. 2000;27(6):613-22.
28. Patanè S, Marte F, Sturiale M. Endogenous subclinical hyperthyroidism and cardiovascular system: time to reconsider?. *Int J Cardiol*. 2011;149(1):108-9. doi: 10.1016/j.ijcard.2009.05.014.
29. Medeiros-Neto G, Camargo RY, Tomimori EK. Approach to and treatment of goiters. *Med Clin North Am*. 2012;96(2):351-68. doi: 10.1016/j.mcna.2012.01.010.
30. Kaniuka S, Lass P, Sworczak K. Radioiodine - an attractive alternative to surgery in large non-toxic multinodular goitres. *Nucl Med Rev Cent East Eur*. 2009;12(1):23-9.
31. Khalife A, Valdes H, Beckers A. [Therapeutic controversies: the treatment of Graves' disease]. *Rev Med Liege*. 1999;54(7):606-10.
32. Černá M, Třeška V, Krčma M, Daum O, Šlauf F. Arteriovenous malformation of the thyroid gland as a very rare cause of mechanical neck syndrome: a case report. *J Med Case Rep*. 2015;9:3. doi: 10.1186/1752-1947-9-3.
33. Borchert DH, Massmann A, Kim YJ, Bader CA, Wolf G, Eisele R, Minko P, Bücken A, Glanemann M. Recurrent High-Flow Arterio-Venous Malformation of the Thyroid Gland. *Thyroid*. 2015;25(9):1060-3. doi: 10.1089/thy.2014.0559.
34. Grozinsky-Glasberg S, Bloom AI, Lev-Cohain N, Klimov A, Besiso H, Gross DJ. The role of hepatic trans-arterial chemoembolization in metastatic medullary thyroid carcinoma: a specialist center experience and review of the literature. *Eur J Endocrinol*. 2017;176(4):463-470. doi: 10.1530/EJE-16-0960.
35. Ringer AJ, Guterman LR, Hopkins LN. Site-specific thromboembolism: a novel animal model for stroke. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2004;25(2):329-32.

36. Pokhrel A, Tun MM, Miah SS, Raina JS, Zahedi T. A Thyrotoxicosis Surprise: Jod-Basedow Phenomenon Following IV Contrast Administration. *Cureus*. 2022;14(5):e24742. doi: 10.7759/cureus.24742.
37. Kimura T, Kidani N, Ibayashi K, Kawai K. Visualization of declamping procedure during carotid endarterectomy by ICG videoangiography. *Br J Neurosurg*. 2015;29(5):726-7. doi: 10.3109/02688697.2015.1029431.
38. Mika H, Cataldo M. [Intraarterial cytostatic therapy of head and neck: operative and cytostatic complications and side effects (author's transl)]. *Laryngol Rhinol Otol (Stuttg)*. 1981;60(8):407-10.
39. Lodha A, Haran M, Frankel R, Shani J. Thyrotoxicosis causing arterial and venous thrombosis. *Am J Med Sci*. 2009;338(5):428. doi: 10.1097/MAJ.0b013e3181adb4c4.
40. Perona F, Barile A, Oliveri M, Quadri P, Ferro C. Superior thyroid artery lesion after US-guided chemical parathyroidectomy: angiographic diagnosis and treatment by embolization. *Cardiovasc Intervent Radiol*. 1999;22(3):249-50. doi: 10.1007/s002709900376.
41. Köppl H, Scheer E, Herbst EW. [Extensive pulmonary tumor embolisms of anaplastic thyroid gland carcinoma as a rare cause of hemorrhagic pleural effusion in an 88-year-old patient]. *Pneumologie*. 1993;47(10):593-6.
42. Camacho Y, Jamal Y, Wang A, Chiarolanzio P, Goswami G. Ischemic stroke: a rare complication of a large multinodular goiter. *Endocrinol Diabetes Metab Case Rep*. 2022;2022:22-0247. doi: 10.1530/EDM-22-0247.
43. Chen CY, Chen ST, Huang BY, Hwang JS, Lin JD, Liu FH. The effect of suppressive thyroxine therapy in nodular goiter in postmenopausal women and 2 year's bone mineral density change. *Endocr J*. 2018;65(11):1101-1109. doi: 10.1507/endocrj.EJ18-0125.
44. Angelopoulos N, Iakovou I, Effraimidis G, Livadas S. Long-Term Effects of 0.1 mg Recombinant-Human-Thyrotropin-Stimulated Fixed-Dose Radioiodine Therapy in Patients with Recurrent Multinodular Goiter after Surgery. *Diagnostics (Basel)*. 2024;14(9):946. doi: 10.3390/diagnostics14090946.
45. Ruggieri M, Fumarola A, Straniero A, Maiuolo A, Coletta I, Veltri A, Di Fiore A, Trimboli P, Gargiulo P, Genderini M, D'Armiento M. The estimation of the thyroid volume before surgery—an important prerequisite for minimally invasive thyroidectomy. *Langenbecks Arch Surg*. 2008;393(5):721-4. doi: 10.1007/s00423-008-0399-y.
46. Yilmaz S, Habibi HA, Yildiz A, Altunbas H. Thyroid Embolization for Nonsurgical Treatment of Nodular Goiter: A Single-Center Experience in 56 Consecutive Patients. *J Vasc Interv Radiol*. 2021;32(10):1449-1456. doi: 10.1016/j.jvir.2021.06.025.

47. Zhao W, Gao BL, Jin CZ, Yi GF, Yang HY, Li H, Song DP, Hu JH, Jiang YN. Long-term immunological study in Graves' disease treated with thyroid arterial embolization. *J Clin Immunol.* 2008;28(5):456-63. doi: 10.1007/s10875-008-9209-0.
48. Zhao W, Gao BL, Liu ZY, Yi GF, Shen LJ, Yang HY, Li H, Song DP, Jiang YN, Hu JH, Luo G. Angiogenic study in Graves' disease treated with thyroid arterial embolization. *Clin Invest Med.* 2009;32(5):E335-44. doi: 10.25011/cim.v32i5.6921.
49. Barnes BO. Hypertension and the thyroid gland. *Clin Exp Pharmacol Physiol.* 1975;Suppl 2:167-70.
50. Herbeuval R, Duheille J. [Tissue immunopathology]. *Rev Med Liege.* 1971;26(22):757-66.
51. Reid GM, Tervit H. Sudden infant death syndrome and placental disorders: the thyroid-selenium link. *Med Hypotheses.* 1997;48(4):317-24. doi: 10.1016/s0306-9877(97)90100-6.
52. Ma Y, Wang T, Wang H, Amin-Hanjani S, Tong X, Wang J, Tong Z, Kuai D, Cai Y, Ren J, Wang D, Duan L, Maimaitili A, Hang C, Yu J, Bai X, Powers WJ, Derdeyn CP, Wu Y, Ling F, Gu Y, Jiao L; CMOSS Investigators. Extracranial-Intracranial Bypass and Risk of Stroke and Death in Patients With Symptomatic Artery Occlusion: The CMOSS Randomized Clinical Trial. *JAMA.* 2023;330(8):704-714. doi: 10.1001/jama.2023.13390.
53. Khaitan PG, Famiglietti A, Watson TJ. The Etiology, Diagnosis, and Management of Esophageal Perforation. *J Gastrointest Surg.* 2022;26(12):2606-2615. doi: 10.1007/s11605-022-05454-2.
54. Redahan C, Karski JM. Thyrotoxicosis factitia in a post-aortocoronary bypass patient. *Can J Anaesth.* 1994;41(10):969-72. doi: 10.1007/BF03010940.
55. Baxi SS, Sherman EJ, Kelly KW, Brown KT, Dematteo RP, Pfister DG. Hemorrhagic pseudoaneurysm in a patient receiving aflibercept for metastatic thyroid cancer. *Thyroid.* 2012;22(5):552-5. doi: 10.1089/thy.2011.0413.
56. Holvoet G, Gillebert TC, Piessens J, De Geest H. Coronary artery surgery in patients with myxoedema. *Acta Cardiol.* 1984;39(2):139-45.
57. Guo H, Zhang Y, Ren S, Yang X, Tian L, Huang Y, Zhang C, Zhang X. Real-time imaging of ipsilateral parathyroid glands by retrograde injection of methylene blue into the superior thyroid artery: a new intraoperative parathyroid protection method. *BMC Surg.* 2024;24(1):108. doi: 10.1186/s12893-024-02360-z.
58. Mishra P, Samanta L. Oxidative stress and heart failure in altered thyroid States. *ScientificWorldJournal.* 2012;2012:741861. doi: 10.1100/2012/741861.

59. Choi YM, Jang EK, Ahn SH, Jeon MJ, Han JM, Kim SC, Han DJ, Gong G, Kim TY, Shong YK, Kim WB. Long-term survival of a patient with pulmonary artery intimal sarcoma after sequential metastasectomies of the thyroid and adrenal glands. *Endocrinol Metab (Seoul)*. 2013;28(1):46-9. doi: 10.3803/EnM.2013.28.1.46.
60. Gedamu D, Shimels T, Kassie D, Chanyalew Z, Eyasu M. Thyroid Malignancy in Patients Who Underwent Thyroidectomy for Multinodular Goiter and Solitary Thyroid Nodule. *JCO Glob Oncol*. 2024;10:e2300322. doi: 10.1200/GO.23.00322.
61. Bharath S, Yadav SK, Sharma D, Jha CK, Mishra A, Mishra SK, Shekhar S. Total vs less than total thyroidectomy for benign multinodular non-toxic goiter: an updated systematic review and meta-analysis. *Langenbecks Arch Surg*. 2023;408(1):200. doi: 10.1007/s00423-023-02941-1.
62. Chen Q, Su A, Zou X, Liu F, Gong R, Zhu J, Li Z, Wei T. Clinicopathologic Characteristics and Outcomes of Massive Multinodular Goiter: A Retrospective Cohort Study. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2022;13:850235. doi: 10.3389/fendo.2022.850235.
63. Hurley DL, Gharib H. Evaluation and management of multinodular goiter. *Otolaryngol Clin North Am*. 1996;29(4):527-40.
64. Mauriello C, Marte G, Canfora A, Napolitano S, Pezzolla A, Gambardella C, Tartaglia E, Lanza M, Candela G. Bilateral benign multinodular goiter: What is the adequate surgical therapy? A review of literature. *Int J Surg*. 2016;28 Suppl 1:S7-12. doi: 10.1016/j.ijssu.2015.12.041.
65. Kravets I. Hyperthyroidism: Diagnosis and Treatment. *Am Fam Physician*. 2016;93(5):363-70.
66. Doubleday AR, Sippel RS. Hyperthyroidism. *Gland Surg*. 2020;9(1):124-135. doi: 10.21037/gs.2019.11.01.
67. Azizi F, Saadat N, Takyar MA, Abdi H, Mehran L, Amouzegar A. Efficacy and Safety of Long-Term Methimazole versus Radioactive Iodine in the Treatment of Toxic Multinodular Goiter. *Endocrinol Metab (Seoul)*. 2022;37(6):861-869. doi: 10.3803/EnM.2022.1476.
68. Brito JP, Hay ID, Morris JC. Low risk papillary thyroid cancer. *BMJ*. 2014;348:g3045. doi: 10.1136/bmj.g3045.
69. Bonnema SJ, Fast S, Hegedüs L. Non-surgical approach to the benign nodular goiter: new opportunities by recombinant human TSH-stimulated ¹³¹I-therapy. *Endocrine*. 2011;40(3):344-53. doi: 10.1007/s12020-011-9542-6.
70. Ramos HE, Braga-Basaria M, Haquin C, Mesa CO, Noronha Ld, Sandrini R, Carvalho Gde A, Graf H. Preoperative embolization of thyroid arteries in a

- patient with large multinodular goiter and papillary carcinoma. *Thyroid*. 2004;14(11):967-70. doi: 10.1089/thy.2004.14.967.
71. Bhartiya S, Verma A, Basu S, Shukla V. Congenital thyroid hemiagenesis with multinodular goiter. *Acta Radiol Short Rep*. 2014;3(9):2047981614530286. doi: 10.1177/2047981614530286.
 72. Niedziela M, Muchantef K, Foulkes WD. Ultrasound features of multinodular goiter in DICER1 syndrome. *Sci Rep*. 2022;12(1):15888. doi: 10.1038/s41598-022-19709-0.
 73. Özer BM, Pabuşçu Y, Tarhan S, Ovalı GY, Aydede H, Demireli P, Karadeniz T. Effectiveness of diffusion-weighted magnetic resonance imaging (DW-MRI) in the differentiation of thyroid nodules. *Thyroid Res*. 2024;17(1):24. doi: 10.1186/s13044-024-00210-x.
 74. Fischli S, Suter-Widmer I, Nguyen BT, Müller W, Metzger J, Strobel K, Grünig H, Henzen C. The Significance of 18F-Fluorocholine-PET/CT as Localizing Imaging Technique in Patients with Primary Hyperparathyroidism and Negative Conventional Imaging. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2018;8:380. doi: 10.3389/fendo.2017.00380.



BÖLÜM 3

Foundation Radiomics: El Yapımı Özelliklerden Evrensel Görüntüleme Biyobelirteçlerine Geçiş

Fatih Işık¹

1. Giriş

Radyomiks, tıbbi görüntüleri yalnızca görsel yorum nesnesi olarak değil, nicel veri matrisi olarak ele alma fikrinden doğmuştur. Erken dönem çalışmalarda amaç, görüntüden elde edilen yoğunluk, şekil ve tekstür örüntülerini yüksek boyutlu özniteliklere dönüştürmek; ardından bu öznitelikleri prognoz, tedavi yanıtı veya moleküler fenotiple ilişkilendirmektir. Lambin ve arkadaşları ile Kumar ve arkadaşlarının erken kavramsallaştırmaları, ardından Aerts ve arkadaşlarının farklı kanser türlerini içeren geniş ölçekli çok kohortlu çalışması ve Gillies, Kinahan ve Hricak'ın "images are more than pictures" yaklaşımı, görüntü biyobelirteçleri çağının epistemik temelini oluşturmuştur (Aerts et al., 2014; Gillies et al., 2016; Kumar et al., 2012; Lambin et al., 2012).

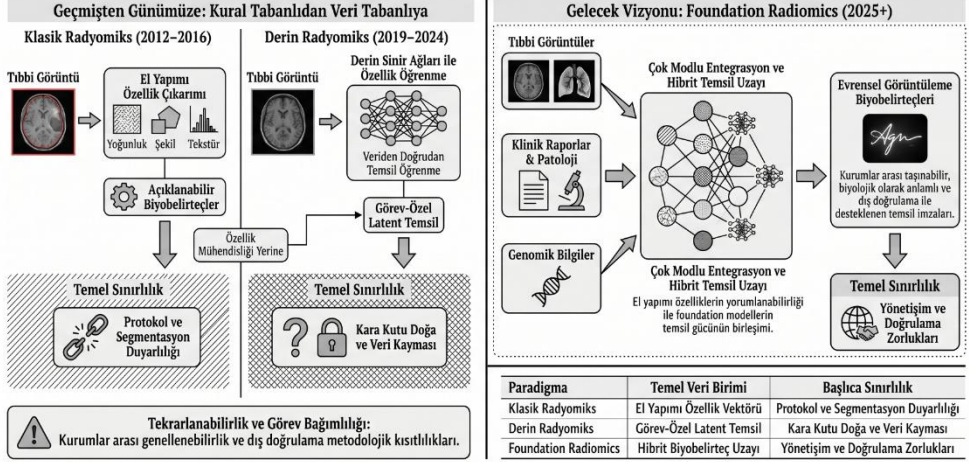
Buna rağmen son on yılda alan iki önemli gerilimle karşılaştı. İlki, klasik radyomik özelliklerin klinik değeri ile metodolojik kırılabilirliği arasındaki gerilimdir. İkincisi ise derin öğrenmenin temsil gücü ile biyobelirteç literatürünün yorumlanabilirlik ve standardizasyon beklentileri arasındaki gerilimdir. "Foundation Radiomics" önerisi bu iki gerilimi tek bir kuramsal çerçevede uzlaştırmayı amaçlar: yorumlanabilir el yapımı özellikler, güçlü öğrenilmiş temsiller ve çok modlu biyolojik bağlam ayrı alternatifler değil, aynı nicel görüntüleme mimarisinin birbirini tamamlayan katmanlarıdır (Jiang et al., 2025; Traverso et al., 2018; van Timmeren et al., 2020; Zhou et al., 2019; Zwanenburg et al., 2020).

Bu bölümde öncelikle klasik radyomiks paradigmasının tarihsel gelişimi ve metodolojik sınırları ele alınacaktır. Ardından derin temsil öğrenmesi, öz-denetimli öğrenme ve foundation model yaklaşımlarının tıbbi görüntülemedeki yükselişi incelenecektir. Daha sonra Foundation Radiomics kavramı kuramsal temelleriyle tanımlanacak; evrensel görüntüleme biyobelirteçleri, radyogenomik entegrasyon, çok modlu yapay zekâ sistemleri ve klinik translasyon perspektifleri tartışılacaktır. Son olarak açıklanabilirlik, güvenilirlik, veri yönetimi, federe öğrenme ve düzenleyici gereklilikler bağlamında geleceğin nicel görüntüleme ekosistemine ilişkin bir çerçeve sunulacaktır. Radyomiks alanının klasik el

¹ Uzm. Dr., Erzurum Şehir Hastanesi, ORCID: 0000-0002-3030-6794

yapımı özellik tabanlı yaklaşımlardan derin temsil öğrenmesine, öz-denetimli ön eğitime ve foundation model paradigmasına uzanan metodolojik evrimi Şekil 1'de özetlenmiştir. Bu evrimsel süreç, Foundation Radiomics kavramının ortaya çıkışına zemin hazırlayan temel bilimsel ve teknolojik dönüşümleri göstermektedir.

Şekil 1. Radyomik Paradigmaların Evrimi: Klasik Radiomics'ten Foundation Radiomics'e



Şekil 1'de görselleştirilen dönüşümün tarihsel ve metodolojik özeti Tablo 1'de sunulmuştur. Tablo, nicel görüntüleme alanında baskın paradigma, veri birimi, temel avantajlar ve başlıca sınırlılıkların zaman içerisindeki değişimini özetlemektedir.

Tablo 1. Radyomik Paradigmaların Tarihsel Evrimi ve Foundation Radiomics'e Geçiş

Dönem	Baskın paradigma	Temel veri birimi	Güçlü yön	Başlıca sınırlılık	Foundation Radiomics'e katkısı
2000'ler sonu–2012	Görsel/semi-kantitatif görüntü okuması	Lezyon ve semantik betimleyici	Klinik sezgi, hızlı yorum	Düşük nicelleştirme	Klinik semantik öncüller
2012–2016	Klasik radyomiks	Handcraft ed özellik vektörü	Açıklanabilirlik, küçük veride uygulanabilirlik	Segmentasyon ve protokole duyarlılık	Biyobelirteç dilini kurdu
2016–2020	Klinik translasyon ve standardizasyon	Özellik seçimi + ML modeli	Prognostik/pre diktif kullanım	Dış doğrulama ve yeniden üretilebilirlik sorunları	Standardizasyon ihtiyacını görünür kıldı
2019–2024	Derin radyomiks	Latent temsil	Daha güçlü örüntü öğrenimi	Görev-özel ve opak modeller	Temsil öğrenmesine geçiş
2022–2026	Öz-denetimli ve çok modlu ön eğitim	Yeniden kullanılabilir embeddin g	Etiketsiz veriden öğrenme, transfer kabiliyeti	Biyobelirteç doğrulama henüz sınırlı	Foundation Radiomics'in doğrudan öncülü
2026–2035 (öngörülen)	Foundation Radiomics	Hibrit biyobelirteç uzayı	Taşınabilirlik, biyolojik hizalama, çok modlu entegrasyon	Yönetişim, doğrulama ve düzenleyici zorluklar	Önerilen bütünleştirici çerçeve

Not: Bu dönemleştirme, radyomiks literatüründeki temel metodolojik dönüşümler, standardizasyon girişimleri, derin temsil öğrenmesi çalışmaları, öz-denetimli öğrenme yaklaşımları ve foundation model literatüründeki gelişmeler sentezlenerek oluşturulmuştur. Dönemler kesin sınırlar taşımamakta olup birbirini kısmen örtüşen araştırma eğilimlerini temsil etmektedir.

2. Klasik Radyomiks

Klasik radyomiksin tipik iş akışı; görüntü edinimi, lezyon veya organ segmentasyonu, ROI/VOI tanımlanması, standart ön işleme adımları, birinci dereceden istatistikler, şekil ölçümleri ve gri seviye eş-oluşum matrisi (GLCM), gri seviye uzunluk matrisi (GLRLM) ve gri seviye boyut bölgesi matrisi (GLSZM) gibi tekstür özelliklerinin çıkarılması, ardından özellik seçimi ve

makine öğrenmesi tabanlı model geliştirme süreçlerinden oluşmaktadır (Aerts et al., 2014; Kumar et al., 2012; Lambin et al., 2012). Bu yaklaşımın en önemli katkısı, klinik radyoloji ile nicel fenotipleme arasında ortak bir dil oluşturmaktır. Klasik radyomiks sayesinde görüntülerden elde edilen heterojenite, morfolojik düzensizlik, nekroz paternleri, infiltratif büyüme özellikleri ve tümör mikroçevresine ilişkin örüntüler sistematik ve ölçülebilir biyobelirteçlere dönüştürülmüştür (Aerts et al., 2014; Gillies et al., 2016).

Klasik yaklaşımın temel avantajı, görece küçük veri kümelerinde dahi uygulanabilmesi ve klinisyenlere açıklanabilir “özellik düzeyi biyobelirteçler” sunabilmesidir. Özellikle onkolojik görüntülemelerde radyomik imzaların prognoz, tedavi yanıtı ve belirli moleküler alt tiplerle ilişkilendirilebilmesi, radyomiksi hassas tıp uygulamalarının önemli bileşenlerinden biri haline getirmiştir (Aerts et al., 2014; Lambin et al., 2017). Bununla birlikte, radyomik özelliklerin önemli bir bölümü segmentasyon yöntemlerine, görüntü edinim parametrelerine ve tarayıcı farklılıklarına duyarlıdır. Ayrıca seçilen özellik kümeleri çoğu zaman hastalık-spesifik ve kohort-spesifik kalmakta, bu durum farklı merkezlerde geliştirilen modellerin genellenebilirliğini sınırlandırmaktadır [2–4]. Sonuç olarak klasik radyomiks, görüntüleri başarılı biçimde veri haline dönüştürmüştür; ancak henüz kurumlar arasında taşınabilir, ölçeklenebilir ve evrensel temsil uzayları oluşturma hedefini tam olarak gerçekleştirememiştir (Traverso et al., 2018; van Timmeren et al., 2020; Zwanenburg et al., 2020).

3. Tekrarlanabilirlik Krizi

Radyomiks literatürünün en sık eleştirilen boyutu, tekrarlanabilirlik ve yeniden üretilebilirlik sorunudur. Tekrarlı çekimlerde, farklı tarayıcı üreticileri arasında, rekonstrüksiyon parametreleri değiştiğinde, gri seviye ayırıklaştırma stratejileri farklılaştığında veya farklı gözlemciler aynı lezyonu segment ettiğinde radyomik özelliklerin önemli bir bölümü belirgin değişkenlik gösterebilmektedir. Traverso ve arkadaşlarının sistematik derlemesi ile Image Biomarker Standardization Initiative (IBSI) kapsamında yürütülen standardizasyon çalışmaları, çok sayıda radyomik özelliğin görüntü edinim ve işleme koşullarına duyarlı olduğunu ve bu nedenle kurumlar arasında tutarlı sonuçlar üretmekte zorlandığını göstermiştir. Sonuç olarak aynı biyolojik fenomen farklı görüntüleme protokolleri veya farklı merkezlerde geliştirilen modeller tarafından farklı radyomik imzalar şeklinde temsil edilebilmektedir (Traverso et al., 2018; van Timmeren et al., 2020; Zwanenburg et al., 2020).

Bu kriz yalnızca teknik bir sorun değildir; aynı zamanda istatistiksel metodoloji ve bilimsel yayıncılık kültürü ile de ilişkilidir. Küçük veri kümeleri, tek merkezli retrospektif tasarımlar, eğitim-test ayırımında veri sızıntısı, yetersiz dış doğrulama, yüksek boyutlu özellik uzaylarının sınırlı örneklem üzerinde aşırı uyuma yol açması ve negatif sonuçların görece az yayımlanması radyomik modellerin klinik translasyonunu önemli ölçüde sınırlandırmıştır (Lambin et al.,

2017; Traverso et al., 2018; van Timmeren et al., 2020). Bu nedenle son yıllarda geliştirilen CLAIM, TRIPOD+AI ve FUTURE-AI çerçeveleri, yalnızca model performansının raporlanmasına değil; örneklem seçiminin şeffaflığına, veri ayırım stratejilerine, kod ve iş akışının yeniden üretilebilirliğine, klinik kullanım senaryolarının tanımlanmasına, hata analizlerine ve etik yönetim ilkelerine de odaklanmaktadır. Bu gelişmeler, yapay zekâ ve radyomiks araştırmalarında güvenilirlik, genellenebilirlik ve klinik uygulanabilirliğin performans metrikleri kadar önemli olduğunu ortaya koymuştur (Collins et al., 2024; Lekadir et al., 2025; Mongan et al., 2020).

4. Derin Radyomiks ve Temsil Öğrenmesi

Derin radyomiks, klasik radyomik iş akışının doğal bir evrimi olarak ortaya çıkmıştır. Bu yaklaşımda görüntüden elde edilen öznitelikler yalnızca insan tarafından tanımlanan matematiksel operatörlerden değil, aynı zamanda derin sinir ağlarının öğrenilmiş latent temsil uzaylarından da türetilmektedir. Böylece radyomik analizler, “feature engineering” yaklaşımından “feature learning” paradigmasına doğru kaymıştır. Özellikle konvolüsyonel sinir ağları (CNN) ve daha sonra geliştirilen transformer tabanlı mimariler, lezyon çevresi, çok ölçekli yapılar ve bağlamsal görüntü örüntülerini insan tarafından açıkça tanımlanmamış biçimde temsil etmeyi mümkün kılmıştır (Hosny et al., 2018; Zhou et al., 2019). Bu gelişme, görüntüleme verilerinin yalnızca önceden tanımlanmış özellik kümeleriyle değil, verinin kendi iç yapısından öğrenilen temsiller aracılığıyla analiz edilmesinin önünü açmıştır.

Derin radyomiksin önemli kilometre taşlarından biri, öz-denetimli öğrenme (self-supervised learning) stratejilerinin tıbbi görüntülemeye uygulanmasıdır. Özellikle Models Genesis çalışması, büyük miktardaki etiketsiz medikal görüntüler üzerinde ön eğitim yapılmasının, daha sonra farklı görevlerde yeniden kullanılacak genellenebilir temsil uzayları oluşturabildiğini göstermiştir [5]. Bunu izleyen çalışmalar, temsil öğrenmesinin etiket bağımlılığını azaltabileceğini, veri verimliliğini artırabileceğini ve farklı görevler arasında aktarılabilir temsil uzaylarının öğrenilebileceğini göstermiştir (Hosny et al., 2018; Jiang et al., 2025; Zhou et al., 2019).

Bununla birlikte derin radyomiks uygulamalarının büyük bölümü görev-özel kalmıştır. Bir modelin akciğer nodülü sınıflandırması için öğrendiği temsil, karaciğer tümörü biyolojisinin karakterizasyonuna veya meme MRG’de tedavi yanıtının öngörülmesine doğrudan aktarılamayabilmektedir. Başka bir ifadeyle, derin radyomiks klasik radyomik sınırlamaların bir bölümünü azaltmış olsa da, öğrenilen temsiller çoğu zaman belirli veri kümeleri ve belirli klinik problemlerle sınırlı kalmıştır (Jiang et al., 2025; van Timmeren et al., 2020; Zhou et al., 2019). Bu nedenle derin radyomiks, daha güçlü temsiller üretmiş ancak henüz evrensel ve yeniden kullanılabilir görüntüleme biyobelirteçleri oluşturma hedefine ulaşamamıştır.

Foundation Radiomics yaklaşımının ayırt edici iddiası tam bu noktada ortaya çıkmaktadır. Bu çerçeveye göre geleceğin görüntüleme biyobelirteçleri yalnızca yüksek performanslı görev-özel modellerden değil; farklı hastalıklar, organ sistemleri, görüntüleme modaliteleri ve klinik senaryolar arasında aktarılabilir, biyolojik olarak anlamlı ve yeniden kullanılabilir temsil uzaylarından türetilmelidir. Böylece temsil öğrenmesinin amacı yalnızca tahmin performansını artırmak değil, aynı zamanda ölçeklenebilir ve kurumlar arası taşınabilir görüntüleme bilgisi üretmek haline gelmektedir (Jiang et al., 2025; Lekadir et al., 2025; Zhou et al., 2019).

5. Tıbbi Görüntülemelerde Foundation Modeller

Foundation model kavramı, yapay zekâ araştırmalarında belirli bir göreve özgü modellerden, çok sayıda göreve uyarlanabilen genel amaçlı temsil sistemlerine geçişi ifade etmektedir. Tıbbi görüntülemelerde bu yaklaşımın temel amacı, büyük ölçekli ve çoğu zaman etiketsiz veri kümeleri üzerinde ön eğitim yaparak görüntülerin altında yatan yapısal ve biyolojik örüntüleri öğrenmek, ardından bu öğrenilmiş temsilleri farklı klinik görevlere minimum ek eğitim maliyetiyle aktarabilmektir. Bu paradigma özellikle yüksek etiketleme maliyetleri, kurumlar arası heterojenlik, veri paylaşımındaki kısıtlılıklar ve sınırlı örneklem büyüklükleri nedeniyle tıbbi görüntüleme alanında özel bir önem kazanmıştır (Hosny et al., 2018; Zhou et al., 2019).

Foundation modellerin başarısının temelinde öz-denetimli öğrenme (self-supervised learning), kontrastif öğrenme, maskeli görüntü modelleme ve büyük ölçekli ön eğitim stratejileri yer almaktadır. Bu yöntemler, görüntü verisinin içsel yapısını açık klinik etiketlere ihtiyaç duymadan öğrenebilmekte ve böylece yalnızca belirli bir göreve yönelik değil, farklı görevlerde yeniden kullanılabilir temsil uzayları oluşturabilmektedir (Zhou et al., 2019). Klasik derin öğrenme yaklaşımlarında temsil öğrenmesi çoğu zaman belirli bir veri kümesi ve belirli bir klinik problem ile sınırlı kalırken, foundation modeller öğrenilen bilginin farklı görevler arasında aktarılabilirliğini artırmayı hedeflemektedir.

Bu yaklaşımın en önemli vaatlerinden biri, alan kaymasına (domain shift) karşı daha dayanıklı modeller geliştirebilmesidir. Tıbbi görüntüleme çalışmalarında tarayıcı üreticileri, görüntüleme protokolleri, rekonstrüksiyon parametreleri ve hasta popülasyonları arasındaki farklılıklar model performansını önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Jiang ve arkadaşları, akciğer tümörü segmentasyonunda öz-denetimli ön eğitimin farklı BT görüntüleme koşullarına karşı model dayanıklılığını artırdığını göstererek temsil öğrenmesinin yalnızca performans değil, aynı zamanda genellenebilirlik açısından da kritik bir rol oynadığını ortaya koymuştur (Jiang et al., 2025). Bu bulgu, temsil kalitesinin

klirik yapay zekâ sistemlerinde performans kadar önemli olduğunu göstermesi bakımından dikkat çekicidir.

Foundation model paradigmasının bir diğer önemli özelliği, farklı veri türlerini ortak temsil uzaylarında birleştirebilmesidir. Özellikle vision-language modeller, görüntüler ile serbest metin biçimindeki klinik raporları birlikte işleyerek yalnızca görsel örüntüleri değil, bu örüntülerin klinik anlamlarını da öğrenebilmektedir. Son yıllarda radyoloji alanında geliştirilen çok modlu modeller, görüntü ve metin arasındaki semantik ilişkilerin öğrenilmesinin sınıflandırma, raporlama ve karar destek görevlerinde önemli avantajlar sağlayabileceğini göstermiştir (Hosny et al., 2018; Moor et al., 2023). Bu gelişme, görüntüleme biyobelirteçlerinin yalnızca morfolojik veya tekstürel özelliklerden değil, klinik bağlamla bütünleşmiş bilgi temsillerinden türetilebileceğini düşündürmektedir. Tıbbi görüntülemede kullanılan foundation model yaklaşımları mimari yapı, ön eğitim stratejisi ve klinik kullanım hedefleri bakımından farklı alt ailelere ayrılmaktadır. Foundation Radiomics perspektifinden önem taşıyan başlıca model aileleri ve bunların potansiyel katkıları Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Foundation Radiomics Ekosisteminde Kullanılan Başlıca Foundation Model Aileleri

Foundat ion model ailesi	Temel yaklaşım	Ön eğitim verisi	Tipik görevler	Foundatio n Radiomic s'e katkısı	Başlıca sınırlılıklar	Anahtar referans
Öz- denetimli (Self-Supervised) Görüntü Temel Modelleri	Kontrast if öğrenme , maskeli görüntü modelleme, yeniden yapılandırma tabanlı ön eğitim	Büyük ölçekli etiketsiz medikal görüntü koleksiyonları	Segmentasyon, sınıflama , transfer öğrenmesi	Etiketsiz veriden biyolojik olarak anlamli temsil öğrenimi; yeniden kullanılabilir embedding ler	Ön eğitim stratejisinin duyarlılık ; biyobelirt eç validasyonunu sınırlı	Zhou et al., 2021; Azad et al., 2023; Jiang et al., 2025

Vision Transfor mer (ViT) Tabanlı Foundati on Modeller	Transfor mer mimarile ri ile uzun menzilli görsel temsil öğrenimi	Büyük ölçekli görüntü veri kümeleri	Sınıflama , segmenta syon, görüntü analizi	Modalitele r ve kurumlar arasında daha güçlü genelleneb ilir temsil uzayları	Yüksek hesaplam a maliyeti; veri standardiz asyon ihtiyacı	Azad et al., 2023
Vision-Languag e Foundati on Modeller i	Görüntü ve metnin ortak latent uzayda hizalan ması	Görüntü-rapor çiftleri	Raporla ma, retrieval, karar destek, sınıflama	Görüntü biyobelirt eçlerini klinik semantik ile ilişkilendir ir	Segmenta syon ve nicel biyobelirt eç görevlerin de performa ns değişken olabilir	Moor et al., 2023; Li et al., 2025
Foundati on Segment asyon Modeller i	Prompt-tabanlı veya genel amaçlı segment asyon	Genel ve medikal görüntü koleksiy onları	Otomatik segmenta syon, ROI oluşturm a	Radyomik iş akışındaki segmenta syon darboğazın ı azaltır	Klinik biyobelirt eç düzeyinde validasyo n henüz sınırlıdır	MedSAM /SAM değerdendirme çalışmaları (2024–2026)
Multimo dal Foundati on Modeller i	Görüntü + klinik veri + patoloji + genomik entegras yonu	Çok modlu veri ekosiste mleri	Risk tahmini, tedavi yanıtı, biyolojik fenotiple me	Foundatio n Radiomics 'in çekirdeğini oluşturur; biyolojik hizalama sağlar	Eksik veri, veri heterojenli ği ve benchmar k eksikliği	Luo et al., 2025; Moor et al., 2023
Generali st Medical AI Foundati on Modeller i	Farklı tıbbi görevler için ortak temsil öğrenimi	Çok merkezli , çok modlu sağlık verileri	Çok görevli klinik karar destek sistemleri	Evrensel görüntüle me biyobelirt eçleri fikrinin teknik altyapısı	Klinik validasyo n ve regülasyo n süreçleri henüz erken aşamadadır	Moor et al., 2023; FUTURE -AI, 2025

Not. Bu tablo belirli ürün veya modelleri değil, Foundation Radiomics yaklaşımını destekleyen başlıca foundation-model ailelerini özetlemektedir. Model aileleri arasında kesin sınırlar bulunmamakta olup birçok güncel sistem öz-denetimli öğrenme, vision-language hizalama ve multimodal temsil öğrenmesini birlikte kullanmaktadır. Foundation Radiomics perspektifinde amaç, bu ailelerin güçlü yönlerini birleştirerek kurumlar arası

taşınabilir, biyolojik olarak hizalanmış ve klinik olarak doğrulanabilir temsil sistemleri geliştirmektedir.

Bununla birlikte foundation modellerin amacı tek bir klinik görevde en yüksek performansa ulaşmak değildir. Asıl hedef, farklı hastalıklar, organ sistemleri, görüntüleme modaliteleri ve klinik senaryolar arasında yeniden kullanılabilir genel amaçlı temsil uzayları oluşturmaktır. Bu yaklaşım, klasik radyomiksin hastalık-spesifik özelliklerinden ve derin radyomiksin görev-spesifik temsillerinden farklı olarak, biyolojik anlam taşıyan ve çok sayıda aşağı akım göreve aktarılabilen bilgi katmanlarının oluşturulmasını hedeflemektedir. Başka bir ifadeyle foundation modeller, görüntüleme biyobelirteçlerinin yalnızca belirli bir veri kümesine özgü matematiksel öznitelikler olmaktan çıkarak farklı klinik bağlamlarda kullanılabilir temsil ekosistemlerine dönüşmesinin önünü açmaktadır.

Bu noktada Foundation Radiomics kavramı ortaya çıkmaktadır. Foundation modeller tarafından öğrenilen genel amaçlı temsil uzayları, klasik radyomik özelliklerin yorumlanabilirliği ve klinik biyobelirteç literatürünün doğrulanabilirlik beklentileri ile birleştirildiğinde, görüntüleme biyobelirteçlerinin yeni bir evrimsel aşamaya geçmesi mümkün görünmektedir. Dolayısıyla foundation modeller, radyomiksin alternatifi değil; daha ölçeklenebilir, daha genellenebilir ve daha biyolojik olarak anlamlı bir radyomik ekosistemin altyapısını oluşturan teknolojik temel olarak değerlendirilebilir.

6. Foundation Radiomics

Önceki bölümlerde tartışılan radyomiks, temsil öğrenmesi ve foundation model literatüründen hareketle, bu bölümde “Foundation Radiomics” kavramı önerilmektedir. Foundation Radiomics; tıbbi görüntülerden elde edilen el yapımı radyomik özniteliklerin, öz-denetimli veya çok modlu ön eğitim yoluyla öğrenilmiş derin temsillerin ve klinik-biyolojik bağlam verilerinin ortak bir biyobelirteç ekosistemi içerisinde bütünleştirildiği yeni nesil nicel görüntüleme paradigması olarak tanımlanabilir (Hosny et al., 2018; Moor et al., 2023; Zhou et al., 2019). Klasik radyomiks, derin radyomiks ve Foundation Radiomics yaklaşımlarının temel metodolojik farklılıkları Tablo 3’te özetlenmiştir. Tablo, veri temsili, açıklanabilirlik, taşınabilirlik, biyolojik hizalanma ve klinik translasyon açısından üç paradigmanın karşılaştırmalı görünümünü sunmaktadır. Bu yaklaşımda amaç yalnızca daha yüksek performans metrikleri elde etmek değil; aynı zamanda kurumlar arası taşınabilirlik, görüntüleme modaliteleri arasında uyarlabilirlik, biyolojik yorumlanabilirlik ve klinik karar süreçleriyle entegrasyon sağlamaktır.

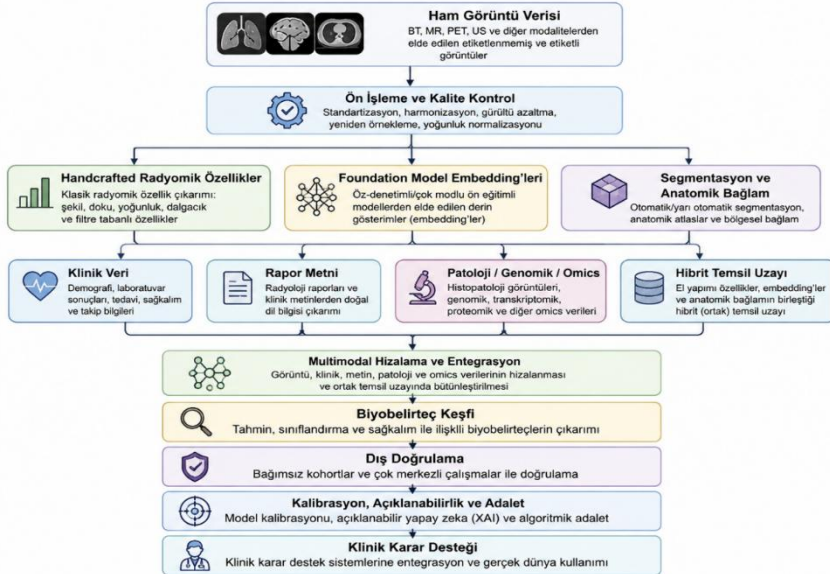
Boyut	Klasik radyomiks	Derin radyomiks	Foundation Radiomics
Özellik kaynağı	El yapımı şekil/tekstür/yoğunluk	Görev-özel öğrenilmiş latent özellik	Önceden eğitilmiş, yeniden kullanılabilir hibrit temsil
Segmentasyona bağımlılık	Yüksek	Orta-yüksek	Değişken; ROI ve global bağlam birlikte
Veri gereksinimi	Düşük-orta	Orta-yüksek	Büyük ölçekli ön eğitim; görev bazında sınırlı etiket gereksinimi
Açıklanabilirlik	Görece yüksek	Orta-düşük	Hibrit; klasik özelliklerle ankore edilebilir
Kurumlar arası taşınabilirlik	Sınırlı	Görev ve veri setine bağlı	Tasarım olarak yüksek; çok merkezli dış doğrulama gerektirir
Çok modlu entegrasyon	Kısıtlı	Orta	Tasarım gereği merkezi hedeflerden biri
Biyolojik hizalanma	Çoğu kez korelatif	Görev-özel	Radiogenomics ve çoklu-omics entegrasyonu ile güçlendirilebilir
Regülasyon açısından savunulabilirlik	Görece kolay	Zor	Doğrulama, izlenebilirlik ve yönetişim ile desteklenmelidir
Temel risk	Özellik kararsızlığı	Kara kutu ve veri kayması	Ölçek, yönetim, temsil yanlılığı
İdeal kullanım	Küçük veri, yorumlanabilir pilot çalışmalar	Belirli görevlerde yüksek performans	Çok merkezli, çok modlu, transasyon odaklı biyobelirteç platformları
Dış doğrulama ihtiyacı	Yüksek	Çok yüksek	Temel gereklilik

Tablo 3. Klasik Radyomiks, Derin Radyomiks ve Foundation Radiomics Paradigmalarının Karşılaştırılması

Karşılaştırma matrisi, radyomik iş akışlarının metodolojik tarihçesi ve son dönemdeki foundation model uyarlama literatürünün ortak okunmasına dayalıdır.

Foundation Radiomics yaklaşımını klasik derin radyomik sistemlerden ayıran en az dört temel özellik bulunmaktadır. Birincisi, öğrenilen temsil uzayları belirli bir göreve özgü olmaktan ziyade farklı görevlerde yeniden kullanılabilir olacak şekilde ön eğitilmektedir. İkincisi, klasik radyomik özellikler tamamen terk edilmemekte; aksine yorumlanabilirlik, biyolojik ilişkilendirilebilirlik ve klinik güven oluşturma amacıyla hibrit sistemlerde yapısal önbilgiler (structural priors) olarak korunmaktadır. Üçüncüsü, görüntü temsilleri yalnızca görüntü alanında değil; rapor metinleri, klinik veriler, patoloji bulguları ve genomik bilgiler ile ortak temsil uzaylarında hizalanmaya çalışılmaktadır (Hosny et al., 2018; Moor et al., 2023). Dördüncüsü ise biyobelirteç doğrulamasının yalnızca tek merkezli performans ölçümleriyle sınırlandırılmaması; dış doğrulama, kalibrasyon, adalet (fairness), belirsizlik analizi, güvenilirlik ve klinik etki değerlendirmesi gibi boyutları da kapsayacak şekilde genişletilmesidir (Collins et al., 2024; Lekadir et al., 2025; Mongan et al., 2020). Foundation Radiomics yaklaşımının önerilen kavramsal mimarisi Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu çerçevede görüntü temelli temsil öğrenmesi, klasik radyomik özellikler, anatomik bağlam ve çok modlu biyolojik veriler ortak bir hibrit temsil uzayında birleştirilerek klinik olarak doğrulanabilir biyobelirteçlerin geliştirilmesini hedeflemektedir. Böylece Foundation Radiomics, görüntüden biyobelirteç keşfine ve klinik karar desteğine uzanan tüm süreci tek bir temsil ve doğrulama ekosistemi içerisinde ele almaktadır.

Şekil 2. Foundation Radiomics'in kavramsal mimarisi



Bu nedenle Foundation Radiomics bir algoritma ya da belirli bir model mimarisi olarak değerlendirilmemelidir. Daha doğru bir ifadeyle Foundation Radiomics, görüntüleme biyobelirteçlerinin geliştirilmesi, doğrulanması ve

klirik uygulamaya aktarılmasına yönelik bütüncül bir araştırma programı olarak görülmelidir. Bu araştırma programının temel amacı, görüntüden elde edilen bilginin yalnızca belirli bir kohort veya belirli bir klinik problem için değil, farklı kurumlar, farklı hasta popülasyonları ve farklı klinik senaryolar arasında da kullanılabilecek biçimde temsil edilmesini sağlamaktır. Bu yönüyle Foundation Radiomics, klasik radyomiks ile foundation model çağının kesişim noktasında yer alan yeni bir kavramsal çerçeve sunmaktadır.

7. Evrensel Görüntüleme Biyobelirteçleri

“Evrensel görüntüleme biyobelirteci” kavramı dikkatli tanımlanmalıdır. Buradaki evrensellik, tüm hastalıkların tek bir sayısal gösterge ile açıklanması anlamına gelmemektedir. Daha savunulabilir yaklaşım, farklı kurumlar, görüntüleme protokolleri ve mümkün olduğunca farklı organ sistemleri arasında biyolojik anlamını koruyabilen temsil düzenliliklerinin tanımlanmasıdır. Bu perspektifte amaç, belirli bir veri kümesine özgü matematiksel özelliklerden ziyade, farklı klinik bağlamlarda da anlamlı kalabilen görüntüleme temsillerini ortaya çıkarmaktır (Hosny et al., 2018; Lambin et al., 2017; Moor et al., 2023).

Örneğin tümör heterojenitesi, nekroz-organizasyon dengesi, infiltratif büyüme paternleri, vasküler düzensizlik veya tedavi baskısı altında gelişen doku yeniden yapılanması gibi biyolojik süreçler, çoğu zaman tek bir radyomik özelliğın açıklayabileceğinden daha karmaşık fenotiplerdir. Bu nedenle söz konusu süreçlerin, tekil el yapımı özelliklerden ziyade çok boyutlu temsil alt-uzayları veya öğrenilmiş embedding imzaları aracılığıyla daha kararlı biçimde yakalanması mümkündür (Aerts et al., 2014; Moor et al., 2023; Zhou et al., 2019). Foundation Radiomics yaklaşımında biyobelirteç kavramı bu nedenle çoğu zaman tek bir özellikten değil, farklı bilgi kaynaklarının bütünleşmesiyle oluşan ve dış doğrulama ile desteklenmiş kompozit temsil imzalarından oluşmaktadır.

Bu yaklaşım klasik radyomik literatürün en önemli kazanımlarını da korumaktadır. El yapımı radyomik özellikler; özellikle şekil, yoğunluk histogramı ve belirli tekstür aileleri açısından biyolojik yorumlanabilirlik ve klinik açıklanabilirlik sağlamaya devam etmektedir (Gillies et al., 2016; Lambin et al., 2012, 2017). Dolayısıyla Foundation Radiomics'in amacı bu özellikleri ortadan kaldırmak değil, onları daha geniş temsil uzayları içerisinde biyolojik olarak hizalanmış ve doğrulanabilir referans noktaları haline getirmektir. Başka bir ifadeyle, geleceğın görüntüleme biyobelirteçleri “handcrafted versus deep” ikilemi üzerine değil; el yapımı özelliklerin açıklanabilirliği ile foundation modellerin temsil gücünü bir araya getiren hibrit mimariler üzerine kurulacaktır (Hosny et al., 2018; Moor et al., 2023; Zhou et al., 2019).

Bu bakış açısıyla evrensel görüntüleme biyobelirteçleri belirli bir hastalık için geliştirilmiş özellik kümelerinin ötesine geçerek, farklı kurumlarda yeniden

üretilebilen, farklı görevlerde yeniden kullanılabilen ve biyolojik süreçlerle ilişkilendirilebilen temsil sistemleri olarak değerlendirilebilir. Böyle bir hedefin gerçekleştirilmesi yalnızca algoritmik ilerlemelere değil; standardizasyon, dış doğrulama, veri yönetimi ve çok merkezli iş birliği kültürünün gelişmesine de bağlıdır (Collins et al., 2024; Lekadir et al., 2025; Mongan et al., 2020; Zwanenburg et al., 2020).

8. Radyogenomik ve Çoklu-Omics Entegrasyonu

Radyogenomik, görüntü fenotipleri ile altta yatan moleküler mimari arasındaki ilişkileri inceleyen ve radyomiksi “dijital biyopsi” kavramına yaklaştıran araştırma alanıdır. Bu yaklaşımın temel varsayımı, görüntülerden elde edilen temsil uzaylarının yalnızca görsel benzerlikleri değil, aynı zamanda tümör biyolojisindeki gerçek varyasyonları da yansıtabileceğidir (Aerts et al., 2014; Lambin et al., 2017). Özellikle glioma alt tipleri, IDH mutasyonu, 1p/19q kodelesyonu ve glioblastoma moleküler fenotipleri üzerine yapılan çalışmalar, görüntüleme verilerinin genomik bilgi ile anlamlı ilişkiler kurabileceğini göstermiştir. Son yıllarda yayımlanan meta-analizler, derin öğrenme tabanlı manyetik rezonans görüntüleme modellerinin IDH mutasyonu ve 1p/19q kodelesyonunun öngörülmesinde yüksek tanısal performans gösterebildiğini ortaya koyarak görüntü temelli moleküler çıkarımın klinik açıdan anlamlı bir araştırma yönü olduğunu desteklemiştir (Farahani et al., 2025).

Foundation Radiomics perspektifinden bakıldığında radyogenomik, öğrenilmiş temsil uzaylarının biyolojik geçerliliğini değerlendirmek için kritik bir test alanı oluşturmaktadır. Bir görüntü temsilinin mutasyon yükü, transkriptomik alt programlar, immün mikroçevre özellikleri veya stromal dominans gibi biyolojik süreçlerle tutarlı biçimde ilişkilendirilebilmesi, bu temsillerin yalnızca yüksek performanslı tahmin araçları olmaktan çıkarak biyolojik biyobelirteç niteliği kazanmasını sağlayabilir (Hosny et al., 2018; Lambin et al., 2017; Moor et al., 2023). Bu nedenle Foundation Radiomics'in nihai başarısı, yalnızca klinik sonuçları tahmin etme gücüyle değil, aynı zamanda biyolojik gerçeklikle kurduğu ilişkinin derinliğiyle de değerlendirilecektir.

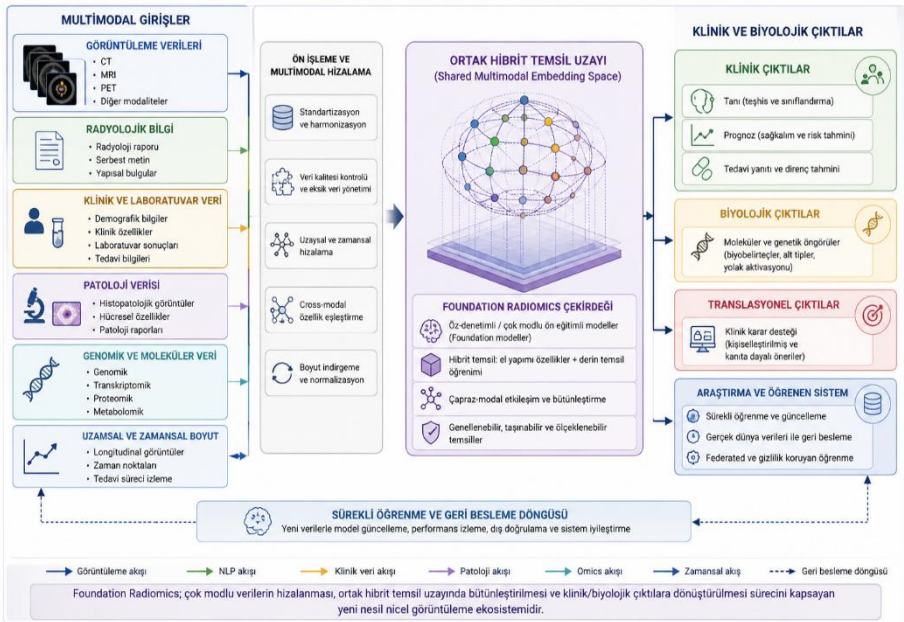
Karaciğer görüntülemesi bu yaklaşım için özellikle verimli bir araştırma alanı sunmaktadır. Hepatoselüler karsinomun agresiflik paternleri, mikrovasküler invazyon riski, tümör mikroçevresi, hepatik fibrozis ve steatoz spektrumu gibi biyolojik süreçler, çok modlu görüntüleme verileri ile moleküler ve klinik bilgiler arasındaki ilişkilerin araştırılmasına olanak sağlamaktadır. Özellikle hepatobiliyer faz MRG'den elde edilen nicel göstergeler, radyomik özellikler ve öğrenilmiş temsil uzaylarının birlikte değerlendirilmesi, karaciğer biyolojisinin daha bütüncül biçimde karakterize edilmesini mümkün kılabilir. Foundation Radiomics yaklaşımı açısından değerlendirildiğinde, karaciğer alanındaki en umut verici araştırma yönlerinden biri görüntüleme verileri, biyolojik belirteçler ve longitudinal klinik zaman serilerinin ortak temsil uzaylarında

bütünleştirilmesidir. Böyle bir entegrasyon, dijital biyopsi kavramını yalnızca tümör karakterizasyonu için değil, kronik karaciğer hastalıklarının izlenmesi ve prognostik değerlendirilmesi için de uygulanabilir hale getirebilir.

9. Multimodal Foundation Radiomics

Radyolojinin geleceği artık yalnızca piksel tabanlı analizlerle sınırlı değildir. Görüntü verileri, radyoloji raporları, laboratuvar parametreleri, genomik profiller, patoloji bulguları ve longitudinal klinik olay akışları giderek artan ölçüde ortak temsil uzaylarında bütünleştirilmektedir. Bu nedenle Foundation Radiomics yaklaşımının doğal evrimi, multimodal Foundation Radiomics olarak tanımlanabilecek yeni bir aşamaya işaret etmektedir. Bu çerçevede görüntü temsilleri; rapor metinlerinden elde edilen anlamsal vektörler, klinik risk profilleri, patolojik bulgular ve moleküler veriler ile hizalanarak daha kapsamlı biyobelirteç sistemleri oluşturabilmektedir (Moor et al., 2023; Topol, 2019). Böylece modeller yalnızca görüntüde belirli bir lezyonun varlığını saptamakla kalmamakta; aynı zamanda altta yatan biyolojik süreçleri, klinik sonuçlarla ilişkileri ve eksik veri kaynaklarından doğan bilgi boşluklarının diğer modaliteler aracılığıyla nasıl telafi edilebileceğini de değerlendirebilmektedir. Multimodal Foundation Radiomics yaklaşımının önerilen ekosistemi Şekil 3'te gösterilmiştir. Bu çerçevede görüntüleme verileri, radyoloji raporları, klinik ve laboratuvar bilgileri, patoloji, genomik veriler ve longitudinal takip bilgileri ortak bir temsil çekirdeğinde bütünleştirilmekte; böylece tanı, prognoz, tedavi yanıtı ve moleküler öngörü gibi çok sayıda klinik göreve aynı biyolojik bilgi uzayından destek sağlanabilmektedir.

Şekil 3. Multimodal Foundation Radiomics ekosistemi



Multimodal yaklaşımın klinik potansiyeli son yıllarda geliştirilen büyük ölçekli yapay zekâ sistemlerinde giderek daha görünür hale gelmiştir. Multiparametrik meme MRG verileri üzerinde geliştirilen large mixture-of-modality-experts yaklaşımı, farklı veri türlerinin ortak temsil uzaylarında birleştirilmesinin yalnızca teorik değil, aynı zamanda pratik olarak da güçlü bir strateji olduğunu göstermiştir. Üç merkezden elde edilen 5.205 hastalık veri kümesinde yüksek malignite tanı performansı sergileyen bu modelin eksik modalitelerle çalışabilmesi ve karar mekanizmalarına ilişkin açıklamalar üretebilmesi, entegratif temsil uzaylarının klinik uygulamalar için önemli avantajlar sağlayabileceğini ortaya koymuştur (Luo et al., 2025).

Benzer yaklaşımın karaciğer görüntülemesinde hepatobiliyer faz görüntüler, difüzyon ağırlıklı görüntüleme, T2-ağırlıklı sekanslar ve klinik-laboratuvar verilerinin bütünleştirilmesinde; nöro-onkolojide multiparametrik MRG ile moleküler belirteçlerin eşleştirilmesinde; kardiyovasküler görüntülemede ise cine görüntüler, mapping teknikleri ve fonksiyonel parametrelerin ortak temsil uzaylarında değerlendirilmesinde uygulanabileceği öngörülmektedir. Foundation Radiomics perspektifinde biyobelirteçler artık tek bir görüntüleme sekansından türetilen özellikler olarak değil, farklı veri kaynaklarının entegrasyonu sonucunda ortaya çıkan çok katmanlı bilgi yapıları olarak ele alınmaktadır.

Bu nedenle multimodal Foundation Radiomics'in temel hedefi yalnızca tanısal doğruluğu artırmak değildir. Daha geniş amaç, görüntüleme biyobelirteçlerini klinik karar süreçleriyle bütünleştirebilen, biyolojik olarak anlamlı, eksik verilere dayanıklı ve farklı klinik senaryolara uyarlanabilir temsil sistemleri geliştirmektir. Böyle bir yaklaşım, görüntüleme biyobelirteçlerinin gelecekteki evriminde foundation modeller ile hassas tıp arasındaki en önemli köprülerden biri olabilir.

10. Klinik Uygulamalar

Onkoloji, Foundation Radiomics yaklaşımının en olgun uygulama alanını oluşturmaktadır. Bunun temel nedeni, onkolojik görüntülemenin yüksek veri yoğunluğuna sahip olması ve görüntüleme bulguları ile prognoz, tedavi yanıtı ve tümör biyolojisi arasında klinik olarak anlamlı ilişkilerin bulunmasıdır (Aerts et al., 2014; Hosny et al., 2018; Lambin et al., 2017). Foundation Radiomics bu alanda üç düzeyde değer üretebilir: başlangıç risk tabakalaşması, tedavi süresince longitudinal biyobelirteç takibi ve tedavi sonrası nüks ile progresyonun ayrıştırılması. Klasik radyomiksin tümör heterojenitesi ile klinik sonuçlar arasındaki ilişkiyi ortaya koyan öncü rolü, foundation modeller tarafından öğrenilen temsiller ve çok modlu veri hizalaması ile daha kapsamlı biyobelirteç sistemlerine dönüştürülebilir (Aerts et al., 2014; Lambin et al., 2017).

Karaciğer görüntülemesi bu paradigmanın özellikle önemli alt alanlarından biridir. Hepatobiliyer kontrastlı manyetik rezonans görüntüleme, difüzyon ağırlıklı görüntüleme, yağ ve demir duyarlı sekanslar ile kronik karaciğer

hastalığı zemininde gelişen geniş fenotipik çeşitlilik, Foundation Radiomics için doğal bir araştırma ortamı oluşturmaktadır. Bu alanda öne çıkan araştırma soruları arasında hepatoselüler karsinomun biyolojik agresifliğinin non-invaziv olarak temsil edilmesi, mikrovasküler invazyon riskinin hibrit temsil uzayları aracılığıyla öngörülmesi, nodül evriminin longitudinal temsil öğrenmesi ile izlenmesi ve fibrozis, steatohepatit ile hepatik fonksiyon rezervinin ortak biyobelirteç sistemleri içerisinde değerlendirilmesi yer almaktadır. Ayrıca görüntüleme verileri, laboratuvar parametreleri ve rapor içeriklerinin bütünleştirildiği çok modlu karar destek sistemleri, transplantasyon ve rezeksiyon adaylarının değerlendirilmesinde yeni fırsatlar sunabilir. Bu alanlar, Foundation Radiomics yaklaşımlarının geliştirilmesi ve doğrulanması açısından öncelikli araştırma alanları olarak değerlendirilebilir. Foundation Radiomics yaklaşımının farklı organ sistemlerindeki potansiyel klinik uygulamaları ve önerilen evrensel görüntüleme biyobelirteç çekirdekleri Tablo 4'te özetlenmiştir.

Tablo 4. Klinik Alanlara Göre Olası Foundation Radiomics Temsil Çekirdekleri ve Kullanım Senaryoları

Klinik alan	Olası Foundation Radiomics temsil çekirdeği	Olası veri bileşenleri	Beklenen klinik kullanım
Akciğer onkolojisi	İntratümoral heterojenite, infiltratif büyüme paterni ve longitudinal tümör evrimi temsilleri	BT, PET/BT, radyoloji raporları, genomik veriler	Prognoz tahmini, metastaz riski değerlendirmesi, tedavi yanıtı öngörüsü
Karaciğer görüntülemesi	Hepatosellüler fonksiyon–fibrozis–tümör biyolojisi eksen	Gadoxetik asitli MRG, DWI, T2 ağırlıklı görüntüler, klinik/laboratuvar verileri, patoloji	HCC agresifliği, mikrovasküler invazyon riski, fibrozis/NASH spektrumu, hepatik fonksiyon rezervi
Nörogörüntüleme	Tümör biyolojisi ve moleküler alt tip temsilleri	Multiparametrik beyin MRG, moleküler belirteçler, patoloji	IDH ve 1p/19q tahmini, risk tabakalaşması, tedavi planlaması
Meme görüntülemesi	Tümör mikrosirkülasyonu ve hücrel yoğunluk temsilleri	DCE-MRG, ADC haritaları, klinik ve patolojik veriler	Malignite değerlendirmesi, moleküler alt tip tahmini, neoadjuvan tedavi yanıtı

Kardiyovasküler görüntüleme	Doku karakterizasyonu–fonksiyon bütünlük temsilleri	Cine MRG, T1/T2 mapping, LGE, klinik veriler	Fibrozis ve kardiyak risk tahmini, fenotipleme, prognoz değerlendirilmesi
Çok organlı sistemik hastalıklar	İnflamasyon–fibrozis–onarım eksenleri	Çok organlı MRG/BT, biyokimyasal belirteçler, klinik zaman serileri	Sistemik hastalık yükünün değerlendirilmesi, komplikasyon öngörüsü, tedavi takibi

Not. Bu tablo doğrulanmış evrensel biyobelirteçleri değil, Foundation Radiomics yaklaşımı kapsamında farklı klinik alanlarda ortaya çıkabilecek potansiyel temsil çekirdeklerini göstermektedir. Amaç tekil radyomik özellikler tanımlamak değil; çok modlu, biyolojik olarak hizalanmış ve kurumlar arasında taşınabilir temsil uzaylarının olası klinik kullanım alanlarını kavramsallaştırmaktır. Bu temsil çekirdekleri, gelecekte geliştirilecek evrensel görüntüleme biyobelirteçlerinin aday yapı taşları olarak düşünülebilir.

Nörogörüntüleme cephesinde glioma moleküler alt tiplerinin MRG'den çıkarılması, radyogenomik ile Foundation Radiomics arasındaki en somut bağlantılardan birini oluşturmaktadır. Farahani ve arkadaşlarının meta-analizi, derin öğrenme tabanlı MRG modellerinin IDH mutasyonu ve 1p/19q kodelesyonunun öngörülmesinde yüksek toplu performans sergileyebildiğini göstermiştir. Bununla birlikte aynı çalışma, performansın veri kaynağı, görüntüleme sekansları, segmentasyon yöntemleri ve doğrulama stratejilerindeki farklılıklardan önemli ölçüde etkilendiğini ortaya koymuştur (Farahani et al., 2025). Bu bulgu, nöro-onkolojik görüntülemenin biyolojik açıdan olgunlaşmış bir alan olduğunu, ancak metodolojik standardizasyon ve dış doğrulama açısından hâlen önemli gelişim alanları bulunduğunu göstermektedir.

Meme görüntülemesinde multiparametrik MRG ve tedavi yanıtı öngörüsü, Foundation Radiomics için bir diğer önemli uygulama alanıdır. Tek sekans veya tek zaman noktasına dayalı modeller yerine, dinamik kontrastlı görüntüleme, difüzyon ağırlıklı görüntüleme, klinik bilgiler ve patolojik verilerin ortak temsil uzaylarında bütünleştirilmesi daha yüksek klinik değer taşıyan sistemlerin geliştirilmesine olanak sağlayabilir (Luo et al., 2025). Benzer şekilde kardiyovasküler görüntüleme, protokol farklılıkları, hareket artefaktları ve sınırlı örneklem büyüklükleri nedeniyle daha zor bir translyasyon alanı olsa da, özellikle kardiyak MRG temelli doku karakterizasyonu ve risk öngörüsünde temsil öğrenmesi yaklaşımlarının giderek artan bir ilgi gördüğü gözlenmektedir. Foundation Radiomics bu alanda da geleneksel nicel ölçümler ile öğrenilmiş temsilleri ortak biyobelirteç sistemleri içerisinde birleştirme potansiyeline sahiptir (Moor et al., 2023).

Genel olarak değerlendirildiğinde Foundation Radiomics'in klinik değeri belirli bir hastalık veya organ sistemi ile sınırlı değildir. Asıl potansiyel, farklı klinik alanlarda geliştirilen görüntüleme biyobelirteçlerini ortak temsil ilkeleri altında birleştirerek daha genellenebilir, biyolojik olarak anlamlı ve klinik uygulamaya aktarılabilir sistemler geliştirebilmesidir.

11. Açıklanabilirlik ve Güvenilirlik

Klinik yapay zekâ uygulamalarında yüksek performans tek başına yeterli değildir; modellerin hangi koşullarda, hangi veri dağılımlarında ve hangi mekanizmalar aracılığıyla karar verdiğinin de anlaşılabilir olması gerekmektedir. Bu nedenle modern yapay zekâ değerlendirmeleri yalnızca doğruluk veya AUROC gibi performans ölçütlerine değil; kalibrasyon, belirsizlik tahmini, hata analizi, alt grup adaleti, güvenilirlik ve klinik karar süreçlerine etkiler gibi boyutlara da odaklanmaktadır (Collins et al., 2024; Lekadir et al., 2025; Mongan et al., 2020). Özellikle FUTURE-AI girişimi, açıklanabilirliği yalnızca dikkat haritaları veya saliency yöntemleri ile sınırlamayan; veri yönetişimi, kurumlar arası genellenebilirlik, izlenebilir veri soyu (data provenance), etik uyumluluk ve kullanım sonrası performans izlemine de kapsayan daha geniş bir güvenilir yapay zekâ çerçevesi önermektedir (Lekadir et al., 2025).

Foundation Radiomics açısından bakıldığında temel soru, öğrenilmiş temsil uzaylarının gerçekten biyolojik sinyalleri mi taşıdığı, yoksa tarayıcı özellikleri, kurumlara özgü örüntüler veya diğer spüröz korelasyonları mı öğrendiğidir (Lekadir et al., 2025; Moor et al., 2023; van Timmeren et al., 2020). Çünkü yüksek performans gösteren bir modelin biyolojik olarak anlamlı olması zorunlu değildir. Eğer öğrenilen temsil uzayları farklı veri kaynakları arasında kararlı biçimde korunamıyorsa veya biyolojik değişkenlerle ilişkilendirilemiyorsa, bu temsiller klinik biyobelirteç olarak kabul edilmekte zorlanacaktır. Bu nedenle Foundation Radiomics'te güvenilirlik, yalnızca tahmin performansının değil, temsil kalitesinin de değerlendirilmesini gerektirmektedir.

Bu bağlamda açıklanabilirlik iki tamamlayıcı düzeyde ele alınabilir. Birinci düzey, özellik-temelli açıklanabilirliktir. Klasik radyomik özellikler veya hibrit radyomik sistemlerde kullanılan yorumlanabilir öznitelikler, klinisyen tarafından biyolojik veya morfolojik karşılıkları ile ilişkilendirilebilir (Gillies et al., 2016; Lambin et al., 2017). İkinci düzey ise temsil-temelli açıklanabilirliktir. Bu yaklaşımda temel soru, öğrenilmiş embedding uzaylarının belirli eksenlerinin biyolojik süreçler, moleküler değişkenler veya klinik sonuçlarla anlamlı biçimde hizalanıp hizalanmadığıdır (Moor et al., 2023). Foundation modellerin klinik değeri büyük ölçüde bu ikinci düzey açıklanabilirliğin başarısına bağlı olacaktır.

Temsil-temelli açıklanabilirlik yalnızca dikkat haritaları veya görselleştirme teknikleri ile değerlendirilemez. Bunun yerine temsil uzaylarının geometrik yapısı, alt grup kalibrasyonu, karşıolgusal (counterfactual) analizler, belirsizlik ölçümleri, dış doğrulama performansı ve farklı modaliteler arasındaki hizalanma

derecesi birlikte incelenmelidir (Collins et al., 2024; Lekadir et al., 2025; Mongan et al., 2020). Foundation Radiomics yaklaşımında açıklanabilirlik, modelin hangi piksele baktığını göstermekten çok, öğrenilen temsilin biyolojik ve klinik gerçeklikle ne ölçüde örtüştüğünü ortaya koyabilme kapasitesi olarak değerlendirilmelidir.

Bu nedenle Foundation Radiomics'in klinik kabulü yalnızca daha yüksek performanslı modeller geliştirmeye değil; aynı zamanda güvenilir, doğrulanabilir ve biyolojik olarak yorumlanabilir temsil sistemleri oluşturabilmeye bağlı olacaktır. Gelecekteki araştırmaların temel hedeflerinden biri, temsil öğrenmesi ile biyolojik açıklanabilirlik arasındaki boşluğu azaltmak ve görüntüleme biyobelirteçlerinin klinik güvenilirliğini artırmak olmalıdır.

12. Federe Öğrenme ve Veri Yönetişi

Büyük ölçekli tıbbi yapay zekâ ve foundation model geliştirme çalışmalarının önündeki en önemli engellerden biri, sağlık verilerinin etik, hukuki ve kurumsal nedenlerle merkezileştirilememesidir. Bu durum özellikle çok merkezli görüntüleme araştırmalarında belirgin hale gelmektedir. Federe öğrenme (federated learning), verileri fiziksel olarak taşımadan model parametrelerinin veya güncellemelerinin paylaşılması yoluyla ortak model geliştirilmesine olanak sağlayarak bu soruna alternatif bir çözüm sunmaktadır. Sağlık alanında gerçekleştirilen öncü çalışmalar, farklı kurumlarda bulunan verilerin merkezi bir havuzda toplanmasına gerek kalmadan yüksek performanslı modeller geliştirilebildiğini ve bu yaklaşımın klinik yapay zekâ uygulamaları için uygulanabilir olduğunu göstermiştir (Dayan et al., 2021; Rieke et al., 2020). Bu nedenle federe öğrenme yalnızca teknik bir ölçekleme yöntemi değil, aynı zamanda modern sağlık yapay zekâsı için bir veri yönetişi modeli olarak değerlendirilmektedir.

Foundation Radiomics perspektifinden bakıldığında federe öğrenmenin önemi daha da belirginleşmektedir. Çünkü “evrensel görüntüleme biyobelirteci” iddiası, tek merkezli veya homojen veri kümeleri ile desteklenemez. Gerçekten genellenebilir temsil uzaylarının öğrenilebilmesi için farklı organ sistemleri, görüntüleme cihazları, protokoller, coğrafi bölgeler ve sosyodemografik özelliklere sahip hasta popülasyonlarının model geliştirme sürecine erken aşamalarda dahil edilmesi gerekmektedir (Moor et al., 2023; Rieke et al., 2020). Bu bağlamda federe ön eğitim (federated pretraining), parameter-efficient fine-tuning stratejileri ve federated evaluation yaklaşımlarının birlikte kullanılması, Foundation Radiomics'in hedeflediği kurumlar arası taşınabilir biyobelirteç sistemlerinin geliştirilmesinde kritik rol oynayabilir.

Bununla birlikte federe öğrenme tek başına yeterli değildir. Güvenli toplulaştırma (secure aggregation), diferansiyel mahremiyet (differential privacy), model inversion saldırıları, veri kullanım sözleşmeleri, yönetim mekanizmaları ve kurumlar arası benchmark standartları gibi konular da bu

ekosistemin ayrılmaz parçalarıdır (Lekadir et al., 2025; Rieke et al., 2020). Foundation Radiomics'in uzun vadeli başarısı yalnızca daha güçlü temsil modelleri geliştirilmesine değil, aynı zamanda bu modellerin güvenli, şeffaf, adil ve sürdürülebilir biçimde eğitilebilmesine bağlı olacaktır. Bu nedenle veri yönetişimi, Foundation Radiomics yaklaşımında teknik bir ayrıntı değil; temsil öğrenmesi kadar temel bir araştırma eksenini olarak görülmelidir.

13. Zorluklar ve Açık Sorular

Foundation Radiomics, radyomiks, temsil öğrenmesi ve foundation model yaklaşımlarını ortak bir biyobelirteç ekosistemi içerisinde birleştirmeyi amaçlayan güçlü bir araştırma yönelimi sunmaktadır. Bununla birlikte bu yaklaşım henüz tamamlanmış bir çözüm olmaktan uzaktır ve önemli metodolojik sorular barındırmaktadır. Öncelikle mevcut medikal foundation model literatürünün büyük bölümü görüntü sınıflandırması, segmentasyon veya rapor üretimi gibi aşağı akım görevlerde değerlendirilmektedir. Buna karşılık biyobelirteç doğrulaması, klinik karar süreçlerine etkisi, sağlık sonuçları üzerindeki katkısı ve prospektif yararı konusunda henüz sınırlı kanıt bulunmaktadır (Lekadir et al., 2025; Moor et al., 2023). Bu nedenle yüksek performans gösteren temsil modellerinin klinik biyobelirteç olarak kabul edilmesi için daha kapsamlı doğrulama süreçlerine ihtiyaç vardır.

İkinci önemli sorun, temsil transferinin her zaman biyolojik transfer anlamına gelmemesidir. Bir model farklı veri kümeleri arasında başarılı biçimde aktarılabilirse bile, öğrenilen temsil uzaylarının gerçekten hastalık biyolojisini mi yoksa kuruma özgü görüntüleme örüntülerini, tarayıcı özelliklerini veya diğer spüröz korelasyonları mı yansıttığı her zaman açık değildir (Lekadir et al., 2025; van Timmeren et al., 2020). Üçüncü olarak, multimodal sistemlerde eksik veri, asenkron veri toplama süreçleri, değişken veri kalitesi ve gürültülü klinik etiketler ortak temsil uzaylarının oluşturulmasını zorlaştırmaktadır (Moor et al., 2023). Dördüncü olarak ise radyomik standardizasyon kültürü ile foundation model ölçeğindeki temsil öğrenmesi arasında metodolojik bir gerilim bulunmaktadır. Klasik radyomiks; açık biçimde tanımlanmış, standardize edilmiş ve yorumlanabilir özelliklere dayanırken, foundation modeller çoğu zaman yüksek boyutlu ve yarı-opak temsil uzayları üretmektedir (Gillies et al., 2016; Zwanenburg et al., 2020). Foundation Radiomics yaklaşımının temel zorluklarından biri, bu iki araştırma kültürünü aynı çerçevede içermesinde uzlaştırabilmektir.

Bu bağlamda alandaki en önemli açık sorulardan biri şudur: Bir embedding'in biyobelirteç olarak kabul edilebilmesi için hangi koşulların sağlanması gerekir? Bu bölümde önerilen yaklaşım, öğrenilmiş temsillerin biyobelirteç statüsü kazanabilmesi için en azından altı temel ölçütü karşılaması gerektiğini savunmaktadır: (i) test-tekrar test dayanıklılığı, (ii) alan kayması altında stabilite, (iii) biyolojik değişkenlerle anlamlı ilişki, (iv) klinik uç noktalarla bağımsız ilişki,

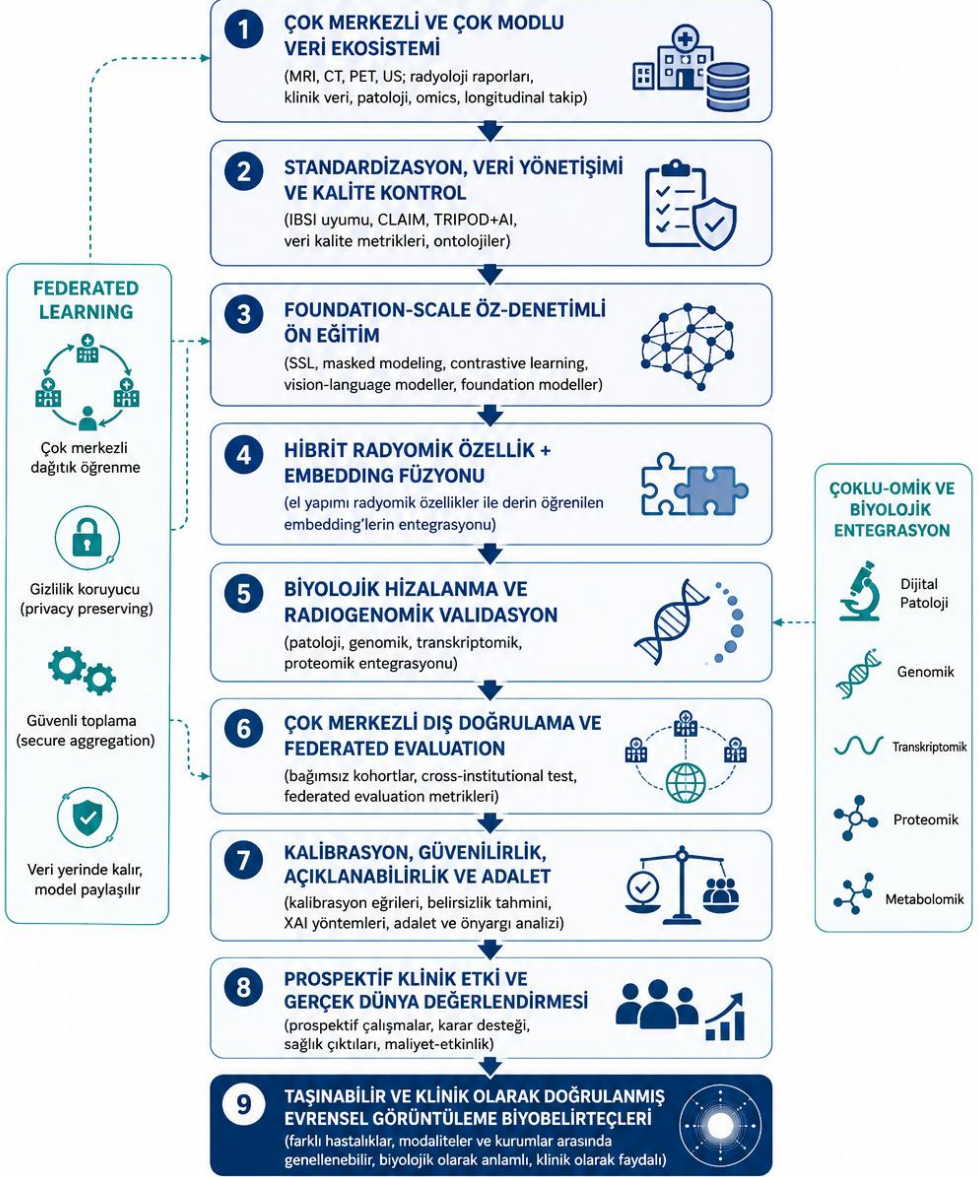
(v) çok merkezli dış doğrulama ve (vi) mümkün olduğunda prospektif klinik etki gösterimi (Collins et al., 2024; Lekadir et al., 2025; Mongan et al., 2020; Traverso et al., 2018; Zwanenburg et al., 2020). Bu ölçütler sağlanmadığı sürece yüksek performanslı temsil modelleri değerli tahmin araçları olabilir; ancak gerçek anlamda klinik biyobelirteç olarak kabul edilmeleri güç olacaktır. Foundation Radiomics'in klinik ve bilimsel olarak olgunlaşabilmesi için önümüzdeki yıllarda yanıtlanması gereken başlıca metodolojik araştırma soruları ve önerilen çalışma programları Tablo 5'te özetlenmiştir.

Tablo 5. Foundation Radiomics İçin Öncelikli Araştırma Gündemi (2026–2035)

Çok merkezli foundation pretraining	Self-supervised ViT/Swin	10+ merkezli görüntüleme konsorsiyumu	Taşınabilir temsil uzayları
Hibrit biyobelirteç sistemleri	Handcrafted embedding füzyonu	Çok merkezli dış doğrulama	Regülatif savunulabilirlik
Longitudinal Foundation Radiomics	Zaman serisi temsil öğrenmesi	Seri MRG/BT kohortları	Dinamik biyobelirteçler
Radiogenomic Foundation Atlasları	Görüntü-omics hizalanması	Çoklu-omics veri kümeleri	Biyolojik validasyon
Federated Foundation Learning	Federated pretraining evaluation	Uluslararası ağlar	Veri paylaşmadan genellenebilirlik
Açıklanabilir Temsil Analizi	Disentangled embeddings	Karşıolgusal ve alt grup analizleri	Klinik güvenilirlik
Multimodal Foundation Radiomics	Görüntü + rapor + laboratuvar	Gerçek yaşam kohortları	Eksik veriye dayanıklılık
Universal Representation Benchmark	Organlar arası transfer testleri	Çok organlı benchmark	Evrensellik hipotezinin testi
Foundation Radiomics Reporting Extension	CLAIM + TRIPOD+AI + biyobelirteç ekleri	Delphi konsensüsü	Standart raporlama çerçevesi

Sonuç olarak Foundation Radiomics'in başarısı, foundation model ölçeğinin temsil gücü ile klasik radyomiksin metodolojik titizliğini aynı araştırma çerçevesinde birleştirebilmesine bağlıdır. Gelecekteki çalışmaların temel amacı yalnızca daha büyük modeller geliştirmek değil; aynı zamanda öğrenilen temsil uzaylarının biyolojik, klinik ve metodolojik açıdan güvenilirliğini gösterebilecek yeni doğrulama standartları oluşturmak olmalıdır. Foundation Radiomics'in uzun vadeli etkisi, bu dengeyi ne ölçüde kurabildiği ile belirlenecektir. Foundation Radiomics yaklaşımının uzun vadeli hedefi olan evrensel görüntüleme biyobelirteçlerine ulaşabilmek için gerekli metodolojik ve translasyonel basamaklar Şekil 4'te özetlenmiştir. Bu çerçeve, biyobelirteç geliştirme sürecinin yalnızca model performansına değil; veri yönetimi, biyolojik doğrulama, dış validasyon, güvenilirlik ve prospektif klinik etki değerlendirmelerine de dayanması gerektiğini vurgulamaktadır.

Şekil 4. Evrensel görüntüleme biyobelirteçlerine giden yol



14. Gelecek Yönelimleri

Mevcut eğilimler dikkate alındığında, 2026–2035 döneminde tıbbi görüntüleme yapay zekâsında üç temel dönüşümün gerçekleşmesi beklenmektedir. Birincisi, görüntüleme analizinin organ veya görev düzeyindeki özel modellerden, çok merkezli ve çok modlu ön eğitim süreçlerinden geçen genel amaçlı tıbbi foundation modellere doğru evrilmesidir (Moor et al., 2023). Bu modellerin amacı yalnızca belirli bir klinik problemi çözmek değil, farklı hastalıklar, organ sistemleri ve görüntüleme modaliteleri arasında yeniden kullanılabilir temsil uzayları oluşturmaktır.

İkinci dönüşüm, görüntüleme verilerinin klinik notlar, radyoloji raporları, laboratuvar parametreleri, patoloji bulguları ve genomik veriler ile ortak temsil uzaylarında bütünleştirilmesidir (Moor et al., 2023; Topol, 2019). Böylece görüntüleme biyobelirteçleri yalnızca morfolojik veya tekstürel özelliklerden değil, çoklu veri kaynaklarının entegrasyonu sonucunda ortaya çıkan biyolojik bilgi yapılarından türetililebilecektir. Bu yaklaşımın doğal sonucu olarak, geleceğin klinik yapay zekâ sistemleri tek modaliteli karar destek araçlarından çok modlu bilgi platformlarına dönüşecektir.

Üçüncü dönüşüm ise nicel görüntüleme biyobelirteçlerinin tanımlanma biçiminde ortaya çıkacaktır. Klasik radyomik çalışmalarda biyobelirteçler çoğu zaman tekil özellikler veya sınırlı özellik kümeleri üzerinden tanımlanırken, gelecekte doğrulanmış, sürümlenebilir ve farklı görevlerde yeniden kullanılabilir temsil imzalarının (embedding signatures) biyobelirteç olarak raporlanması olası görünmektedir (Moor et al., 2023; Zhou et al., 2019). Bu üç eğilim birlikte değerlendirildiğinde Foundation Radiomics, yalnızca araştırma metodolojisi değil, geleceğin klinik görüntüleme yazılımlarının temel bilgi katmanlarından biri haline gelebilir.

Bu dönemde büyük dil modelleri ve ajan tabanlı yapay zekâ sistemlerinin (agentic AI) klinik iş akışlarına giderek daha fazla entegre olması beklenmektedir. Bununla birlikte radyoloji uygulamalarında güvenli ve denetlenebilir agentic AI sistemleri geliştirebilmek için, görüntüleme temsillerinin karar süreçleri boyunca izlenebilir, geri çağrılabilir ve doğrulanabilir olması gerekecektir (Lekadir et al., 2025; Moor et al., 2023). Bu nedenle Foundation Radiomics'in büyük dil modeli ekosistemleri ile entegrasyonu, yalnızca teknik performans ölçütleri temelinde değil; açıklanabilirlik, güvenilirlik, düzenleyici uyumluluk ve klinik sorumluluk ilkeleri çerçevesinde değerlendirilmelidir.

Sonuç olarak geleceğin yönelimi, radyomiksin ortadan kalktığı bir senaryo değil; radyomiksin foundation-scale temsil öğrenmesi, çok modlu biyolojik hizalama, güvenilir yapay zekâ ilkeleri ve dağıtık doğrulama altyapıları ile yeniden tanımlandığı bir ekosisteme işaret etmektedir. Foundation Radiomics bu

dönüşümün merkezinde yer alabilecek kavramsal çerçevelerden biri olarak değerlendirilebilir.

15. Sonuç

Radyomiksin geleceği bir sonlanma değil, bir yakınsama sürecidir. Son on yılda el yapımı radyomik özellikler, derin temsil öğrenmesi, öz-denetimli ön eğitim, çok modlu yapay zekâ sistemleri, radyogenomik yaklaşımlar ve federe öğrenme gibi birbirinden bağımsız görünen araştırma alanları giderek ortak bir bilgi ekosistemi içerisinde birleşmeye başlamıştır. Bu bölümde önerilen Foundation Radiomics kavramı, söz konusu dönüşümü tek bir kuramsal çerçevede açıklamayı amaçlamaktadır. Bu perspektife göre görüntülerden elde edilen nicel bilgi artık yalnızca ROI tabanlı özellik listeleri veya görev-özel derin öğrenme çıktıları olarak değil; kurumlar arasında taşınabilir, biyolojik olarak doğrulanabilir ve klinik karar süreçleri ile bütünleştirilebilir temsil sistemleri olarak değerlendirilmelidir (Hosny et al., 2018; Lambin et al., 2017; Moor et al., 2023; Zhou et al., 2019).

Foundation Radiomics'in temel varsayımı, el yapımı özellikler ile öğrenilmiş temsiller arasında bir rekabet değil, tamamlayıcılık ilişkisi bulunduğuudur. Klasik radyomiksin açıklanabilirliği, foundation modellerin temsil gücü, radyogenomik yaklaşımların biyolojik derinliği ve çok modlu sistemlerin bağlamsal zenginliği bir araya geldiğinde, görüntüleme biyobelirteçlerinin yeni bir evrimsel aşamaya ulaşması mümkün görünmektedir. Bu nedenle geleceğin biyobelirteçleri büyük olasılıkla tek bir özelliğe veya tek bir modele değil, farklı veri kaynaklarını bütünleştiren doğrulanmış temsil imzalarına dayanacaktır (Farahani et al., 2025; Moor et al., 2023).

Bu bölümde tartışılan yaklaşımın nihai hedefi, görüntüleme biyobelirteçlerini yalnızca tahmin araçları olmaktan çıkarıp biyolojik olarak anlamlı, klinik olarak güvenilir ve farklı sağlık sistemlerinde yeniden kullanılabilir bilgi katmanlarına dönüştürmektir. Eğer bu hedef gerçekleştirilebilirse, “evrensel görüntüleme biyobelirteçleri” kavramı soyut bir ideal olmaktan çıkarak çok organlı, çok görevli ve çok modlu klinik yapay zekâ sistemlerinin temel yapı taşlarından biri haline gelebilir. Bu bağlamda Foundation Radiomics, radyomiksin sonunu değil; daha geniş, daha bütünleşik ve daha klinik odaklı bir geleceğe evrimini temsil etmektedir.

Referanslar

- Aerts, H. J. W. L., Velazquez, E. R., Leijenaar, R. T. H., Parmar, C., Grossmann, P., Carvalho, S., Bussink, J., Monshouwer, R., Haibe-Kains, B., Rietveld, D., Hoebers, F., Rietbergen, M. M., Leemans, C. R., Dekker, A., Quackenbush, J., Gillies, R. J., & Lambin, P. (2014). Decoding tumour phenotype by noninvasive imaging using a quantitative radiomics approach. *Nature Communications*, 5(1), 4006. <https://doi.org/10.1038/ncomms5006>
- 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>
- Dayan, I., Roth, H. R., Zhong, A., Harouni, A., Gentili, A., Abidin, A. Z., Liu, A., Costa, A. B., Wood, B. J., Tsai, C.-S., Wang, C.-H., Hsu, C.-N., Lee, C. K., Ruan, P., Xu, D., Wu, D., Huang, E., Kitamura, F. C., Lacey, G., ... Li, Q. (2021). Federated learning for predicting clinical outcomes in patients with COVID-19. *Nature Medicine*, 27(10), 1735–1743. <https://doi.org/10.1038/s41591-021-01506-3>
- Farahani, S., Hejazi, M., Tabassum, M., Di Ieva, A., Mahdavifar, N., & Liu, S. (2025). Diagnostic performance of deep learning for predicting glioma isocitrate dehydrogenase and 1p/19q co-deletion in MRI: a systematic review and meta-analysis. *European Radiology*, 36(2), 1562–1591. <https://doi.org/10.1007/s00330-025-11898-2>
- Gillies, R. J., Kinahan, P. E., & Hricak, H. (2016). Radiomics: Images Are More than Pictures, They Are Data. *Radiology*, 278(2), 563–577. <https://doi.org/10.1148/radiol.2015151169>
- Hosny, A., Parmar, C., Quackenbush, J., Schwartz, L. H., & Aerts, H. J. W. L. (2018). Artificial intelligence in radiology. *Nature Reviews Cancer*, 18(8), 500–510. <https://doi.org/10.1038/s41568-018-0016-5>
- Jiang, J., Rangnekar, A., & Veeraraghavan, H. (2025). Self-supervised learning improves robustness of deep learning lung tumor segmentation models to CT imaging differences. *Medical Physics*, 52(3), 1573–1588. <https://doi.org/10.1002/mp.17541>
- Kumar, V., Gu, Y., Basu, S., Berglund, A., Eschrich, S. A., Schabath, M. B., Forster, K., Aerts, H. J. W. L., Dekker, A., Fenstermacher, D., Goldgof, D. B., Hall, L. O., Lambin, P., Balagurunathan, Y., Gatenby, R. A., & Gillies, R. J. (2012). Radiomics: the process and the challenges. *Magnetic Resonance Imaging*, 30(9), 1234–1248. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2012.06.010>

- 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>
- Lambin, P., Rios-Velazquez, E., Leijenaar, R., Carvalho, S., van Stiphout, R. G. P. M., Granton, P., Zegers, C. M. L., Gillies, R., Boellard, R., Dekker, A., & Aerts, H. J. W. L. (2012). Radiomics: Extracting more information from medical images using advanced feature analysis. *European Journal of Cancer*, 48(4), 441–446. <https://doi.org/10.1016/j.ejca.2011.11.036>
- Lekadir, K., Frangi, A. F., Porras, A. R., Glocker, B., Cintas, C., Langlotz, C. P., Weicken, E., Asselbergs, F. W., Prior, F., Collins, G. S., Kaissis, G., Tsakou, G., Buvat, I., Kalpathy-Cramer, J., Mongan, J., Schnabel, J. A., Kushibar, K., Riklund, K., Marias, K., ... Starmans, M. P. A. (2025). FUTURE-AI: international consensus guideline for trustworthy and deployable artificial intelligence in healthcare. *BMJ*, 388, e081554. <https://doi.org/10.1136/bmj-2024-081554>
- Luo, L., Wu, M., Li, M., Xin, Y., Wang, Q., Vardhanabhuti, V., Chu, W. C., Li, Z., Zhou, J., Rajpurkar, P., & Chen, H. (2025). A large model for non-invasive and personalized management of breast cancer from multiparametric MRI. *Nature Communications*, 16(1), 3647. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-58798-z>
- Mongan, J., Moy, L., & Kahn, C. E. (2020). Checklist for Artificial Intelligence in Medical Imaging (CLAIM): A Guide for Authors and Reviewers. *Radiology: Artificial Intelligence*, 2(2), e200029. <https://doi.org/10.1148/ryai.2020200029>
- Moor, M., Banerjee, O., Abad, Z. S. H., Krumholz, H. M., Leskovec, J., Topol, E. J., & Rajpurkar, P. (2023). Foundation models for generalist medical artificial intelligence. *Nature*, 616(7956), 259–265. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-05881-4>
- Rieke, N., Hancox, J., Li, W., Milletari, F., Roth, H. R., Albarqouni, S., Bakas, S., Galtier, M. N., Landman, B. A., Maier-Hein, K., Ourselin, S., Sheller, M., Summers, R. M., Trask, A., Xu, D., Baust, M., & Cardoso, M. J. (2020). The future of digital health with federated learning. *Npj Digital Medicine*, 3(1), 119. <https://doi.org/10.1038/s41746-020-00323-1>
- Topol, E. J. (2019). High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*, 25(1), 44–56. <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0300-7>

- Traverso, A., Wee, L., Dekker, A., & Gillies, R. (2018). Repeatability and Reproducibility of Radiomic Features: A Systematic Review. *International Journal of Radiation Oncology*Biophysics*, 102(4), 1143–1158. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2018.05.053>
- van Timmeren, J. E., Cester, D., Tanadini-Lang, S., Alkadhi, H., & Baessler, B. (2020). Radiomics in medical imaging—“how-to” guide and critical reflection. *Insights into Imaging*, 11(1), 91. <https://doi.org/10.1186/s13244-020-00887-2>
- Zhou, Z., Sodha, V., Rahman Siddiquee, M. M., Feng, R., Tajbakhsh, N., Gotway, M. B., & Liang, J. (2019). *Models Genesis: Generic Autodidactic Models for 3D Medical Image Analysis* (pp. 384–393). https://doi.org/10.1007/978-3-030-32251-9_42
- 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>