

Yapay Zeka ve Endokrin Radyolojisi

Artificial Intelligence and Endocrine Radiology

Utku Şenol

Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyoloji Anabilim Dalı, Antalya, Türkiye

ÖZ

Endokrin radyoloji, nöroradyolojiden abdominal radyolojiye dek birçok radyoloji alt uzmanlığı ilgilendiren geniş bir alandır. Son yıllarda, bilgi işleme donanımları ve özellikle derin öğrenme yöntemlerinin hızla gelişmesi ve bu sayede gerçekleşen yapay zeka (YZ) araştırma ve uygulamaları ile radyolojide hızlı değişimler yaşanmaya başlamıştır. Buna paralel olarak dünyada çeşitli bilimsel kurum ve kuruluşlar çok sayıda kılavuz ve kaynak yayımlamıştır. Bu bağlamda YZ'nin "oyun değiştirici" olduğunu belirten yeni fırsatlar yaratma gücüne odaklanılması ve hasta yararını gözetken etik kullanımının sağlanması gerektiği vurgulanmaktadır. Radyoloji YZ alanında sağlık disiplini öncü konumundadır. Tıbbi görüntüleme alanında YZ bilimsel araştırmalarının yanı sıra çok sayıda günlük pratikte kullanılan Avrupa Uygunluk İşareti ve Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi onaylı YZ ürünü bulunmaktadır. Bu uygulamalar, görüntü yorumlamada doğruluğu artırarak tanısal süreçleri dönüştürme potansiyeline sahiptir. Endokrin radyolojide de YZ'den yararlanılabilecek birçok alan bulunmaktadır. Bu alanlar içerisinde şu an itibarı ile tiroid nodülleri ve hipofiz adenomları ön plana çıkmaktadır. Paratiroid adenomları, adrenal bezler ve NET'leri diğer çalışılan alanlardır. Bu yazıda, radyolojide YZ'nin genel durumu, endokrin sistem görüntülemesindeki spesifik YZ uygulamaları, etik ve yasal boyutları ile geleceğe yönelik öngörüler ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapay zeka, endokrin, tıbbi görüntüleme

ABSTRACT

Endocrine radiology is a broad field that encompasses many subspecialties of radiology, ranging from neuroradiology to abdominal radiology. In recent years, rapid advances in information processing hardware and, in particular, deep learning methods have led to artificial intelligence research and applications, triggering rapid changes in radiology. In parallel, various scientific institutions and organizations around the world have published numerous guidelines and resources. In this context, it is emphasized that the focus should be on the power of artificial intelligence to create new opportunities, describing it as a "game changer," and ensuring its ethical use with patient benefit in mind. Radiology is at the forefront of artificial intelligence in the health discipline. In addition to scientific research on artificial intelligence in medical imaging, there are numerous Conformité Européenne and Food and Drug Administration approved artificial intelligence products used in daily practice. These applications have the potential to transform diagnostic processes by increasing accuracy in image interpretation. There are also many areas in endocrine radiology where artificial intelligence can be utilized. Within these areas, thyroid nodules and pituitary adenomas are currently at the forefront. Parathyroid adenomas, adrenal glands, and neuroendocrine tumors are other areas being studied. This article discusses the general status of artificial intelligence in radiology, specific artificial intelligence applications in endocrine system imaging, ethical and legal dimensions, and future projections.

Keywords: Artificial intelligence, endocrine, medical imaging



Yazışma Adresi/Address for Correspondence: Utku Şenol Prof MD, Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyoloji Anabilim Dalı, Antalya, Türkiye

E-posta: utkusenol@gmail.com **ORCID ID:** orcid.org/0000-0002-1159-6386

Geliş Tarihi/Received: 28.09.2025 **Kabul Tarihi/Accepted:** 30.10.2025 **Epub:** 18.11.2025

Cite this article as: Şenol U. Artificial intelligence and endocrine radiology. *Trd Sem.* [Epub Ahead of Print]



Copyright© 2025 Yazar. Türk Radyoloji Derneği adına Galenos Yayınevi tarafından yayımlanmıştır.

Creative Commons Atıf-GayriTicari 4.0 Uluslararası (CC BY-NC 4.0) Uluslararası Lisansı ile lisanslanmış, açık erişimli bir makaledir.

ÖĞRENME HEDEFLERİ

- Endokrin radyoloji; hipofiz, tiroid, paratiroid, adrenal bezler, pankreas ve gonadlar gibi çok sayıda endokrin organın görüntülenmesini içerir. Bu nedenle farklı alt uzmanlık dallarındaki radyologlar için ortak bir kesişim noktasıdır.
- Yapay zeka (YZ) teknolojileri radyolojide giderek yaygınlaşmakta olup, 2020'lerin ortalarında yüzlerce Avrupa Uygunluk İşareti ve Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi onaylı görüntüleme YZ uygulaması klinik kullanıma girmiştir. YZ, görüntü yorumlamada tanısallık doğruluğu ve verimliliği artırarak hasta bakımında iyileşmeler vaat etmektedir.
- Türk Radyoloji Derneği'nin yayınladığı YZ Uygulamaları Rehberi, YZ'nin bir tehditte ziyade fırsat olarak görülmesi ve etik kurallar çerçevesinde, hasta yararını gözeterek uygulanması gerektiğini vurgular. Avrupa'da da "AI Act" gibi düzenlemeler ile YZ'nin güvenli ve sorumlu entegrasyonu için kurallar oluşturulmaktadır.
- Endokrin radyolojide YZ uygulamaları; hipofiz adenomlarının görüntülerinden invazyon tahmini, tiroid nodüllerinin ultrasonla değerlendirilmesi (örn. YZ destekli Tiroid Görüntüleme Raporlama ve Veri Sistemi klasifikasyonu ile gereksiz biyopsilerin azalması), adrenal lezyonların insidental saptanması ve benign-malign ayrımının otomasyonu, nöroendokrin tümörlerde görüntü tabanlı derece ve yayılım tahmini gibi birçok alanda umut vaat etmektedir.
- Yapay zekanın radyolojide kullanımıyla ilgili etik ve yasal konular kritik önem taşır. Hastaların YZ kullanımı hakkında bilgilendirilmesi ve onam alınması önerilir. Ayrıca YZ araçlarının güvenilirliği için kapsamlı valide edilmesi, sürekli izlenmesi ve insan denetimi altında kullanılması gereklidir. Öncü ve önemli bir gelişme olarak Avrupa Birliği'nin "AI Act" düzenlemesi, tıbbi görüntülemede YZ sistemlerini "yüksek riskli" kabul ederek insan gözetimi ve şeffaflık şartını getirmektedir.

GİRİŞ

Endokrin radyoloji merkezi sinir sistemi içinde hipotalamus ve hipofiz bezi, boyun bölgesinde tiroid ve paratiroid bezler, mediastende timus, abdominal bölgede adrenal bezler ve pankreasın endokrin kısmı, pelvik bölgede over ve testislerin görüntülenmesi gibi geniş bir alanı kapsar. Bu organların patolojilerinin tanı ve izleminde ultrasonografi (US), bilgisayarlı tomografi (BT), manyetik rezonans görüntüleme (MRG) gibi konvansiyonel yöntemlerden nükleer tıp görüntülemelerine kadar geniş bir yelpazede pek çok modalite kullanılır. Ayrıca beyin cerrahisi, endokrinoloji, onkoloji ve metabolizma gibi disiplinler arası etkileşim de gerektirir. Radyoloji içinde nöroradyoloji, baş-boyun, toraks, abdominal görüntüleme gibi alt dallarla kesişir. Ayrıca endokrin radyolojinin alanında olan endokrin tümörler fonksiyonel veya *non-fonksiyonel* olabilir ve tanısallık görüntülenmenin amacı sadece lezyonu saptamak değil, aynı zamanda hastanın klinik tablosuyla ilişkilendirerek fonksiyonellik ve malignite potansiyeli hakkında bilgi sağlamaktır. Bunlardan dolayı endokrin radyoloji, kapsamının genişliği nedeniyle radyoloji asistanlarından radyoloji yan dalından deneyimli uzmanlara kadar pek çok kişinin karşılaşabileceği ve sürekli öğrenmeyi gerektiren bir alandır.

Son yıllarda tıpta yapay zeka (YZ) uygulamalarının yükselişi özellikle radyoloji alanında çarpıcıdır ve endokrin radyoloji de dahil olmak üzere radyolojinin tüm alt dallarını hem araştırma hem de uygulamada etkilemeye başlamıştır [1-3]. Bilgisayar algoritmalarının büyük veri setlerinden karmaşık örüntüleri öğrenip tanı koyma süreçlerine entegre olması, tıbbi görüntüleme pratiğinde yeni bir dönemin habercisidir. **Türk Radyoloji Derneği (TRD) Görüntüleme Bilişimi Çalışma Grubu tarafından hazırlanan YZ Uygulamaları Rehberinde de belirtildiği üzere [1], yapay öğrenme algoritmalarının sağlık ve radyoloji alanında köklü değişiklikler getireceği öngörülmekte ve bu kaçınılmaz değişimin beklenenden hızlı**

gerçekleşebileceği vurgulanmaktadır [1-6]. Bu rehber, benzer öncülleri gibi YZ teknolojilerinin bazı tehditler içerebileceğini belirtmekle birlikte esas olarak bu teknolojilerin sunabileceği yeni fırsatlara odaklanılması ve uygulamaların hasta yararına, etik kurallar çerçevesinde geliştirilip kullanılması gerektiğini vurgulamaktadır [1]. Gerçekten de YZ uygulamaları doğru kullanıldığında radyologların iş yükünü azaltma, tanısallık doğruluğu artırma ve hastalık yönetimine önemli katkı sağlama potansiyeline sahiptir. Özellikle karmaşık ve çok sayıda organı içeren endokrin sistem gibi bir alanda YZ desteği ile görüntülerin ön değerlendirmesi, lezyon saptama ve karakterizasyonu gibi görevlerin otomasyonu, radyoloğun dikkatini daha kritik karar noktalarına odaklamasına yardımcı olabilir.

RADYOLOJİDE YAPAY ZEKA: GENEL BAKIŞ

Yapay zeka, insan zekası gerektiren görevleri bilgisayarların yerine getirmesini hedefleyen geniş bir kavram olup özellikle makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleri ile son yıllarda büyük ilerlemeler kaydetmiştir ve radyolojinin işlevi adeta yeniden tanımlanmıştır [3]. Makine öğrenmesi, bilgisayar algoritmalarının örnek veriler üzerinden öğrenerek karar vermeyi öğrenmesi prensibine dayanırken derin öğrenme bunun bir gelişmiş uygulaması olarak çok katmanlı sinir ağları ile büyük veri setlerinden yüksek düzeyli özellikler otomatik olarak çıkarıp kullanabilmektedir ve görüntüleme alanında oldukça etkilidir. Radyoloji, verinin dijital ve zengin olduğu bir alan olarak YZ uygulamalarının hızla yer bulduğu bir disiplindir. Son birkaç yıl içinde akademik araştırma ortamlarından çıkıp klinik uygulamaya giren çok sayıda YZ aracı mevcuttur. 2024 yılı itibarıyla, dünya çapında tıbbi görüntüleme alanında Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) onaylı 700'e yakın ve Avrupa Uygunluk İşareti işaretli 220 civarı YZ tabanlı yazılım ürünü bulunmaktadır [2]. Bu rakamlar ticari YZ ürünlerinin klinik kullanıma önemli ölçüde girdiğini göstermektedir.

Yapay zeka uygulamaları radyolojide genel olarak görüntü yorumlama (yorumlayıcı) ve iş akışı/destek (yorumlayıcı olmayan) olarak iki ana gruba ayrılabilir [3-5]. Yorumlayıcı YZ araçları; lezyon tespiti (örn. nodül belirleme), karakterizasyon (*benign-malign* ayrımı gibi), segmentasyon (organı veya lezyonu piksel düzeyinde boyutlama) ve tanı/tahmin (bir görüntüden hastalık tanısı koyma veya prognostik öngörü) gibi işlevler üstlenebilir. Yorumlayıcı olmayan YZ ise görüntü rekonstrüksiyonundan (örn. düşük doz BT görüntülerinin kalite iyileştirmesi), hasta randevu planlaması veya rapor otomasyonu gibi idari süreçlere kadar uzanır [1-3, 5, 6].

Radyoloji, özellikle görüntü tanıma, bölütleme gibi uygulamaların yaygın kullanılması ile diğer sağlık disiplinleri arasında YZ kullanılması açısından öncüdür. Bunun önemli nedenlerinden biri radyoloji görüntülerinin uzun süredir DICOM formatı ile sayısallaştırılması ve bilişim yöntemleri ile veri analizine uygun olmasıdır. Genel olarak görüntü işleme için gereken derin öğrenme algoritmaları görece zor ve yeni olmakla birlikte bu teknolojinin gelişmesi ve güçlü işlemciler sayesinde popüler bir çalışma alanı olmuş ve hızla ilerlemiştir. Böylece radyolojide YZ, karmaşık ve yüksek hacimli görüntü verilerini hızlı biçimde analiz edebilmesini sağlamıştır. Özellikle tarama programları, afet ya da benzeri acil durumlarda YZ algoritmalarının küçük bulguları belirleyerek tanıda yardımcı olması önemli olabilir. Bu bağlamda pek çok uygulama halen günlük pratikte kullanılmaktadır. Ayrıca YZ'yi uygun kullanan diğer karar destek sistemleri, gereksiz tetkikleri ve girişimleri azaltarak hastaya yarar sağlayabilir. Literatürdeki güncel çalışmalar, YZ'nin radyologlarla birlikte kullanıldığında tanısal doğruluğu yükselttiğini ve gereksiz işlemleri azaltabildiğini kabul etmektedir [1-6]. Karmaşık olan radyoloji iş akışında verimlilik artışı da radyolojide YZ'nin kullanıldığı bir diğer önemli alandır. Radyologların rutin iş yükündeki bazı görevleri (ölçümleme, önceki görüntülerle karşılaştırma, ön rapor taslağı oluşturma gibi) YZ ile otomatikleştirildiğinde, uzmanlar zamanlarını daha nitelikli işlere ve konsültasyonlara ayırabilir. Nitekim **Avrupa Radyoloji Topluluğu'nun (ESR) YZ konusunda yaptığı değerlendirmelerde YZ teknolojilerinin görüntü yorumlamayı zenginleştirip hasta bakım standartlarını yükselteceği, radyolojide tanı süreçlerini kökten dönüştürme potansiyeli olduğu vurgulanmıştır** [2, 4].

Bununla birlikte, YZ'nin radyoloji pratiğine entegrasyonu bazı zorlukları da beraberinde getirir. Altyapı ve entegrasyon sorunları, veri gizliliği ve güvenliği, algoritma performansının gerçek dünyada doğrulanması (*validasyon*) ve düzenleyici onay süreçleri önemli hususlardır [5, 6]. YZ araçlarının geliştirme aşamasındaki başarısı, farklı merkezlerde ve popülasyonlarda tekrarlanabilir olmalıdır, aksi takdirde genelleştirilebilirlik kısıtlı kalır. Örneğin tek bir kurumun verisiyle eğitilmiş bir model, başka bir kurumda farklı cihazlar veya hasta profilleri ile çalışırken aynı performansı göstermeyebilir. Bu nedenle,

çok merkezli ve bağımsız doğrulama setleriyle test edilmiş algoritmalar tercih edilmeli, mümkünse prospektif klinik çalışma verileriyle etkinlikleri kanıtlanmalıdır.

Avrupa Radyoloji Topluluğu tarafından 2024 yılında yapılan kapsamlı bir anket, radyologların %80'inin YZ yazılımlarının tıbbi cihaz regülasyonları ve piyasaya çıktıktan sonraki gözetim gereklilikleri konusunda yeterince bilgi sahibi olmadığını ortaya koymuştur [4]. Ankete katılanların büyük bölümü, YZ'nin güvenli klinik uygulaması için eğitim ihtiyaçları olduğunu belirtmiş; YZ araçlarının eksiksiz değerlendirilmesi ve sürekli izlenmesi gerektiğini vurgulamıştır. Aynı ankette, katılımcıların yaklaşık yarısının (%48) halihazırda klinik pratiğinde YZ tabanlı bir ürünü kullandığı beş yıl öncesine göre (2018'de %20 idi) belirgin bir artış olduğu raporlanmıştır [4]. Yani **YZ kullanımı hızla yaygınlaşmakta ve radyologlar bu değişime adapte olmaya başlamaktadır.** %25'lik bir kesim yakın gelecekte YZ kullanmayı planladığını belirtirken yalnızca %27 civarında bir grup şimdilik YZ kullanmayı düşünmediğini ifade etmiştir. Bu bulgular, radyoloji camiasında YZ'ye karşı ilginin arttığını ve klinik pratiğe girişin hızlandığını göstermektedir.

ENDOKRİN RADYOLOJİ VE YAPAY ZEKA

Endokrin radyoloji alanında YZ uygulamaları, yukarıda genel hatlarıyla değinilen radyolojide YZ kullanımının, spesifik endokrin organ görüntülemelerine uyarlanması içerir. Endokrin sistem, farklı organlarda farklı görüntüleme modaliteleri gerektirdiğinden, her birine yönelik YZ yaklaşımları da değişiklik gösterebilir. Aşağıda başlıca endokrin organ gruplarında YZ'nin mevcut ve potansiyel kullanımları örneklerle verilmiştir.

Hipofiz Bezi ve Sellar Bölge

Hipofiz adenomu başta olmak üzere sellar bölge lezyonları, endokrin sistem içinde oldukça önemli bir yer tutar. Hipofiz adenomları intrakraniyal neoplazmların %15-20'sini oluşturur ve yaklaşık üçte ikisi hormonal olarak aktiftir ve en sık prolaktin salgılayan tümörler olarak karşımıza çıkmaktadır [7]. Tanıda en hassas ve doğru yöntem genellikle kontrastlı beyin MR görüntüleme olup özellikle mikroadenomlar (<10 mm) için kullanılır. **YZ ve makine öğrenmesi teknikleri, zaman zaman tanı ve görüntüleme sorunu olan hipofiz adenomlarının görüntülerinden tanı doğruluğunu artırma, bazı klinik öngörülerde ve hatta cerrahi planlamaya katkı potansiyeline sahiptir** [7-11]. Örneğin, radyomik analiz ve derin öğrenme teknikleri kullanılarak MR görüntülerinden adenomun doku yapısı tahmin edilebilir, bu sayede tümörün sertlik (*konsistens*) veya invazyon potansiyeli hakkında çıkarımlar yapılabilir, preoperatif MR görüntülerinden hipofiz adenomunun kavernöz sinüs invazyonu yapıp yapmayacağını veya tümörün yüksek proliferatif indeks (Kiel-67) içerip içermediğini tahmin eden makine öğrenmesi modelleri mevcuttur [8-11]. Benzer

şekilde, fonksiyonel adenom alt tipleri arasında ayırım yapmak için de yapay öğrenme uygulamaları denenmiştir [7]. Örneğin “hormon üretmeyen null cell adenomu mu, yoksa somatostatin analoglarına yanıt verebilecek bir büyüme hormonu adenomu mu” olduğu ayrımında çalışılmıştır. Ameliyat öncesi bu tür bilgilerin varlığı cerrahi planlamada veya medikal tedavi stratejisinde önemli rol oynayabilir. Örneğin, invazyon ihtimali yüksek olan ve sert bir tümör, cerrahi zorluk derecesini artıracığından deneyimli cerrah ve uygun ekipman gereksinimini önceden düşündürebilir. Ayrıca, ameliyat sonrası dönemde de YZ ile rezeksiyonun tam olup olmadığı veya nüks riskinin öngörülmesi gibi uygulamalar araştırılmaktadır. Henüz bu çalışmalar rutin pratiğe girmemiş olsa da mevcut çalışmalar umut verici sonuçlar bildirmektedir ve bu konuda çalışmaların sürmesi beklenmektedir. Ancak diğer YZ çalışmalarında olduğu gibi burada da klinik uygulanabilirlik için modellerin daha geniş veri setlerinde çalışılması, validasyon çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

Tiroid ve Paratiroid Bezler

Tiroid nodülleri, endokrin radyolojide en sık karşılaşılan durumlardandır. Erişkin popülasyonda US ile taramada nodül oranı %50'lere kadar ulaşabilmektedir [12, 13]. Bu nodüllerin küçük bir kısmı *malign* olmasına karşın, hangi nodülün yüksek risk taşıdığını belirlemek klinik karar açısından kritiktir. Klasik olarak tiroid US görüntülerine dayanan Tiroid Görüntüleme Raporlama ve Veri Sistemi (TI-RADS) gibi sınıflama sistemleri geliştirilmiştir [14] ancak operatör bağımlılığı ve yorum farklılıkları zaman zaman bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. **YZ, tiroid nodüllerinin ultrason görüntülerini analiz ederek bu sınıflandırmada standardizasyon ve doğruluk artışı sağlayabilir [12-18].** Yakın zamanda yapılan bir çalışmada, FDA onayı almış bir YZ yazılımı ile US görüntülerindeki nodüller otomatik olarak Amerikan Radyoloji Koleji TI-RADS kriterlerine göre skorlara ayrılmış ve malignite riski tahmininde bulunulmuştur [15]. Söz konusu çalışmada YZ aracının tek başına performansı, radyologların raporlarıyla benzer bir tanısal doğruluk [eğri altındaki alan (AUC) ~ 0.70] sergilemiştir; dikkat çekici olarak YZ, radyologlara kıyasla daha yüksek özgüllük ancak biraz daha düşük duyarlılık göstermiştir. En önemli bulgu ise radyolog değerlendirmesine YZ tahmininin eklenmesi ile sağlanmıştır: Radyolog ve YZ'nin kombine yorumunda AUC değeri 0,76'ya yükselmiş, duyarlılık sabit kalırken spesifite artarak gereksiz biyopsi önerilerinde %17'lik bir azalma sağlanmıştır [12, 15]. **Bu sonuç YZ'nin tiroid nodülü değerlendirmesinde radyoloğa karar desteği olarak kullanılmasıyla gereksiz ince iğne aspirasyon biyopsilerinin belirgin ölçüde azaltılabileceğini düşündürmektedir. Pratikte, bu tür bir uygulama ile iyi huylu olduğu yüksek olasılıkla saptanan nodüllerde gereksiz girişimler engellenerek maliyet ve iş yükünden tasarruf edecektir.**

Mevcut ticari YZ yazılımlar dışında da literatürde tiroid US görüntülerinde nodüllerin benign-malign ayrımını yapay sinir ağları ile otomatikleştirmeye çalıştıran çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu modeller genellikle patoloji sonucu bilinen olguların US görüntülerini kullanmış ve farklı görüntü özelliklerini (nodül içi ekojenite, kenar özellikleri, mikrokalsifikasyon varlığı vb.) sayısal olarak değerlendirerek eğitilmiştir. Bazı derin öğrenme modellerinin deneyimli radyologlarla kıyaslandığında eşdeğer performansla ulaştığı bildirilmektedir. Hatta YZ desteğinin, özellikle deneyimsiz radyologların veya radyoloji asistanlarının performansını anlamlı ölçüde yükselttiği gösterilmiştir. Bu bulgu, YZ'nin eğitim amacıyla da kullanılabileceğini akla getirmektedir. Genç hekimler, okuma seanslarında YZ'den aldıkları geri bildirim ile öğrenme süreçlerini hızlandırabilirler.

Paratiroid bezler açısından ise YZ uygulamaları nispeten erken aşamadadır. Primer hiperparatiroidi olgularında adenomu lokalize etmek için kullanılan sintigrafi ya Dört Boyutlu-BT gibi yöntemlerde YZ'nin lezyon tespitini otomatikleştirmesi potansiyeli bulunmaktadır. Özellikle çok bezli hastalık veya ektopik paratiroid adenomu olgularında, YZ algoritmaları ince taramalarda normal dokudan farklı yoğunluk veya tutulum örüntülerini saptayarak cerrahın işini kolaylaştırabilir. Ancak bu konuya dair literatürde yayınlar sınırlıdır. Yine de tiroid bölgesi ultrasonda YZ ile taranırken, ektopik paratiroid adenomu gibi bulguların da tespit edilmesi teorik olarak mümkündür. Önümüzdeki dönemde, tiroide yönelik geliştirilen YZ algoritmalarının paratiroid patolojilerini de kapsayacak şekilde genişletilmesi beklenebilir.

Adrenal Bezler

Adrenal bez lezyonları, özellikle rastlantısal olarak saptanan adrenal insidentalomlar ile radyolojide sık karşılaşırlar. Genel popülasyondabatinBT/MRincelemelerindeadrenallezyonlarına rastlanma oranı yaklaşık %3-7 olarak bildirilmektedir [19]. Bu lezyonların büyük çoğunluğu iyi huylu, işlevsel olmayan adenomlar olsa da adrenal korteks kaynaklı malign tümörler (adrenokortikal karsinom), metastazlar veya feokromositoma gibi klinik açıdan önemli lezyonlar da mevcuttur. Dolayısıyla adrenal bezde saptanan bir kitlede asıl zorluk, *benign* ile *malign/invaziv* lezyon ayrımının yapılması ve varsa hormon salgılayan tümörlerin belirlenmesidir. Konvansiyonel radyolojide, BT'de saptanan lipidden zengin adenomlar klasik olarak *benign* kabul edilir. Gri zonda kalan “lipidden fakir adenom ile metastaz” ayrımı veya atipik görünümlü lezyonların değerlendirilmesi için geç kontrastlı tarama ya da pozitron emisyon tomografisi/BT gibi ek tetkikler gerekebilir. Bu alanda YZ ile lezyon saptama, adenom ve metastaz ayrımı, hormon fazlalığı sendromlarının öngörüsü ve izlem gibi alanlarda katkı sağlayabilecek çalışmalar mevcuttur [19-24]. Yakın tarihli bir derleme, adrenal görüntülemelerde YZ kullanımının henüz erken

aşamada olduğunu ancak lezyon saptama, karakterizasyon, hiperfonksiyonel sendrom yönetimi ve izlem gibi durumlarda teşvik edici sonuçlar alındığını belirtmektedir [20]. Bu alanda henüz tüm bu basamakları kapsayan mükemmel bir YZ aracı olmasa da değişik araştırmalarda belirli alt sorunlar için başarılı algoritmalar geliştirilmiştir. Örneğin adrenal BT görüntülerinde radyomik özellikler kullanarak adenom ve metastatik lezyonları ayırt etmeye yönelik çalışmalar vardır. Bazı radyomik modeller tekstür analiz parametreleri kullanmak gibi yöntemlerle doku heterojenitesini ölçerek, klasik 10 HU eşik değerini aşan durumlarda dahi metastaza işaret eden bulguları tanımlamıştır. Bu bulgular ışığında YZ destekli analizlerin insan gözünün fark edemeyeceği multi-parametrik desenleri değerlendirerek atipik görünümlü adenom ve malign hastalık ayırımında yardımcı olabileceği söylenebilir [20, 22, 23].

Hiperaldosteronizm gibi endokrin sendromlar, endokrin radyolojide tanıda zaman zaman güçlük olan başka bir alandır. Bu alanda YZ uygulamalarından yararlanma girişimleri olmuştur. Çalışmalar sınırlı olmakla birlikte ilk bulgular umut vericidir ve bu tür uygulamaların klinik uygulamada yer alması için daha fazla araştırmaya ve doğrulama çalışmasına ihtiyaç vardır.

Adrenal lezyonların izlemi ve prognoz öngörüsü de YZ'nin potansiyel katkı alanlarından biridir. Örneğin, adrenal adenomların boyut ve özellik değişimlerinin otomatik izlemi, görüntüler arası farkı saptayan algoritmalarla yapılabilir. Ayrıca nadir görülen adrenokortikal karsinom gibi malign tümörlerde, preoperatif görüntülerden tümörün agresiflik derecesini veya post-operatif nüks riskini öngören modeller geliştirilmesi üzerinde çalışılmaktadır. Sonuç olarak YZ adrenal radyolojisinde, henüz rutin uygulama alanı çok bulamamış olsa da lezyon karakterizasyonu ve risk stratifikasyonu konuları başta olmak üzere önümüzdeki yıllarda daha somut araçlar görmeyi bekleyebiliriz.

NÖROENDOKRİN TÜMÖRLER

Nöroendokrin tümörler (NET), pankreas başta olmak üzere çeşitli gastrointestinal organlarında çıkabilen nadir ve heterojen bir tümör grubudur. Pankreatik NET'lerin (PanNET) insülinoma, gastrinoma, glukagonoma gibi hormon üreten tipleri olabileceği gibi işlevsel olmayan tipleri de vardır. Bu tümörlerin tanı ve takibinde radyolojik görüntüleme (MRG, kontrastlı BT) yanı sıra nükleer tıp görüntülemeleri önemli rol oynar. NET'lerin tanınması ve sınıflandırılmasında YZ araştırılan bir konudur. Ancak NET'ler nispeten nadir olduğu için büyük veri setleri oluşturmak güçtür. Yine de 2022 yılında yayınlanan derleme çalışması, gastroenteropankreatik NET'ler ile ilgili YZ uygulamalarını taramış ve 44 çalışmayı analiz etmiştir [25]. Bu derlemeye göre çalışmaların yaklaşık %60'ı pankreas NET'lerine odaklanmış olup farklı makine öğrenmesi

algoritmalarını kapsamaktadır. NET'lerde YZ kullanım alanları arasında; erken tanı (örn. endoskopik ultrason görüntülerinden pankreas tümörünü saptama), derece ve histolojik özellik tahmini (görüntüden Ki-67 proliferasyon indeksini öngörme gibi) ve tedavi yanıtının izlenmesi (tedavi öncesi ve sonrası görüntüleri kıyaslayarak tümör yükündeki değişimi otomatik hesaplama) sayılabilir [25-29]. Yi ve ark. [28] radyolojik görüntülerdeki belli özelliklere dayanarak PanNET'in düşük ya da yüksek derece olmasını tahmin etmeye çalışmış ve makine öğrenmesi modellerinin %70'ler civarı doğrulukla ayırım yapabildiğini raporlamıştır. Bir diğer YZ çalışmasında ise gastroenteropankreatik NET'lerde tedavi yanıtının volumetrik değerlendirmesi için bir yöntem geliştirilmiş ve tümör volümündeki değişime dayalı YZ analizinin, RECIST kriterlerine alternatif olabileceği öne sürülmüştür [25-30].

Bununla birlikte, NET'lerde YZ uygulamalarının henüz emekleme aşamasında olduğu söylenebilir. Söz konusu derleme çalışması [25], yayınlar arasında ciddi heterojenite olduğunu, çoğu çalışmada yöntem ve veri seti tanımlarının standart olmadığını ve dış merkez validasyonu yapılmadığını vurgulamıştır. Bu da sonuçların genellenebilirliğini kısıtlamaktadır. Gelecekte, NET gibi nadir tümörlerde uluslararası çok merkezli ortak veri tabanları oluşturularak YZ modellerinin eğitilmesi önem kazanmaktadır. Ayrıca AI modellerinin çıktılarının klinisyenler için anlaşılabilir ve güvenilir olması da kritik bir husustur.

Özetle endokrin sistemin pankreas ve sindirim sistemi gibi bölümlerindeki NET'lerde YZ'nin rolü konusunda araştırmalar artmaktadır. Tanı konulduğunda çoğunlukla ileri evrede olan bu tümörlerin, görüntü analizine dayalı erken tanı şansı veya mevcut olgulara prognoz tahmini YZ'nin katkı sağlayabileceği alanlardır. Ancak yaygın klinik uygulama için daha yapılacak adımlar vardır.

ETİK VE YASAL KONULAR

Diğer alanlarda olduğu gibi radyolojide YZ kullanımının yaygınlaşması, beraberinde çeşitli etik ve hukuki sorunları gündeme getirmiştir. Sağlık alanında YZ uygulamalarının mevzuatla düzenlenmesi, hasta güvenliği ve veri gizliliği açısından büyük önem taşır. Avrupa Birliği, bu konuda kapsamlı bir yasal çerçeve oluşturma yoluna gitmiş ve kısa süre önce Avrupa Yapay Zeka Tüzüğü (AI Act) ile önemli bir adım atmıştır. Bu düzenlemede YZ sistemleri kullanım alanlarına göre risk seviyelerine ayrılmıştır ve tıbbi görüntüleme yazılımları "yüksek riskli" kategoride değerlendirilerek insan gözetimi altında çalışma şartı getirilmiştir [2, 31]. Bir başka deyişle bir radyoloji YZ aracı ne kadar başarılı olursa olsun tek başına karar vermesine izin verilmeyip mutlaka bir hekim tarafından denetlenmesi ve onaylanması gerekecektir. Buna paralel olarak ESR anketinde de radyologların %45'i YZ çıktılarının

sorumluluğunun hekime ait olması gerektiğini, %37'si ise “paylaşılan sorumluluk” modelini savunmuştur, hiçbir önemli kesim YZ'ye tamamen bağımsız bir rol biçmemiştir [4]. Yasal düzenlemeler de bu çizgide ilerlemektedir. “AI Act” taslağı YZ araçlarının piyasaya sürülmeden önce sıkı bir değerlendirme ve sonrasında da sürekli izleme süreçlerinden geçmesini, veri kalitesinin ve algoritma şeffaflığının sağlanmasını şart koşturmaktadır. Benzer şekilde Amerika Birleşik Devletleri'nde 2023 yılında yayınlanan bir Başkanlık Kararnamesi, sağlık hizmetlerinde kullanılan YZ için veri güvenliği, ayrımcılık yapmama ve etik kullanım standartları getirmeyi hedeflemiştir [32]. Bu gelişmeler gereksinimler doğrultusunda yasal düzenlemeler yapılmaya başladığını göstermektedir

Yapay zeka kullanımı ile ilgili etik ve yasal konular popüler bir başlık olup bunu ele alan dünyada çok sayıda çalışma ve kılavuz vardır. Türkiye’de de çeşitli girişimlerle bu konular ele alınmaktadır. Endokrin radyoloji hatta daha geniş ve genel olarak radyolojide YZ uygulamalarına ilişkin TRD Görüntüleme Bilişim Grubu tarafından hazırlanan TRD Yapay Zeka Uygulamaları Rehberi son derece kapsamlı bir rehber olup etik ve yasal konuları da içermektedir. Bu rehberde hastaların YZ kullanımı konusunda bilgilendirilmesi ve onam alınması özel bir madde olarak belirtilmiştir. Bu yaklaşım, aydınlatılmış onam sürecine YZ'nin de dahil edilmesini, hastaya görüntülerinin YZ ile de değerlendirileceğinin söylenmesini ve bu konuda rızasının alınmasını içerir. Bilgilendirme sırasında YZ sisteminin ne yaptığının, ne amaçla kullanıldığının ve verilerinin nasıl işlendiğinin açıkça anlatılması gerektiği vurgulanmıştır. Böylece hastalara, tanı ve tedavi sürecinde YZ'nin rolünü kavrayarak olası sorularını sorma fırsatı verilir. Ayrıca bu rehberde YZ uygulamalarının performansının sürekli olarak izlenmesi, kullanıcı geri bildirimlerinin toplanması ve yazılımların kalite denetimlerinin düzenli yapılması önerilmektedir. Bu süreç YZ sistemlerinin zamanla performansının bozulmaması veya hatalarının erkenden fark edilip giderilmesi açısından önemli bir adımdır.

Veri gizliliği ve güvenliği de özellikle sağlık alanı gibi “nitelikli veri” ile çalışılan bir alanda bir diğer önemli etik boyuttur. YZ modelleri genellikle büyük miktarda hasta verisi ile eğitilir. Eğitim sürecinde de verilerin anonimleştirilmesi, mahremiyetin korunması ve model geliştiricilerin yalnızca gereken asgari veri ile çalışması sağlanmalıdır. Avrupa’daki düzenlemeler (örn. Genel Veri Koruma Tüzüğü) kapsamında da YZ geliştirme süreçlerinde kullanılan tıbbi görüntülerin hasta kimlik bilgilerinden arındırılması ve amaç dışı kullanılmaması yasal zorunluluktur. Klinik uygulamada da hastaların görüntülerinin nasıl bir YZ işlemine tabi tutulacağı ve bu verilerin sonrasında nasıl yönetileceği (örn. bulutta depolanıp depolanmadığı) şeffaflıkla belirtilmiş olmalıdır.

Sorumluluk

Yapay zeka ile alınan kararlarda sorumluluk meselesi bir başka önemli konudur. Radyolojide de YZ ile desteklenen tanılarda hatalı sonuç çıkması durumunda kimin sorumlu olacağı sorusu dikkatle ele alınmalıdır. Genel kanı ve mevcut öncü yasal çerçevede bu sorumluluğun hekimde olduğu yönündedir. Yani YZ bir karar destek aracı olarak görülmekte, onay ve sorumluluk radyoloğa ait sayılmaktadır. Bu durum, TRD rehberinde de vurgulanmış ve YZ kullanılsa dahi nihai klinik sorumluluğun radyologda olduğu açıkça belirtilmiştir. Bu bakış açısı, en azından YZ sistemleri tam anlamıyla “özerk” hale gelip kendi başına tanı koyma yetkisi alana dek (mevcut düzenlemeler bunu engellemektedir) devam edecektir. Dolayısıyla YZ uygulamaları gibi hızlı gelişen ve dinamik alanda etik ve hukuk gibi konular da paralel olarak çalışılmalıdır.

GELECEK ÖNGÖRÜLER

Yapay zekanın radyolojideki rolünün giderek artacağı ve kaçınılmaz olduğu kabul edilmektedir [2-4, 27]. Ancak bu artışın hızı ve şekli, çeşitli faktörlere bağlıdır: Teknik açıdan algoritmaların güvenilirliği, klinik yararlılık kanıtı, regülasyonlara uyum; insani açıdan ise radyologların YZ'ye adaptasyonu, eğitim ve toplumun güveni gibi unsurlar belirleyici olacaktır. ESR 2024 anketine göre, radyologlar arasında YZ'nin mesleki geleceğe etkisi konusunda 2018'e kıyasla daha dengeli ve iyimser bir tutum saptanmıştır. Çoğu katılımcı YZ'nin iş gücü kaybına yol açmasından endişe etmediğini aksine radyolog kimliğini daha klinik ve teknik açıdan yetkin hale getireceğini öngörmektedir. Bu “YZ radyologların yerini alacak mı?” tartışmasında pratik deneyimin korkuları azalttığı şeklinde yorumlanabilir. Nitekim YZ kullanan ve bu konuda araştırma yapan hekimlerin, hiç kullanmayanlara göre mesleki gelecek konusunda daha az endişeli olduğu raporlanmıştır .

Önümüzdeki yıllarda, endokrin radyoloji de dahil olmak üzere tüm radyoloji alt dallarında YZ'nin yardımcı bir araç olarak entegre edilmesi beklenmektedir. Halen endokrin radyolojide en çok tiroid nodül alanında yapılan çalışmaların diğer klinik durumlarda da yapılması ve kullanılabilir ürünlerin gelişmesi kuvvetle olasıdır. İdeal senaryoda YZ, rutin ve zaman alıcı işleri üstlenirken, radyologların daha kompleks olgulara, interdisipliner iletişime ve hastayla etkileşime daha çok zaman ayırabilmesi beklenmektedir. Gerçekten de YZ ile kazanılan zamanın klinisyen ve hastalarla iletişime harcanabileceği, böylece radyoloğun sağlık ekibindeki görünürlüğüünün artacağı öngörülmektedir. Bunun gerçekleşebilmesi için YZ'nin sağlık kurumlarında verimli bir şekilde kurulum ve entegrasyonu (PACS entegrasyonu, iş akışı modifikasyonları) sağlanmalıdır. Ayrıca kurumlar bazında YZ için bütçe ayrılması gerekecektir. ESR anketinde katılımcıların sadece %9'u kurumlarında YZ'ye ayrılmış bir bütçe olduğunu belirtmiştir ki bu oldukça düşüktür [4].

Maliyet-etkinlik analizleri yapılarak YZ'nin gerçekten tanı değerine katkısı olan alanlara yatırım yapılması önemlidir. YZ'nin klinik yararını kanıtlamak üzere randomize kontrollü çalışmalar dahi önerilmektedir. Bu şekilde YZ'nin hasta çıktıları üzerindeki gerçek etkisini ortaya koyabilir.

Eğitim ve Sürekli Gelişim

YZ dönüşümünde en kritik noktalardan biridir. Tıp eğitiminde olduğu gibi radyoloji uzmanlık eğitiminde de YZ konularına yer vermeye başlanmıştır. ESR, radyoloji uzmanlık eğitiminde YZ'nin temel prensipleri ve klinik uygulamaları konusunda yeterlilik kazanılmasını önermektedir. Buna paralel olarak Türk Radyoloji Yeterlik Kurulu da ilgili öğrenim hedeflerini program önerisine eklemiştir [1, 2]. Türkiye'de de gerek TRD gerek akademik kurumlar, kurslar ve seminerlerle radyologların YZ okur-yazarlığını artırmaya yönelik adımlar atmaktadır. Kuşkusuz ki radyolog eğitiminde YZ okuryazarlığından çok daha fazlası gereklidir ve sadece algoritmanın çıktısını görmek değil aynı zamanda nasıl çalıştığını, sınırlılıklarını ve yanılabilirliği durumları anlamayı içerir. Radyoloğun bu bilgiyle donanması, YZ'nin doğru alanlarda kullanılmasını ve hatalı çıktıları gerektiğinde müdahale edilmesini sağlar ve bu eğitim faaliyeti yaşam boyu süren dinamik bir süreç olduğu unutulmamalıdır.

SONUÇ

Endokrin radyoloji, vücudun farklı bölgelerindeki organları kapsayan ve pek çok radyoloji alt disiplini kapsayan geniş bir alandır. Diğer radyoloji alanlarda olduğu gibi endokrin radyoloji de YZ uygulamalarından büyük fayda sağlayabilecek potansiyele sahiptir. YZ uygulamaları endokrin sistem görüntülemesinde rutin iş akışını iyileştirip standardize edebilir ve tanısal doğruluğu artırabilir. Ayrıca izlem ve prognozda katkı potansiyeli vardır. Tiroid nodüllerinin değerlendirilmesinde gereksiz biyopsileri azaltması, hipofiz adenomlarında invazyon tahminiyle cerrahi planlamaya katkı sunması, adrenal kitlelerde *benign-malign* ayrımını objektifleştirmesi ve NET'lerde prognostik öngörü sağlaması bu potansiyelin öne çıkan somut örnekleridir. Ancak bu kazanımların gerçekle buluşması için kanıta dayalı tıp ilkeleri doğrultusunda hareket edilmelidir. Geliştirilen algoritmalar bağımsız veri setlerinde doğrulanmalı, klinik ortamda uygulanabilirlikleri ortaya konmalı ve hekimler tarafından benimsenmelidir. YZ hiçbir zaman insan aklının ve klinik yorumun yerine geçecek bir sihirli değnek olarak görülmemelidir. Aksine doğru ayarlandığında radyoloğun yeteneklerini genişleten bir "ortak çalışma arkadaşı" olarak düşünülmelidir. TRD'nin vizyonunda da ifade edildiği gibi önemli olan YZ'yi etik kurallar çerçevesinde, hasta yararını en üstte tutarak kullanmaktır.

Önümüzdeki dönemde, endokrin radyoloji pratiğinde YZ'nin rolü giderek artacaktır. Bu süreçte radyologlar, değişimin aktif bir parçası olmalı, algoritma geliştirme çalışmalarına rehberlik

etmeli, kendi verilerini bu amaçla kullanıma açabilmeli ve YZ araçlarını yakından tanımalıdır. Meslek örgütleri ve düzenleyici kurumlar, YZ'nin güvenli ve etkin kullanımını sağlamak adına rehberler ve standartlar yayınlamaya devam edecektir. Nihai hedef, YZ'nin hastalık teşhis ve tedavisinde gecikmeyi azaltan, doğruluğu artıran ve sağlık sistemine verimlilik katan bir araç olarak güvenli biçimde entegre edilmesidir. Endokrin radyolojide de bu hedefe yönelik adımlar atıldıkça, kazanımlar hem hastalar hem hekimler için belirgin hale gelecektir.

Dipnotlar

Çıkar Çatışması

Yazarlar bu makale ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması bildirmemiştir.

KAYNAKLAR

1. Türk Radyoloji Derneği (TRD). Yapay zeka uygulamaları rehberi. TRD Görüntüleme Bilişimi Eğitim ve Bilimsel Araştırma Grubu; 2022. [CrossRef]
2. Kotter E, D'Antonoli TA, Cuocolo R, Hierath M, Huisman M, Klontzas ME, et al. Guiding AI in radiology: ESR's recommendations for effective implementation of the European AI act. *Insights Imaging*. 2025; 16: 33. [CrossRef]
3. Najjar R. Redefining radiology: a review of artificial intelligence integration in medical imaging. *Diagnostics (Basel)*. 2023; 13: 2760. [CrossRef]
4. Zanardo M, Visser JJ, Colarieti A, Cuocolo R, Klontzas ME, Pinto Dos Santos D, et al. Impact of AI on radiology: a EuroAIM/EuSoMI 2024 survey among members of the European Society of Radiology. *Insights Imaging*. 2024; 15: 240. [CrossRef]
5. Alis D, Tanyel T, Meltem E, Seker ME, Seker D, Karakaş HM, et al. Choosing the right artificial intelligence solutions for your radiology department: key factors to consider. *Diagn Interv Radiol*. 2024; 30: 357-65. [CrossRef]
6. Geis JR, Brady AP, Wu CC, Spencer J, Ranschaert E, Jaremko JL, et al. Ethics of artificial intelligence in radiology: summary of the joint European and North American multisociety statement. *Radiology*. 2019; 293: 436-40. [CrossRef]
7. Guerriero E, Ugga L, Cuocolo R. Artificial intelligence and pituitary adenomas: a review. *Artif Intell Med Imaging*. 2020; 1: 70-7. [CrossRef]
8. Zeynalova A, Kocak B, Durmaz ES, Comunoglu N, Ozcan K, Ozcan G, et al. Preoperative evaluation of tumour consistency in pituitary macroadenomas: a machine learning-based histogram analysis on conventional T2-weighted MRI. *Neuroradiology*. 2019; 61: 767-74. [CrossRef]
9. Lee DH, Park JE, Nam YK, Lee J, Kim S, Kim YH, et al. Deep learning-based thin-section MRI reconstruction improves tumour detection and delineation in pre- and post-treatment pituitary adenoma. *Sci Rep*. 2021; 11: 21302. [CrossRef]
10. Choi US, Sung YW, Ogawa S. deepPGSegNet: MRI-based pituitary gland segmentation using deep learning. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2024; 15: 1338743. [CrossRef]
11. Zilka T, Benesova W. Radiomics of pituitary adenoma using computer vision: a review. *Med Biol Eng Comput*. 2024; 62: 3581-97. [CrossRef]
12. Ashton J, Morrison S, Erkanli A, Wildman-Tobriner B. Assessment of the diagnostic performance of a commercially available artificial intelligence algorithm for risk stratification of thyroid nodules on ultrasound. *Thyroid*. 2024; 34: 1379-88. [CrossRef]
13. Sorrenti S, Dolcetti V, Radzina M, et al. Artificial intelligence for thyroid nodule characterization: where are we standing? *Cancers (Basel)*. 2022; 14: 3357. [CrossRef]

14. Chen Y, Gao Z, He Y, Mai W, Li J, Zhou M, et al. An artificial intelligence model based on ACR TI-RADS characteristics for US diagnosis of thyroid nodules. *Radiology*. 2022; 303: 613-9. [\[CrossRef\]](#)
15. Barinov L, Jairaj A, Middleton WD, D M, Beland, Kirsch J, et al. Improving the efficacy of ACR TI-RADS through deep learning-based descriptor augmentation. *J Digit Imaging*. 2023; 36: 2392-401. [\[CrossRef\]](#)
16. Sharifi Y, Ashgari MD, Shafiei S, Zakavi RS, Eslami S. Using deep learning for thyroid nodule risk stratification from ultrasound images. *WFUMB Ultrasound Open*. 2025; 3: 100082. [\[CrossRef\]](#)
17. Tao Y, Yu Y, Wu T, Xu X, Dai Q, Kong H, et al. Deep learning for the diagnosis of suspicious thyroid nodules based on multimodal ultrasound images. *Front Oncol*. 2022; 12: 1012724. [\[CrossRef\]](#)
18. Abdolali F, Shahroudjeh A, Amiri S, et al. A systematic review on the role of artificial intelligence in sonographic diagnosis of thyroid cancer: past, present and future. *Front Biomed Technol*. 2021; 7(4): 266-280. [\[CrossRef\]](#)
19. Barat M, Gaillard M, Cottreau AS, Fishman EK, Assié G, Jouinot A, et al. Artificial intelligence in adrenal imaging: a critical review of current applications. *Diagn Interv Imaging*. 2023; 104: 37-42. [\[CrossRef\]](#)
20. Ferro M, Tataru OS, Carrieri G, Busetto GM, Falagario UG, Maggi M, et al. Artificial intelligence and radiomics applications in adrenal lesions: a systematic review. *Ther Adv Urol*. 2025; 17: 17562872251352553. [\[CrossRef\]](#)
21. Seow JH, Stella DL, Welman CJ, Somasundaram AJ, Gerstenmaier JF. Washed up: the end of an era for adrenal incidentaloma CT. *Insights Imaging*. 2025; 16: 136. [\[CrossRef\]](#)
22. Qi S, Zuo Y, Chang R, Huang K, Liu J, Zhang Z. Using CT radiomic features based on machine learning models to subtype adrenal adenoma. *BMC Cancer*. 2023; 23: 111. [\[CrossRef\]](#)
23. Altay C, Başara Akın I, Özgül AH, Adıyaman SC, Yener AS, Seçil M. Machine learning analysis of adrenal lesions: preliminary study evaluating texture analysis in the differentiation of adrenal lesions. *Diagn Interv Radiol*. 2023; 29: 234-243. [\[CrossRef\]](#)
24. Li C, Fu Y, Yi X, Guan X, Liu L, Chen BT. Application of radiomics in adrenal incidentaloma: a literature review. *Discov Oncol*. 2022; 13: 112. [\[CrossRef\]](#)
25. Pantelis AG, Panagopoulou PA, Lapatsanis DP. Artificial intelligence and machine learning in the diagnosis and management of gastroenteropancreatic neuroendocrine neoplasms-a scoping review. *Diagnostics (Basel)*. 2022; 12: 874. [\[CrossRef\]](#)
26. Lopez-Ramirez F, Yasrab M, Tixier F, Kawamoto S, Fishman EK, Chu LC. The role of AI in the evaluation of neuroendocrine tumors: current state of the art. *Semin Nucl Med*. 2025; 55: 345-57. [\[CrossRef\]](#)
27. Balma M, Laudicella R, Gallio E, Gusella S, Lorenzon L, Peano S, et al. Applications of artificial intelligence and radiomics in molecular hybrid imaging and theragnostics for neuro-endocrine neoplasms (NENs). *Life (Basel)*. 2023; 13: 1647. [\[CrossRef\]](#)
28. Yi N, Mo S, Zhang Y, Jiang Q, Wang Y, Huang C, et al. An endoscopic ultrasound-based interpretable deep learning model and nomogram for distinguishing pancreatic neuroendocrine tumors from pancreatic cancer. *Sci Rep*. 2025; 15: 3383. [\[CrossRef\]](#)
29. Merola E, Fanciulli G, Pes GM, Dore MP. Artificial intelligence for prognosis of gastro-entero-pancreatic neuroendocrine neoplasms. *Cancers (Basel)*. 2025; 17: 1981. [\[CrossRef\]](#)
30. Zhang T, Zhang Y, Liu X, Xu H, Chen C, Zhou X, et al. Application of radiomics analysis based on CT combined with machine learning in diagnostic of pancreatic neuroendocrine tumors patient's pathological grades. *Front Oncol*. 2021; 10: 521831. [\[CrossRef\]](#)
31. European Commission. Regulation of the European Parliament and of the Council laying down harmonised rules on artificial intelligence (AI Act). Brussels; 2024. [\[CrossRef\]](#)
32. Biden JR. Executive order on the safe, secure, and srustworthy development and use of artificial intelligence. Exec Order No. Washington (DC): 30 Oct 2023. *Federal Register*. 2023;24283. [\[CrossRef\]](#)