



RADYOLOJİK TANIDA TEMEL KAVRAMLAR

Ders Notları

Prof.Dr.E.Tuncel

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ YERİNE

GİRİŞ

- Radyolojik Tanı Yöntemleri
- Radyolojik Görüntüler
- Radyolojik Görüntülerin Elde Edilmesi
- Radyolojik Tanı Yöntemlerinin Hekimlikteki Yeri

RÖNTGEN

- İnceleme Yöntemleri
- Röntgenin Ayırabildiği Yoğunluklar
- Kontrast Madde Kullanımı
- Röntgenogramlar Nasıl İstenmelidir?
- Röntgenin Klinikteki Yeri
- Röntgenin Zararlı Etkileri ve Korunma

MERAKLISI İÇİN NOTLAR

- *X-ışınının radyolojik tanıda kullanılmasını sağlayan özellikleri nelerdir?*
- *X-ışınları vücudu nasıl geçer?*
- *Röntgen filmi üzerinde görüntü nasıl oluşuyor?*
- *Röntgenogramdaki gri tonların anlamı nedir?*
- *Dijital röntgen nedir?*

BT

- İnceleme Yöntemleri
- BT' nin Ayırabildiği Dokular
- BT' de Kontrast Madde Kullanımı
- BT' nin Güçlü ve Zayıf Yanları
- BT' nin Klinikteki Yeri
- BT' nin Zararlı Etkileri

MERAKLISI İÇİN NOTLAR

- *BT görüntüleri röntgenden daha ayrıntılıdır, neden?*
- *BT aygıtının temel parçaları nelerdir?*
- *Bir BT incelemesi nasıl yapılır?*
- *BT'de görüntü nasıl yapılıyor?*
- *Pencereleme nedir? Niçin yapıyoruz?*

MR

- İnceleme Yöntemleri
- MR'nin Ayırabildiği Dokular
- MR' de Kontrast Madde Kullanımı
- MR' nin Güçlü ve Zayıf Yanları
- MR' nin Klinikteki Yeri
- MR' nin Zararlı Etkileri

MERAKLISI İÇİN NOTLAR

- *MR'nin temel fizik prensipleri nelerdir?*
- *MR aygıtının temel parçaları nelerdir?*
- *MR'de görüntü nasıl yapılır?*
- *T1, T2 ve Proton ağırlıklı görüntüleri nasıl elde ediyoruz? Bu görüntüleri nasıl tanıyabiliriz?*

US

- İnceleme Yöntemleri
- US'in Ayırabildiği Dokular
- US' de Kontrast Madde Kullanımı
- US' nin Güçlü ve Zayıf Yanları
- US' nin Klinikteki Yeri
- US' nin Zararlı Etkileri

MERAKLISI İÇİN NOTLAR

- *US'nin temel fizik prensipleri nelerdir?*
- *US aygıtının temel parçaları nelerdir?*
- *Bir US incelemesi nasıl yapılır?*

RADYOLOJİK İNCELEMELER:NE?

NEREDE?NE ZAMAN?

- Hangi Organ Sisteminde Hangi Yöntem?

MERAKLISI İÇİN NOTLAR

- *Hastanızdan bir radyolojik tetkik istediğinizde öğrenmek istediğiniz şeyler neler olmalıdır? Radyolojik tanı yöntemleri bu isteğinize ne kadar yanıt verebilir?*

SON SÖZ YERİNE

SERBEST OKUMA

GİRİŞ

Radyoloji sözcüğünün kökeni eski Yunancadır. Işın anlamındaki *radius* ve söz anlamındaki *logos* sözcüklerinin birleşmesinden oluşmuştur. Türkçe'ye *ışın bilimi* olarak çevrilebilir.

Radyoloji tıpta bir uzmanlık dalıdır. Bu uzmanlık dalında birçok ileri teknoloji ürünü modern makine ve araç-gereç bulunur. Bu makinelerin görevi vücudun organ ve dokularını bir fotoğraf şeklinde görüntülemektir. Bu görüntülerin iki işlevi vardır:

1. Organ ve dokuların hasta olup olmadığını belirlemek; yani hastalıkları saptamak ve tanı koymak (teşhis etmek)
2. Bu görüntülerin kılavuzluğunda hastalıklı bölgeden iğne ile parça almak ya da tedavi amacıyla o bölgeye müdahale etmek

Bu tanımlamalardan radyoloji uzmanlığı içerisinde biri tanı diğeri tedavi ile farklı iki alanın var olduğu anlaşıyor (Tablo 1).

Tablo1: Radyoloji Uzmanlığının İçeriği

Tanısal (Diyagnostik) Radyoloji
▪ Röntgen - fluoroskopi - radyografi ▪ Bilgisayarlı Tomografi (BT) ▪ Manyetik Rezonans (MR) -MR spektroskopisi ▪ Ultrasonografi (US) -Doppler US
Girişimsel Radyoloji

Radyolojinin hastalıkların tanısı ile uğraşan bölümü *radodiagnostik* veya *tanısal (diagnostik) radyoloji* olarak adlandırılır. Tanısal radyolojinin röntgen, bilgisayarlı tomografi (BT), manyetik rezonans (MR) ve ultrasonografiden (US) oluşan dört temel yöntemi vardır. Bir çok ülkede radyolojinin 5. yöntemi konumundaki radyonüklid görüntüleme, ülkemizde nükleer tıp adı altında ayrı bir uzmanlık dalıdır.

Radyolojinin diğeri kısmı ise tedavi ile ilgilidir ve *girişimsel (interventional) radyoloji* adını alır. Girişimsel radyolojide, diagnostik radyoloji yöntemlerinin kılavuzluğunda hastalıklı bölgeye, tedavi amacıyla dışarıdan müdahale edilir. Abse boşaltılması, kist hidatidinin perkütan tedavisi, safra yolu tıkanıklıklarının açılması, damar darlıklarının genişletilmesi, anevrizmaların tıkanması ya da akut trombusun eritilmesi benzeri birçok işlem girişimsel radyolojinin uygulamasıdır.

Radyoloji uzmanlık eğitiminin süresi 5 yıldır.

Radyolojik tanı yöntemleri

Radyolojik görüntüler x-ışını gibi radyan enerjilerle vücudun test edilmesiyle oluşturulur. Yöntemlerin kullandıkları enerji türleri ve/ya görüntü oluşturma teknikleri farklıdır.

- **Röntgen:** Kullanılan enerji x-ışınıdır (röntgen ışını). Vücudu farklı oranlarda geçen x-ışınları bir fotoğraf plağı ya da floresan ekran üzerine düşürülerek görüntü elde edilir.
- **Bilgisayarlı Tomografi (BT):** X-ışını kullanılır. Kesitsel bir görüntüleme yöntemidir. Vücudu geçen x-ışınları dedektörlerle ölçülerek geçtiği dokunun x-ışınını zayıflatma (tutma) oranı saptanır. Görüntüler bu ölçümlerden bilgisayar marifetiyle oluşturulur.
- **Manyetik Rezonans (MR):** Kullanılan enerji türü radyo dalgalarıdır. (radyofrekans). Veri kaynağı, serbest su moleküllerindeki hidrojenlerin çekirdekleri, yani protonlardır. Protonların radyofrekans ile uyarılabilmesi için vücudun güçlü bir manyetik alan içerisine konması gerekir. Protonlardan gelen sinyaller ölçülür ve bu ölçümlerden, BT’de olduğu gibi, güçlü bilgisayarlar aracılığı ile kesit görüntüler elde edilir.
- **Ultrasonografi (US):** Kulağın duyma sınırının çok üstündeki yüksek frekanslı ses kullanılır. Mekanik bir enerji türü olan ses vücudu geçerken farklı yapıların yüzeylerinden yansır. Görüntü, vücuda gönderilen sesin yankılarından oluşturulur ve incelenen bölgenin kesiti şeklindedir. Akan kanın şekilli elemanlarının gönderilen seste yaptığı frekans değişikliklerinin ölçülmesi ile de akım değerlendirilir (Doppler US).

Radyolojik Görüntüler

Genel olarak tüm radyolojik görüntüler *radyogram*, görüntünün elde edilme süreci ise *radyografi* olarak isimlendirilir. *Röntgenogram* ve *röntgenografi*, röntgen görüntülerine ve elde etme sürecine verilen isimdir. Ancak pratikte radyogram ve radyografi terimleri daha çok röntgen için kullanılır; BT, MR ve US’ de ise *görüntü* ya da *kesit* terimleri tercih edilir. Özellikle röntgenogramlar için kullanılan

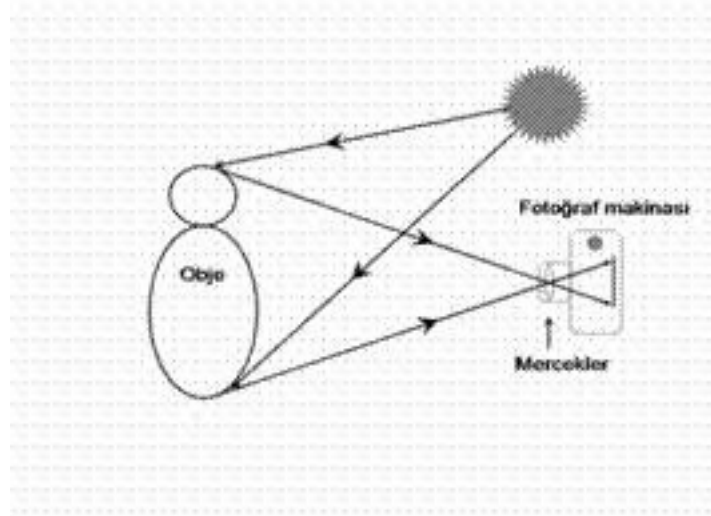
“akciğer filmi”, “sinüs filmi” gibi deyimler yanlıştır. Doğrusu “göğüs röntgenogramı” “paranasal sinüs röntgenogramı” olmalıdır. “Röntgen filmi” ifadesi çekim yapılmadan önceki filmi tanımlar.

Röntgende görüntüler iki boyutludur, ışının geçtiği üçüncü boyuttaki yapılar üst üste düşer (projeksiyon görüntüleri). BT, MR ve US’de ise vücut bir kesit şeklinde görüntülenir, görüntülerde üst üste düşme yoktur (kesit görüntüler).

Radyolojik görüntüler, ister projeksiyon isterse kesit görüntüler olsun, renkli Doppler dışında, bir ucunda beyaz diğer ucunda siyah olan gri tonlardan oluşur. X-ışını görüntüleri olan röntgen ve BT’de koyu tonlar x-ışınına görece olarak az tutan (çok geçiren), açık tonlar ise tersine çok tutan (az geçiren) dokuları temsil eder. MR görüntülerinde ise kullanılan enerji türü farklı olduğu için gri tonların anlamları da değişiktir. Görüntü oluşturulurken kullanılan parametrelerin değiştirilmesiyle aynı dokuların farklı tonlarda görülebilmesi, MR görüntülerinin yorumlanmasını daha da karmaşık hale getirir. US görüntülerinde ise açık tonlar sesin çok yankılandığı, koyu tonlar ise az yankılandığı kesimleri temsil eder. Hiç yankılanmanın olmadığı suyla dolu yapılar ile sesin geçmediği kesimler siyah görülür.

Radyolojik Görüntülerin Elde Edilmesi

Radyolojik yöntemlerin vücudun iç yapılarının bir fotoğrafını nasıl oluşturduğunu anlamak için bir benzetme yapalım ve fotoğrafın nasıl elde edildiğine bakalım. Vesikalık fotoğrafınız nasıl çekiliyor? Bir fotoğraf makinasının önüne oturuyorsunuz. Odada yüzünüzü aydınlatan bir ışık kaynağı var (Şekil 1). Fotoğraf makinası, içerisinde fotoğraf filmini saklayan ışık geçirmez bir karanlık kutudur. Filmin tam karşısına gelen kesiminde, kısa süreler için açabildiğimiz bir küçük pencere (diyafram), önünde de küçültücü mercekler (objektif) vardır. Fotoğrafçı size hareket etmememizi söyler ve kısa bir an makinenin diyaframını açan düğmeye basar. Böylece fotoğraf çekimi tamamlanır.



Şekil 1. Fotografi

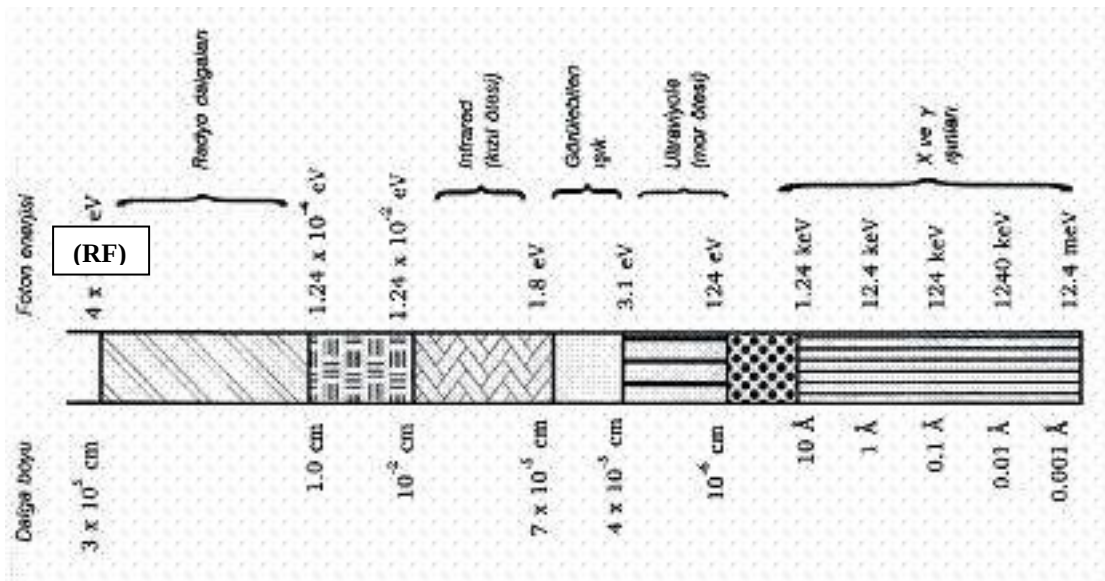
Fotoğraf çekmek için kullanılan enerji türü ışıktır. Görüntüleme aygıtı fotoğraf makinasıdır. Görüntü fotoğraf filmi üzerine kaydedilir. Temel fizik olay ışık enerjisinin yansmasıdır. Yüzümüze düşen ışık, yüzümüzdeki yapılar tarafından farklı oranlarda absorbe olur ve dolayısıyla farklı oranlarda yansır. Fotoğrafımızı oluşturan bu yansıma farklılıklarıdır. Yansımaları kayıt eden gereç, yani dedektör ise fotoğraf filmidir. Fotoğrafta saçlar ve kaşlar koyu renkli görülür. Çünkü bu yapılar ışığı daha çok absorbe ederler; dolayısıyla buralardan film üzerine gelen ışık daha azdır. Dişler ise daha parlak görünür, çünkü üzerlerine düşen ışığı daha çok yansıtırlar.

Radyolojik tanı yöntemlerinin görüntüleri de aynı ilkelere göre oluşturulur. Fotoğrafın elde edilmesinde kullanılan enerji görülebilir ışıktır. Röntgende ve BT’de kullandığımız enerji x-ışını, MR’de kullandığımız enerji radyofrekans ve manyetizma, US’de ise yüksek frekanslı sestir. Görüntülerielde ettiğimiz röntgen, BT, MR ve US aygıtları fotoğraf makinesinin karşılıklarıdır. Fotoğraf çekiminde saptanan, ışığın yansıma farklılıkları idi. Röntgende ve BT’de x-ışınlarının vücudu geçerken tutulma farklılıkları, MR’ de hidrojen

çekirdeklerinin miktarındaki ve radyofrekans enerjisini geri verme süresindeki farklılıklar, US'de ise sesin doku yüzeylerinden yansıma farklılıkları saptanır.

Fotoğrafta dedektör fotoğraf filmi idi, röntgende röntgen filmidir. Röntgen görüntüsü x-ışınlarının filme doğrudan etkisiyle ortaya çıkar (analog görüntü). Dijital röntgende ve BT'de ise bu farklılıklar dedektörlerle sayısal olarak saptanır ve görüntüler bu sayısal değerlerden oluşturulur (dijital görüntüler). MR'de de görüntüler dijitaldir. US'de ise yankılanan sesin genlik (amplitüd) farklılıkları doğrudan kaydedilir, yani US görüntüleri de analogdur.

X-ışını ve radyofrekans (RF) elektromanyetik radyasyon spektrumu içerisinde yer alır (Şekil 2). Transvers dalga formundadırlar; enerjileri frekansları ile doğru, dalga boyları ile ters orantılıdır. Ultrasonografide kullanılan ses ise mekanik bir enerji türüdür, longitudinal dalga formunda sıkışma ve gevşeme periyotları şeklinde yayılır. X-ışınları iyonizan ışınlardır, geçtikleri ortamda iyon çiftleri oluştururlar; dolayısıyla zararlıdır. Radyofrekansın ve yüksek frekanslı sesin, radyolojide kullanıldığı sınırlarda, zararlı etkileri yoktur.



Şekil 2. Elektromanyetik spektrum

Radyolojik tanı yöntemlerinin hekimlikteki yeri

Tedavi edici hekimlikte asıl önemli olan, tanı koymaktır. Çünkü hastalıkların tedavisi çoğunlukla belirlenmiştir.

Tanı için hekimin yaptığı ilk iş, hastayı yakınması ile ilgili sorgulamaktır. Anamnez alma dediğimiz bu sorgulamayı fizik muayene (bakı) izler. Fizik muayenede hekim hastasını inspeksiyon (bakma), palpasyon (elleme), perküsyon (vurma) ve oskültasyon (dinleme) ile, yani, beş duyusunu kullanarak inceler. Amaç hastanın yakınmasının nedenini bulmak, hastalığını ortaya çıkarmaktır.

Ayrıntılı bir anamnez ve iyi bir fizik muayene ile çoğu olguda tanı konabilir. Tanının konamadığı olgularda vücudu farklı yöntemlerle incelemeye gereksinim duyulur. Bu amaçla kullanılan yöntemlerin başında radyolojik tanı yöntemleri gelir.

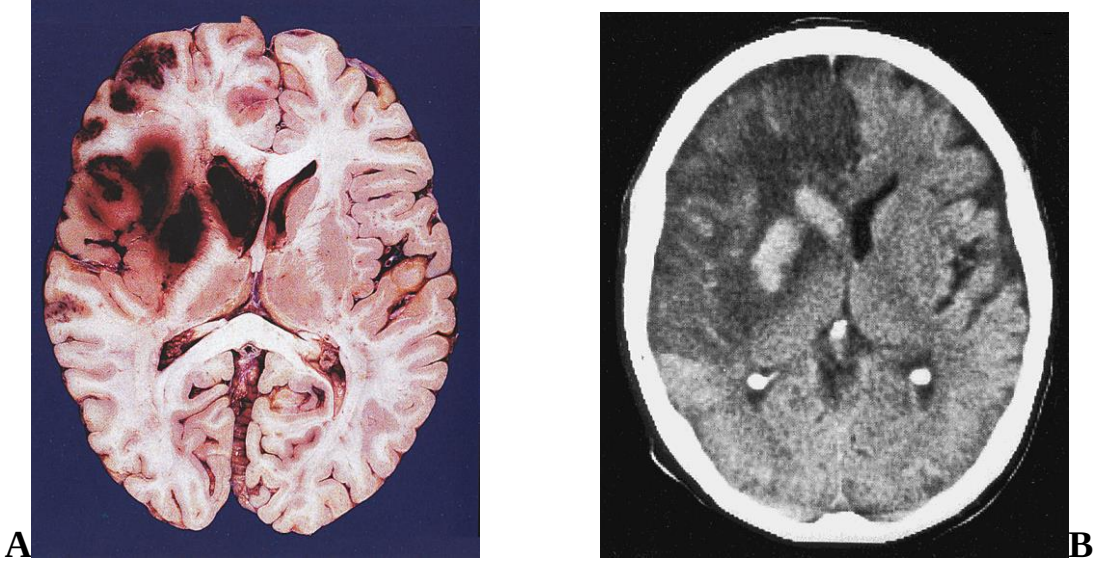
Hastalıkların vücut yüzeyinde oluşturduğu değişiklikler, çıplak gözle (inspeksiyon) saptanır. Örneğin sarılığı hastanın sklerasına bakarak tanıyabiliriz. Vücudun iç boşluklarını da, ağız, anüs gibi doğal açıklıklarından girerek gelişmiş optik aletler aracılığı ile inceleyebiliriz. Bu işlemin genel adı endoskopidir.

Vücudun dışını doğrudan, ulaşabildiğimiz iç yüzeylerini de gelişmiş optik aletler aracılığıyla dolaylı olarak, çıplak gözle inceleyebiliyoruz. Ancak, çıplak gözle göremediğimiz organ ve dokuların iç yapılarını nasıl görebiliriz?

Bu görev radyolojik tanı yöntemlerine düşer. Radyolojik tanı yöntemleri, fizik prensiplerinin izin verdiği ölçüde, organ ve dokuları bir resim şeklinde görüntüler. Bu resimlerdeki veriler mikroskopik değil, gözümüzle görebileceğimiz boyutlardadır. Çoğu zaman, patolojide makroskopik olarak ne görüyorsak

radyolojik yöntemlerin oluşturduğu resimlerde de onu görürüz. Yani radyolojik görüntüler, anatominin ve makroskopik patolojinin radyolojik izdüşümleridir.

Anormallikler radyolojik görüntülerde normal anatominin ve/ya doku yapısının bozulması şeklinde karşımıza çıkar. Bu değişiklikler yerel olabileceği gibi yaygın da olabilir. Yerel anormallikler genellikle, oturdukları organ ya da dokudan farklı gri tonlarda oldukları için fark edilirler. Bu anormalliklere genel olarak *lezyon* adı verilir. Makroskopik patolojide olduğu gibi bu lezyonlar şekil, boyut, kenar, iç yapı vb. özelliklerine bakarak değerlendirilirler (Resim 1).



Resim 1. Sağ hemisferde hemorajik infarkt A. Makroskopik patoloji kesiti B. BT kesiti

RÖNTGEN

Radyolojik tanı yöntemlerinin en eskisi olan röntgen bir projeksiyon yöntemidir. Bir projeksiyon makinası, nasıl üzerine konan bir şekil ya da yazıyı perdeye yansıtırsa, vücudu geçen X-ışınları da vücudun iç yapılarını röntgen filmi üzerine o şekilde yansıtır.

Bu iki projeksiyon olayı arasında önemli bir fark vardır. Projeksiyon makinası üzerine konan şekil veya yazı iki boyutludur, projeksiyonu da iki boyutludur, dolayısıyla aslı ve perdeye düşen görüntüsü arasında fark yoktur. Halbuki x-ışını önüne konan insan vücudu üç boyutludur; sadece eni, boyu değil derinliği de vardır ve bu derinlikteki bütün yapılar röntgen filmi üzerinde üst üste düşer (süperpozisyon). Örneğin, arka-ön bir göğüs röntgenogramında omurga, trakea, kalp, timus ve sternum üst üste düşer ve bu yapıların herbirinin açık bir şekilde görüntülenmesi engellenir. Bu sorun, BT ve MR gibi kesit görüntüleme yöntemlerinin kliniğe girmesi ile çözümlenmiştir.

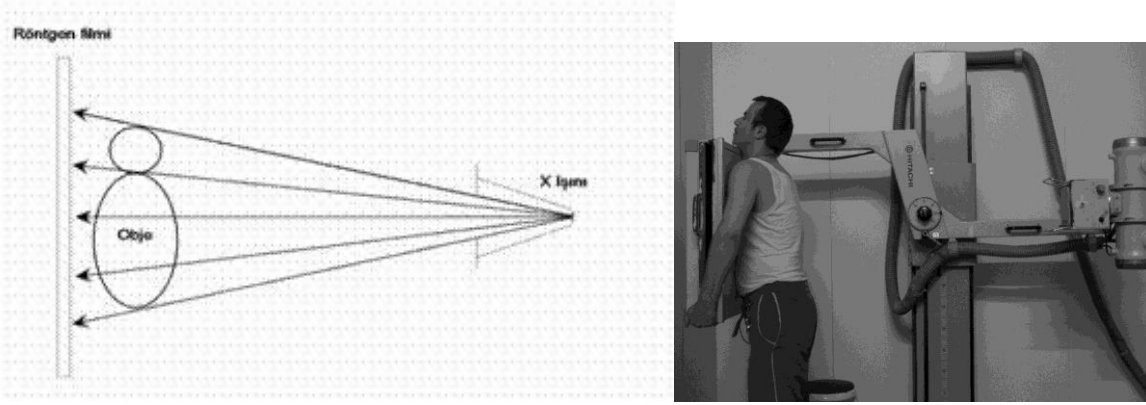
İnceleme yöntemleri

Röntgenin iki temel yöntemi vardır: Radyografi ve fluoroskopi

Radyografi: Basit bir işlemdir. Hastanın incelenecek bölgesi röntgen filmini taşıyan kaset üzerine konur. Genelde bir metre ya da daha uzakta olan röntgen tüpünden incelenecek bölgeye x-ışını gönderilir (Şekil 3). X-ışınının enerjisi, miktarı ve süresi dokular arasındaki kontrast farkını ortaya çıkaracak şekilde ayarlanmalıdır. Gönderilen x-ışınının enerjisini ve miktarını, tüpe uygulanan elektriğin kilovoltu (kV), miliamperi (mA) ve uygulama süresi belirler.

Radyografi yapmak fotoğraf çekmeye çok benzer. Aradaki fark fotoğrafta yansıyan ışığın, radyografide ise vücudu geçen ışının saptanmasıdır. O nedenle fotoğraf çekerken fotoğraf plağının içinde olduğu kamera, yansıyan ışığı almak için objenin önündedir. Radyografi yaparken ise röntgen filmi, geçen ışınları almak için objenin gerisindedir. Işığın merceklerle odaklanabilmesine karşılık, x-ışınının odaklanamaması diğer önemli bir farktır. Bu nedenle fotoğraflar gerçeğinden daima daha küçük iken, röntgenogramlar küçük olamazlar (dijital röntgenogramlar hariç!). Fotoğraf çekiminde olduğu gibi,

radyografi sırasında hastanın hareket etmesi görüntüde bulanıklığa neden olur. Görüntünün röntgen filmi üzerinde oluşması ile fotoğraf makinası içerisindeki fotoğraf filmi üzerinde oluşması arasında fiziko kimyasal prensipler bakımından fark yoktur.



Şekil 3. Radyografi

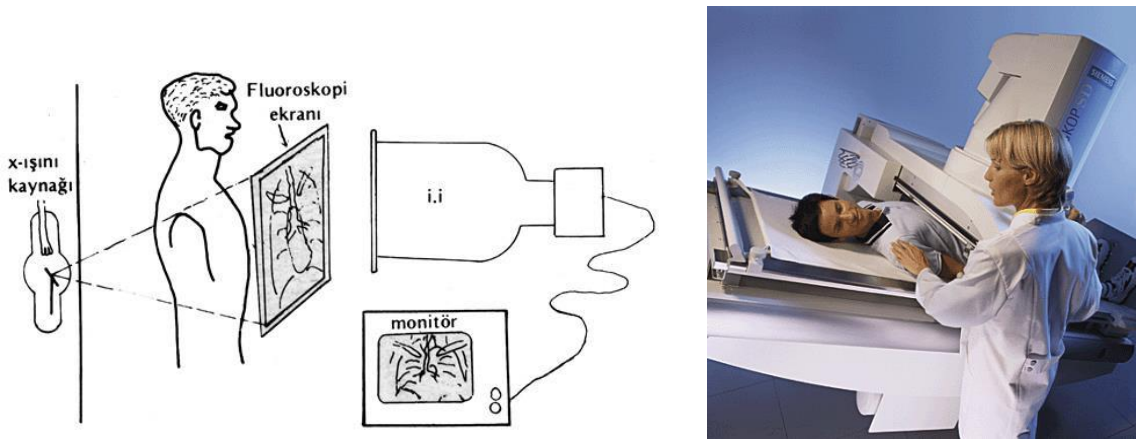
Fluoroskopi: Radyoskopi de denir. Bu yöntemde floresan ekranlar kullanılır. Floresan ekranlar, üzerine x-ışını düştüğünde ultraviyole ışık yayan maddelerle kaplanmış levhalardır. Vücudu geçen x-ışınları bu ekran üzerinde ultraviyole ışığı şeklinde izlenebilir.

Fluoroskopinin radyografiden temel farkı görüntünün canlı izlenebilmesidir. Röntgenogramlarda görüntü fotoğraf gibi sabit bir kayıt iken, fluoroskopide görüntü, canlı olarak ("real-time") izlenir. Örneğin kalp atışları gözlenebildiği gibi, diyafragma hareketleri ya da sindirim borusunun hareketleri de incelenebilir.

Fluoroskopi hareketli yapıları gözlemek için kullanılabilir, ama asıl işlevi radyografisi yapılacak bölgeyi belirlemek için kılavuzluk etmektir. Örneğin, duodenal ülser araştırılıyorsa mide ve duodenum fluoroskopik olarak gözlenerek tam ülserin görüldüğü pozisyonun radyografisi yapılır. Bir başka örnek anjiyografidir. Örneğin, renal anjiyografi yapılırken kateter aort içerisinde fluoroskopik gözlemlerle ilerletilip renal artere sokulur. Sonra kontrast verilerek radyografi yapılır.

Fluoroskopi, girişimsel radyolojinin de temel kılavuz yöntemlerinden biridir. Örneğin renal arter darlıklarının genişletilmesi ve stent konması işlemi tümüyle fluoroskopik kontrol altında yapılır.

Eskiden floresans ekranlardaki görüntüler karanlıkta izlenirdi. Alınan ışın dozu yüksek olduğu için bu tür makinelerin kullanımı yasaklanmıştır. Günümüzde, görüntünün bir video monitorundan aydınlıkta net olarak izlenebildiği modern aygıtlar kullanılır (Şekil 4).



Şekil 4. Fluoroskopi. Fluoroskopi ekranında oluşan görüntü, görüntü yükseltici (imaj intensifayr-II) ve video monitoru ile aydınlıkta izlenebilir.

Radyografi ve fluoroskopi yöntemleri gelişmiş bilgisayar teknolojisinin sistemlere entegrasyonu ile dijital hale getirilmiştir. Bunun için hastayı geçen x-ışınları, röntgen filmi veya fluoroskopi ekranına değil, ışınların miktarının ölçülebildiği bir düzenek üzerine düşürülür. Görüntüler bu ölçümlerden bilgisayar aracılığı ile yapılır.

Dijital yöntemin, görüntülerinin boyutlarının değiştirilebilmesi, istenilen bölgelerin daha iyi gösterilecek şekilde işlenebilmesi, internet ortamında istenilen yerlere ulaştırılabilmesi ve elektronik ortamda arşivlenebilmesi gibi avantajları vardır. Buna karşılık pahalı olması ve yüksek ışın dozu alınma olasılığı dezavantajlarıdır. Yöntemin çözümleme gücü de henüz konvansiyonel yönteminkine erişememiştir.

Röntgenin ayırabildiği yoğunluklar

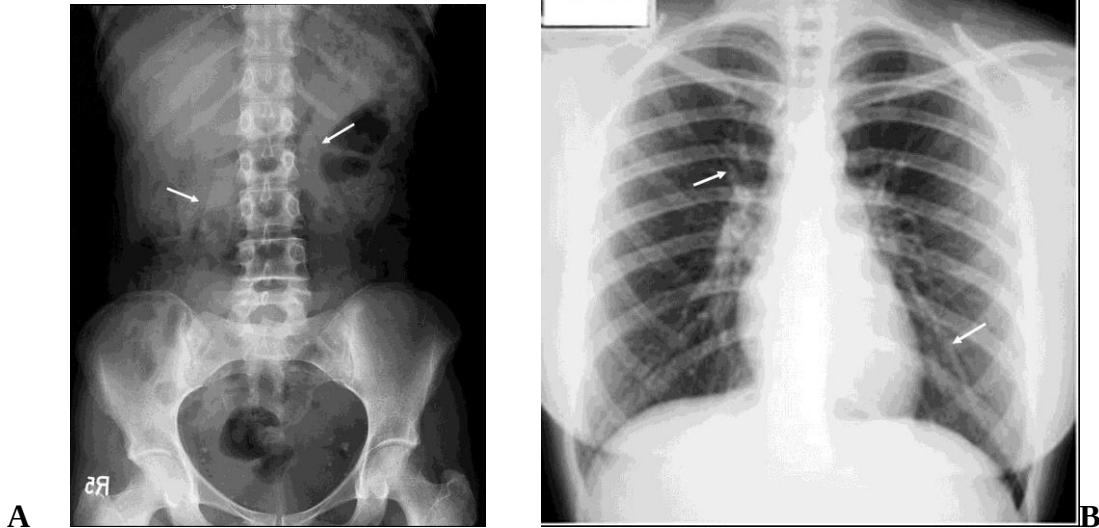
Röntgende bir yapıyı (organ, doku, lezyon) seçebilmek için o yapının x-ışınını tutma oranı, röntgenogramlarda gözle görülebilecek bir gri ton farkı (kontrast) oluşturacak kadar çevresinden farklı olmalıdır.

Röntgenogramlarda ayırabildiğimiz vücut yapıları, kemikler (kalsifikasyonlar), yumuşak dokular (kaslar, parankimal organlar, damarlar, kıkırdak vb) ve yağdır. Bunlara vücutta yapay olarak bulunan diş dolgusu, protez gibi metalleri ve akciğerler, paranazal sinüsler ya da barsaklar içerisindeki doğal olarak bulunan havayı ekleyebiliriz. Bunlardan x-ışınını en fazla tutan metal, kemik ve kalsifikasyonlar, beyaz- açık gri tonlarda görülür. Yumuşak dokular orta gri tonlarda, yağ ise siyaha yakın koyu gri tonda görülür. Hava ise simsiyahtır. Bir röntgenogram üzerinde, açık tonda görülen yerler *radyopak* (yoğunluk artımı), koyu tondakiler ise *radyolüsent* (yoğunluk azlığı) olarak tanımlanır (Tablo 2). Bir yapının kalınlığı ne kadar fazla, içerdiği maddelerin yoğunlukları ve atom numaraları ne kadar yüksekse x-ışınlarını o kadar fazla tutar.

Tablo 2 Röntgenogramlarda Ayrılabilen Yoğunluklar

Çok Radyolüsent	Radyolüsent	Ara Yoğunluk	Radyopak	Çok Radyopak
Gaz (Hava)	Yağ (Yağ Dokusu)	Su (Yumuşak Dokular)	Kemik (Kalsifikasyonlar)	Metal (Atom ağırlığı yüksek elementler)

Röntgenogramlarda kemikleri, kalp ve mediastinumun sınırlarını, böbreklerin ve psoas kasının kenarlarını görebiliriz. Bu yapılar hava veya yağ gibi kendileri ile kontrast oluşturan dokularla çevrili olduğu için iyi görünürler. Ancak böbreğin toplayıcı sistemini, çevresinde yeteri kadar kontrast oluşturan bir doku olmadığı için ayıramayız. Bir göğüs röntgenogramında akciğerler içerisinde pulmoner arter dallarını görebildiğimiz halde onlara paralel giden bronşları içleri hava dolu olduğu için göremeyiz (Resim 2). Röntgenogramda karaciğer dokusu da dalak da aynı yumuşak doku yoğunluğundadır. Aralarında ton farkı varsa bu, x-ışınının geçtiği doğrultudaki kalınlıklarının farklı olması nedeniyle.

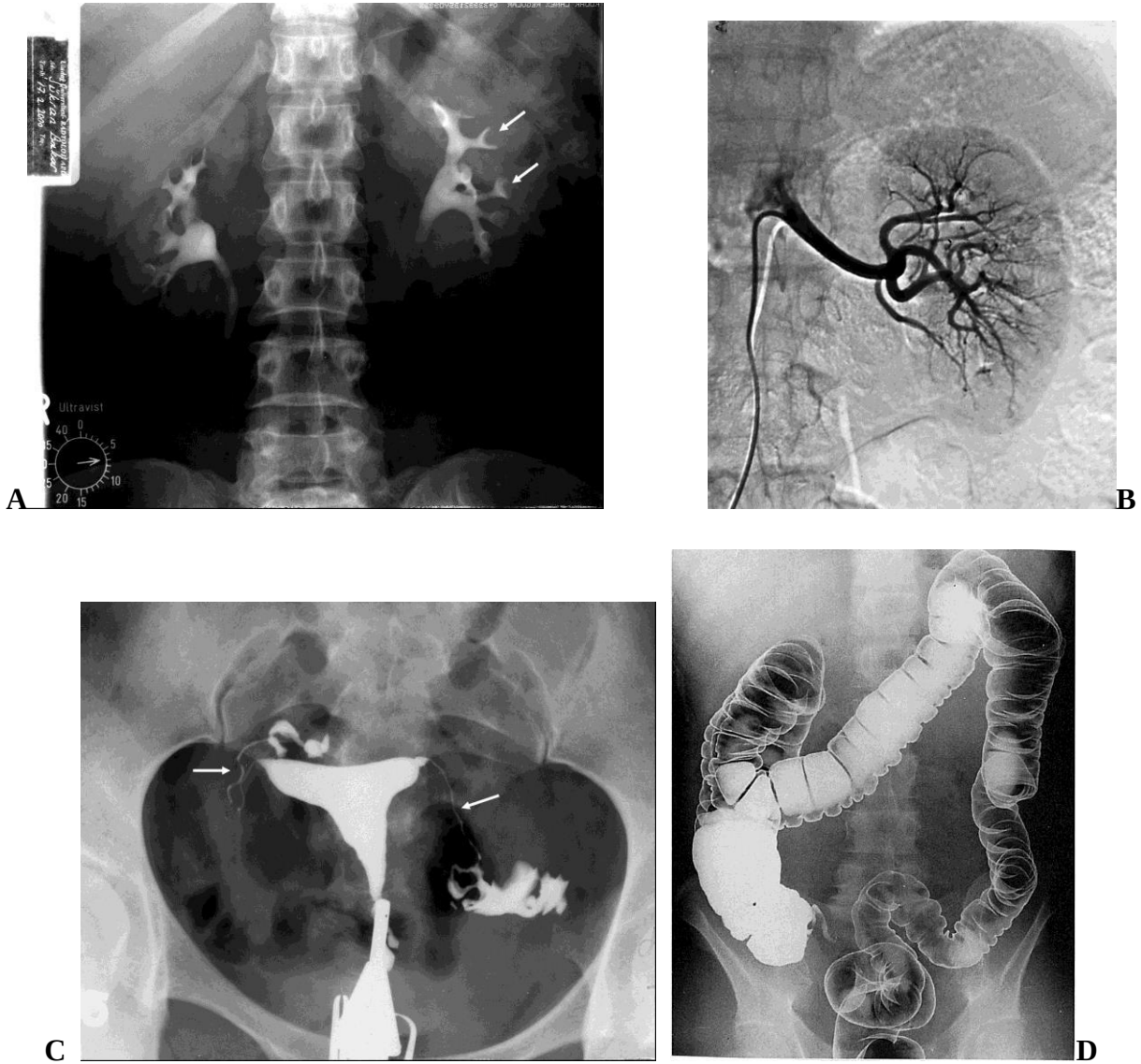


Resim 2. A. Karın (ön-arka). Yağ dokusu ile çevrelenmiş olduğu için psoas kasının kenarı görünüyor (oklar), B. Göğüs (arka-ön) Damarlar (oklar)

Kontrast madde kullanımı

Yumuşak dokuları birbirinden ayıramayan röntgenin bu yetersizliği bir dereceye kadar kontrast madde kullanımı ile giderilebilir. Kontrast maddeler yumuşak dokulara göre atom numaraları farklı (çoğunlukla yüksek) maddelerdir. Kural olarak kontrast maddelerin önemli yan etkileri olmamalıdır. Örneğin sindirim borusunu incelemeye kullanılan *baryum sülfat* ($Ba SO_4$) böyledir. Ağızdan ya da rektal yoldan verildiğinde emilmez ve dışkıyla olduğu gibi atılır. Buna karşılık iyot bileşikler intravenöz yolla kullanılan kontrast maddeleridir. Seyrek de olsa ciddi alerjik reaksiyonlara ve hatta anafilaksiye neden olabilirler.

Kontrast maddelerin atom numarası, dolayısıyla elektron yoğunluğu yüksektir. Bu nedenle x-ışınlarını tutarlar ve röntgenogramlarda belirgin şekilde beyaz görülürler (Resim 3). Örneğin sindirim borusunu baryumla doldurarak beyaz bir tüp şeklinde görüntüleyebiliriz. Ancak baryum sülfatı dolaşım sistemine veremeyiz.



Resim 3. Kontrast madde uygulamaları A. Normal ekskretuar ürografi. Kaliksler profilden hilal görünümde (oklar) B. Dijital Anjiografi. Görüntünün kontrastı tersine çevrilmiş C. Normal histerosalpingografi. Serviksten verilen kontrast madde endometrial kaviteyi ve her iki tuba uterinayı (oklar) doldurarak peritona geçmiştir. Tüpler açık. D. Normal çift kontrast kolon röntgenogramı. Baryumda içi yüzey sıvandıktan sonra kontrast madde alınıp hava verilmiştir.

Dolaşım sistemi içerisine verdiğimiz iyotlu kontrast maddenin, süresi belirli bir dolaşım yolu vardır. Venden verdiğimiz kontrast madde pulmoner dolaşımdan sonra büyük dolaşımdaki arteriyel sisteme, daha sonra kapillere ve oradan da hücreler arası sıvıya ve daha sonra yeniden venöz sisteme geçerek dolaşımını tekrarlar (resirkülasyon). Ancak iyotlu kontrast maddeler böbrekler yoluyla atıldığı için, arteriyel sistemden her geçişte önemli bir bölümü böbreklerden süzülür ve idrar yollarına geçer. Bu nedenle iyotlu kontrast maddeler ne amaçla verilmiş olursa olsun üriner sistem daima görünür hale gelir.

İyotlu kontrast maddenin dolanımındaki süreler, görmek istediğimiz bölge açısından önemlidir. Örneğin iyotlu kontrast maddeyi üriner sistemi görmek için venöz yolla verdiğimiz varsayalım. Eğer böbrek parankimini görmek istiyorsak kontrast madde kapiller fazda yani glomerüllerde iken radyografi yapılmalıdır ki böbrek parankimi bembeyaz görülebilsin. Böbreğin kontrastla incelenmesinde bu evreye nefrogram fazı denir. Geç evrede, kontrast maddenin büyük bölümü toplayıcı sisteme geçer ve piyelogram elde edilir.

İyotlu kontrast maddeler vasküler sistemi görüntülemek amacıyla damar içerisine sokulmuş bir kateterden doğrudan da verilebilir. **Anjiografi** dediğimiz bu işlemde, kontrast madde hızla verilerek damarlar doldurulur ve hemen radyografi yapılır.

Düşük elektron yoğunluklu kontrast madde olarak ise hava kullanılır. Örneğin çift kontrast kolon incelemesinde olduğu gibi, verilen baryum sülfat boşaltıldıktan sonra hava verilerek mukozal yapı çok daha iyi gösterilir.

Röntgende kontrast maddelerin en sık kullanıldığı yerler şunlardır:

- Sindirim borusunun incelenmesi: Baryum sülfat süspansiyonu ve hava kullanılır
- Üriner sistemin incelenmesi: İntravenöz yolla veya üretradan verilen iyotlu kontrast maddeler kullanılır
- Damarların ve venlerin incelenmesi (anjiografi) : İyotlu kontrast maddeler, kateterle doğrudan incelenen damar içine verilir.

Röntgenogramlar nasıl istenmelidir?

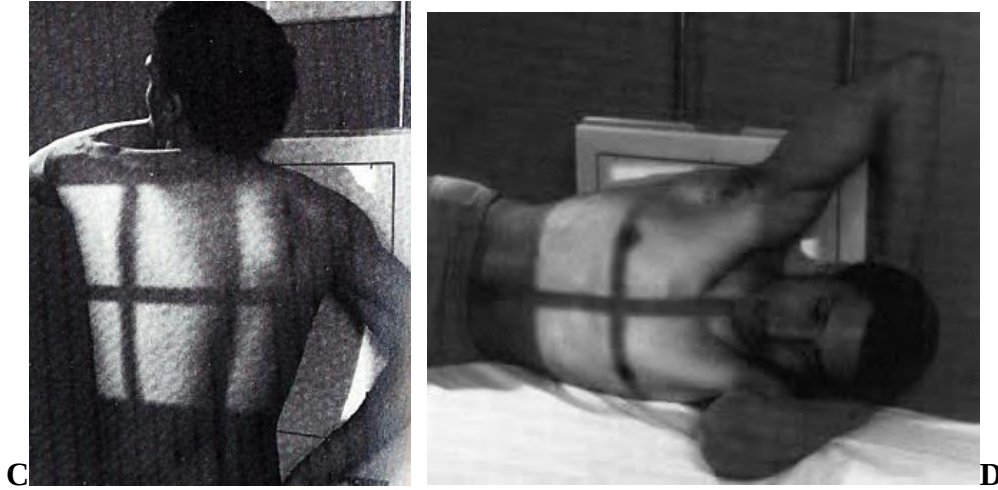
Bir hekim olarak öncelikle bir röntgen incelemesini nasıl isteyeceğinizi, daha doğrusu inceleme sırasında hastanın pozisyonunun nasıl olması gerektiğini anlatan terimleri bilmelisiniz. Bunlardan sık kullanılanları şunlardır (Resim 4)

Ön-Arka ve Arka-Ön (Antero-Posterior - AP, Postero-Anterior - PA): Bu terimler hastanın x-ışını kaynağı ve filme göre duruşunu belirler. Terimlerdeki ilk sözcük x-ışınının girdiği yeri gösterir. Ön-arka pozisyonda hastanın önü ışına dönüktür; film hastanın arkasındadır. Arka-ön pozisyonda olay tersinedir; yani hastanın önü filme, arkası ışına dönüktür.

Yan (Lateral): Filme yakın olan tarafın adıyla söylenir. Sağ yanda hastanın sağ, sol yanda solu filme yakındır.

Röntgenogramda, obje filme yaklaştıkça daha net (keskin sınırlı) ve gerçek boyutlarına yakın görünür. Bu nedenle iki yönlü göğüs röntgenogramları arka-ön ve sol yan pozisyonda elde edilir. Böylece kalp kendi boyutuna yakın görüntülenir ve daha az akciğer kesimini örter. Lezyonların daha net görülebilmesi için anormal taraf filme yakın gelecek şekilde radyografi istenmelidir.





Resim 4. Radyografik projeksiyonlar A. Göğüs (arka-ön) B. Göğüs (sol yan) C. Göğüs (sağ ön oblik), D. Göğüs (dekübitus: ön-arka, hastanın sağı yukarıda)

Oblik projeksiyonlar vücudun filme yakın parçasına göre isimlendirilir. Sağ anterior oblik pozisyonda hastanın sağ önü, sol anterior oblikte sol önü filme yakındır. Bu projeksiyonların çekiminde özel bir açı belirtilmemişse obliklik derecesi genellikle 45° dir.

Yatar pozisyon (Rekumbent): Bu terim radyografi süresince hastanın yatar durumda olduğunu anlatır. Işın masaya dik gelir. Hasta ya yüzü yukarıya gelecek şekilde *sırtüstü* (*supin*) veya yüzü aşağı gelecek şekilde *yüzüstü* (*pron*) pozisyonudur.

Dekübitus: Bu pozisyonda horizontal (masaya paralel) ışın kullanılır. Hasta yatar durumdadır. Röntgen istek formlarında yukarı gelecek taraf, aşağıdaki örneklerde olduğu gibi açık açık tanımlanmalıdır:

- Horizontal ışınla inceleme, arka-ön (ön-arka), hastanın sağı (solu) yukarıda.
- Horizontal ışınla inceleme, ön-arka (arka-ön), hastanın sağı (solu) yukarıda
- Horizontal ışınla inceleme, hasta yüzüstü (sırtüstü) pozisyonda, sağı (solu) kaseteye yakın.
-

Röntgenin klinikteki yeri

1970’li yıllara kadar radyoloji tümüyle röntgenden ibaretti. Geçen yüzyılın son çeyreğinde yeni tanı yöntemlerinin gelişmesi sonucunda röntgenin klinikteki yeri gerilemiş ve röntgen endikasyonları azalmıştır:

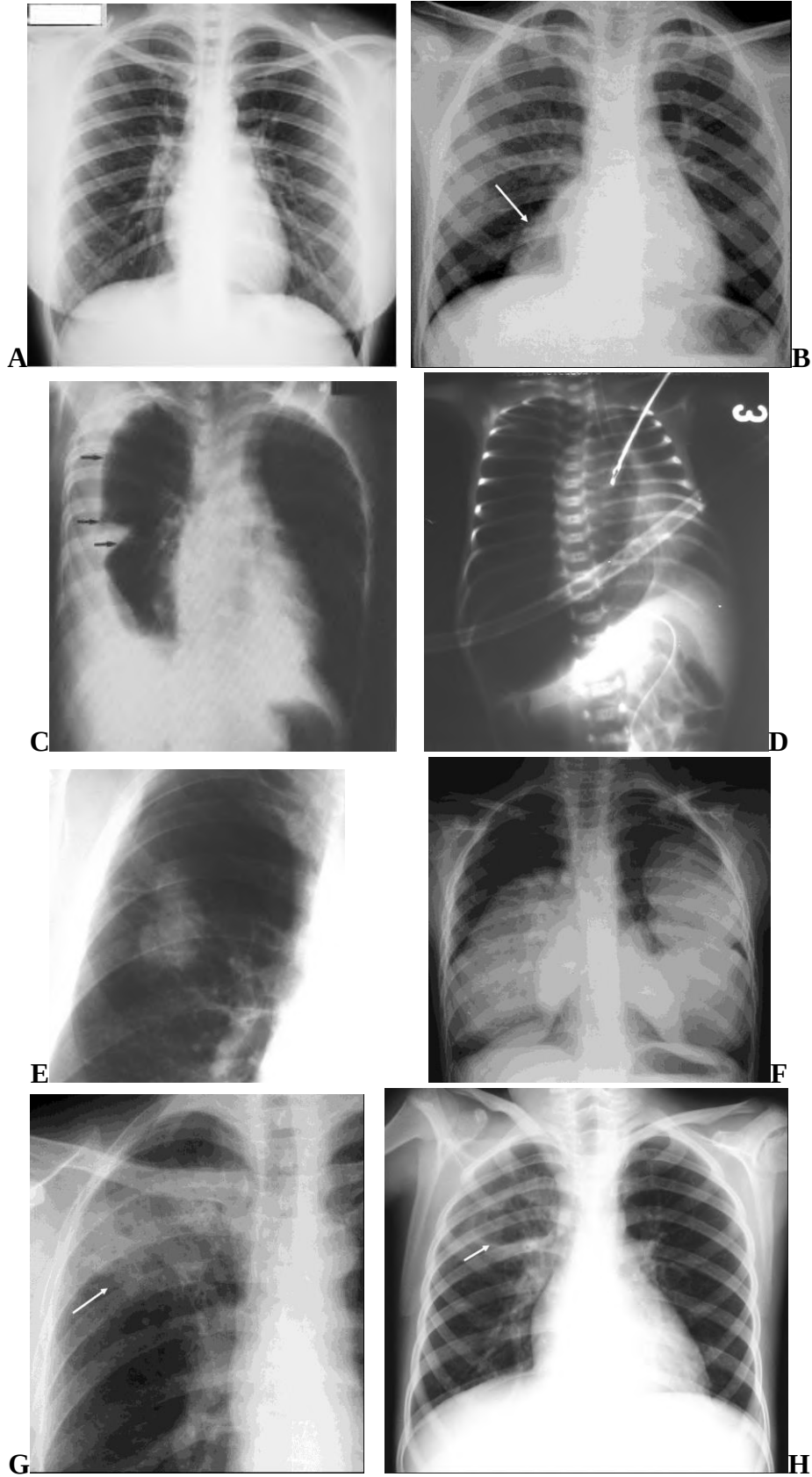
- BT ve MR’nin gelişmesi ile ventrikülografi gibi bir çok invaziv işlem ortadan kalkmış, miyelografi ise yok denecek kadar azalmıştır.
- Eskiden çok önemli tanı yöntemi kabul edilen sindirim borusunun baryumlu incelemeleri, endoskoplardaki gelişmeler nedeniyle, özofagus ve ince barsağı incelemeleri dışında, çok azalmıştır.
- Ultrasonografinin kliniğe girmesi ile biliyer sistem ve obstetrikteki röntgen incelemeleri terkedilmiştir.

Buna rağmen görüntülerinin sağladığı anatomik bütünlük yanında, her yerde bulunması, uygulama basitliği ve ucuz olması gibi nedenlerle hala en çok kullanılan yöntemdir. Röntgenin klinikteki en temel uygulama alanları şunlardır:

Göğüs röntgenogramı

Hava ile dolu akciğerler göğüs röntgenogramında çok iyi görünürler. Solunum sisteminin ilk radyolojik inceleme yöntemidir ve tanı değeri yüksektir. Göğüs röntgenogramı olmadan BT, MR gibi ileri incelemeleri istemek yanlıştır.

Normal bir göğüs röntgenogramında mediastinal yapılar her iki akciğerin ortasındadır. Akciğerler oldukça simetrik yerleşimdedir. Röntgenogramlarda anormal görünümün nedeni anatomisinin bozulması ve/ya radyolojik yoğunlukların değişmesidir (Resim 5).

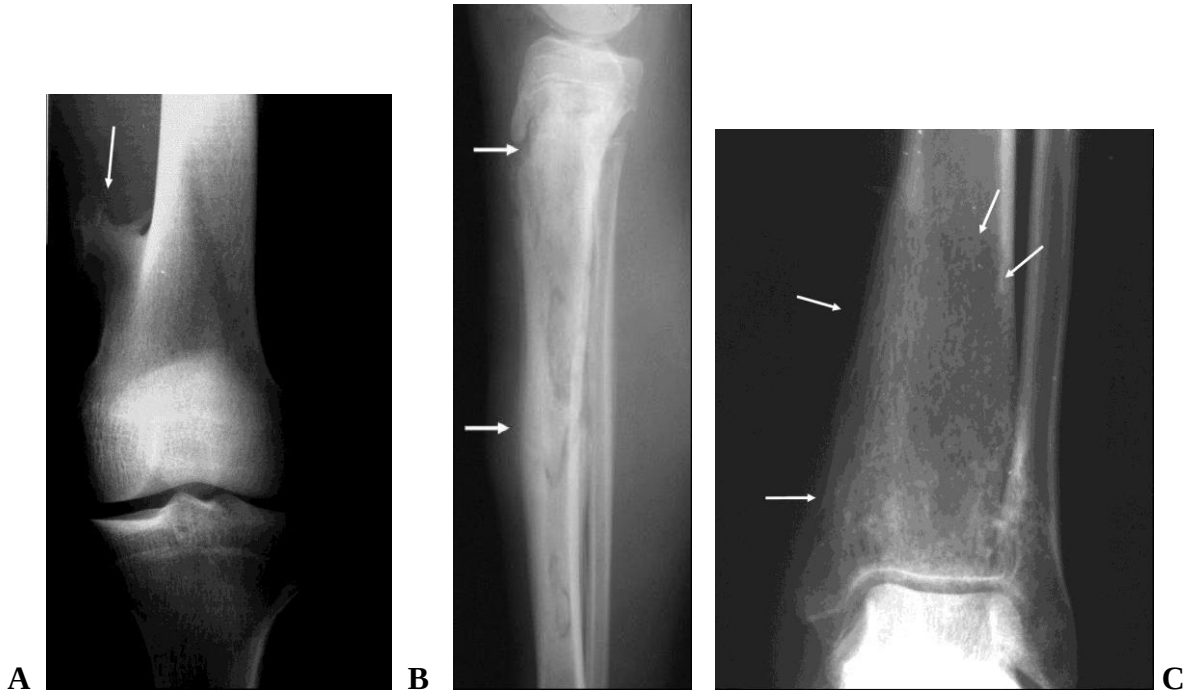


Resim 5. Göğüs (arka-ön) röntgenogramlarında lezyon örnekleri A. Normal. B. Sağ alt lob atelektazisi (ok) C. Sağda plevral sıvı D. Sağda tansiyon pnömotoraks. E. Periferik akciğer kanseri F. Hidatid kistler G. Pnömoni (ok) H. Kavite (TB) (ok)

İskelet röntgenogramları

Geniş bir vücut bölümünü anatomik bütünlük içerisinde göstermesi ve kemiklerin kontrastla çevrili olması nedeniyle röntgen, kemik lezyonlarının tanısında en değerli inceleme yöntemidir. BT ve MR kesitlerinin tanıda röntgenogramlara ekleyecekleri fazla bir şey yoktur.

Röntgende osteokondrom gibi tipik görünümü olan bazı kemik lezyonlarına kesin tanı konabilir. Bununla birlikte osteomyelit ya da romatoid artrit gibi bir çok lezyonda tanı klinik verilerin yardımıyla konur. Bir bölümünde ise kesin tanı için biyopsi gerekir (Resim 6).



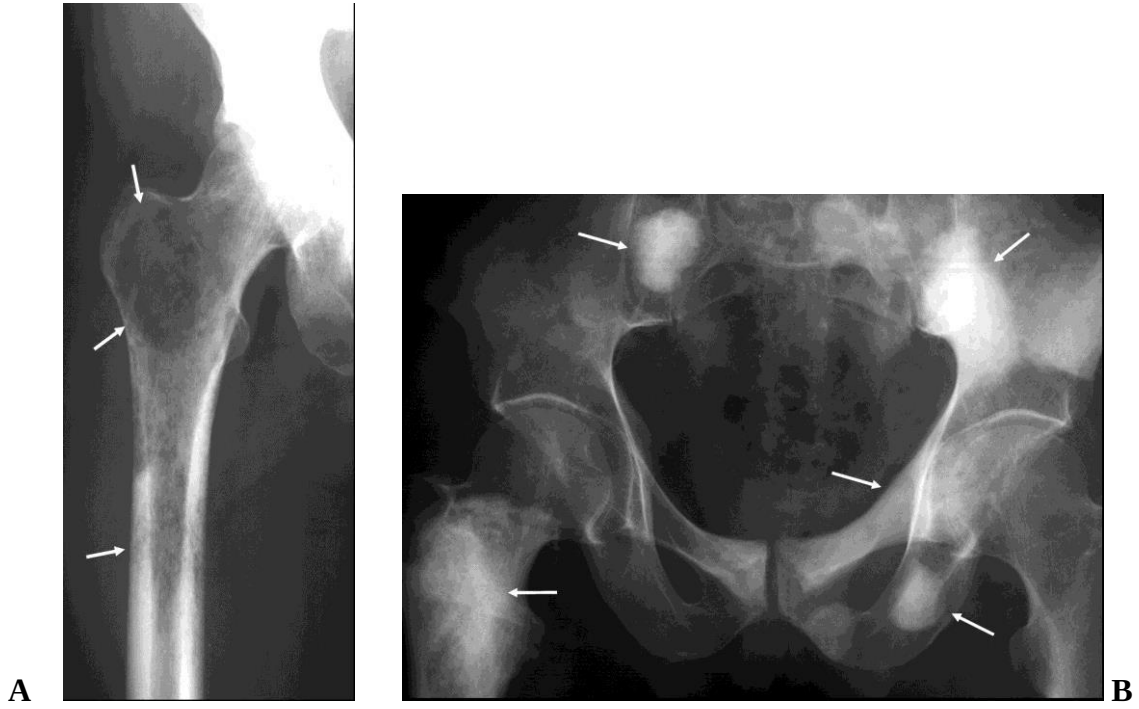
Resim 6. A. Osteokondromu (ok) B. Osteomyelit (oklar) C. Fibrosarkom (oklar)

Kemik lezyonlarının büyük çoğunluğu, kemik yapısının ortadan kalktığı radyolüsent alanlar şeklindedir. Böyle bir lezyonla karşılaştığında hekimin görevi, bunun benign ya da malign olduğuna karar vermektir. Benign lezyonlar yavaş büyüdüklerinden kemiğin lezyonu sınırlaması daha başarılıdır ve genellikle dar, yoğun (dens) bir kemik kenarla çevrelenmişlerdir. Röntgende beyaz görülen ve *sklerotik kenar* adını verdiğimiz bu görünüm önemli bir benignite ölçüsüdür. Malign lezyonlarda ise büyüme hızlı olduğundan kemik, lezyonu sınırlamakta zorlanır; anormal bölgeden normal kemiğe geçiş (kenar bölgesi, *geçiş zonu*) geniştir ve sklerotik kenar yoktur (Resim 7).



Resim 7. A. Benign lezyon. Sklerotik kenar (oklar) B. Malign lezyon geniş geçiş zonu (oklar)

İskelet vücutta akciğer ve karaciğerle birlikte en çok metastaz alan yerdir. Metastazların büyük çoğunluğu tipik malign özelliği gösteren litik (radyolüsent) lezyonlardır. Prostat kanseri metastazı gibi çok az bir bölümü ise yeni kemik yapımını sitümüle eder ve sklerotik (radyopak) görülür (Resim 8).

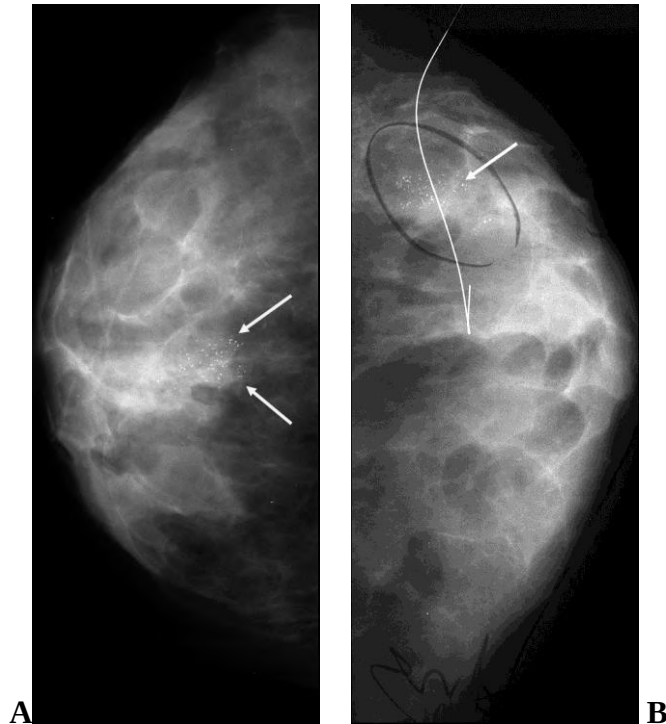


Resim 8. Kemik metastazları A. Meme kanserinin litik metastazları (oklar) B. Prostat kanserinde sklerotik metastazlar (oklar)

Mamografi

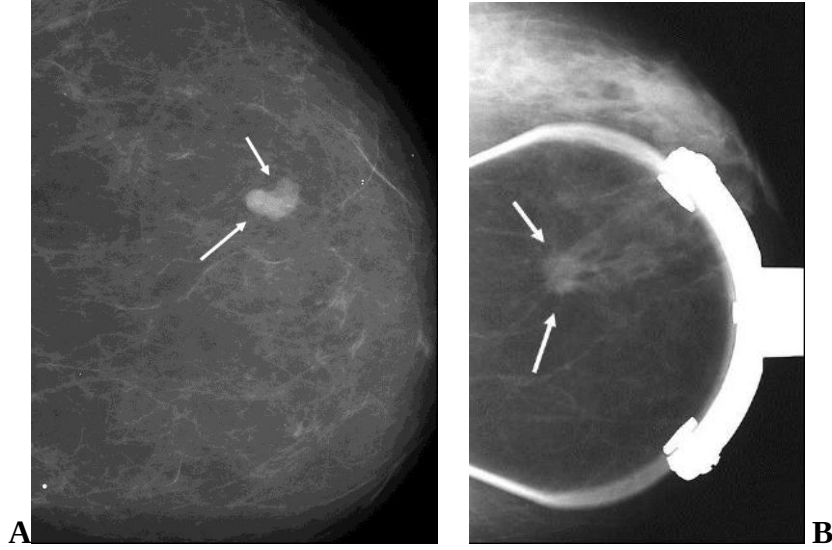
Meme kanseri taramasında temel yöntemdir. Günümüzde meme kanseri tarama merkezleri, mamografi ve ona bağlı gelişmiş biyopsi cihazlarından oluşmaktadır.

Mamografinin temel kullanım alanı **kanser taraması**dır ("screening"). Kanser taramasında amaç kanseri insitu denilen erken fazda yakalamaktır. Bu evredeki kanserin tek bulgusu malign özellikler taşıyan mikrokalsifikasyonlardır. Böyle bir lezyon saptandığında lezyonun çıkarılabilmesi için yerinin işaretlenmesi gerekir. İşaretleme, mikrokalsifikasyon alanının dışarıdan sokulan bir iğne ile belirlenmesidir ve mamografi kontrolü ile yapılır (Resim 9). İğnenin ucu ile işaretlenmiş doku, lumpektomi adı verilen operasyonla çıkarılır. Günümüzde bu işlem, meme kanseri tarama merkezlerinde geliştirilmiş stereotaktik biyopsi cihazları ile radyologlar tarafından yapılmaktadır.



Resim 9. A. Memede mikrokalsifikasyonlar (oklar) B. Mikrokalsifikasyon bölgesinin iğne ile işaretlenmesi (oklar).

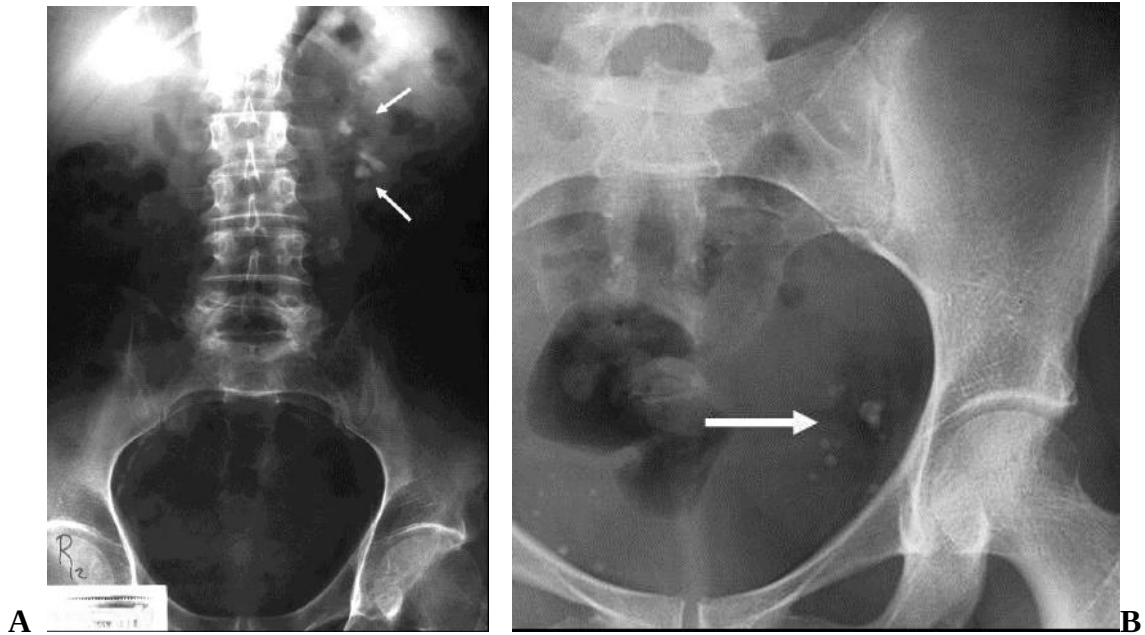
Mamografinin diğer kullanımı **tanısal amaçlıdır**. Genellikle ele gelen kitle yakınması ile başvuran hastalarda lezyonun benign ya da malign olup olmadığına karar verilmeye çalışılır. Bu konuda en önemli ölçüt lezyonun kenarıdır; genellikle düzgün kontur benigniteye, tırtıklı (spiküler) kenar ise maligniteye işaret eder (Resim 10).



Resim 10. Memede A. Benign (oklar) ve B. Malign karakterde lezyon (oklar).

Karın röntgenogramı

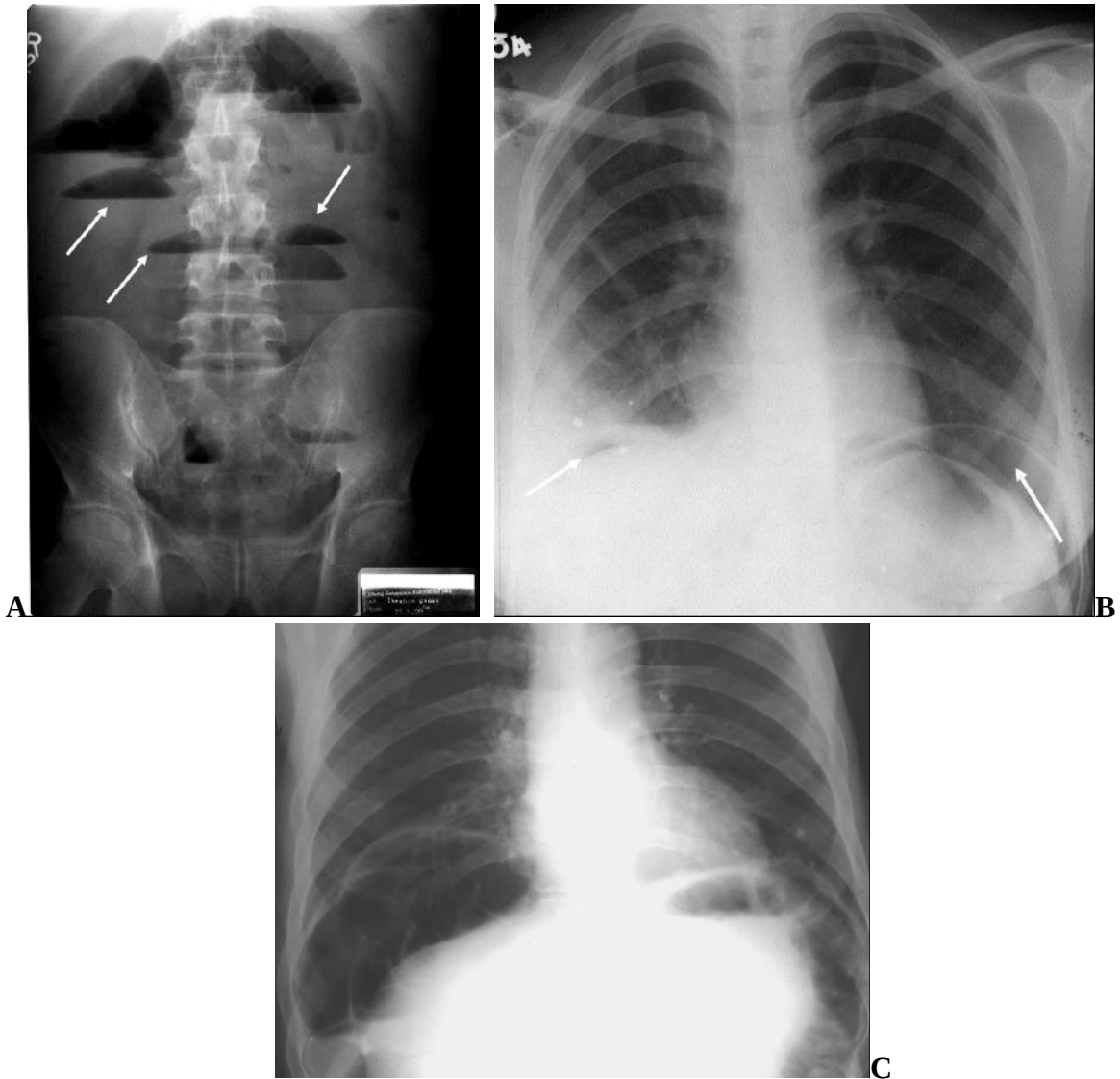
Temel endikasyonu üriner sistem taşı araştırmaktır. Üriner sistem taşlarının büyük çoğunluğu radyopaktır. Küçük taşlar bağırsak içeriği tarafından örtülebilir. Bu nedenle radyografi müşhil verilerek bağırsaklar boşaltıldıktan sonra yapılmalıdır. Böbrek taşlarını tanımak kolaydır. Üreter trasesindeki *pirinç* şeklindeki opasiteler üreter taşlarını düşündürmelidir. Anatomik pelviste üreter taşlarıyla en çok karışan pelvik venlere ait flebolitler (ven kalsifikasyonları), ortası radyolusent yuvarlak görünümüleri ile üreter taşlarından ayrılabilir (Resim 11).



Resim 11. A. Böbrek taşları (oklar) B. Flebolitler (ok)

Karın röntgenogramının diğer bir endikasyonu bağırsak tıkanmasıdır. Bağırsak pasajının engellenmesi sonucu sıvı ve gaz içerik, tıkanmanın üst kesiminde birikir. Karın röntgenogramının amacı bu birikimi göstermektir. Bunun için inceleme **ayakta**, ayağa kalkamayacak durumdaki hastalarda ise **dekübitus** pozisyonlarında yapılmalıdır. Röntgenogramlarda tıkanmanın üst kesimindeki karın bölgelerinde, sıvı seviyeleri görülür.

Ayakta ya da dekübitus pozisyonlarda çekilecek karın röntgenogramlarının diğer bir endikasyonu sindirim borusu perforasyonlarıdır. Örneğin, duodenal ülser perforasyonunda ayakta çekilen karın röntgenogramında diyafragma altında serbest hava görülür. Perfore hastalar nefeslerini tutamazlar. Karın röntgenogramı için verilen süre ise göreceli olarak uzundur. Hastalar bu sürede nefeslerini tutamayabilirler ve hareket nedeniyle diyafragma altındaki serbest hava görünümünü silinebilir. Bu nedenle diyafragma altında serbest hava araştırılırken, yaygın kanının aksine, ayakta düz karın röntgenogramı değil, çok daha kısa sürede çekildiği için **diyafragma altı görülecek şekilde göğüs röntgenogramı** istenmelidir. Diyafragma altındaki serbest havayı solda mide fundus gazı ve kolonun splenik fleksurası, sağda ise bazen görülen hepatik fleksuranın hepato-diyafragmatik interpozisyonları ile karıştırmamak gerekir. Kolonlar haustral yapıları ve duvarları ile tanınırlar (Resim 12).

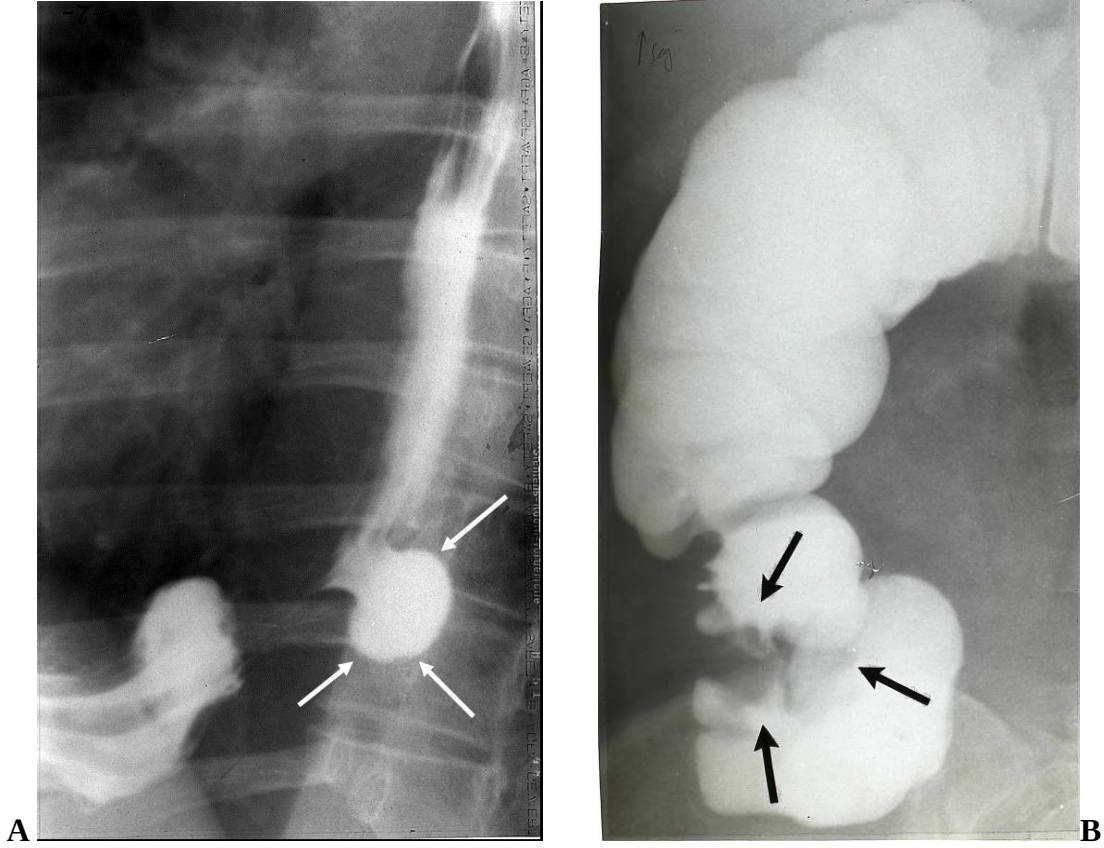


Resim 12. A. Ayakta karın. İleusta hava-sıvı seviyeleri (oklar) B. Diyafragma altında serbest hava (oklar) C. Diyafragma altlarında gazla genişlemiş kolon segmentleri

Sindirim borusunun baryumlu incelemeleri

Röntgenin yumuşak doku yoğunluklarını birbirinden ayıramaması nedeniyle sindirim borusunu röntgenolojik olarak gösterebilmek için kontrast madde kullanmak gerekir. Verilen baryum süspansiyonu ile lümen doldurulur. Normalde lümenin kenarı düzgün olmalı ve pasajı sağlayabilmek için peristaltizm

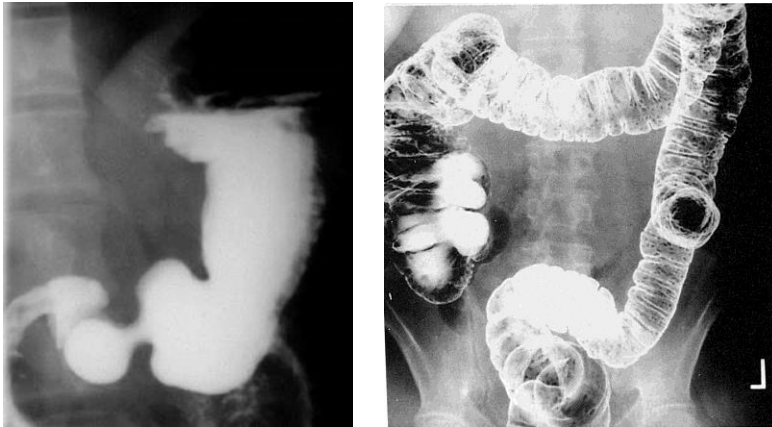
göstermelidir. Kenarda görülebilecek anormallikler ya divertiküllerde veya ülserlerde gördüğümüz gibi konturun dışı doğru keselenmesi (*dolma fazlalığı*) ya da tümörlerin yaptığı kitle etkisine bağlı duvar düzensizliği ve *dolum defektidir* (Resim 13). Duvarın tümöral infiltrasyonu, *rijidite* olarak tanımlanan ve en iyi fluoroskopik olarak gözlenen peristaltizm kaybına neden olur.

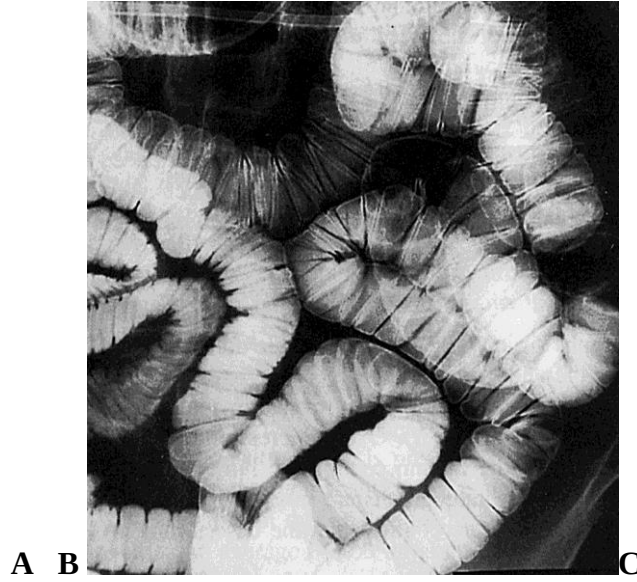


Resim 13. A. Dolma fazlalığı (oklar): özofagus divertikülü B. Dolma defekti (oklar): çekumda tümöral kitle.

Sindirim borusu kanserleri kenarda değişiklik yapmayacak kadar erken dönemde, önce mukozal değişiklikler yapar. Hastalığı bu evrede yakalayabilmek için mukozal yapının gösterilmesi gerekir. Bu amaçla mukozayı sıvayan özel baryum süspansiyonları ile birlikte lümeni hava ile gererek mukozayı çok iyi gösteren bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemle, kullanılan havadan dolayı **çift kontrast** sindirim borusu incelemeleri adı verilir. Bu yöntemle mide kanserinin erken evresindeki mukozal değişiklikler ve küçük kolon polipleri gösterilebilir .

Gelişmiş endoskoplar sayesinde sindirim borusu artık, radyolojik yöntemlerin dolaylı görüntüleri ile değil optik düzenekler aracılığıyla doğrudan incelenebilmektedir. Bunun bir istisnası ince bağırsaklardır. İnce bağırsakları henüz kullandığımız endoskoplarla incelemek mümkün değildir. **Enteroklizis** adı verilen ve ağızdan ince bağırsağa ilerletilen bir tüpten baryum süspansiyonu verilerek yapılan çalışmalar tanı değeri yüksek radyolojik incelemelerdir (Resim 14).





Resim 14. A. Normal mide B. Çift kontrast kolon röntgenogramı : Tüm kolon segmentlerinde çok sayıda polip görünümü (familyal polipozis) C. Normal enteroklizis

Üriner sistemin kontrastlı incelemeleri

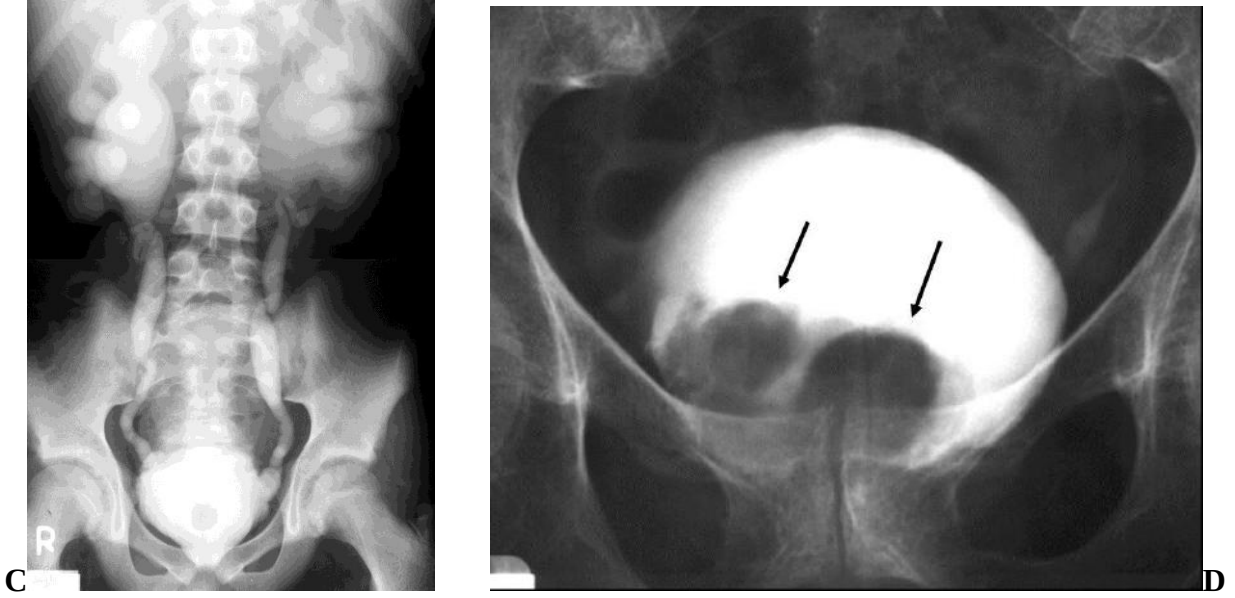
İki temel yöntemi vardır: İntravenöz piyelografi (İVP) veya İntravenöz ürografi (İVÜ) de denilen ekskretuar ürografi (EÜ) ve voiding (miksiyon) sistoüretrografisi (VSÜG).

Ekskretuar ürografi (EÜ): Venöz yoldan verilen iyotlu kontrast maddelerin glomerüllerden süzülmesi temeline dayalı bir yöntemdir. Ana amaç toplayıcı sistemi göstermektir. Ancak kontrast maddenin glomerüllerde olduğu erken fazda radyografi yapılırsa böbrek parankimi gösterilebilir (nefrogram). Nefrogramda parankim kontrastla görülür hale geldiği için böbrekteki kontur değişiklikleri çok iyi görülebileceği gibi, kist gibi böbrek dokusunun olmadığı kesimler de kontrast tutmayan alanlar şeklinde görülür. Nefrogramla elde edilmeye çalışılan parankime ait bu bilgiler, günümüzde ultrasonografi ile kolayca elde edilebilir. Bu nedenle EÜ incelemeleri daha çok toplayıcı sistem üzerine odaklanır.

Kontrastın verilmesinden 5-10 dakika sonra elde edilen karın röntgenogramlarında (ürogram) böbreğin toplayıcı sistemi ve üreterleri gösterilir ve bir miktar kontrast madde mesaneye iner (Resim 15). Kalisiyel yapıların morfolojisi her insanda değişiktir, ancak normalin en önemli ölçütü kalikslerdeki forniks keskinliğidir. Enfeksiyonlarda ve taşla bağlı tıkanmalarda en erken değişiklikler fornikslerde görülür. Tıkanmada en erken bulgu fornikslerin normalde hilalin uçları gibi keskin olan görünümünün kaybolması ve hafifçe genişleyerek küntleşmesidir. Zaman geçip tıkanma ilerledikçe tıkanmanın proksimalindeki tüm toplayıcı sistem genişler. Basınç artımının derecesine ve süresine bağlı olarak böbrek parankimi de incelenebilir (hidronefroz). Daha geç evrede alınan röntgenogramlarda mesane incelenir. Mesane duvarında tümörlerin yaptığı rijidite ya da dolma defekti veya divertiküllere ait dolma fazlalığı görülebilir. Ancak günümüzde mesane US ile çok daha kolay ve detaylı incelenmektedir.



A B

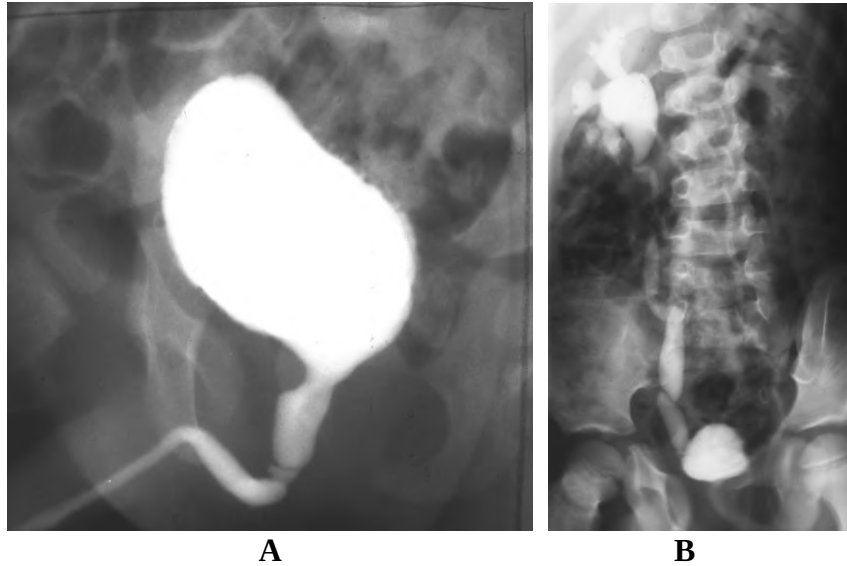


Resim 15. A. Nefrogram fazı: böbrek parankimi hafif kontrast tutmuş B. Normal ürogram C. Her iki tarafta hidronefroz ve hidroüreter D. Mesane tümörüne bağlı dolma defekti (oklar)

EÜ'nün tüm üriner sistemi anatomik bir bütünlük içinde göstermesi ve her iki böbreğin fonksiyonları hakkında kabaca da olsa bir fikir vermesi önemli bir üstünlüğüdür. Ancak US ve BT gibi yöntemlerin detaylı görüntüleri EÜ'nün günümüzdeki endikasyonunu neredeyse, taşa bağlı kolik renalde tıkanmanın seviyesinin ve derecesinin gösterilmesiyle sınırlamıştır.

Voiding (miksiyon) sistoüretrografi (VSUG): Temel endikasyonu çocuklarda vezikoüreteral reflünün (VÜR) araştırılmasıdır. VÜR çocuklarda tekrarlayan üriner enfeksiyonun en sık nedenidir. Erkek çocuklarda görülen posterior üretral valv gibi anomaliler de VSUG ile gösterilir.

Üretradan sokulan bir sonda aracılığı ile işeme hissi duyulana kadar mesane doldurulur. Hastaya işemesi söylenir. İşerken mesane kasılır. Normalde idrarın üreterlere geçmemesi gerekir. Reflü varsa kontrast madde üreterlere geçer. Reflünün derecesi toplayıcı sistemdeki dilatasyonun derecesi ile artar (Resim 16).

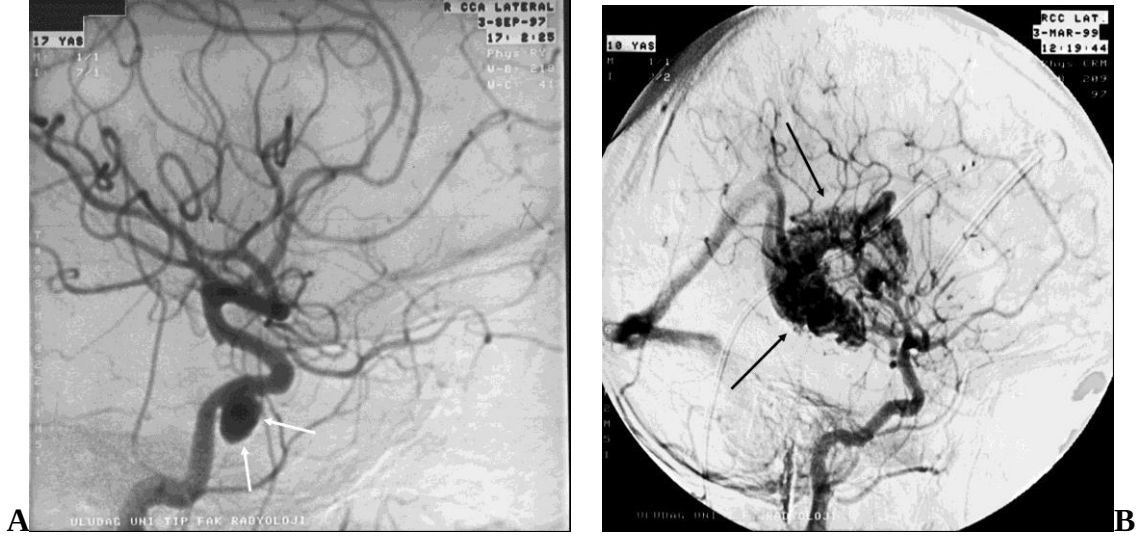


Resim 16. VSUG, A. Posterior üretral vals (oklar) B. Greyd IV veziko-üreteral reflü

Anjiyografi

Temel endikasyonu anevrizma ve atreriyovenöz malformasyon gibi vasküler anormalliklerdir (Resim 17). Bu damar anormallikleri girişimsel radyolojik yöntemlerle tedavi edilir. Bu yüzden anjiyografi

daha çok girişimsel radyolojinin temel klavuz yöntemi konumundadır. Günümüzdeki anjiyografi ünitelerinde, subtraksiyon yapan gelişmiş dijital teknolojiler kullanılır.



Resim 17. Dijital subtraksiyon anjiyografisi A. Internal karotid arterde anevrizma (oklar) B. Orta serebral arterden beslenen anterio-venöz malformasyon (oklar)

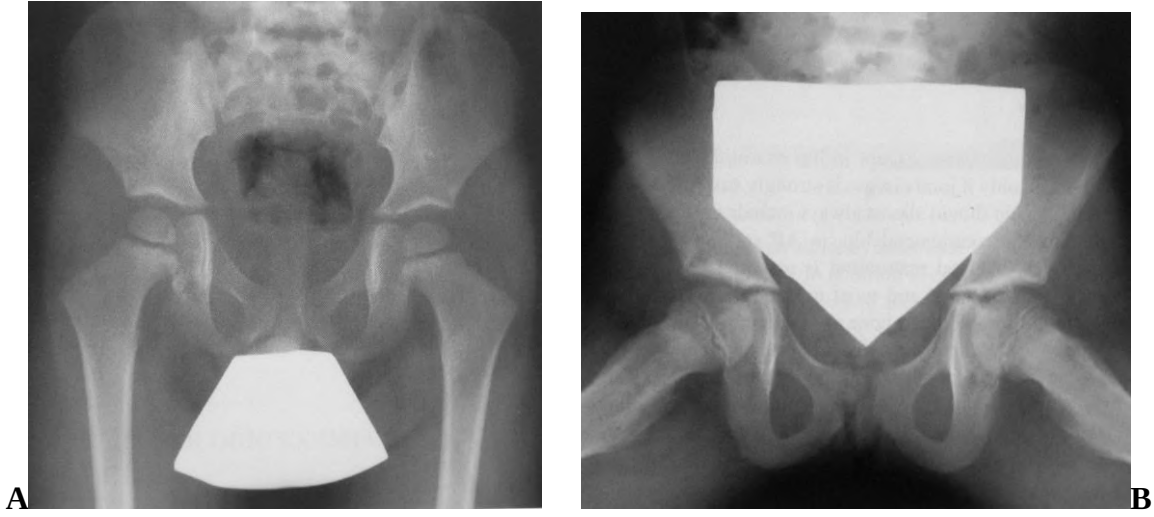
Röntgenin zararlı etkileri ve korunma

İyonizan ışınların biyolojik etkileri geçtikleri dokuda iyon çiftleri oluşturmalarına bağlıdır. Bu etkiler belirleyici (deterministik) ve raslantısal (stokastik) olarak ikiye ayrılır. Deterministik etki hücre ölümüne bağlıdır. Deri hasarı, katarakt ve fetusta teratojenik bozukluklar deterministik etki örnekleridir. Radyasyonun deterministik etkilerinin ortaya çıkması için her dokuya özgü belli bir eşik değer vardır ve radyasyon dozu arttıkça zararlı etki de artar. Buna karşılık rastlantısal etkide bir eşik değer yoktur; etkinin şiddeti değil, olasılığı dozla artar. Genetik etki ve kanser oluşturma riski stokastik etki örnekleridir.

Fluoroskopi klavuzluğunda yapılan çok uzun süren girişimsel işlemler dışında, deterministik etki görülmez. Diyagnostik radyoloji pratiğinde x-ışınının rastlantısal etkileri söz konusudur. Rastlantısal etkide DNA kritik hedefi oluşturur. İyonizasyonun DNA zincirinde yapacağı değişiklik genetik mutasyona neden olabilir. Bu nedenle gonadların korunması büyük önem taşır.

Gonadlar ve genel olarak büyüme periyodundaki yapılar, iyonizan ışınlardan daha çok zarar görürler. Bu nedenle gonadlar, fetus (özellikle hücrelerin çok hızlı çoğaldığı ve organların ortaya çıktığı I. trimestr) ve büyüyen bir organizma olan çocuklar, öncelikli olarak korunmalıdırlar. Tanısal radyolojide iyonizan ışınlardan korunma kuralları şu şekilde özetlenebilir:

- Temel kural gereksiz radyolojik tetkikin istenmemesidir. İyonizan ışınının yararı olası zararından daha fazla olmalıdır. US ve MR gibi iyonizan ışın kullanmayan yöntemlerin kliniğe girmesi ve hastalıkların fizyopatolojilerinin daha iyi anlaşılması ile eskiden sık kullanılan bazı röntgen tanı yöntemleri terk edilmektedir. Aşağıdaki durumlarda radyolojik inceleme endikasyonu yoktur:
 - Lokalize sinüs septomu olmadığı halde ateş etyolojisi araştırmak için paranazal sinüs radyografisi
 - Lokalize bulgu veya semptomu olmadıkça kafa travmasında kraniyum radyografisi
 - Özel bir endikasyon olmadıkça preoperatif akciğer radyografisi
 - Özel bir endikasyon olmadıkça hipertansiyonun değerlendirilmesinde ekskretuar ürografi
 - Pnömonide konsolidasyonun temizlendiğini araştırmak amacıyla 10 günden önce akciğer radyografisi
- Radyografi ya da fluoroskopide vücudun neresi incelenirse incelen sin gonadlar az ya da çok ışın alırlar. Bu nedenle çocuklar ve üreme çağındaki yetişkinlerde gonadlar ışın geçirmez kurşunlu örtülerle korunmalıdır (Resim 18).



Resim 18. Erkek (A) ve kız (B) çocukta gonad koruması

- Hamilelik döneminde özellikle ilk 3 ayda anneye iyonizan ışınla inceleme yapılmamalıdır. İlk 3 aydan sonra çok zorunlu hallerde, karın bölgesi radyoloji çalışanlarının kullandığı kurşun önlükle örtülerek, örneğin bir göğüs röntgenogramı alınabilir.
- Çocuklarda mümkün olan her durumda iyonizan ışın kullanan röntgen ve BT yerine US ve MR gibi yöntemler tercih edilmelidir.

Işın alma konusunda en duyarlı hasta grubu hamilelerdir. Hamileliğin farkında olmayan ya da x-ışınının zararlı etkilerini bilmeyen anneler, röntgen incelemesinden sonra bebeklerinin sakat doğabileceği endişesine kapılmakta ve bir bölümü küretajla hamileliklerini sonlandırmak istemektedirler. Hamileliğinde karınları diyagnostik amaçlı ışın alan kadınların çocuklarında, ışın almayanlarla karşılaştırıldığında lösemi insidansının yüksekliğini gösteren çalışmalar vardır. Ancak şimdiye kadar insanda doğrudan x-ışının etkisine bağlanabilecek fetal bir anomali gösterilmemiştir.

Diyagnostik amaçlı radyolojik incelemelerde alınan ışın dozu nadiren gebeliğin sonlandırılmasını düşündürecek kadar yüksek olabilir. Genelde hamileliğin sonlandırılması, fetusun aldığı dozun 10 rad (100 mGy)' ı aştığı durumlarda gündeme gelmektedir. Bir ekskretuar ürografide alınan ışın dozu 8 mGy, en fazla ışın alınan radyolojik tetkik olan kolon grafisinde 35 mGy olduğu göz önüne alınırsa hamileliğin sonlandırılmasının, üst üste 3 kolon tetkiki yapılacak kadar ışın alındığı durumlarda söz konusu olacağı anlaşılır. Uygulamada böyle bir durumla karşılaşma olasılığı yok denecek kadar azdır. Bununla birlikte küretajın yasal olması nedeniyle, x-ışını ile ilgili bilgiler anneye aktarılmalı ve karar anneye bırakılmalıdır.

MERAKLISI İÇİN NOTLAR!

- **X-ışınının radyolojik tanıda kullanılmasını sağlayan özellikleri nelerdir?**

X-ışınları, röntgen tüpü denilen özel aygıtlarda yüksek gerilimli elektrik enerjisi ile üretilir. Gerilim ne kadar yüksekse elde edilen X-ışınının dalga boyu o kadar kısa, dolayısıyla enerjisi de o kadar yüksek olur. X-ışının dalga boyu kısalıp enerjisi arttıkça dokuyu geçme yani penetrasyon yeteneği de aynı ölçüde artar.

X-ışınlarının radyolojik tanıda kullanılmalarını sağlayan özellikleri şunlardır:

- **Penetrasyon:** Maddeyi geçme özelliğidir. Aynı aileden gün ışığı, enerjisi düşük olduğu için penetre olamazken, X-ışını enerjisi yüksek olduğu için dokuları geçerek röntgen filmine ulaşır.
- **Fotoğrafik etki:** X-ışınları, fotoğraf plağını aynı ışık gibi etkileyip görüntü oluşturur. Bu olayın esası fotonların, fotoğraf plağı ya da röntgen filmi üzerine sürülmüş gümüş bromür (AgBr) moleküllerinin bağlarını gevşetmesidir. Bu özellik sayesinde radyografi yapılır.
- **Fluoresans etki:** Bazı kimyasal maddeler, üzerlerine X-ışını düştüğünde floresan ışık yayarlar. X-ışınının bu özelliğinden yararlanarak fluoroskopi yapılır. Fluoroskopi, floresans ekranlar (X-ışını düştüğünde floresans ışık yayan maddelerle kaplanmış levhalar) aracılığıyla vücudun canlı olarak görüntülenmesidir. Fluoresans özellikten radyografide, X-ışınlarının fotoğrafik etkisini

arttıran ranforsatörlerde yararlanılır. (Ranforsatör: röntgen kasetlerinde, röntgen filminin her iki tarafına yerleştirilen, yüzeyine x-ışınını floresan ışığa çeviren kristal tabakası sürülmüş levhalar)

• X-ışınları vücudu nasıl geçer? (penetrasyon)

Röntgen tüpünden çıkan X-ışınları vücudu geçerken bazı bölgelerde daha çok tutulur. Yani bazı vücut yapıları X-ışınlarını diğer kesimlere göre daha az geçirir. Bu tutulum X-ışınları fotonlarının dokuyu geçerken karşılaştıkları elektron sayısı ile doğru orantılıdır. X-ışının yolu üzerindeki elektron sayısını belirleyen ölçütler şunlardır:

- Dokuyu oluşturan maddelerin atom numaraları: Atom numarası çekirdekdeki proton sayısına, dolayısıyla elektron sayısına eşittir. Atom numarası arttıkça elektron sayısı artar. Atom numarası yüksek metaller X-ışınını en çok tutan maddelerdir.
- Dokunun yoğunluğu (katı, sıvı, gaz): Atomlar arasındaki mesafe gazlarda çok fazladır, dolayısıyla elektron yoğunluğu çok düşüktür. Katılar gazlardan daha fazla X-ışını tutarlar.
- Dokunun kalınlığı: Kalın dokulardan geçen X-ışını fotonlarının karşılaşacağı elektron sayısı da artar. Elektron yoğunluğu aynı olan iki yapıdan kalın olanı daha çok X-ışını tutar.

Özetleyelim: Bir yapının kalınlığı ne kadar fazla ve içerdiği maddelerin yoğunlukları ve atom numaraları ne kadar yüksekse, X-ışınlarını o kadar fazla tutar.

• Röntgen filmi üzerinde görüntü nasıl oluşuyor? (fotoğrafik etki)

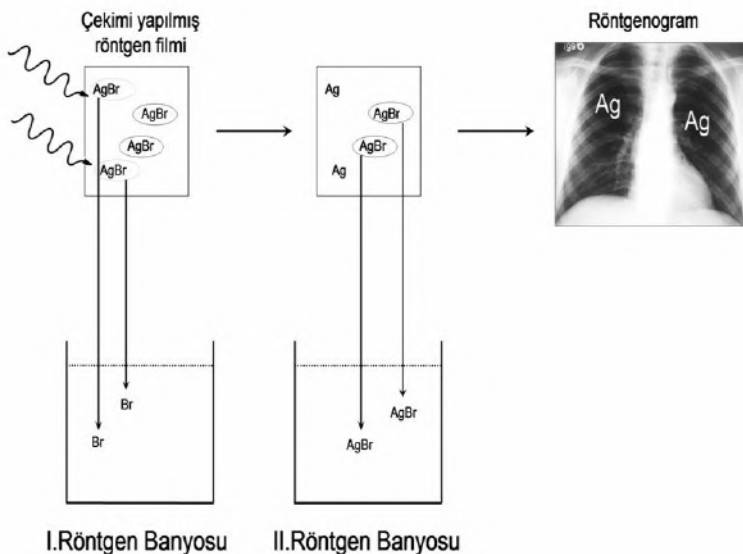
Röntgen görüntüsü, X-ışınının dokulardaki tutulum farklılıklarının bir röntgen filminde gösterilmesinden ibarettir.

Röntgen filmi şeffaf plastik bir yapraktır. Üzerinde, her tarafa eşit bir şekilde dağıtılmış AgBr molekülleri vardır. Bu film, aynı fotoğraf filmi gibi ışığa ve X-ışınlarına karşı duyarlıdır. Bu nedenle kaset dediğimiz ışık geçirmez gereçler içinde taşınır.

Röntgen filmi üzerinde görüntünün oluşumunu şu şekilde özetleyebiliriz:

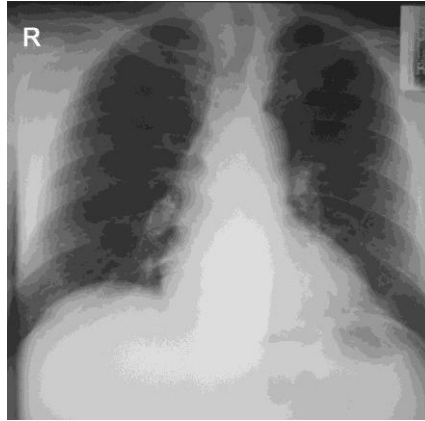
- Röntgen filmi üzerine farklı oranlarda düşen X-ışınları karşılaştıkları AgBr moleküllerindeki bağları gevşetir, diğer moleküllerde bir değişiklik olmaz.
- X-ışınları ile karşılaşan bu röntgen filmi, bağları gevşemiş moleküllerdeki bromu gümüşten ayırıp alacak bir kimyasal solüsyon içine sokulur. Brom sıvıya geçer, gümüş film üzerinde kalır ve okside olur (I. Röntgen Banyosu)
- X-ışını düşmemiş AgBr moleküllerinin bir işlevi yoktur; başka bir kimyasal solüsyonla film üzerinden alınır (II. Röntgen Banyosu) (Şekil 5).

Bir röntgenogram üzerindeki görüntüyü oluşturan işte bu tek başına kalan gümüş atomlarıdır. Röntgenogram, röntgen filminin şeffaf plastik tabanı üzerinde okside gümüş atomlarının siyahlığı ile oluşturulur. Röntgenogram üzerindeki siyah yerler X-ışınını göreceli olarak az tutan yani çok geçirgen, beyaz yerler ise tersine çok tutan, az geçirgen bölgelerin karşılığıdır.



Şekil 5. Çekimi yapılmış bir röntgen filmi üzerinde görüntünün açığa çıkarılma

- **Röntgenogramdaki gri tonların anlamı nedir?**



Resim 19. Arka-ön göğüs röntgenogramı.

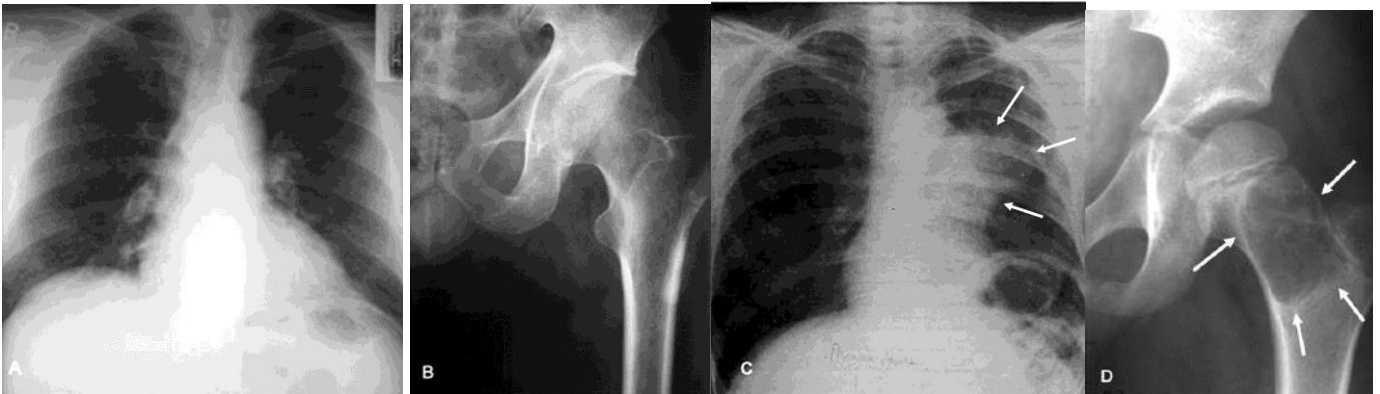
Bu konuyu örnekler üzerinde açıklamaya çalışalım. Resim 19'daki göğüs röntgenogramında en beyaz bölgeler kalp ve sağ diyafragma altı bölgesi, yani karaciğerdir. Aynı ölçüde olmamakla birlikte kostalar ve skapula da beyaza yakın tonlarda. Açık gri bölgelerin, X-ışınlarını koyu kesimlerden daha çok tuttuğunu biliyoruz. X-ışınlarının penetrasyon kurallarına göre, bu bölgelerin ya atom numaralarının ya da kalınlık ve/ya yoğunluklarının daha fazla olması gerekir.

Vücudumuzdaki yumuşak dokuların büyük bölümü sudur. Bu dokular hidrojen ve oksijen, karbon, azot ve bazı nadir elementlerden oluşur ve ortalama atom numarası yüksek değildir. Kemik ise kalsiyum fosfat (CaPO_4) kristallerinden oluşur. Kalsiyumun atom numarası yumuşak dokulara göre oldukça yüksektir. Öyleyse kostaların ince olmalarına rağmen açık tonda oluşlarını, yani fazla X-ışını tutmalarını, kalsiyumun atom numarasının yani elektron sayısının yumuşak dokulardakinden yüksek olmasına bağlayabiliriz. Buna karşılık akciğerler, içi hava dolu olduğu yani yoğunluğu düşük olduğu için, aynı kalınlıkta olan karaciğere göre koyu gri tondadır.

Göğüs röntgenogramımızdaki en beyaz yapı, film üstünde hastanın sağ tarafını işaret eden R (right) harfidir. İncecik bir kurşun plaktan yapılan R harfi karaciğerden de kemiklerden de beyaz görünür. Bunun nedeni, kurşunun atom numarasının, dolayısıyla elektron sayısının çok yüksek olmasıdır. Aynı nedenle radyoloji çalışanlarını X-ışınlarından korumak amacıyla yapılan önlüklerin içine 0.25-0.5 mm kalınlığında kurşun tabakalar yerleştirilir. Röntgen odalarının duvarları ince kurşun levhalarla kaplanır.

Konuyu, öğrendiklerimizi tanıda nasıl kullanabileceğimizi örnekleyerek bitirelim. Resim 20'de 4 resim karesi var. Bunlardan A ve B normal akciğer ve femuru, C ve D ise hasta akciğer ve femuru gösteriyor. Anormal olan bölgeler akciğerde sol hilustaki beyaz alan, femurun boynundaki siyah alandır. Akciğerde normalde hava olması gereken yeri, yoğunluğu yüksek bir doku doldurmuş. Bu yapı sıvı, iltihap ya da tümör hücreleri olabilir. Femurdaki siyah alan içinse tersini söyleyebiliriz. Normalde olması gereken kalsiyum fosfat bu kesimde kaybolmuş, yerini daha az yoğun olan bir dokuya, yani yumuşak dokuya, bırakmış. Bu yumuşak doku da su ya da iltihap hücreleri olabileceği gibi tümör hücreleri de olabilir.

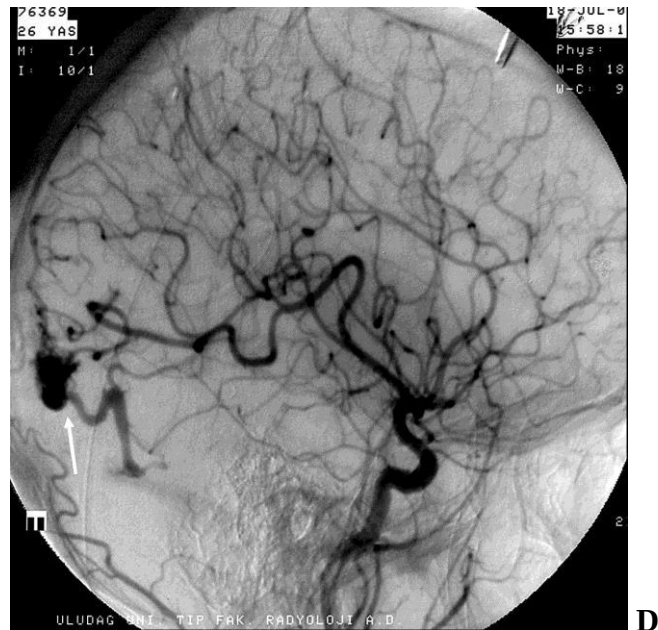
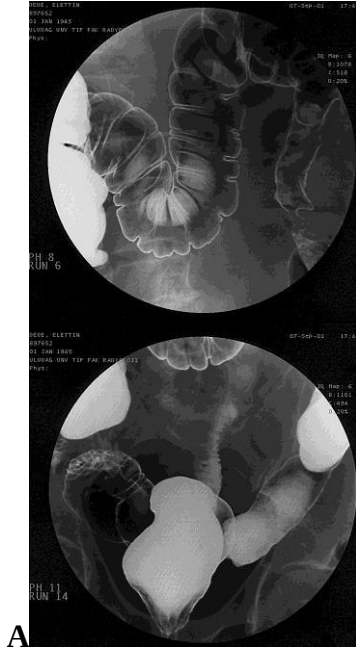
Yukarıdakileri söyleyebiliyorsanız konuyu öğrendiniz demektir. Bir radyoloji uzmanının söyleyebilecekleri de özde bundan daha fazla değildir!



- **Dijital Röntgen nedir?**

Radyografi ve fluoroskopi bilgisayar teknolojisi ile entegre edilerek dijitalize edilebilir. Bunun için hastayı geçen x-ışınları röntgen filmi üzerine değil dijitalize edilebilecek bir düzencek üzerine düşürülür. Bu düzencek, x-ışınlarının miktarını ölçen bir dedektör sistemi olabileceği gibi(**dijital radyografi,dijital fluoroskopi**), lazer ışını ile taranabilecek bir fosfor plağı da olabilir(**komputerize radyografi**). Dijitalizasyon yöntemi ne olursa olsun, sonuçta yapılan iş hastayı geçen x-ışınlarının sayısal olarak ölçülmesi ve görüntünün bu ölçümlerden güçlü bilgisayarlar aracılığı ile oluşturulmasıdır.Dijital röntgenin avantajlarını şu şekilde özetleyebiliriz(Resim 21):

- Kayıt sistemi dijitalize edildiği için görüntü boyutu küçültülebilir, böylece bir film üzerine çok sayıda görüntü basılarak film tasarrufu sağlanır.
- Dijitalize bir görüntüyü istediğimiz gri tonlarda oluşturabiliriz. Örneğin bir ekstremité röntgenogramını, istersek kemikleri, istersek yumuşak dokuyu daha iyi gösterecek şekilde ayarlayabiliriz. Bu özellik konvansiyonel röntgende sıklıkla karşılaşılan teknik yetersizliğe bağlı film tekrarını önler. Böylece hem hastanın gereksiz ışın alması önlenir, hem de filmde tasarruf edilir.



Resim 21. Dijital röntgenin avantajları: A. Görüntüler küçültülebilir B. Görüntülerin istenilen kesimi (solda yumuşak doku sağda kemikler) vurgulanabilir C. Venografi (subtraksiyonsuz), D. Serebral anjiografi (subtraksiyonlu) Oksipital bölgede anterio-venöz malformasyon (ok)

- Dijitalize görüntü bilgisayar bağlantısı olan her yere hızla gönderilebilir. Bu yolla istenilen merkezle konsültasyon yapılabilir.
- Dijitalizasyon arşiv sistemine de çözüm getirmektedir. Hastanemiz gibi poliklinik ve yatak sayısı fazla olan genel amaçlı merkezlerde, film arşivine ne kadar geniş alan ayrılırsa ayrılсын kısa sürede yetersiz kaldığı görülmektedir. Radyolojik incelemelerin CD ve benzeri elektronik ortamlarda saklanabilmesi bu sorunu tümüyle ortadan kaldırmaktadır.
- Dijitalizasyon anjiografide de önemli yararlar sağlar. Dijitalizasyon sayesinde elektronik olarak çıkarma ya da silme (subtraksiyon) yapılarak damarların üstünü örten, (örneğin serebral anjiografide kalvaryum ve yüz kemikleri gibi) vücut yapıları silinebilir. Bu sayede kontrast madde daha az verilebilir ve daha ince kateterler kullanılarak hasta daha az travmatize edilir.

Buna karşılık pahalı olması ve röntgenogramlar elde edilirken verilen x-ışını miktarının filmlerin kararmasına bakarak değerlendirilememesi (hastanın fazla ışın alma olasılığı) yöntemin dezavantajıdır. Yöntemlerin geometrik çözümleme güçleri de pratikte henüz konvansiyonel röntgeninkine ulaşamamıştır.

Dijital röntgende görüntü resim elementi (piksel) denilen küçük karelerden oluşur. Bir dijitalize görüntüyü oluşturan resim elementi (piksel) sayısına, o görüntünün matriks sayısı denir. Matriks sayısı görüntünün birbirine dik iki kenarında bulunan piksel sayılarının çarpımına eşittir ve 1024x1024 ya da 2048x2048 gibi bir çarpım şeklinde belirtilir. Evlerimizdeki televizyonlarda ya da dijital fotoğraf makinelerimizde olduğu gibi, bir sistemin matriks sayısı ne kadar yüksekse görüntünün kalitesi de o kadar iyi olur.

Vücudu geçen dedektörlerin saptadığı x-ışını değerlerinden bilgisayar marifetiyle yapılan hesaplamalarla her piksele bir sayısal değer verilir. Görüntü, bu değerlerin karşılığı olan gri tonlarla piksellerin boyanması sonucu elde edilir. Sayısal değerler değişmez, ancak gri renk cetvelinden seçeceğimiz boyama aralıklarına göre görüntünün tonunu değiştirebiliriz. Bu işlemi, televizyonların parlaklık, kontrast ve renk ayarlarına benzetebiliriz.

BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ (BT)

Bir x-ışını yöntemidir. Vücudu kesitler şeklinde görüntüler (tomografi). Röntgenogramlardaki üst üste düşme (superpozisyon) ortadan kaldırılmıştır. Görüntüleri röntgenden çok daha ayrıntılıdır.

BT, x-ışınının bilgisayar teknolojisi ile birleşmesinin ürünüdür. Bir BT kesiti oluşturabilmek için, kesit düzlemindeki her noktanın x-ışınını zayıflatma değerini bilmek gerekir. Bu değerler, kesit düzleminin çepeçevre her yönünden x-ışını geçirilerek yapılan çok sayıda ölçümün güçlü bilgisayarlarla işlenmesi ile bulunur. Bulunan bu sayısal değerler, karşılığı olan gri tonlarla boyanarak kesit görüntüleri elde edilir.

Yöntemin kullandığı enerji x-ışını olduğu için, görüntülerdeki gri tonların anlamı genel olarak röntgende olduğu gibidir: Koyu gri tonlar, açık tonlara göre x-ışınlarının daha az tutulduğu bölgeleri gösterir.

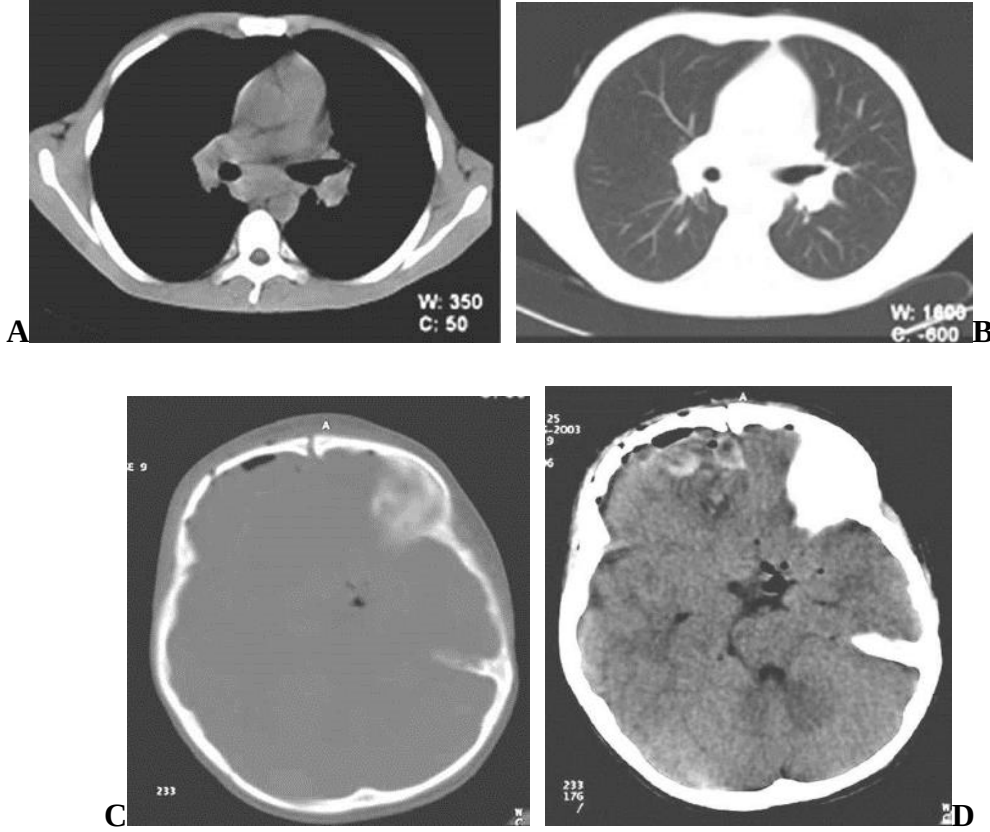
İnceleme Yöntemleri

BT'nin temel kesit düzlemi aksiyaldır. Kesit düzlemini aygıtın geometrisi belirler. Gövde, aygıtta yalnız aksiyal düzlemde kesit alınacak şekilde yerleştirilebilir. Başa pozisyon verilebildiği için, kranyumun koronal kesitleri de alınabilir. BT aygıtı bir giyotin bıçağı gibi düşünülmelidir; kesit düzlemi, vücut parçasının bıçağın altına yerleştiriliş şekline bağlıdır (Resim 22).



BT görüntüleri tümüyle dijitaldir ve sayısal verilerden oluşur. Bu özelliği nedeniyle, görüntüler işlenebilir, istenilen bölgelerin yoğunlukları ölçülebilir ve bilgisayar teknolojisinin tüm olanaklarından yararlanılarak değişik düzlemlerde ya da üç boyutlu görüntüler elde edilebilir.

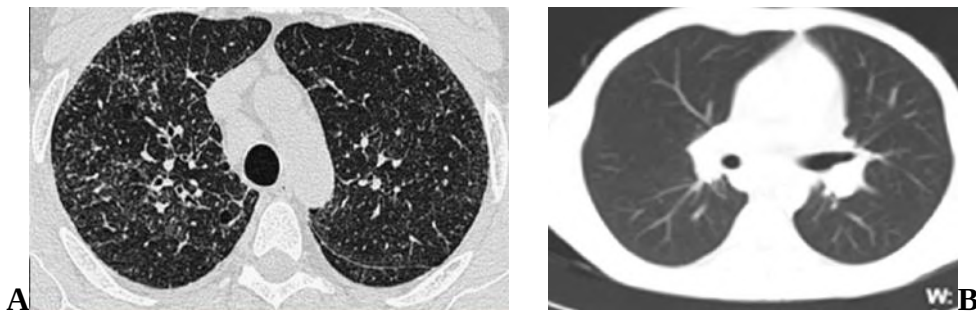
BT kesitlerindeki sayısal değerlerin karşılığı olan gri tonlama, gözümüzün ayırabileceğinden çok daha küçük farklılıkları içerir. Gri tonlamayı yöntemin hesaplayacağı tüm sayıları kapsayacak şekilde yaptığımızda, bir çok dokunun sayısal farklılığı gözümüzün fark edebileceği sınırlı sayıdaki gri ton içerisinde kaybolur. Gri tonlama sadece ilgilenilen alanın sayısal değerleri ile sınırlandırılırsa daha ayrıntılı görüntüler elde edilir. **Pencerelleme** adı verilen bu yöntemle bir toraks incelemesinde hem akciğer parankimi hem mediasten ayrıntılı olarak ayrı ayrı resimlenebilir. Kafa travmasında da beyin dokusu ve kemik yapı farklı pencerelerde resimlenerek her iki kesimdeki lezyonlar ayrıntılı olarak saptanabilir (Resim 23).



Resim 23. A. Mediasten penceresi B. Parenkim penceresi C. Kemik penceresi D. Yumuşak doku penceresi

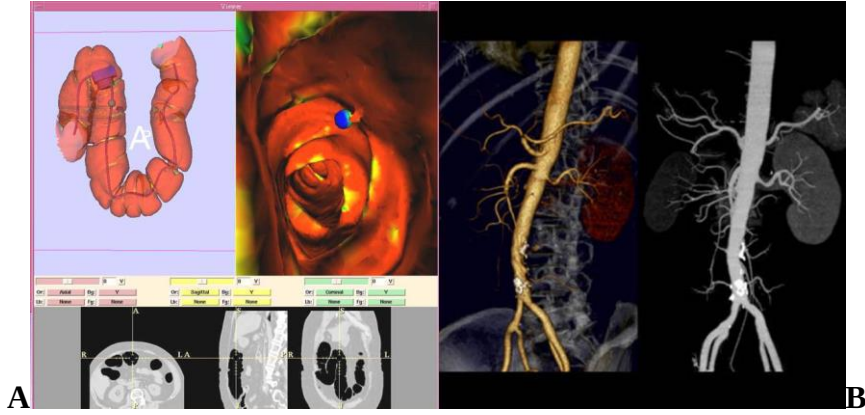
Yoğunluk ölçümü BT'nin tanıya önemli katkılar sağlayan diğer bir özelliğidir. Bu sayede gözle fark edilmeyecek yoğunluk farklılıkları sayısal değerleriyle ortaya çıkartılabilir. Örneğin; bir sürrenal kitlesinde yağ dokusunun varlığı adenom, böbrekteki bir kitlede varlığı ise anjiyomiyolipom tanısı koydurur.

Yüksek Çözünürlüklü BT (YÇBT): “High Resolution Computed Tomography (HRCT)” nin çevirisi olan ve yüksek rezolüsyonlu BT (YRBT) de denilen bu yöntemde, bilgisayar marifetiyle, yapıların kenar keskinliği belirgin hale getirilir ve ince kesitler alınır. Bu BT çekim tekniği en çok akciğer parankim tutulumunu ayrıntılı olarak göstermek için kullanılır (Resim 24).



Resim 24. A. YÇBT, B. Parenkim penceresinde toraks BT

Üç Boyutlu Rekonstrüksiyon: Bu yöntem en fazla kraniyofasiyal cerrahiden önce kafanın üç boyutlu görüntülerini elde etmek için kullanılır. Aksiyal incelemede kesitlerden elde edilen veriler değişik düzlemlerde ve şekillerde yeniden bir görüntü haline getirilir. Radyoterapi planlamasında da kullanılan 3 boyutlu görüntülemenin **sanal (virtual) endoskopi** ve **BT-anjiyografi** gibi daha gelişmiş şekilleri de vardır (Resim 25).



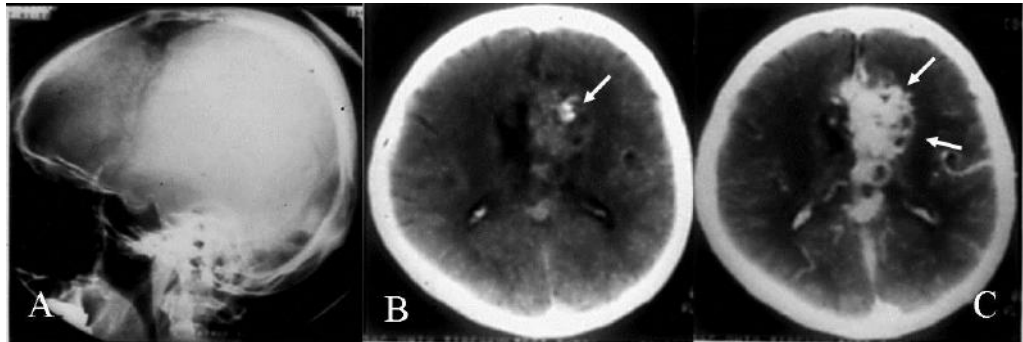
Resim 25. A. Virtual kolonoskopi B. BT anjiyografi

BT'nin Ayrılabilirdiği Dokular

Vücudu kesit şeklinde görüntülemesi ve çok daha küçük kontrast farklılıklarını ayırabilmesi nedeniyle BT, röntgene göre çok daha fazla ayrıntıyı gösterir (Tablo 3). Örneğin bir kranyum röntgenogramı, yoğun kalsifikasyon dışında beyinle ilgili hiçbir şeyi göstermediği halde, BT ile ventriküller görülebilir ve beyaz/gri cevher ayırımı yapılabilir (Resim 26)

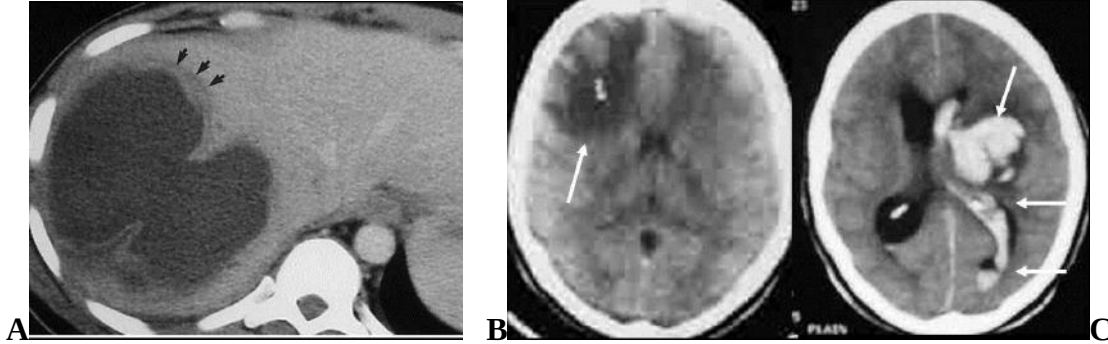
Tablo 3 X-ışını yöntemlerinin ayırabildiği dokular

Röntgen	Gri Ölçek	BT
Metal		Metal
Kemik ve Kalsifikasyon		- Kemik - Kalsifikasyon - Hematom
Su (yumuşak dokular)		- Dalak - Karaciğer - Gri cevher - Beyaz cevher - Ödem - Su
Yağ		Yağ
Hava		Hava

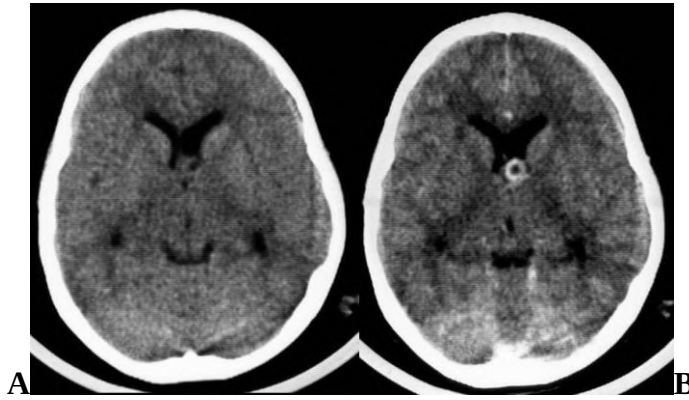


Resim 26. A. Yan kranyum röntgenogramı B. Kontrastsız ve C. Kontrastlı kraniyal BT: Kalsifiye AV malformasyon (oklar)

Röntgende hepsi aynı yoğunlukta görülen su ve yumuşak dokular BT ile birbirinden ayrılabilir. Kistler, ödem ve hematoma BT’de ayrı yoğunluklarda görüntülenir (Resim 27). Karaciğer ve dalağın yoğunlukları da farklıdır. Lezyonlarla normal dokular arasındaki kontrast farklılığı, kontrast madde ile artırılarak küçük lezyonlar görünür hale getirilebilir (Resim 28). Yöntemin yoğunluk ölçekbilmesi de lezyonların karakterize edilmesine katkıda bulunur.



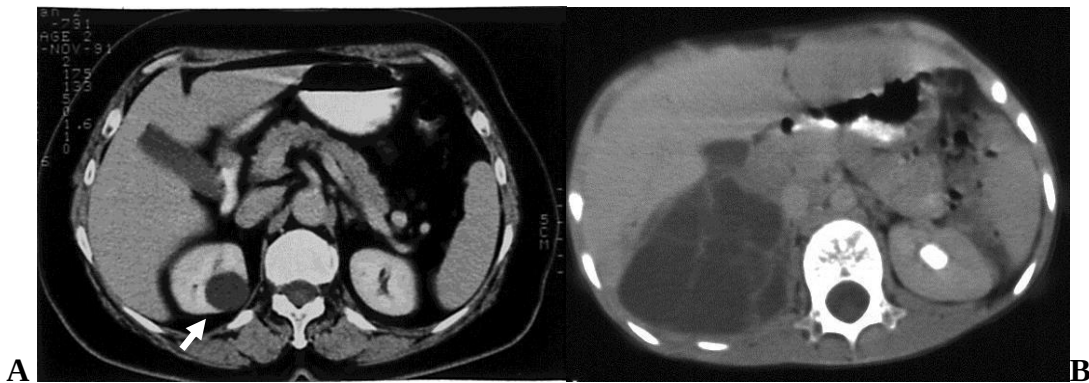
Resim 27. A. Karaciğerde nekroze (kistik) tümör (oklar) B. Sağ frontal bölgede ödem (oklar) C. Sol derin paryetal bölgede hematoma ve sol yan ventrikül içinde kan (oklar)



Resim 28. Kontrastsız (A) ve kontrastlı (B) kraniyal BT: Tüberküloz. Kontrastsız kesitte izodens olan lezyon, kontrastla halka şeklinde boyanıyor.

Yağ düşük yoğunluğu ile özellikle karın içindeki parankimal organlar için doğal bir kontrast oluşturur. Şişman hastaların karın incelemelerinde görüntü, karın içinde yağ dokusu çok az olan bebeklerinkine göre daha kalitelidir (Resim 29). Bu nedenle diğer radyolojik tanı yöntemleri için görüntüyü bozan bir faktör olan şişmanlık, BT için bir avantaj olabilir.

Kullanılan enerji x-ışını olduğundan BT görüntülerdeki yoğunluk farklılıkları röntgende olduğu gibi yorumlanmalıdır. Bir BT kesitinde yoğunluğu göreceli olarak yüksek olan, yani beyaza yakın tondaki bölgeler x-ışınını fazla tutan yerleri gösterir. Yoğunluğu düşük olan, yani siyaha yakın kesimler ise x-ışınını daha fazla geçiren yapıları temsil eder. Beyaza yakın yerler *hiperdens*, siyaha yakın yerler *hipodens*, yoğunluğu eşit olan yerler ise *izodens* olarak tanımlanır. İzodens terimi mutlaka referans bir doku ile birlikte kullanılmalıdır; karaciğerle izodens, gri cevherle izodens gibi.



Resim 29. A. Şişman bir hasta. Kontrastlı kesit. Sağ böbrekte basit kist (ok) B. Çocukta abdominal BT (Kontrastsız). Sağ böbrekte hipodens kitle, sol böbrek pelvisinde opak taş. Şişman hastada organların sınırları net olarak seçilirken çocukta yağ az olduğu için seçilemiyor.

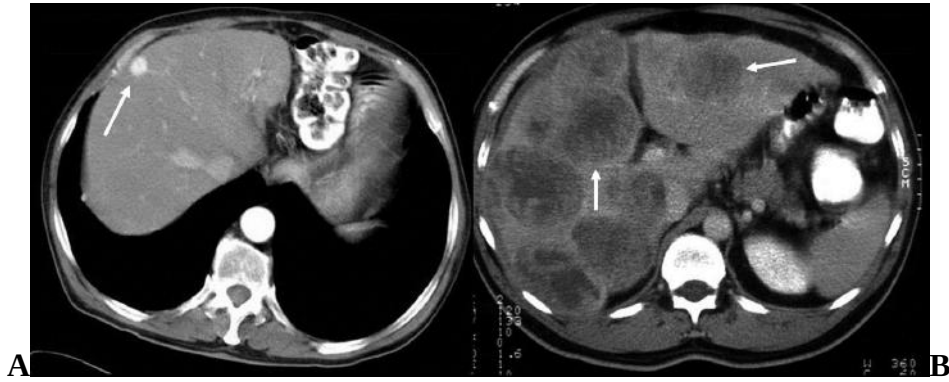
BT’de Kontrast Madde Kullanımı

BT incelemelerinin büyük bölümünde kontrast madde kullanılır. Amaç lezyonları daha görünür hale getirmektir. Lezyon kontrast tutuyorsa kendisinin tutmuyorsa çevresinin yoğunluğu artar. Kullanılan enerji, x-ışını olduğu için röntgende kullanılan kontrast maddeler BT’de de kullanılabilir. Ancak baryumun yoğunluğunun yüksek olması görüntüyü bozar. Bu yüzden BT’de hemen daima iyotlu kontrast maddeler kullanılır. BT’de kontrast madde kullanımı ile ilgili genel kurallar şunlardır:

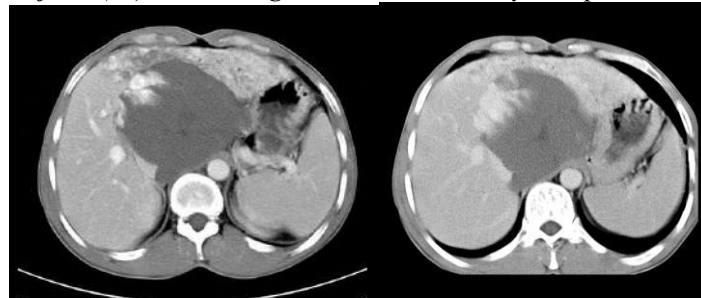
- Kraniyal travmada hematoma beyaz görüntüsünü maskeleyeceğinden İV kontrast verilmemelidir. Vücut travmasında ise kontrast şarttır. Akciğerlerin incelenmesinde de, vasküler bir anomali araştırılıyorsa kontrasta gerek yoktur.
- İntravenöz kontrast kullanımının vazgeçilmez olduğu bölge karındır. Özellikle karaciğer incelemelerinde kontrast madde verildikten sonra kesitler, dolaşım zamanı göz önüne alınarak yapılır. Verilen kontrast önce hepatik arterleri, daha sonra portal venleri doldurur ve parenkimal faza geçerek tüm karaciğeri boyar (Resim 30). Çok vasküler bir lezyon arteriyel fazda boyanırken, kontrast tutmayan lezyonlar çevre parankimin kontrast tutması ile daha belirgin hale gelir (Resim 31). Bazı lezyonlar da farklı kontrast tutma özellikleri ile tanınırlar. Örneğin hemanjiomun periferden merkeze doğru kontrast tutması tipiktir (Resim 32).
- Karında barsaklar, özellikle kollabe iseler, lenfadenomegali ya da kitle gibi görülebilirler. Bunu engellemek için barsaklar oral ve rektal seyreltik kontrast madde ile doldurulduktan sonra kesitler alınmaya başlanmalıdır. Bu işleme oral ve rektal kontrast uygulaması adı verilir.



Resim 30. A. Kontrastsız BT: Hipodens lezyon (ok) Hepatosellüler karsinom B. Arteriyel faz: lezyon kontrast tutuyor. C. Venöz faz: lezyonun merkezi karaciğerden daha az kontrast tutmuş



Resim 31. A. Hemanjiom (ok) B. Karaciğerde kontrast tutmayan hipodens lezyonlar (metastaz)



AB

BT'nin Güçlü ve Zayıf Yanları

BT'nin röntgene göre üstünlüğü, vücudu daha ayrıntılı olarak görüntülemesidir. Taze kanamayı ve kalsifikasyonu iyi göstermesi, hareketi daha iyi tolere edebilmesi ve incelemenin daha kolay olması da MR'ye göre üstünlükleridir. BT'nin klinikte en çok başvuru yöntem olmasını sağlayan önemli bir üstünlüğü de tüm yapıları görüntüleyebilmesidir.

BT'nin röntgene göre tek zayıf yanı görüntülerinin kesit olması nedeniyle anatomik bütünlüğünün olmamasıdır. MR'ye göre ise yumuşak dokuyu ayırd edebilme yetisi düşüktür. X-ışını yöntemi olması, zararlı etkileri bakımından önemli bir dezavantajdır.

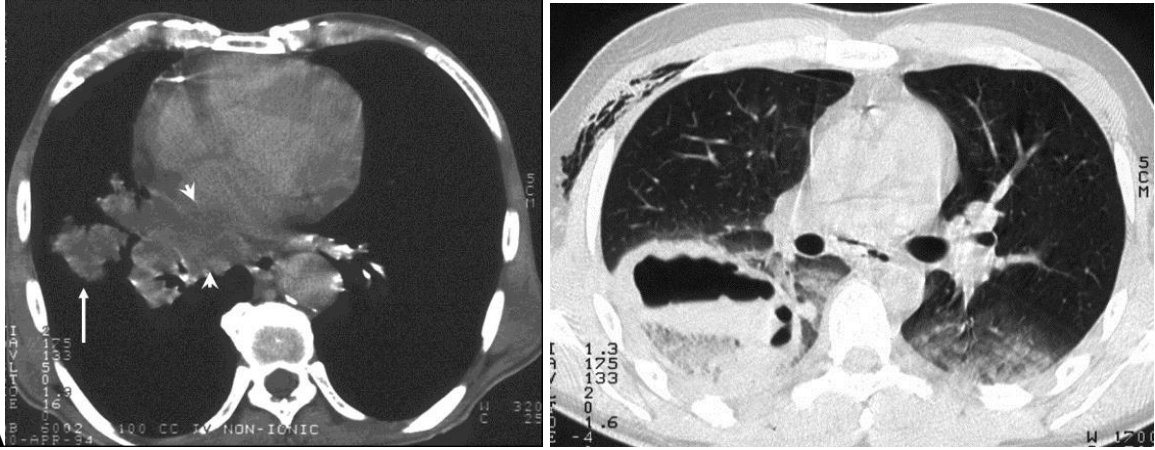
BT'nin Klinikteki Yeri

Kesit alınan bölgedeki her yapı görüntülenir. Bu özellik yönetime önemli bir üstünlük sağlar. Örneğin MR ve US ile normal havalandan akciğerler görüntülenemezler. Böyle bir sınırlamasının olmaması nedeniyle BT, klinikte en çok kullanılan yöntem konumundadır.

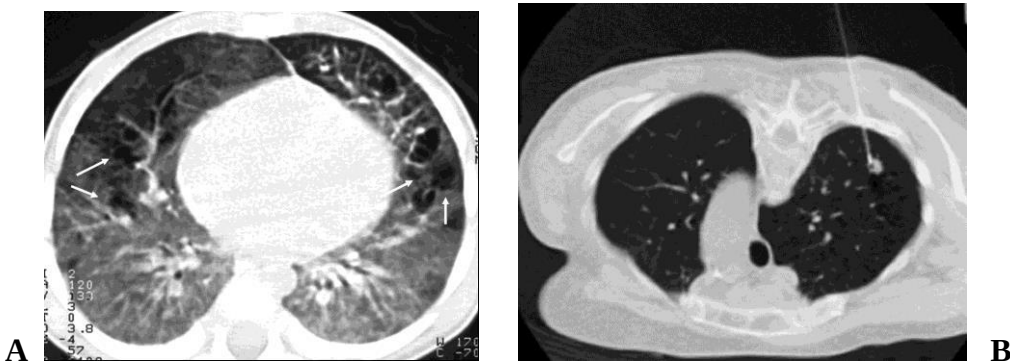
İki temel endikasyonu vardır: Yer kaplayan lezyonlar ve travma. Yer kaplayan lezyonları saptar, çevre ilişkilerini belirler ve karakterize etmeye çalışır. Tümörlerde evrelemeyle birlikte, tedaviye cevabın izlenmesi, rezidü ve rekürrens saptanması, postoperatif kontrol ve radyoterapi planlaması yapılır. Bu nedenle BT, onkolojide vazgeçilmez temel yöntemdir.

Diğer temel endikasyonu travmadır. Kemik yapıyı çok iyi görüntülemesi, hematomu ayırabilmesi ve incelemenin MR'ye göre kolay yapılabilmesi nedeniyle travmalı hastalarda en değerli yöntemdir. Solunum destek ünitelerine bağlı olan ve iletişim kurulamayan hastaları MR ile incelemek çok zor, hatta olanaksızdır.

Göğüs : Akciğerlerin incelenmesinde göğüs röntgenogramından sonra en sık istenen yöntemdir. Tümör evrenmesi ve travma en önemli endikasyonlarıdır (Resim 33). Vasküler yaralanma şüphesi dışında genellikle kontrast kullanılmaz. İntertisyumu tutan hastalıklar en iyi YÇBT ile görüntülenir. Toraks biyopsisinde kılavuz yöntem olarak en sık BT kullanılır (Resim 34).

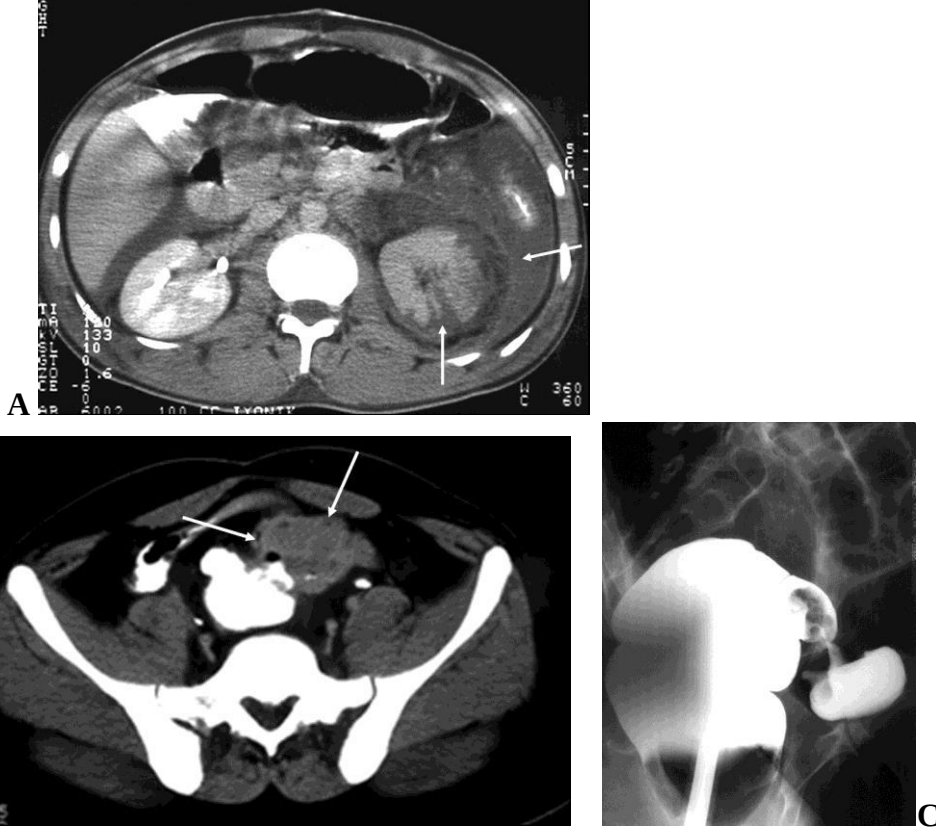


Resim 33. A. Sağ akciğerde tümöral kitle (ok) ve hiler ve mediastinal LAM (ok başları) B. Travmalı olguda sağ akciğerde laserasyon ve kanama ve cilt altı amfizemi



Resim 34. A. Langerhans hücreli histiositozda akciğer parenkim tutulumu. İnterstisiyel infiltrasyon ve ince duvarlı kistler (oklar) B. Yüzüstü yatan olguda sağ akciğerdeki lezyondan biyopsi yapılıyor.

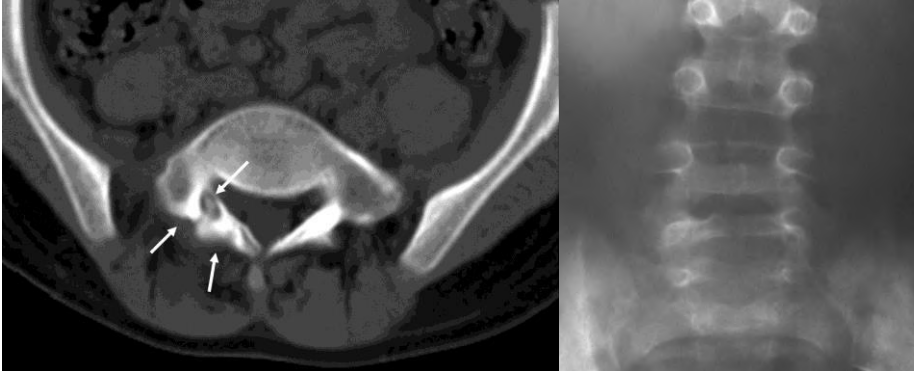
Karın: Karın bölgesinde de BT'nin temel endikasyonu travma ve tümör evrelemesidir. Travmada rutin olarak İV kontrast kullanılmalıdır. Tümör evrelemesinde ise özellikle mezenterik lenfadenomegaliler ya da peritoneal kitleleri ayırmak için sindirim borusu seyreltilmiş kontrast madde ile doldurulmalıdır. Barsak tümörlerinde de kitlenin çevre ilişkisini belirlemek için lümen kontrastla doldurulur (Resim 35).



Resim 35. A. Abdominal travma. Kontrastlı BT. Sol böbrek parankiminde yırtıklar ve perirenal, pararenal ve periton içinde kanama (oklar) B. Sigmoid tümörü (oklar) C. Aynı olguda kolonun baryumlu incelemesi. Rektosigmoid bölgede lümen dar ve düzensiz.

Karında dolaşımın en büyük filtresi olması nedeniyle karaciğer sadece tümöral metastazın değil bir çok enfeksiyon ve enfestasyonun da yerleşim yeridir. Karaciğer lezyonlarının kanlanması, vaskülerden avaskülere kadar değişen bir spektrum gösterir. Bu nedenle kontrast verilirken doğru zamanlama lezyonun görünebilirliği açısından büyük önem taşır. Bu amaçla otomatik enjektörler kullanılır. Zamanlaması uygun olmayan bir kontrast uygulaması lezyonun var olan kontrastını ortadan kaldırabilir. Bu nedenle kontrastın yanlış bir şekilde verilmesinden önce incelemenin kontrastsız yapılması daha iyidir.

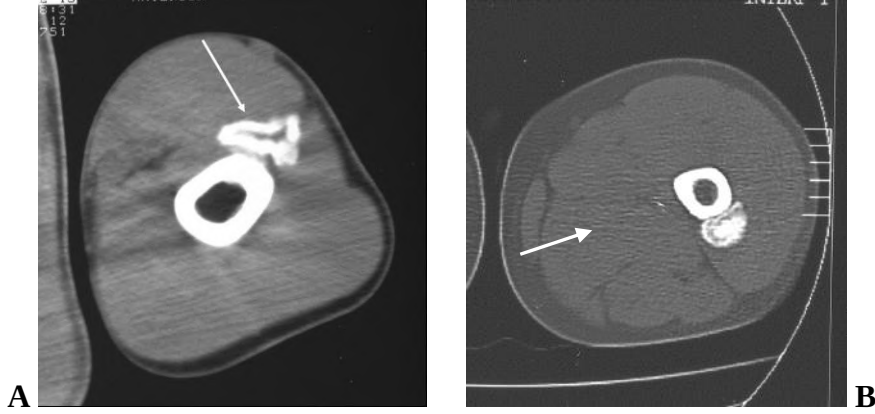
İskelet ve Yumuşak Doku: Temel endikasyonu omurga gibi karmaşık anatomisi nedeniyle röntgende açık bir şekilde görüntülenmeyen bölgelerin incelenmesidir. Benzer şekilde süperpozisyonlar nedeniyle seçilemeyen kırıklar da BT kesitleri ile açığa çıkartılır (Resim 36).



A B

Resim 36. A. 5. lomber vertebranın sağ pedinkülünde osteoid osteoma. Nidus ve çevresinde skleroz (oklar) B. Aynı olgunun radyografisinde lezyon görülemiyor.

Yumuşak dokuda en önemli endikasyonu kalsifik lezyonların saptanması ve çevre ilişkilerinin belirlenmesidir (Resim 37).



Resim 37. A. Miyozitis ossifikans (ok) B. Parosteal osteosarkom (ok)

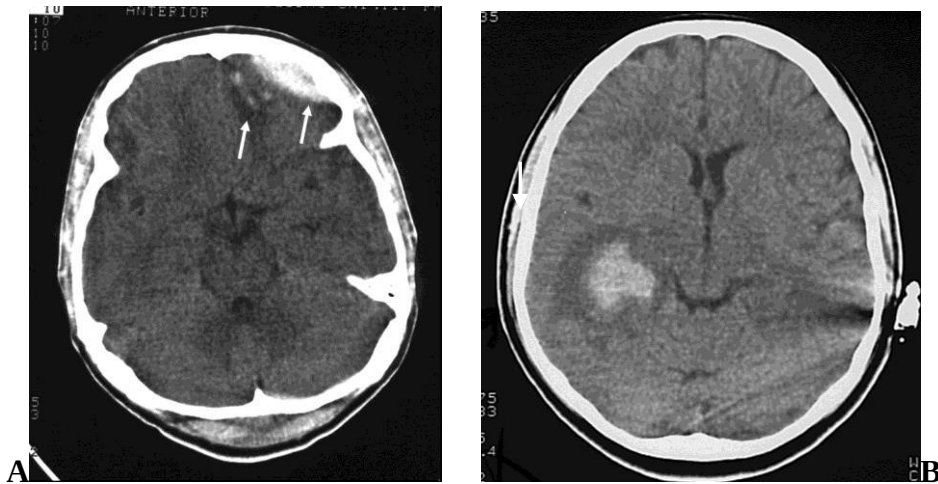
BT ile kemik mineralizasyonu çok duyarlı bir şekilde ölçülebilir. Ancak alınan ışın dozu görece yüksek olduğundan osteoporozun tanı ve takibinde yerini DEXA gibi kemik dansitometri yöntemlerine bırakmıştır.

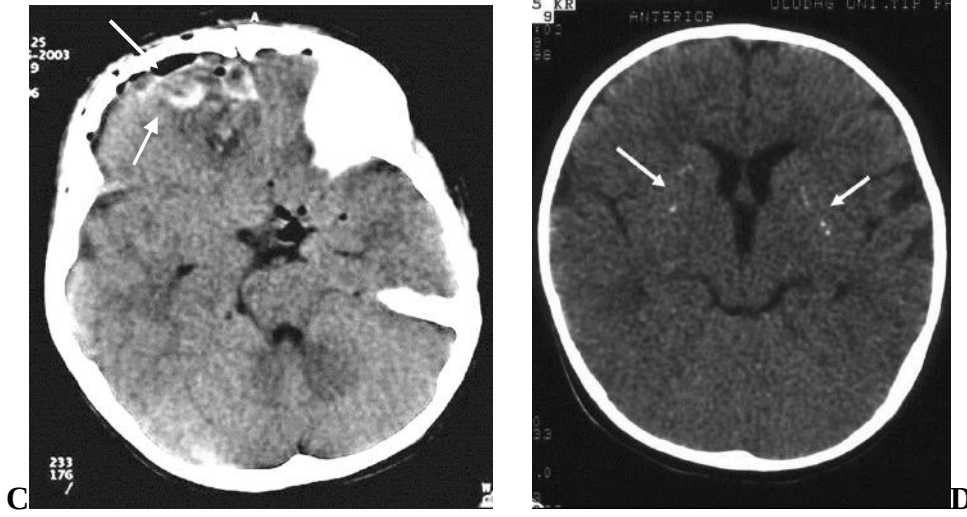
Merkez Sinir Sistemi: Temel endikasyonu kranial travmadır. Hematomun hiperdens görülmesi nedeniyle kranial travmada kontrast kullanılmaz. Postoperatif kontroller de genellikle BT ile yapılır. Paranasal sinüsler ve temporal kemik patolojilerinde BT temel tanı yöntemidir

Taze kanın çok iyi görüntülenmesi nedeniyle sadece travmada değil diğer kanamalarda da öncelikle seçilen bir yöntemdir. Akut subaraknoid kanama BT ile çok iyi görüntülenir. Kalsifikasyon araştırılması BT'nin diğer bir endikasyonudur (Resim 38).

BT kılavuzluğunda yapılan sterotaktik biyopsiler ve ganglion blokajı gibi girişimsel işlemler BT'nin önemli nöroradyolojik uygulamalarıdır.

Bu temel endikasyonlar dışında BT nöroradyolojideki yerini hemen tümüyle MR'ye terk etmiştir. Ancak MR'nin bulunmadığı her koşulda BT, eskiden olduğu gibi, nöroradyolojinin temel tanı yöntemi olarak kliniğin tüm gereksinimlerini karşılar.





Resim 38. A. Travmada epidural hematoma ve komşu beyin parenkiminde kontüzyona bağlı küçük kanama odakları (oklar) B. İntraserebral hematoma ve çevresinde dar bir ödem alanı (oklar) C. Postoperatif kontrol. Kemik flep, hematoma ve ekstraaksiyal hava (oklar) D. Bazal çekirdeklerde küçük kalsifikasyonlar (oklar)

BT'nin Zararlı Etkileri

Röntgende olduğu gibi, BT incelemelerinde de başlıca risk iyonizan ışın kullanılmasıdır. BT'de ışının dar bir şerit şeklinde gönderilmesi saçılmayı ve dolayısıyla doz alımını azaltır. Toraks ya da karın BT'de hastanın aldığı ışın dozu genellikle bir kolon ya da ürografi tetkikinde alınandan fazla değildir, ancak bazen bir göğüs röntgenogramında alınan dozun yüz katına kadar çıkabilir. Günümüzde BT incelemelerinde kullanılan ışının miktarını azaltmak için yoğun çalışmalar yapılmakta, çocuklarda mümkün olan en az dozla inceleme yapılması önerilmektedir.

Diğer bir risk faktörü de yine röntgende olduğu gibi kontrast madde kullanımına bağlı yan etkilere dir.

Çok küçük çocuklarda hareketi engellemek için incelemenin anestezi altında yapılması gerekir.

Anestezi komplikasyonları BT çekiminde bir risk faktörüdür.

MERAKLISI İÇİN NOTLAR!

• BT görüntüleri röntgenden daha ayrıntılıdır, neden?

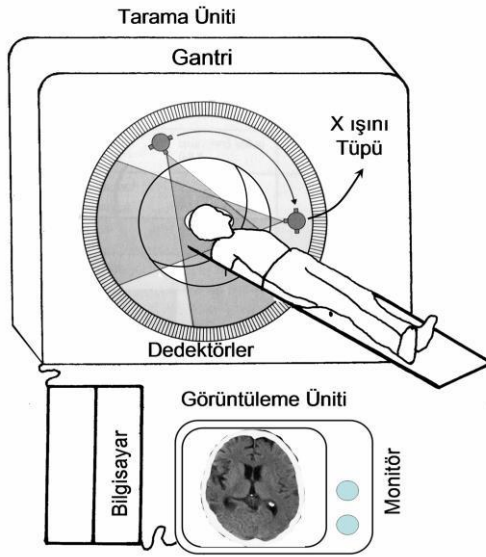
BT'nin dokuları röntgenden daha ayrıntılı gösterebilmesinin iki temel nedeni vardır:

- **Vücudun ince bir diliminin görüntülenmesi:** Röntgende x-ışının geçtiği boyuttaki yapılar üst üste düşer. Bu durumda, aralarındaki yoğunluk farkı belirgin olmayan yapıların seçilmesi zorlaşır. Bu sakınca ince bir vücut dilimini görüntüleyen BT'de ortadan kaldırılmıştır.
- **Dokuların x-ışını tutma oranlarının doğrudan ölçülebilmesi:** Röntgende dokuları geçen x-ışının tesbitinde, film, ranforsatör, banyo faktörleri (süre, ısı, kimyasallar) gibi bir çok faktör etkindir. Bu faktörler dokudaki kontrastın görüntüye yansımalarını engeller. BT'de bu engeller ortadan kaldırılmıştır. Görüntüler doğrudan dokunun x-ışınlarını zayıflatma değerleri ile oluşturulur. Dolayısıyla BT görüntüleri, doku kontrastını çok daha duyarlı olarak yansıtır.

• BT aygıtının temel parçaları nelerdir?

BT aygıtında 3 ana bölüm vardır: (Şekil 6)

- **Tarama bölümü:** Bu bölüm gantri ve hasta masasından oluşur. Gantri, içerisinde X-ışını tüpü ve dedektörlerin bulunduğu, kare şeklinde, eni dar büyük bir kutudur. Ortasında **gantri açıklığı** denilen hastanın girdiği yuvarlak bir açıklık vardır. Tüp ve dedektör zinciri bu açıklığın çevresindedir. Tüp kesit alma sırasında hastanın çevresinde döner. Hasta masası seçilen kesit kalınlığına ve kesitler arasındaki aralığa göre her kesitten sonra hareket eder.



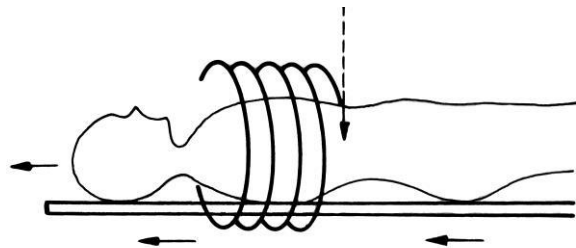
Şekil 6. BT aygıtı

- **Bilgisayar sistemi:** Hastayı geçerek dedektörler üzerine düşen X-ışınlarının ölçülerek gönderildiği çok gelişmiş bir bilgisayar sistemidir. Bilgisayar sistemi, esas olarak incelenen kesitin görüntüsüne dönüşecek sayısal değerleri hesaplar.
- **Görüntüleme bölümü:** Sayısal değerlerden oluşan görüntünün ortaya çıktığı ve işlendiği bölümdür. Çözünürlüğü yüksek bir monitor ve kayıt sistemi bulunur. Görüntüler burada işlenir ve içlerinden seçilenler film üzerine geçirilir. Bu bölüm aynı zamanda sistemin komuta ünitesidir.

Günümüzdeki modern aygıtlar vücudu kesit kesit değil bir blok halinde ve çok hızlı bir şekilde taramaktadır. Hızı artırmak için dedektör zinciri sayısı artırılmıştır. **Helikal** (Spiral) **BT** 'de tüp inceleme sırasında devamlı döner, hasta masası ise devamlı kayar. Bir defada 40-80 cm lik bir alan bir nefes tutma süresinde taranabilir (Şekil 7). **Çok dedektör sıralı BT** 'de ise helikal teknolojiye ek olarak tek dedektör halkası yerine yan yana sıralanan dedektör halkaları bir dedektör bloku oluşturur. Bu dedektör bloklarında halka sayısı 64'e kadar çıkar.

BT'de görüntü kalitesi olabileceği en üst sınırlara ulaşmıştır. Yeni yöntemlerin getirdiği tek şey hızdır. Kesit kesit tarama yapan konvansiyonel BT'ye göre yeni yöntemler vücudu blok olarak taradıkları için inceleme süresi çok kısalmıştır. Hareketin istenmeyen etkileri ortadan kalkar. İnceleme süresinin kısalmasının diğer bir yararlı etkisi de kullanılan kontrast miktarının azaltılabilmesidir. Ayrıca blok görüntüleme yaptığından, bu verilerden ayrıntılı ve görüntü kalitesi yüksek, anjiyografi gibi 3 boyutlu görüntüler elde edilir.

Şekil 5. BT aygıtının temel parçaları

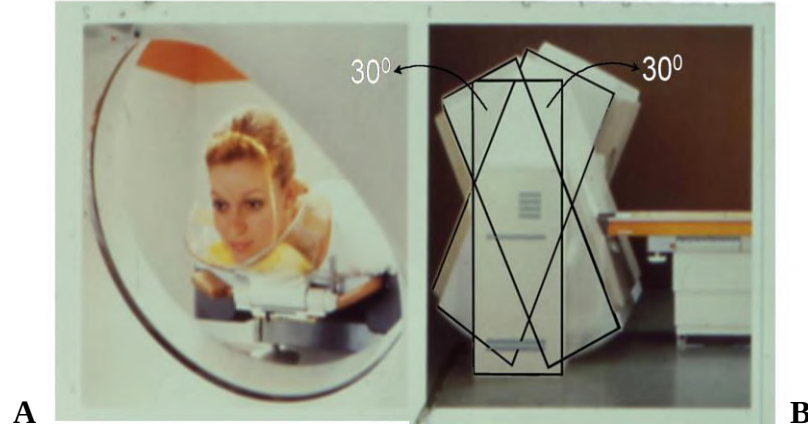


Şekil 7. (Helikal spiral) BT. Tüp devamlı dönerken masa hareket ederek volüm görüntülenmesi yapılabilir.

• Bir BT incelemesi nasıl yapılır?

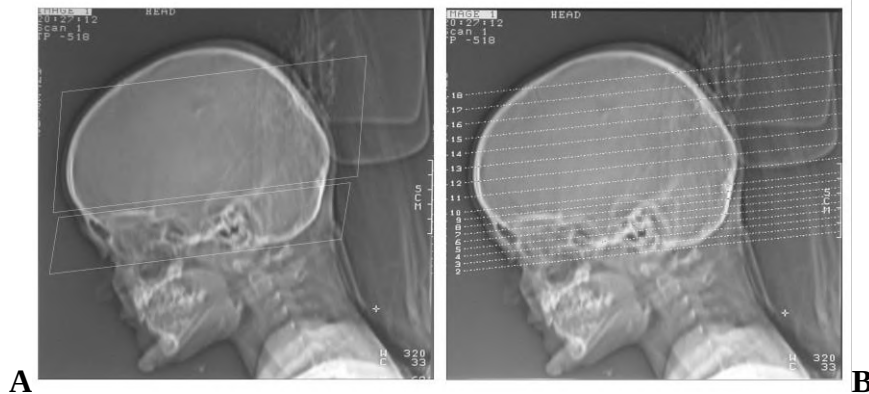
- Hasta tarama ünitesindeki masanın üzerine yatırılır. Kesit alınacak bölgeye uygun pozisyon verilir. Pozisyon verilirken şu noktalara dikkat etmek gerekir:

- BT'nin kesit düzlemi, gantri açıklığının düzlemidir. Sistemin aldığı kesitleri, bu düzlemde çalışan bir giyotin bıçağının kesit yapmasına benzetebiliriz.
- Gantri nötr pozisyonda yere diktir, ancak öne ve arkaya doğru 30 dereceye kadar eğim verilebilir. Bu açılma sayesinde hastanın pozisyonunu değiştirmeden kesit düzlemlerinin açısı ayarlanabilir. Koronal sella incelemesinde olduğu gibi, boyunun hiperekstansiyonunun pozisyon için yetmediği durumlarda gantri açılmasından yararlanılarak istenilen düzlem elde edilebilir (Resim 39).
- İncelenecek kesim gantri açıklığına hangi pozisyonda konulursa o pozisyonda kesit alınır. El ve ayak gibi küçük yapılara her pozisyon verilebildiği için her üç düzlemde de kesitleri alınabilir. Ancak gövdenin yalnızca aksiyal kesitlerle incelenmesi bir zorunluluktur, çünkü vücut gantri içerisine başka bir pozisyonda yerleştirilemez. Yani, **BT aygıtının kesit alma yeteneği gantrinin geometrisi ile sınırlıdır.**



Resim 39. A. Koronal BT'de hastanın pozisyonu B. Gantrinin öne ve arkaya açılması

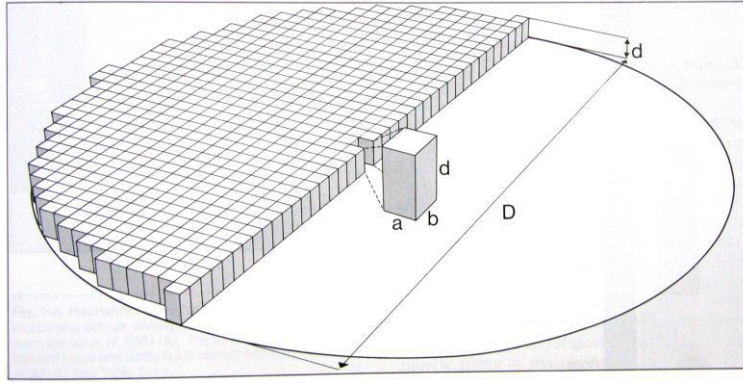
- Uygun pozisyon verilerek masaya yatırılan hastanın incelenen bölgesinin önce dijital bir röntgenogramı alınır. Bunun için sabit tutulan (döndürülmeyen) tüpten X-ışını verirken incelenen bölge gantri içerisinden geçirilir (hava alanlarında bagajlarımızın tarandığı gibi!). Elde edilen dijital projeksiyon görüntüsüne kılavuz görüntü veya topogram, daha yaygın kullanılan adıyla **skenogram** denir (Resim 40). BT kesitlerinin yanına üzerinde çizgiler olan bir röntgenogram şeklinde eklenir. Skenogramın iki önemli işlevi vardır:
 - Kesitlerin nerelerden ve ne açıyla alınacağını belirler.
 - Kesitler değerlendirilirken hangi kesitin nereden geçtiğini belirler (anatomik oriyantasyon için).
- Karın incelemelerinde barsakların belirlenmesi amacıyla oral ve/veya rektal kontrast verilmelidir. Bu amaçla çok seyreltilmiş kontrast madde barsağın pasaj süresi hesaplanarak incelenen bölgedeki barsak segmentlerini dolduracak şekilde önceden verilmeye başlanır.
- Kesit kalınlığı seçilerek incelemeye başlanır. Kesit kalınlığı genellikle 1-10 mm arasında değişir. Kesit alınırken incelenen bölgenin hareket etmemesi önemlidir. Göğüs ve karın inceleniyorsa hastaya nefesini tutması söylenir.
- Daha sonra görüntüleme bölümüne gelen görüntüler monitorda işlenerek filme kaydedilir. Bu süreçte, istenen bölgelerin belirginleştirilmesi, görülen lezyonların yoğunluklarının ve boyutlarının ölçülmesi gibi işlemler yapılır.



- **BT'de görüntü nasıl yapılıyor?**

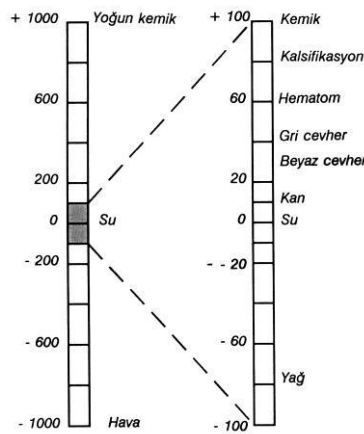
BT görüntüsü bir kesit görüntüsüdür. Kesit görüntü oluşturabilmek için yapılan işlemler sırasıyla şöyle özetlenebilir :

- İlk koşul X-ışını tüpünün, kesit düzlemi çevresinde 360 derece dönerek dar bir X-ışını demeti göndermesidir. X-ışınları vücuda gönderilirken ölçülür, vücuda geçtikten sonra ölçülür, aradaki fark hesaplanarak dedektörlerin karşısına gelen dokunun X-ışını ne oranda tuttuğu bulunur ve görüntü bu çok sayıdaki ölçümlerden karmaşık bilgisayar işlemleriyle oluşturulur.
- Bütün dijital görüntülerde olduğu gibi BT'de de görüntü küçük resim elementlerinden (piksellerden) oluşur. Buna görüntü matrisi denir. Matris sayısı görüntünün iki kenarındaki piksel sayısının çarpımı şeklinde gösterilir ve günümüzdeki aygıtlarda bu sayı genellikle 512x512' dir.
- BT'de görüntülerin bizim tarafımızdan belirlenen bir kalınlıkları vardır. BT'de ölçüm yapılan birimler piksel değil, tabanını pikselin, yüksekliğini kesit kalınlığının yaptığı dikdörtgen prizmalardır. Bu prizmalara volüm elementi anlamına gelen **voksel** adı verilir (Şekil 8). Örneğin kesit kalınlığını 5 mm olarak seçmişsek, görüntü matrisi 512x512 olan bir BT aygıtında , 25 cm'lik bir alanın (D) görüntüsünde piksel boyutu yaklaşık 0.5x0.5 mm², voksel hacmi ise 0.5x0.5x5 mm³ olacaktır.



Şekil 8. Piksel (a x b) ve voksel (a x b x d), D: görüntü alanının çapı

- Dedektörlerin yaptığı ölçümler, bilgisayarlar aracılığıyla her vokselin X-ışınlarını tutma değerlerine dönüştürülür. Bu işlem suyun X-ışınını tutma değerini 0 kabul eden, bir ucu -1000 diğer ucu +3,095 olan bir cetvele göre yapılır. Bu cetvele, yöntemi geliştirenlerden biri olan İngiliz fizikçisi Hounsfield'den dolayı **Hounsfield cetveli** ve bu cetveldeki sayılara da **Hounsfield ünitesi** (HU) adı verilir (Şekil 9).



Şekil 9. Hounsfield ölçeği

- Sistemin bilgisayarları bu cetvele göre tüm voksellere bir sayı verir. Bu sayı, yoğunluğu sudan yüksek olan dokularda artı, düşük olanlarda ise eksi değerlerdedir .
- Sistemin yapacağı son işlem Hounsfield cetveline göre sayısal değerler almış vokselleri, aldıkları sayılara uyan siyah, beyaz ve aradaki gri tonlarla boyamaktır. Bunun için artı ucu beyaz, eksi ucu siyah olan gri bir cetvel kullanılır (**gri skala**).

Vokselin sayısal değeri vokselin içerisine giren tüm yapıların ortalama değeridir. Bir BT kesitinde gördüğümüz piksellerin rengi, aslında ait olduğu vokselin ortalama rengidir. Dijital röntgende ise pikselin rengi, X-ışınının geçtiği tüm kalınlığın X-ışınını tutma değerinin karşılığıdır. Evlerimizdeki televizyonlardaki görüntü ise fotoğrafın dijitalizasyonudur, piksellerinin rengi fotoğrafların rengidir, kalınlığı ve derinliği yoktur.

Kesit kalınlığının her tarafta eşit olması nedeniyle, röntgenden farklı olarak, BT'de görüntüleri yorumlarken, objelerin kalınlığının hesaba katılmasına gerek yoktur

• Pencereleme nedir? Niçin yapıyoruz?

Bir BT görüntüsünde bulunan 4096 gri tonu gözümüzün algılaması olanaksızdır. Radyogramlara baktığımız şartlarda gözümüz ancak 30-90 gri tonu ayırabilir. En iyi şartlarda gözümüzün 90 gri tonu ayırabildiğini varsayalım. Bu durumda bir BT görüntüsünde gözümüzün fark edebileceği iki gri ton arasındaki yoğunluk farkı: $4,096/90 \sim 45$ HÜ olacaktır. Beyinde gri ve beyaz cevherin gri skala değerleri arasındaki fark 45 HÜ'den az olduğu için böyle bir görüntüde gri cevher ve beyaz cevheri ayırmak mümkün olmayacaktır. Bu ayırımı gösterebilmek için gri ölçeğin değerlerini, beyin dokusunun görüntülendiği değerlerin bulunduğu dar bir alanda dağıtmak gerekir. Bu işleme pencereleme ("windowing") adı verilir. Toraks BT kesitinde mediastinal yapılar yumuşak doku penceresinde, akciğerler ise parankim penceresinde görüntülenir. Gri tonların dağıtılmasını istediğimiz aralığa pencere genişliği, bu aralığın ortasına ise pencere seviyesi adı verilir. Örneğin pencere genişliğini -100 ile +200 arasında 300 olarak saptadığımız bir incelemede pencere seviyesi +50 olacaktır. Pencere genişliğinin üzerindeki yapılar beyaz, altındaki yapılar ise siyah tonlar içerisinde görülmez hale gelir.

MANYETİK REZONANS (MR)

MR, BT gibi bir kesit görüntüleme yöntemidir. Görüntüleri, BT'de olduğu gibi sayısal değerlerden, güçlü bilgisayarlar marifetiyle oluşturulur. Dijital olan bu görüntüler, bilgisayar teknolojilerinden yararlanılarak işlenir ve üç boyutlu görüntüler yapılabilir. MR yönteminin önemli bir avantajı hastanın pozisyonunu değiştirmeden her düzlemde görüntü alabilmesidir.

MR'nin kullandığı enerji radyo dalgalarıdır. Radyofrekans (RF) olarak isimlendirilen bu enerji, elektromanyetik radyasyon yelpazesi içerisinde yer alır. Veri kaynağı hücre sıvısı ve lipidler içerisindeki hidrojen çekirdeğidir (protonlar). Bir MR görüntüsünün elde edilmesi şu şekilde özetlenebilir:

- Normalde vücudumuz RF enerjisine duyarlıdır. Önce veri kaynağımız olan protonların RF enerjisi ile uyarılır hale getirilmesi gerekir. Bunun için hasta çok güçlü bir manyetik alan içerisine yerleştirilir (Resim 41). Bu manyetik etkiyle protonlar manyetik alana uygun şekilde dizilir ve uyarılmaya hazır hale gelirler.
- Kesit alınacak bölgeye RF enerjisi gönderilir. Protonlar bu enerjiyi alır ve enerjinin miktarına göre konumlarından saparlar
- RF enerjisi kesilir. Protonlar eski konumlarına dönerler. Bu dönüş sürecinde aldıkları enerjiyi bir sinyal şeklinde yayarlar. Güçlü manyetik alan marifetiyle protonlar, sinyal alan ve yayan antenler gibi davranırlar. MR görüntüleri işte bu sinyallerden oluşturulur.



Resim 41. MR aygıtı

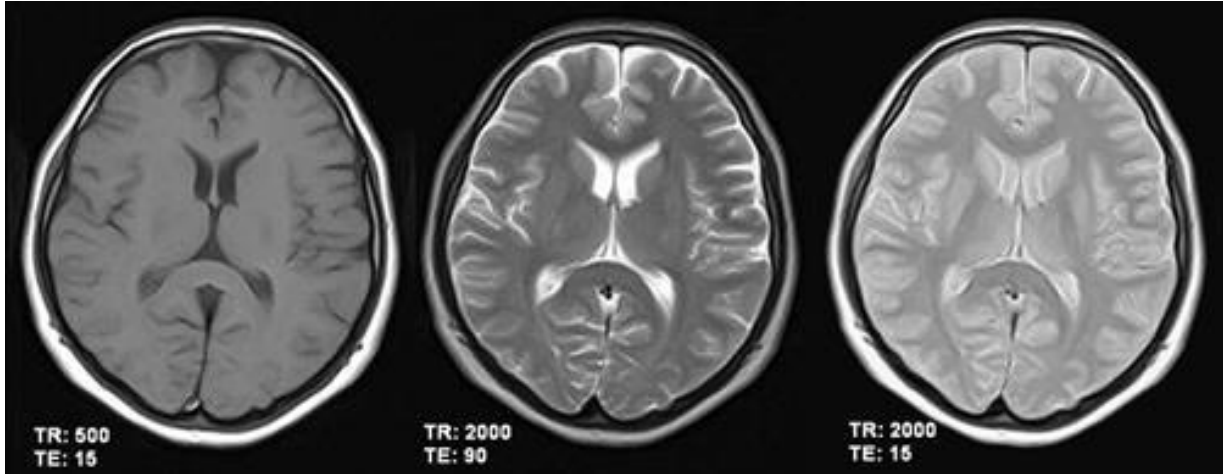
MR görüntülerindeki gri tonların anlamı inceleme protokolüne göre değişir. Ancak beyaz-açık tonlar artmış sinyal alanlarını, koyu-siyah tonlar ise sinyalin az olduğu veya olmadığı alanları gösterir.

Radyolojik yöntemler içerisinde yumuşak dokuyu en ayrıntılı olarak gösteren yöntem MR'dir. Akımı doğrudan görüntüleyebilmesi nedeniyle kontrast madde vermeden anjiyografik görüntüler elde edilebilir.

İnceleme Yöntemleri

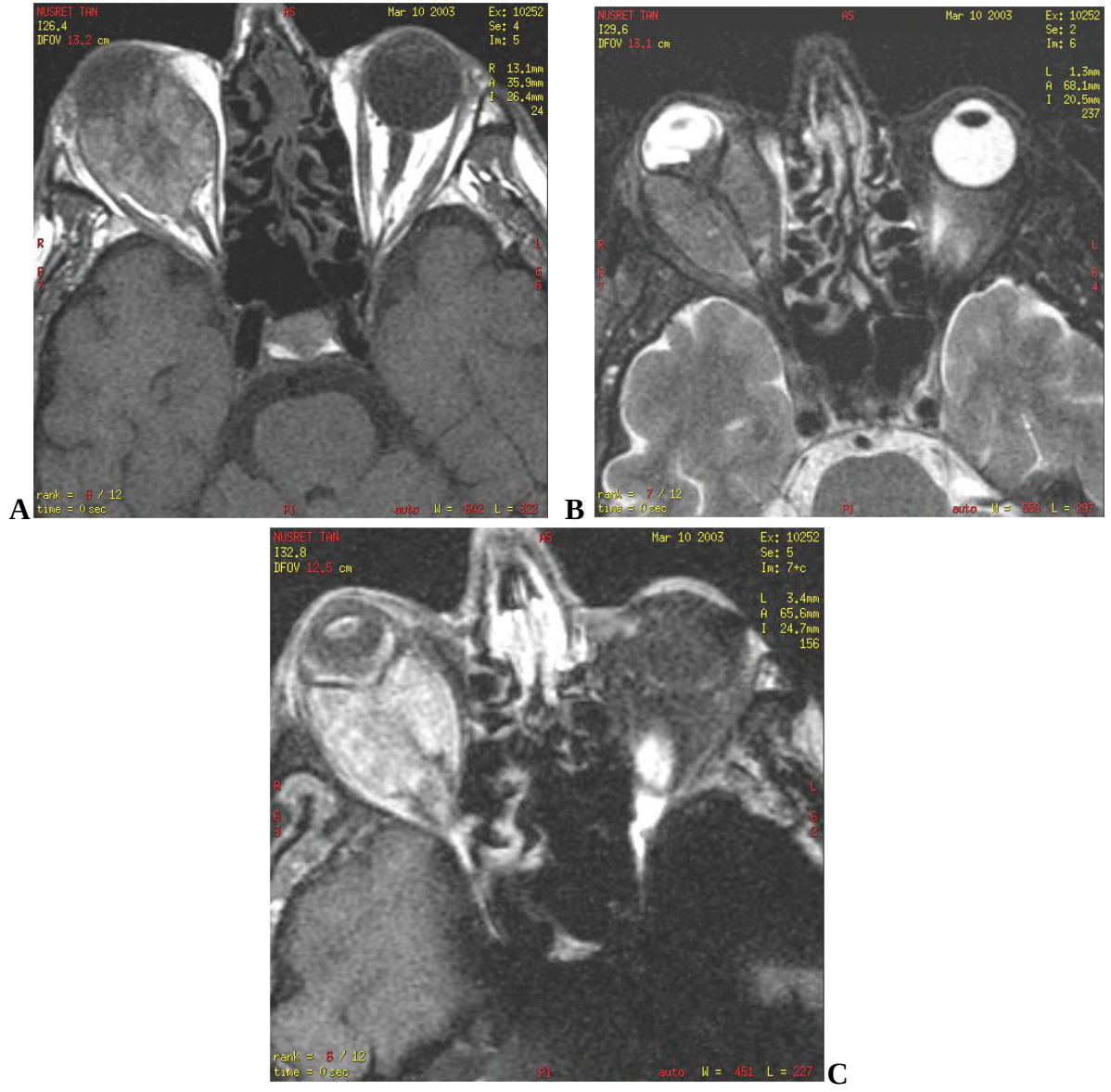
Temel inceleme yöntemi kesit görüntülerdir. Doku kontrastı sadece sinyalin amplitüdünden değil, sinyalin sönüş süresi (T_2) ve protonların eski haline dönüş süresindeki (T_1) farklılıklardan oluşturulur. Bu süre farklılıklarının hesaba katılması ile doku kontrastı çok daha belirgin olarak ortaya çıkarılır. Ancak her üç ölçütün (proton yoğunluğu, T_2 , T_1) taşıdığı doku kontrastını ayrı ayrı ortaya çıkarabilmek için her ölçütün ağırlıklı olduğu görüntüler oluşturmak gerekir. Bu nedenle bir MR incelemesinde aynı bölgenin her biri farklı doku kontrastı taşıyan üç ayrı görüntüsü vardır: T_1 ağırlıklı, T_2 ağırlıklı ve proton ağırlıklı görüntüler.

T_1 ağırlıklı görüntülerde su (BOS) siyah, T_2 ağırlıklı görüntülerde beyaz, proton ağırlıklı görüntülerde ise gri tonlarda görülür (Resim 42). T_1 ağırlıklı görüntüler anatomiye, T_2 ağırlıklı görüntüler ise patolojiyi iyi gösterir. Az sayıda kullanım alanı olan proton ağırlıklı görüntüler standart incelemelerden kaldırılmıştır.



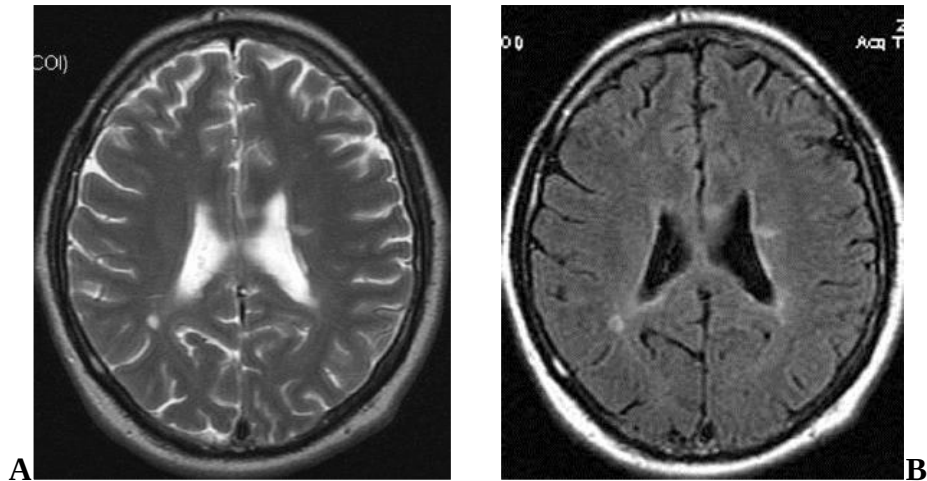
Resim 42. T_1 , T_2 ve Proton ağırlıklı MR görüntüleri

MR'de yağ dokusu, hem T_1 , hem T_2 ağırlıklı kesitlerde beyaz tonlarda (yüksek sinyalli-hiperintens) görülür. Yağ dokusu içindeki veya komşuluğundaki normal veya anormal hiperintens oluşumlar yağdan gelen yüksek sinyal tarafından örtülür. Bu sorun görüntüdeki doku kontrastını değiştirmeden, yağdan gelen sinyaller yok edilerek çözülebilir. **Yağ baskılama** adı verilen bu yöntem en sık orbitada retrobulber bölge patolojilerinde, abdomende mezenterik yağ dokusunu silmek, sürrenal adenomlarında yağ dokusunun varlığını göstermek, karaciğerde kitle lezyonları ile karışabilen fokal yağlanma alanlarının belirlenmesi gibi amaçlarla kullanılır. Yağ baskılama ile birlikte kontrast madde kullanılması lezyonun saptanma olasılığını artırır (Resim 43).



Resim 43. Sağ retrobulber kitle A. T_1 ağırlıklı görüntü B. Yağ supresiyonlu T_2 ağırlıklı görüntü C. Yağ baskılamalı, kontrastlı T_1 ağırlıklı görüntü. Resim A ile karşılaştırıldığında sol retrobulber yağın suprese olduğu görülmüyor.

Patolojiler T_2 ağırlıklı görüntülerde daha iyi görünürler ve genellikle çevrelerinden daha parlak tonlardadır. Beyindeki, özellikle periventriküler yerleşimli lezyonlar, T_2 ağırlıklı görüntülerde BOS'un beyazlığı ile karışabilir. Bu sorun da yağ baskılamada olduğu gibi BOS'dan gelen sinyallerin yok edilmesi ile çözülebilir. Yağ baskılama benzeri BOS'dan gelen sinyallerin baskılandığı T_2 ağırlıklı görüntülerden oluşan bu yönteme **siyah sıvı** tekniği adı verilir (Resim 44).

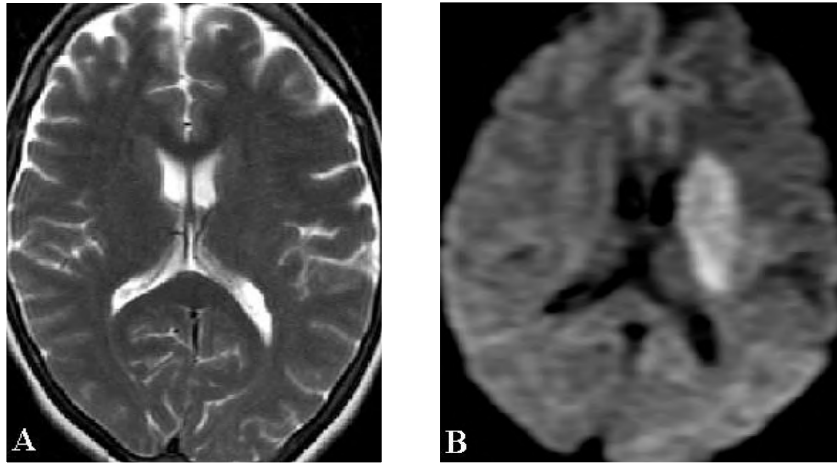


Resim 44. Periventriküler multiple skleroz plakları A. T₂ ağırlıklı görüntüsü. B. Siyah sıvı tekniği ile elde edilen görüntü. Sudan gelen sinyaller baskılanmış.

MR görüntülemesinde önemli bir sorun incelemenin uzun sürmesidir. Temel yöntemi olan **spin-eko (SE)** tekniğinde tüm hızlandırma çabalarına rağmen, sadece bir plandaki T₁ veya T₂ ağırlıklı kraniyal görüntüleme yaklaşık 3.5 dakika sürmektedir. Bir düzlemdeki görüntülerin çoğu aynı anda elde edildiği için, çekim sırasında hastanın hareket etmesi tüm kesitlerin bozulmasına neden olur. Bu durum MR'yi harekete çok duyarlı bir yöntem haline getirmiştir.

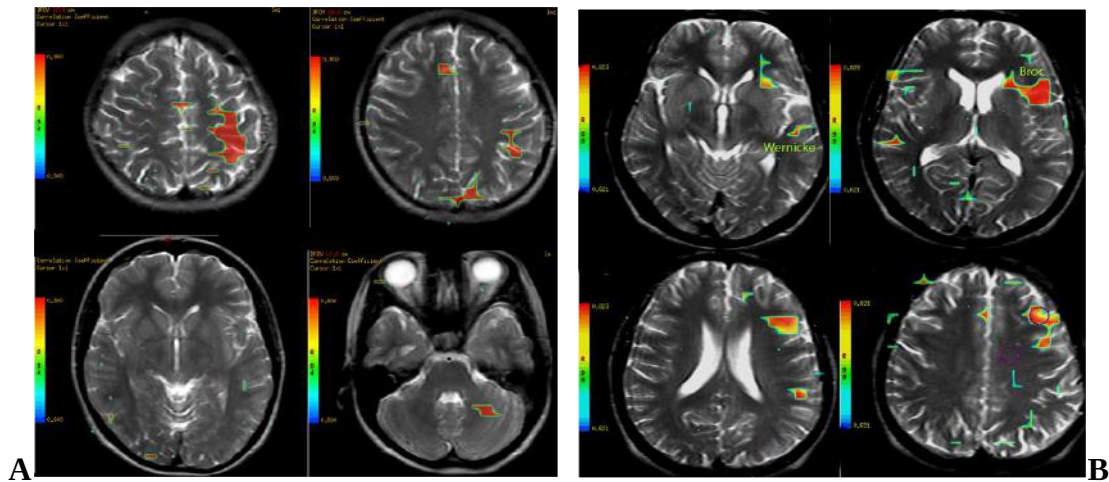
Bu sorunu çözmek için daha hızlı görüntü alabilen yeni teknikler geliştirilmiştir. **Gradyent eko (GRE)** başlığı altında toplanan, bir dizi çekim tekniğiyle görüntü elde etme süresi saniyelere düşürülmüştür. Bu sayede vücudun blok şeklinde bir vücut parçası görüntülenebilir. Ancak hıza karşılık görüntülerde veri kaybı olabilir.

Hızlı görüntülemelerde son aşama **ekoplanar görüntülemedir (EPI)**. Bu yöntemde görüntü elde etme süresi milisaniyelere düşmüştür. Bu sayede dokuların **perfüzyonu** değerlendirilebilir ve doku **difüzyonundaki** değişimler görüntülenerek beyin infarktları ilk saatlerde saptanabilir (Resim 45).



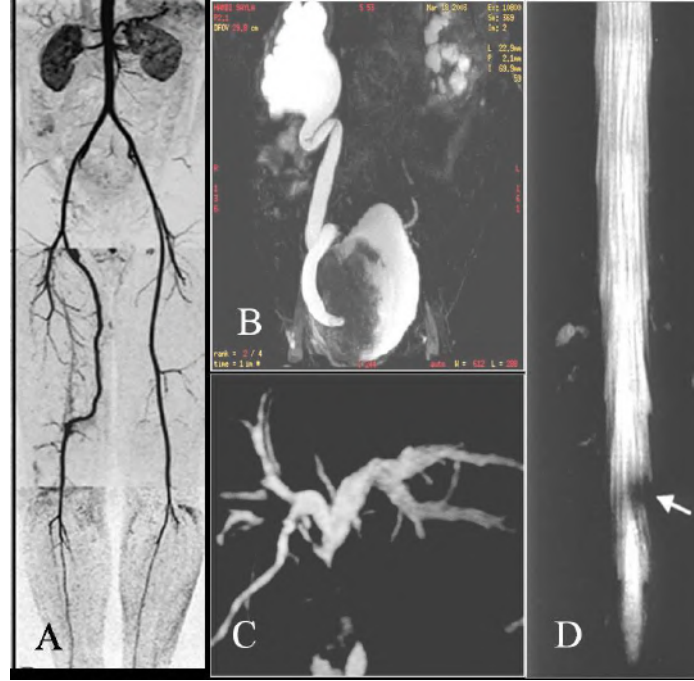
Resim 45. A. T₂ ağırlıklı görüntü normal B. Aynı olgunun derin pariyatalde diffüzyon görüntülerinde infarkt alanı

Ekoplanar görüntüleme sayesinde beyin **fonksiyonel görüntüleri** de elde edilebilir. Bu görüntülerde oksijen sarfına dayanarak motor ve sensoriyal korteks alanları belirlenir (Resim 46). Bu amaçla inceleme sırasında hastadan el ve ayaklarını hareket ettirmesi istenir ve hasta konuşturulur. Koruyucu cerrahi uygulamaya olanak veren bu yöntem sayesinde ameliyat komplikasyonları önemli ölçüde azalır.



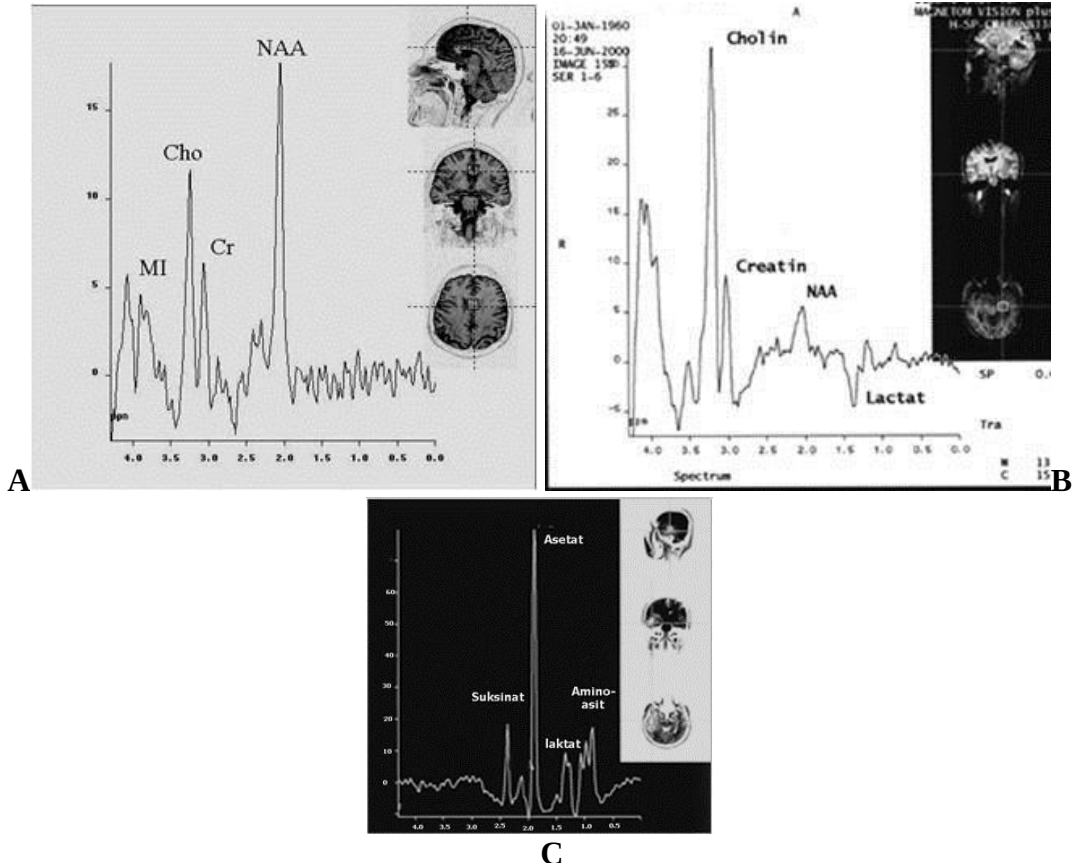
Resim 46. Beyinde fonksiyonel görüntüler. A. Sensorimotor merkezler B. Dil merkezleri

MR sisteminin çok güçlü bilgisayarlara sahip olması, BT’de olduğu gibi görüntü kalitesi çok yüksek üç boyutlu rekonstrüksiyonlar yapabilmemizi sağlar. Bu olanaktan yararlanarak **MR-anjiyografi, MR-kolesistografi, MR-ürografi, MR-miyelografi** yapılabilir (Resim 47). Görüntüleri elde ederken kontrast madde kullanılmaması önemli bir avantajdır.



Resim 47. A. MR-anjiyografi, B. MR-ürografi, C. MR-kolanjiyografi, D. MR-miyelografi

MR yönteminin en ilginç uygulamalarından biri de **MR spektroskopidir (MRS)**. MRS’de bir lezyon ya da bölgede, işaretlenen hacimdeki N-asetilaspartat (NAA), kolin içeren bileşikler (Cho), kreatin (Cr), ölçülerek tümör/abse, tümör/enfarkt ayırımı kolayca yapılabilir. Mezial temporal skleroz, morfolojik bulgular ortaya çıkmadan önce saptanarak temporal lob epilepsisinde tutulan taraf belirlenir. (Resim 48).



Bu kısa açıklamalardan anlaşılıyor ki MR standart bir görüntüleme yönteminden daha çok, klinik soruna göre çok değişik alternatifleri olan bir tanı yöntemidir. BT ile karşılaştırsak, BT incelemesi hastaya bir konfeksiyon elbise seçerek giydirmekse, MR incelemesi ölçü olarak yeni bir elbise dikmektir. Bu nedenle, uygun çekim yöntemini seçebilmek için, MR incelemesi istenirken hastaya ait tüm klinik ve laboratuvar verileri, incelemeyi yapacak radyoloji uzmanına aktarılmalıdır.

MR' nin Ayırabildiği Dokular

MR' nin diğer tanı yöntemlerinden bir üstünlüğü de doku kontrastının birden fazla görüntüyle zenginleştirilmesidir. Bu özelliğinden dolayı MR yumuşak dokuları ayrıntılı biçimde görüntüleyebilmektedir.

MR görüntülerinde beyaza yakın alanlar *hiperintens* ya da yüksek sinyal veya yüksek intensite, siyaha yakın kesimler ise *hipointens* ya da düşük sinyal veya düşük intensite olarak isimlendirilir. Eşit intensitedeki kesimler için *izointens* terimi kullanılır.

MR'de kompakt kemik ve hava sinyalsizdir, her görüntüde siyah görülür. Ancak kemik iliği yetişkinde yağla dolu olduğu için korteks dışında kemikler açık gri tonlarda görülürler. Bebeklerde olduğu gibi, kemik iliği hiperplazisi olan durumlarda da kemik iliğindeki yağ intensitesi T₁ ağırlıklı kesitlerde hipointensiteye dönüşür.

Tendonlar, bağlar, menisküsler hipointens görünür. Kaslar, karaciğer, dalak, böbrek gibi parankimal organlar ara intensitedir.

Beyinde T₁ ağırlıklı görüntülerde beyaz cevher hiperintens, gri cevher hipointens, T₂ ağırlıklı görüntülerde ise tersine beyaz cevher koyu, gri cevher açık gri tonlarda görülür.

Lezyonlar (tümör ya da enflamasyon) genel olarak T₁ ağırlıklı görüntülerde hipointens, T₂ ağırlıklı görüntülerde ise hiperintensdir. Bunun nedeni lezyonlarda su içeriğinin artmış olmasıdır. Az sayıda doku veya lezyon T₁ ağırlıklı görüntülerde hiperintensdir ve bu özellikleri radyolojik tanı açısından büyük değer taşır. Belli başlı dokuların MR görüntülerindeki sinyal intensiteleri Tablo 4'de gösterilmiştir.

Tablo 4. MR görüntülerinde dokuların gri tonları

Dokular	T ₁ A	T ₂ A
- Hava - Kompakt kemik - Menisküs-tendon-bağlar - Matür fibrozis	Çok siyah	Çok siyah
- Yağ -Geç subakut kanama (methemoglobin) - Ferromanyetik katyonlar (melanin) - Gd-DTPA - Protein içeriği yüksek sıvı - Yavaş akım	Çok beyaz	Beyaz/gri-beyaz Çok beyaz Koyu gri Koyu gri Beyaz Beyaz
- Beyaz cevher - Karaciğer-pankreas	Açık gri	Koyu gri
- Gri cevher - Dalak	Koyu gri	Açık gri
- Kas	Koyu gri	Koyu gri

MR’de Kontrast Madde Kullanımı

MR incelemelerinde kontrast madde olarak en sık Gadolinium DTPA (Gd-DTPA) kullanılır. Gd-DTPA oturduğu dokuların T₁ değerlerini belirgin biçimde kısaltır; bu nedenle sadece T₁ ağırlıklı görüntülerde kullanılır. Kontrast tutan kesimler hiperintens görünürler. Gd-DTPA’ya karşı istenmeyen reaksiyonlar iyotlu kontrast maddelere kıyasla çok nadirdir ve daha hafif derecededir.

MR’nin Güçlü ve Zayıf Yanları

Güçlü yanları:

- İyonizan ışın kullanılmaması,
- Hastanın pozisyonu değiştirilmeden istenilen her düzlemde görüntü alınması,
- Yumuşak doku ayırt etme gücünün yüksek olması,
- Kemik sinyalsiz olduğundan, kemiğe komşu yapıların çok iyi incelenmesi (kafa tabanı, beyin sapı, spinal kord, eklemler),
- Kan akımının kontrastsız görüntülenebilmesi,
- Kontrast maddesinin, iyotlu kontrast maddelerden daha emniyetli olması,

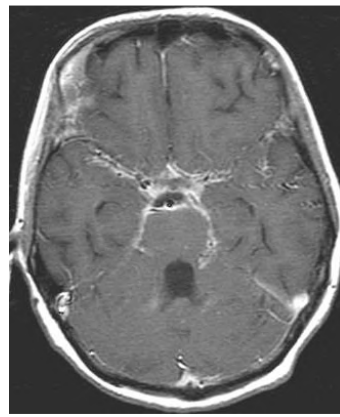
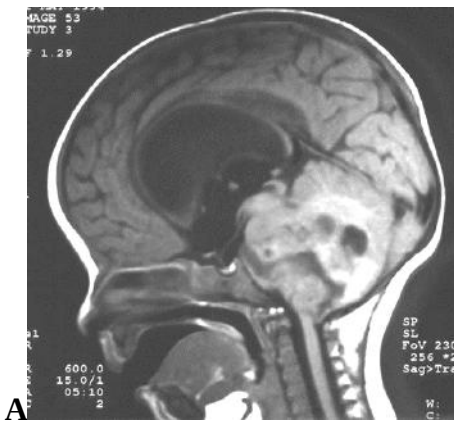
Zayıf yanları:

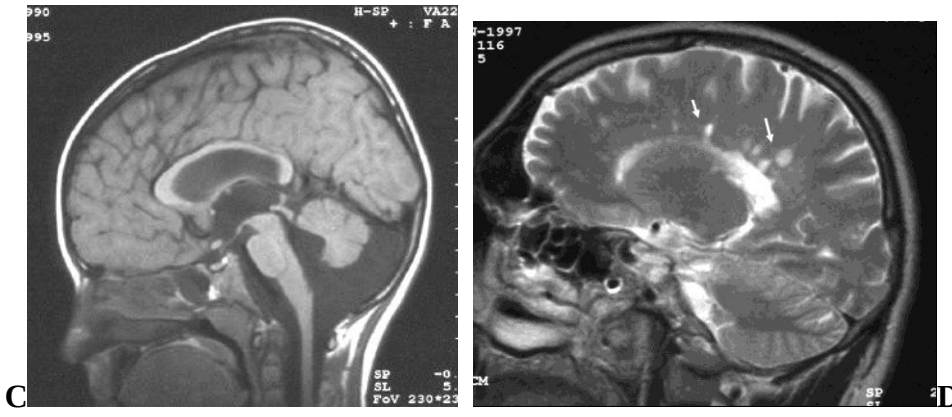
- Kalsiyumun ve akut dönemdeki subaraknoid kanamanın, rutin incelemelerde iyi görüntülenememesi,
- Görüntüleme zamanının uzunluğu nedeniyle harekete çok duyarlı olması (teknolojik ilerleme görüntüleme süresini kısaltarak bu dezavantajı ortadan kaldırmaktadır),
- Harekete duyarlılık nedeniyle iletişim kurulamayan ve bir çok aygıtla bağlı hastaların aygıtı tüneli içine girememesi nedeniyle incelenememesi,
- Hasta güçlü manyetik alana yerleştirildiği için kardiyak “pacemaker”benzeri cihaz taşıyanların ve manyetik materyallerden yapılmış protez ve klip taşıyanların incelenememesi,
- Klostrofobili olguların (%2-5) incelenememesi (açık MR ile incelenebilirler),
- Kuruluş ve işletme giderlerinin, dolayısıyla inceleme fiyatının yüksek olması,

MR’nin Klinikteki Yeri

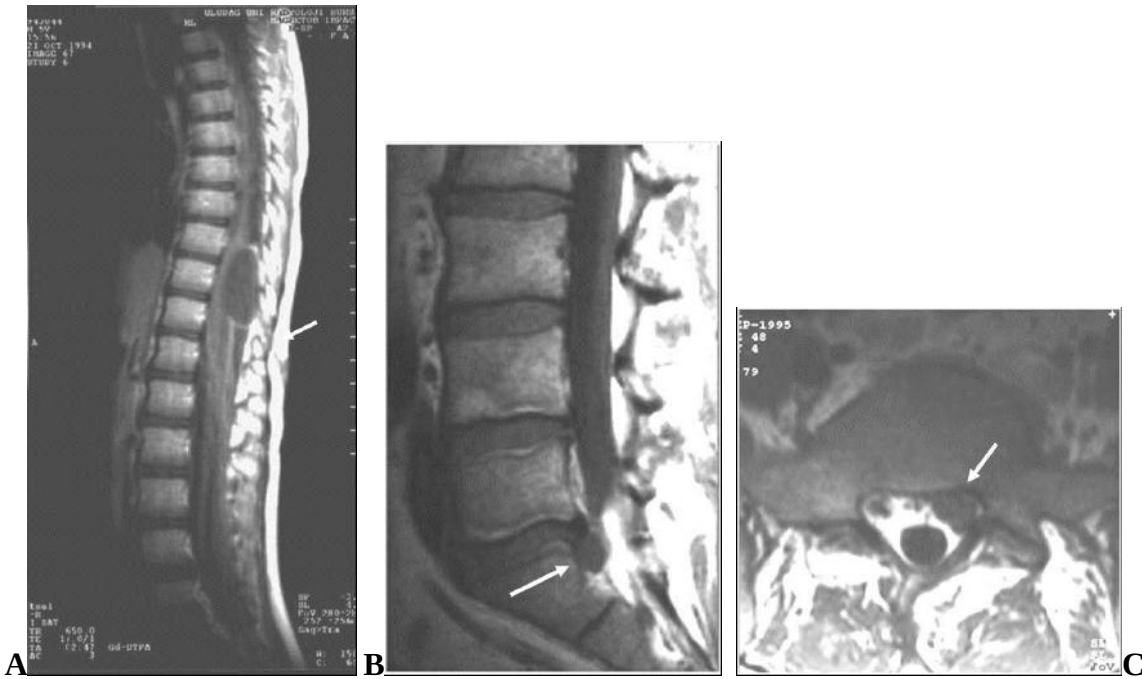
İyonizan ışın olmaması ve yumuşak dokuları en ayrıntılı görüntüleyen yöntem olması nedeniyle MR, birçok alanda temel tanı yöntemi konumuna gelmiştir. Günümüzde bir MR ünitesinin günlük hastasının yaklaşık %70’ini nöroradyolojik incelemeler, %20 ‘sini spor hekimliği başta olmak üzere iskelet- kas- yumuşak doku incelemeleri, geriye kalanını da karın ve mediasten incelemeleri oluşturmaktadır. MR’nin klinikteki yerini şu şekilde özetleyebiliriz:

Merkezi sinir sisteminin temel tanı yöntemidir. Kalsifikasyon ve akut subaraknoid kanama dışındaki tüm merkezi sinir sistemi hastalıklarının tanısında öncelikli olarak kullanılır(Resim 49). Miyelografi gibi invaziv bir çok yöntem yerini MR’ye bırakmıştır. Medulla spinalis lezyonlarında tartışmasız temel yöntemdir (Resim 50).





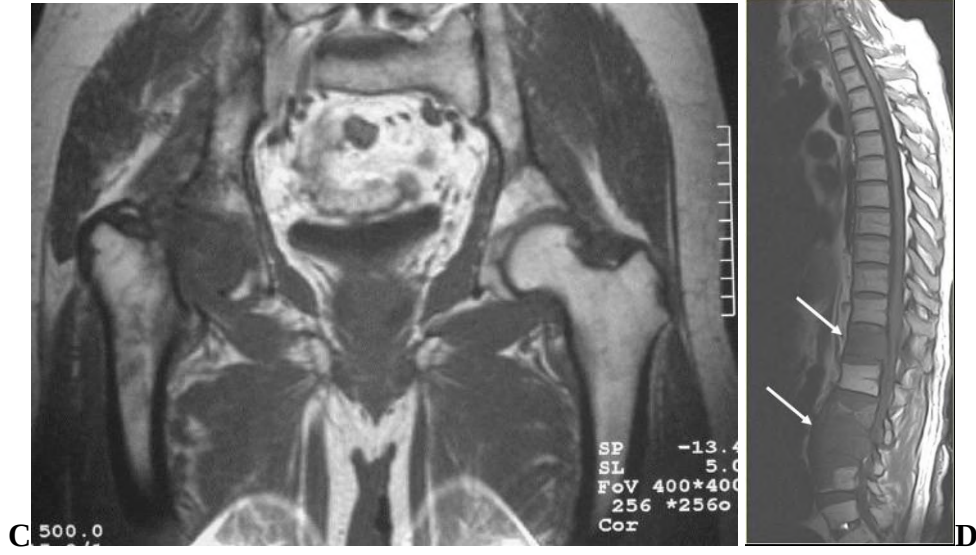
Resim 49. A. Posterior fossa tümörü (oklar) B. TB menenjit: Kontrastlı T_1 ağırlıklı kesit. Bazal sisternalarda yoğun kontrast tutulumu C. Dandy-Walker kisti. Posterior fossa büyük, BOS dolu. Serebellum küçük D. Beyaz cevher hastalığı (MS) (oklar)



Resim50. A. Dermal sinüs, medulla spinalisteki gelişimsel bir tümöral yapıya (dermoid?) uzanıyor. B.ve C. L_5-S_1 disk hernisi (oklar)

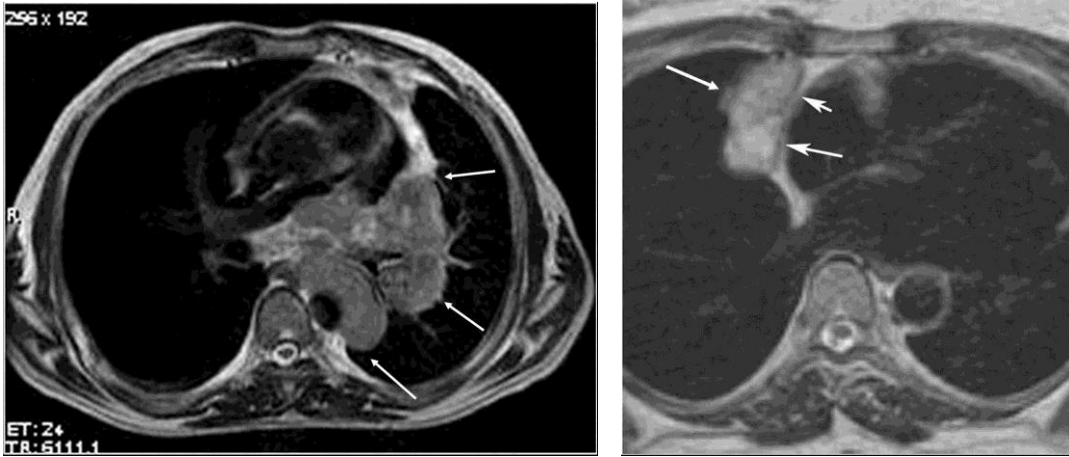
Kas-iskelet sisteminde, kemikle bağlantılı ve eklem içi ve çevresindeki tüm yumuşak dokular (tendon, bağ, kıkırdak, menisküs vb.) en ayrıntılı şekilde MR ile gösterilir. MR, kemik iliğini değerlendirmede ve yumuşak doku tümörlerinde değerli bilgiler verir (Resim 51). Kemik tümörlerinin yaygınlığı en iyi MR ile saptanır.





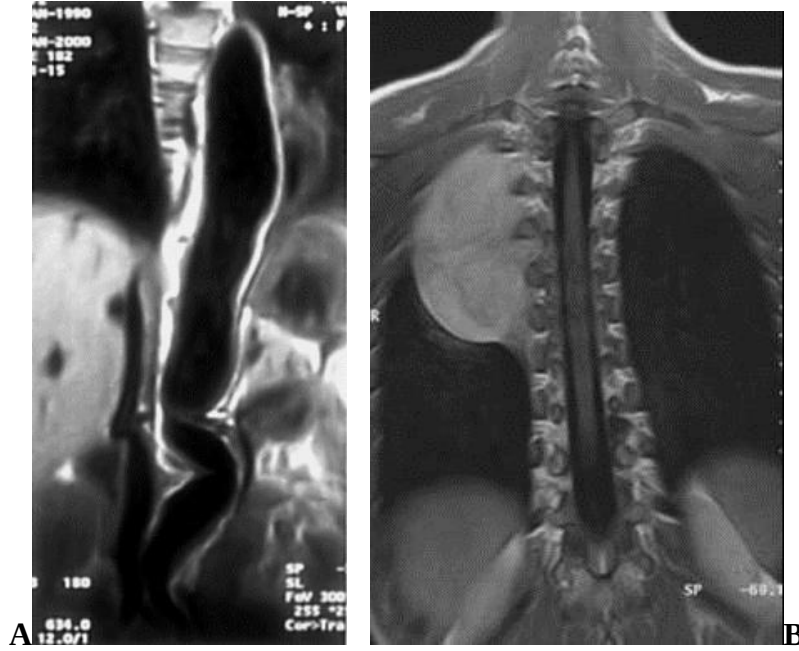
Resim 51. A. Menisküs yırtığı (oklar) B. Kemik tümörü C. Sağ femur başında aseptik nekroz D. Vertebralarda metastaz (oklar)

Akciğerler hava ile dolu olduğu için MR incelemesine uygun bir yapı değildir. Ancak akciğer lezyonlarının çevre invazyonları (perikard, büyük damarlar, göğüs duvarı, diyafragma gibi) MR ile BT'den daha iyi gösterilir (Resim 52).



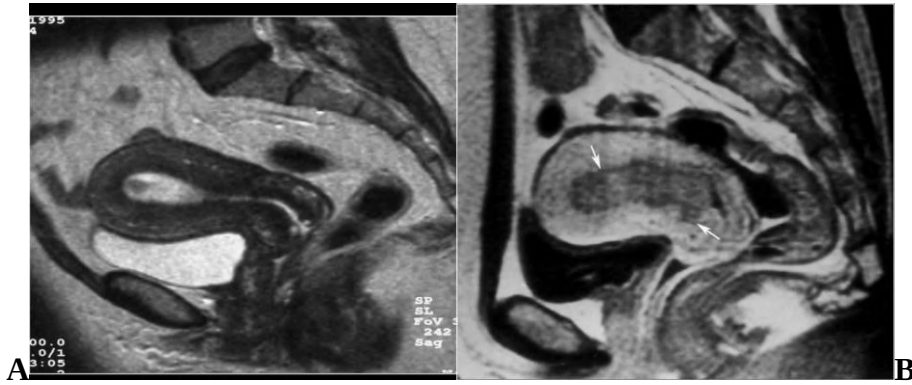
Resim 52. A. Sol hiler kitle. Aort ve perikard invaze (oklar) B. Sağ parakardiakta kitle perikard invazyonu (oklar)

Mediastendeki büyük damarlar kontrast madde verilmeden çok iyi görüntülenir (Resim 53). Arka mediastendeki nörojenik tümörlerin medüller kanalla ilişkisini en iyi gösteren yöntem MR'dir.



Resim 53. A. Takayaşu aortine bağlı aortada anevrizmatik genişleme B. Posterior mediasten tümörü

Endometrium-miyometrium ayırımı en iyi MR ile yapılır. Dolayısıyla jinekolojik kanserlerin evrenlenmesinde, MR tercih edilir (Resim 54). Karaciğer metastazlarının saptanmasında en duyarlı tanı yöntemidir. MR, karında gittikçe daha çok olguda BT'nin yerini almaktadır.



Resim 54. A. Normal uterus (T_2 ağırlıklı kesit) B. Miyometriyal invazyon (oklar) (T_1 ağırlıklı kesit)

Eski fibrozis MR'de daima hipointenstir. Bu özellik sayesinde radyoterapi alan olgularda fibrozis/rekürrens ayırımı yapılabilir. Rekürrens ya da enflamasyon T_2 ağırlıklı görüntülerde hiperintens görünür. İzlemde saptanan kitle, T_1 ve T_2 ağırlıklı kesitlerde hipointens görülüyorsa fibrozis kabul edilir, böylece hastaya gereksiz biyopsi yapılması önlenmiş olur.

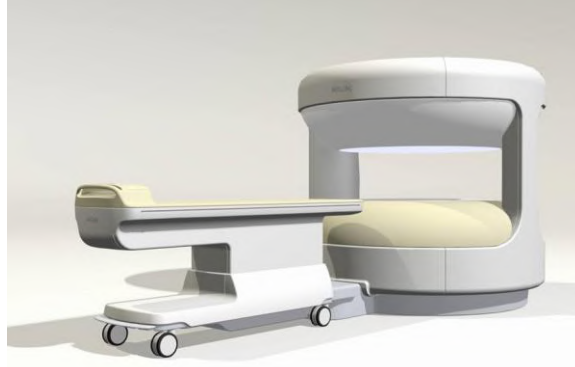
MR'nin Zararlı Etkileri

MR'nin bilinen zararlı bir etkisi yoktur. Kontrast maddesinin de allerjik etkileri iyotlu kontrast maddelere göre yok denecek kadar az ve hafiftir.

En önemli sorunu, güçlü manyetik alanı nedeniyle kardiyak "pacemaker", nörostimulatrör, koklear implant, göz içindeki manyetik yabancı cisimler ve eski ferromanyetik intrakraniyal anevrizma kliplerinin varlığında incelemenin yapılamamasıdır. Klostrofobili hastalar da MR cihazının tüneline giremezler.

Klostrofobili kişilerde sedasyon, bazen de anestezi gerekebilir. Ancak bu sorun kapalı tüneli olmayan **açık ("open") MR** ile de çözülebilir (Resim 55). Bu aygıtların gücü düşüktür; dolayısıyla inceleme süreleri güçlü aygıtlara göre daha uzundur. MR spektroskopisi yapamazlar; ancak görüntü kalitesinde önemli bir fark yoktur.

MR'nin harekete çok duyarlı olması nedeniyle küçük çocuklarda anestezi verilmesi gerekir. Bu durumda anestezinin riski de hesap edilmelidir.



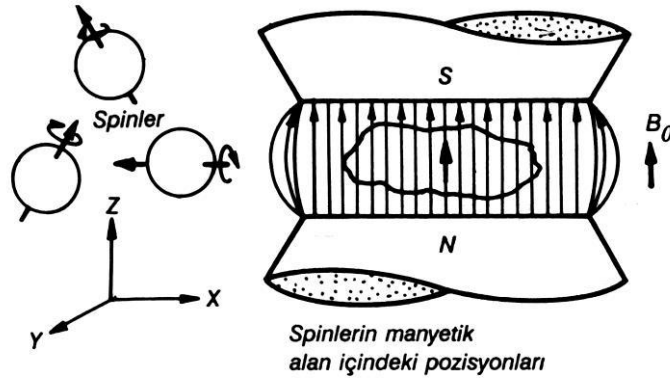
Resim 55. Açık ("open") MR

MERAKLISI İÇİN NOTLAR!

- **MR'nin temel fizik prensipleri nelerdir?**

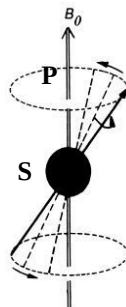
Atom çekirdeğinin temel yapıları olan proton ve nötronlar kendi aksları etrafında dönerler. Buna **spin** hareketi adı verilir. Bu özellikleri nedeniyle protonlar manyetik bir çubuk gibi davranırlar ve çevrelerinde doğal olarak bir manyetik alan meydana gelir.

Hidrojen atomu, çekirdeğinin tek protondan ibaret olması nedeniyle güçlü manyetik alana sahiptir. İnsan vücudunda bol miktarda bulunan bu çekirdek sinyal kaynağı olarak idealdir.



Şekil 10. Spinler ve manyetik alan içersindeki konumları

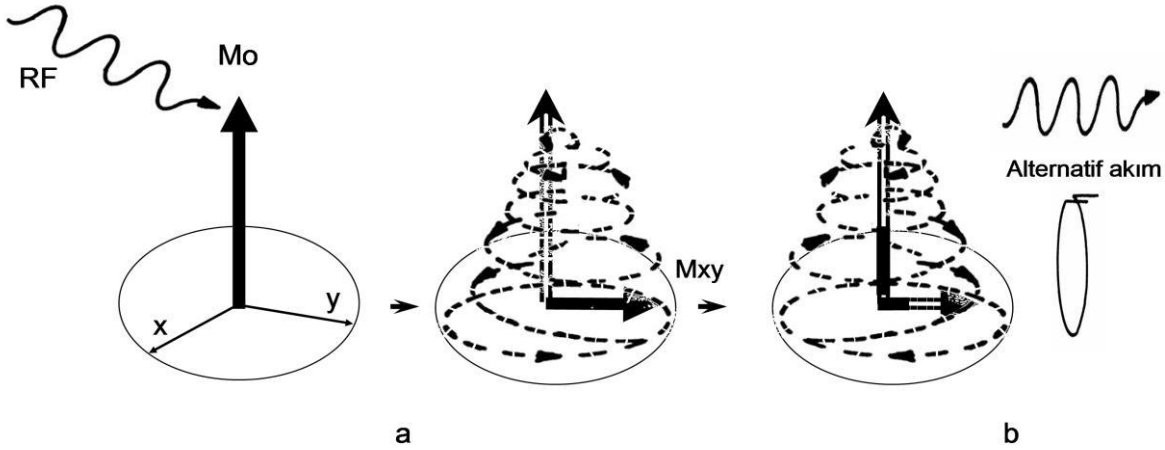
Protonlar, dokularda normalde birbirinin etkisini ortadan kaldıracak şekilde rastlantısal olarak dizilirler. Bu nedenle vücudun manyetizasyonu sıfırdır (Şekil 10). İncelenecek vücut kesimi güçlü bir manyetik alan içerisine konduğunda, bu protonlar küçük demir çubukların manyetik alanda davrandıkları gibi, manyetik alan vektörüne paralel konuma geçerler. Ancak bu paralellik hareketsiz bir duruş değil, manyetik alan vektörü çevresinde topaç gibi bir dönüşle birlikte. Bu dönüşe de **presesyon** adı verilir (Şekil 11). Protonların presesyonlarının frekansı, manyetik alanın gücü ile doğru orantılıdır.



Şekil 11. Manyetik alan içerisindeki spinlerin presesyon hareketleri B_0 : Manyetik alanın yönü (vektörü), S : Spin hareketi, P : Presesyon hareketi

Presesyon, manyetik rezonans olayının temelidir. Protonları etkileyebilmek için önce onları manyetik alan içerisine koyarak presesyon yaptırmak gerekir. Ancak bu durumdaki protonlar dışarıdan gönderilecek presesyon frekansındaki bir radyo dalgasıyla (RF) rezonansa girebilirler.

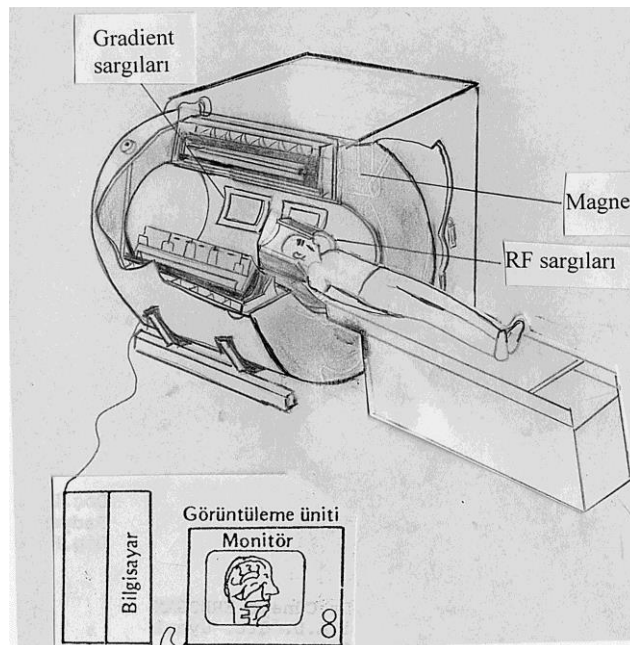
Radyo dalgası ile uyarılan bu protonlar manyetik alan vektörüne paralel olan konumlarından saparak vektörle bir açı yaparlar. Radyofrekans (RF) kesildiğinde ise presesyon yaparak eski konumlarına dönerler. Bu presesyon hareketinin ürettiği alternatif akım görüntülemeye kullandığımız MR sinyali (Şekil 12).



- **MR aygıtının temel parçaları nelerdir?**

MR aygıtı da BT gibi üç ana parçadan oluşur. (Şekil 13) Manyetik alanın konumuna yatırılır (Şekil 13) dön

ri toplama bölümü: Bu bölümün ana parçası çok güçlü manyetik alan üreten mıknatıslardır. Genel amaçlı MR'lerin manyetik alan gücü genellikle 1.0-1.5 Tesla civarındadır. Ortasında hastanın içine sokulduğu bir tüneli vardır. İçlerinde, kesit alabilmek için ana manyetik alanı kontrollü olarak hafifçe değiştiren ek sargılar bulunur. Bunlara **gradiyent sargılar** adı verilir. Üç düzlemde yerleştirilmiş bu sargılar sayesinde hastanın pozisyonu değiştirilmeden her üç düzlemde de kesit alınabilir.



Şekil 13. MR aygıtının bölümleri

Veri toplama bölümünün diğer önemli parçası **RF sargılarıdır**. RF sargıları RF pulsunu gönderen ve sinyalleri toplayan aygıtlardır. İncelenen bölgeye ne kadar yakınsa veriler o kadar hassasiyetle elde edilir. Her bölgeye göre dizayn edilmiş RF sargıları vardır. İncelenen bölgeye RF sargısı yerleştirildikten sonra hasta mıknaşın tüneli içerisine sokulur.

- **Bilgisayar sistemi:** BT'de olduğu gibi, hatta daha gelişmiş bilgisayar sistemleri vardır. Veriler bu bilgisayarlarda işlenerek görüntüler oluşturulur.
- **Görüntüleme birimi:** BT'deki gibidir. Yüksek çözünürlüğe sahip bir monitörde görüntüler seçilir, işlenir ve filmler üzerine kaydedilir. Bu birim aynı zamanda sistemin kontrol ünitesidir.

• **MR'de görüntü nasıl yapılır?**

RF göndererek manyetik alandan saptırdığımız protonları manyetik alana dik bir düzleme (x-y düzlemi) yatırdığımızı varsayalım. Yani protonları, manyetik alan vektöründen 90° saptıracak bir RF pulsu uygulamış olalım. RF göndermeyi kestiğimizde vokselimizde yatırdığımız milyonlarca proton, aynı fazla presesyona başlar. Bu başlangıç, sinyalin en güçlü olduğu noktadır. Çünkü tüm manyetik çubuklar (protonlar) en yüksek enerji seviyesindedir (90° de) ve hepsi birden hareket ederek (aynı fazda) çok güçlü bir manyetik alan oluşturur. Bu güçlü manyetik alanın dönmesi ise yüksek bir alternatif akım yaratır.

Zaman geçtikçe, presesyona birlikte başlayan protonların dönüş hızları çevrelerindeki manyetik alanın küçük farklılıklarından etkilenerek değişmeye başlar. Bu farklılık blok olarak dönen protonların gittikçe dağılmasına neden olur. Protonların dağılması, üretilen alternatif akımın (sinyalin) zayıflaması demektir. Protonlar bir daire oluşturup tümüyle farklı fazlarda dönmeye başladıklarında (defaze olduklarında) sinyal biter.

Sinyalin zayıflaması sadece bu olaya bağlı değildir. RF'nin kesilmesiyle başlayan presesyonla, protonlar x-y düzleminde gittikçe küçülen daireler çizerek başlangıç konumlarına dönerler. Başlangıç konumuna yaklaştıkça da x-y düzlemindeki izdüşümü küçüleceğinden sinyalin gücü azalacaktır. Protonlar başlangıç konumlarına gelmeden önce daima defaze olurlar, yani sinyalleri biter.

Her voksel içerisindeki protonların, içinde bulundukları ortama göre başlangıç konumlarına gelme ve defaze olma süreleri değişiktir. Protonların eski konumlarına gelme sürelerine T_1 , defaze olma sürelerine ise T_2 süreleri adını veriyoruz. T_1 süresi T_2 'den daima daha uzundur. Saf suyun ya da BOS' un T_1 değeri 2000-3000msn, yağınki ise 150-250 msn dir. T_2 değeri ise genellikle T_1 değerlerinin %10-20'si kadardır. Sıvılarda T_2 değeri T_1 'e yaklaşır, katılarda belirgin şekilde düşüktür. Bu değerlerin manyetik alanın gücüyle değiştiği unutulmamalıdır.

MR görüntüleri, dokulardaki protonların miktarı ile birlikte T_1 ve T_2 değerlerindeki farklılıklardan oluşturulur. Doku ve lezyonların, su içerikleri (proton yoğunluğu) ve protonlarının T_1 ve T_2 süreleri farklıdır. Görüntü oluşturulurken bu üç parametre de kullanılır. Bu üç parametre ile elde edilen tek bir görüntü de yeterli değildir. Genellikle incelenen bölgenin bu parametrelerden herbirinin ağırlıklı olarak kullanıldığı üç ayrı görüntüsü elde edilir. Bu görüntülere biz T_1 ağırlıklı, T_2 ağırlıklı ve proton ağırlıklı görüntüler adını veriyoruz.

Bu görüntüler **spin eko** (SE) görüntüleridir. SE görüntüleme MR'nin ana görüntüleme yöntemidir. Rutin olarak kullanılır. Ancak inceleme süresinin kısaltılması gerektiğinde hızlı teknikler (**gradient eko**, **HASTE** gibi) kullanılmalıdır. Yağ baskılama, perfüzyon, diffüzyon gibi değişik amaçlara göre hazırlanmış farklı puls sekanslarının varlığı MR'yi başlı başına bir uzmanlık alanı haline getirmiştir.

• **T_1 , T_2 ve Proton ağırlıklı görüntüleri nasıl elde ediyoruz? Bu görüntüleri nasıl tanıyabiliriz?**

Bu görüntüleri oluşturmak için, gönderdiğimiz RF pulsarı arasındaki süreyi ("time repetition" TR) ve sinyal dinleme süresini ("time echo" TE) değiştiririz. Bu değerler MR kesitlerinde görüntülerin kenarlarında belirtilirler.

T_1 ağırlıklı görüntüler elde etmek için RF pulsunu arka arkaya kısa aralıklarla göndermek (kısa TR), sinyal dinleme süresini de kısa tutmak (kısa TE) gerekir. Örnek TR: 500 msn, TE: 15 msn.

T_2 ağırlıklı görüntüler için ise TR ve TE değerleri uzun olmalıdır. Örneğin TR: 2000 msn, TE: 90 msn.

Proton ağırlıklı görüntüler ise uzun TR ve kısa TE değerleri ile elde edilir. Örneğin TR: 2000 msn, TE: 15 msn.

MR sekanslarını tanımanın diğer yolu ise su ve yağın görünümüne bakmaktır. T1 ağırlıklı görüntülerde su siyah, yağ beyaz, T2 ağırlıklı görüntülerde su beyaz, yağ beyaza yakın gri tondadır. Proton ağırlıklı görüntülerde ise su beyaza yakın gri tonda, yağ ise parlak beyaz görülür.

ULTRASONOGRAFİ (US)

US, vücuda yüksek frekanstaki ses dalgaları (ultrason) gönderip, farklı doku yüzeylerinden yansımalarını (eko) saptama temeline dayanır. Yöntemin kesitsel görüntüleri bu ekolardan oluşturulur.

US aygıtı, prob, ana konsol ve monitörden ibarettir. Prob, sesi üreten ve yansıyan sesi saptayan transdüseri taşır. Ana konsol verileri işleyerek görüntüye çevirir (Resim 56). Prob, incelenecek bölge üzerinde dolaştırılırken görüntüler monitörde canlı olarak izlenir. Problar görüntülenen vücut kesiminin kesitlerini yapan bir bıçak gibi düşünülmelidir. Kesitler, probun ağzının düzlemine ve probun eğimine göre şekillenir. Bu nedenle US görüntüleri ancak probun inceleme sırasındaki duruşu (yeri, düzlemi ve eğimi) bilinirse yorumlanabilir



Resim 56. US aygıtı

US’de tanı inceleme sürecinde konur. Kesitlerde üst kesim yüzeyi; resmin sağı, aksiyal kesitlerde hastanın sağını, sagittal kesitlerde ise baş tarafını gösterir.

Gri skala US adı verilen bu yöntemde görüntüler ekoların genlikleri (amplitüdları) ile oluşturulur. Doppler US’ de ise ekoların frekans ve faz değişiklikleri işlenerek kan akımı değerlendirilir.

İnceleme Yöntemleri

İki temel yöntemi vardır:

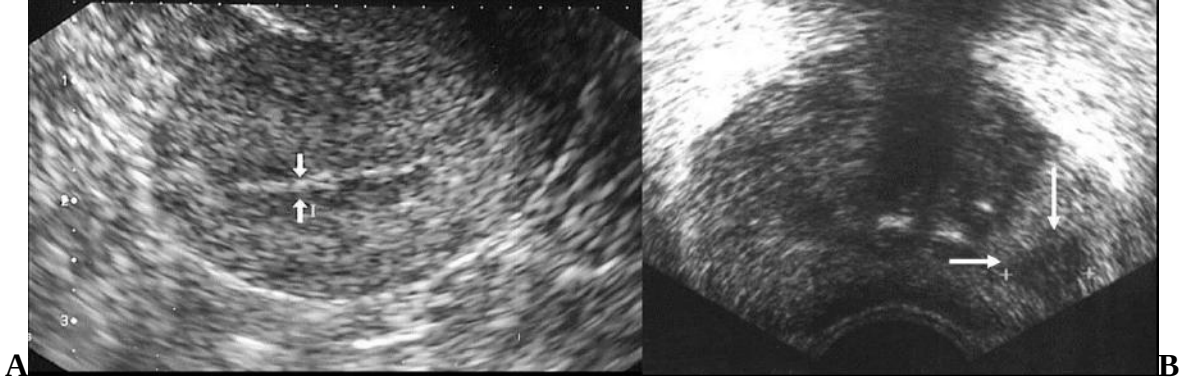
Gri skala US: B-mode da denilen bu yöntemin fizik kuralları denizaltıları ve balık sürülerini saptayan sonar sistemlerinin aynısıdır. Gri skala US’de görüntü, ekoların dönüş süresi ve genişliği (amplitüdü) kullanılarak oluşturulur.

US incelemesinde ses pulslar halinde gönderilir ve dönen ekolar parlak noktalar olarak kaydedilir. Sesin yumuşak dokular içerisindeki hızı bilinmektedir (1540 m/sn). Sesin dönüş süresi ikiye bölünüp sesin hızı ile çarpılırsa yankıların hangi derinlikten geldiği saptanır. Ekoların genlikleri ise noktaların parlaklıklarını belirler. Görüntüler, siyah bir zemin üzerinde parlaklığı farklı noktalardan oluşur (Resim57).



Resim 57. Fetusun profilden yüz görünümü

US incelemesinde, sesin frekansı arttıkça görüntünün ayrıntısı artar; fakat sesin penetrasyonu azaldığı için derin yapıların görüntülenmesi olanaksızlaşır. Bu fizik kural, iyi bir görüntü için incelenecek dokuya olabildiğince yaklaşmak düşüncesini doğurmuştur. Bu düşünceden yola çıkarak endosonografik ve intraoperatif uygulamalar geliştirilmiştir. **Endosonografik US**'de **transvajinal** problemlerle uterus ve adneksler detaylı olarak görüntülenir; **transrektal** problemlerle prostat lezyonları saptanıp biyopsi yapılabilir (Resim 58). **İntraoperatif US** ile ameliyat sırasında tümörlerin sınırları çok iyi bir şekilde belirlenebilir.

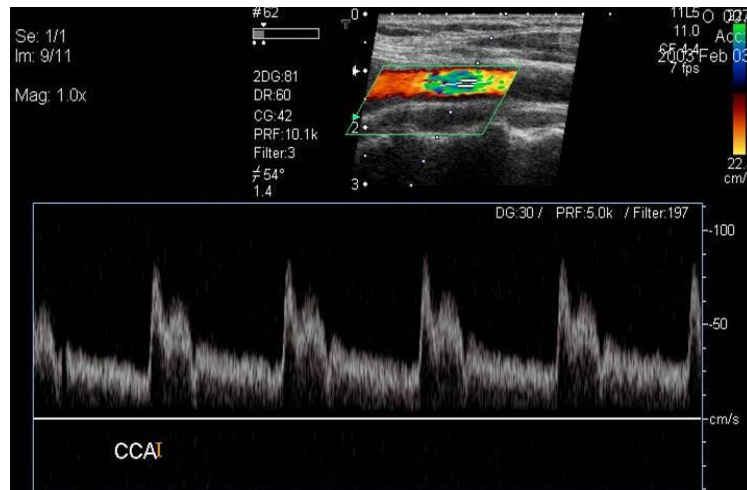


Resim 58.A.Transvajinal US.Endometrium (oklar) B.Transrektal US.Prostat kanseri(ok)

Doppler US: Sabit frekansla ses veren hareketli bir kaynak yaklaştıkça daha tiz (artmış frekans, kulağa gelen sesin dalga sayısı artmıştır) uzaklaştıkça daha pes (azalmış frekans, kulağa gelen sesin dalga sayısı azalmıştır) işitilir. Buna Doppler kayması adı verilir. Damardan akan kanın içerisindeki eritrosit gibi şekilli elemanlar hareketli yapılardır. Ses bu yapılardan yansır. Gönderdiğimiz sesle yansıyan sesin arasındaki frekans değişikliğini (Doppler kayması) saptayarak akımın yönünü ve hızını belirleyebiliriz.

Doppler incelemelerinin temel endikasyonu, akım hızı aracılığı ile damar darlıklarının belirlenmesidir. İncelenecek damar önce gri skala US ile morfolojik olarak incelenir; aterosklerotik plak, kalsifikasyon, intimal düzensizlik araştırılır. Daha sonra kan akımının niteliği ve niceliği incelenir. Akım renkle kodlanır, akımın yönü ve şekli belirlenir. **Renkli Doppler** adı verilen bu incelemede, renklerin tonlamasına bakarak akımın hızı hakkında kabaca bir fikir sahibi olunabilir.

Damar darlığının daha duyarlı saptanması için akım hızının ölçümü gerekir. Akan kanın miktarının değişmemesi için örneğin damar çapı yarıya inmişse akım hızı iki misli artmalıdır. Bu ilişki lümenin %95'den daha fazla daralarak akım hızının birden düştüğü kritik noktaya kadar geçerlidir. Bunun için incelenen damarın ortasından küçük bir örnek alan seçilerek akım, frekans ya da hız/zaman grafiği şeklinde yazdırılır. Akımın hızını ve niteliğini bir grafik şeklinde gösteren bu yöntem **Spektral Doppler** adı verilir (Resim 59).



Resim 59.Karotisin renkli ve spektral Doppleri

Akımın niceliği ve niteliğini belirlemede spektral Doppler daha duyarlıdır. Grafik üzerinde ölçümler yapılarak hem darlığın derecesi saptanabilir, hem akımın niteliği bir takım ölçümlerle (rezistiv indeks, pulsatilite indeksi) sayısal olarak gösterilebilir.

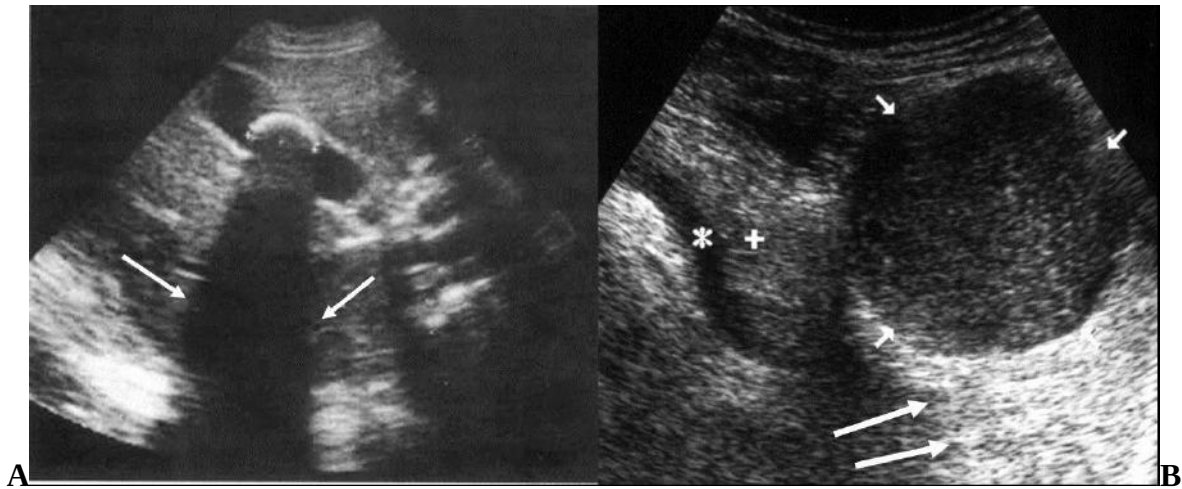
Doppler US'de yüksek frekanslı ses kullanılmakla birlikte, dönen sesdeki frekans değişikliği kulağın duyacağı sınırlardadır. Kulak en duyarlı ses ayırıcısıdır. Deneyimli bir hekim bu sesi dinleyerek akımın niteliği ve niceliği hakkında yeterli bilgi sahibi olabilir. Bu nedenle en gelişmiş Doppler aygıtlarında bile hoparlörler varlıklarını sürdürmektedir.

US'nin Ayırabildiği Dokular

Görüntülerde ekoların yoğun olduğu bölgeler *hiperekoik (beyaz)*, az olduğu bölgeler *hipoekoik (siyah)*, hiç bulunmadığı kesimler ise *anekoik (simsiyah)* olarak tanımlanır. Ekojenitesi birbirine eşit olanlara *izoekoik* lezyonlar denir. Hiperekoik lezyonlar için ekojen, hipoekoik lezyonlar için ise tranzonik ve sonolusent gibi tanımlamalar da kullanılır.

Gri skala görüntülerde beyaz noktaların yoğunluğu ve parlaklığı yankıların çokluğu ve genliği ile doğru orantılıdır. Yansıma doku yüzeylerinden olur. Yüzeyi oluşturan dokuların sese karşı davranışları ne kadar farklı ise yansıma da o kadar fazladır.

Su, sesi çok az absorbe eder, çok iyi iletir. Bu nedenle kistik yapıların arkasına, komşu yapılara kıyasla daha fazla ses geçer. Fazla geçen sesin yansıması da fazla olacağı için kistin arka kesimi aynı derinlikteki komşu dokuya göre daha parlak görülür. **Akustik zenginleşme** veya **arka duvar yankılanması** adı verilen bu görünüm kistik oluşumların tanısında kullanılan önemli bir bulgudur (Resim 60) . Abse veya nekroz alanları gibi kistik yapılar, içlerindeki yansıtıcı yüzeyleri (pü, debris vb) nedeniyle solid bir oluşum görünümü vermelerine rağmen arka duvar yankılarıyla tanınırlar. Partikülsüz sıvı içeren kistler anekoik görülürler. Safra kesesi ve mesane doğal kistik yapılardır. Jinekolojik US incelemelerinde, sıvının iyi bir akustik pencere oluşturması nedeniyle mesanenin dolu olması istenir.



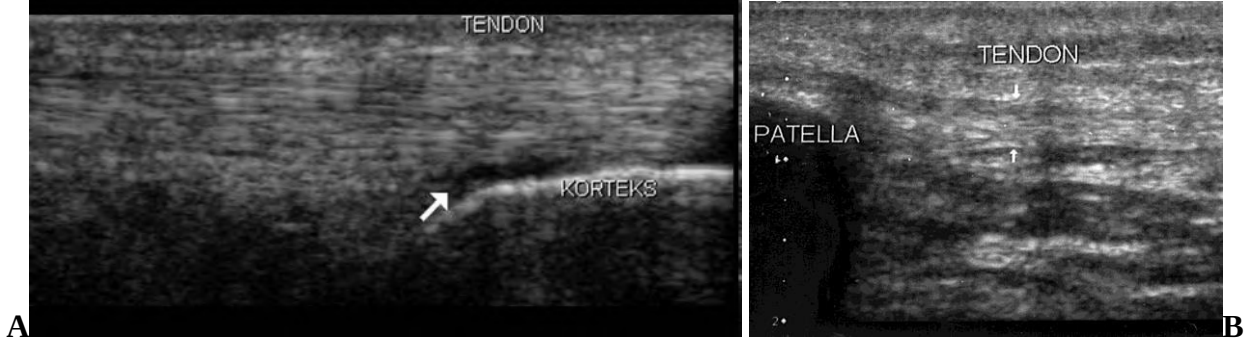
Resim 60. A. Safra kesesi taşının arkasında akustik gölge (oklar) B. Absenin (küçük oklar) arkasında akustik zenginleşme (büyük oklar)

Suyun tersine kemikler ve kalsifiye yapılar sesi çok fazla absorbe eder. Ayrıca kemik-yumuşak doku yüzeyinden yankı da oldukça fazladır (gelen sesin yaklaşık %40'ı). Dolayısıyla kemiklerin arkalarına geçen sesin miktarı çok azalır ve görüntülerde bu bölge simsiyah görülür. **Akustik gölge** adı verilen bu bulgu taşlar ve kalsifikasyonların tanınmasını sağlar. Bu fizik kural nedeniyle kemikler US incelemesi için engel oluştururlar.

Hava ses iletiminde dokularla oluşturduğu yüzey nedeniyle sorun yaratır. Hava-yumuşak doku yüzeyinden sesin hemen hemen tümü yansır. Akciğerler ve gazlı bağırsak segmentleri gibi havalı yapıların arkalarındaki kesimler incelenemez. Bu nedenle US incelemelerinde hava temasını kesmek için proba cilt arasına jel sürülür.

Karaciğer, dalak, pankreas, böbrek korteksi gibi parankimal organlar, kendilerine has ince granüler yapıda, homojen ve değişik tonlarda hipoekoik görünümündedirler. Karaciğerde, çevresinde Glisson kapsülü bulunan portal dalların kenarları hepatik venlerden daha ekojendir.

Çizgili kasların fibrilleri yansıtıcı yüzeyler oluşturur. Bu nedenle kaslar hafif ekojen çizgili görünür. Tendonların da ince, hiperekojen fibrillerden oluşan tipik görünümü vardır. (Resim 61). Deri altı yağ dokusu kasa göre hipoekoiktir



Resim 61. A. Aşil tendonunun fibrilli görünümü B. Pateller tendon (oklar)

Renkli Doppler’de kırmızı ve mavi renkler kullanılır. İncelenen akım için hangi renk seçilmişse, diğer renk karşı yönden gelen akımı gösterir. Hızlı akım rengin açık tonları ile gösterilir. Darlıklardan sonra izlendiği gibi akımın girdap yaparak tersine döndüğü alanlar, karşı renkle kodlanırlar. Hızın çok arttığı belirgin darlıklarda renk mozayığı ortaya çıkar.

US’de Kontrast Madde Kullanımı

US’ de kontrast madde olarak 3-6 μ çapında kapsüllü hava kabarcıkları kullanılır. Kapsülleri insan albümininden yapılmıştır ve gazın istenilen süre kapalı kalmasını sağlar. İV olarak verilen bu madde ile vasküler lezyonların görünürlüğü artırılmaya çalışılır. Rutin olarak kullanılmaz.

US’nin Güçlü ve Zayıf Yanları

Güçlü yanları:

- İyonizan ışın kullanılmaz. Bilinen hiçbir zararlı etkisi yoktur. Bu nedenle obstetrikte ve çocuklarda ilk ve temel tanı yöntemidir.
- US aygıtlar taşınabilir olduğundan, yatak başı inceleme yapılabilir. Bu özelliği, özellikle küvözdeki yeni doğanlarda ve yoğun bakım ünitelerinde çok değerlidir.
- US aygıtlar görece ucuzdur ve inceleme basittir. İnceleme sırasında hastaya hiç rahatsızlık verilmez.

Zayıf yanları:

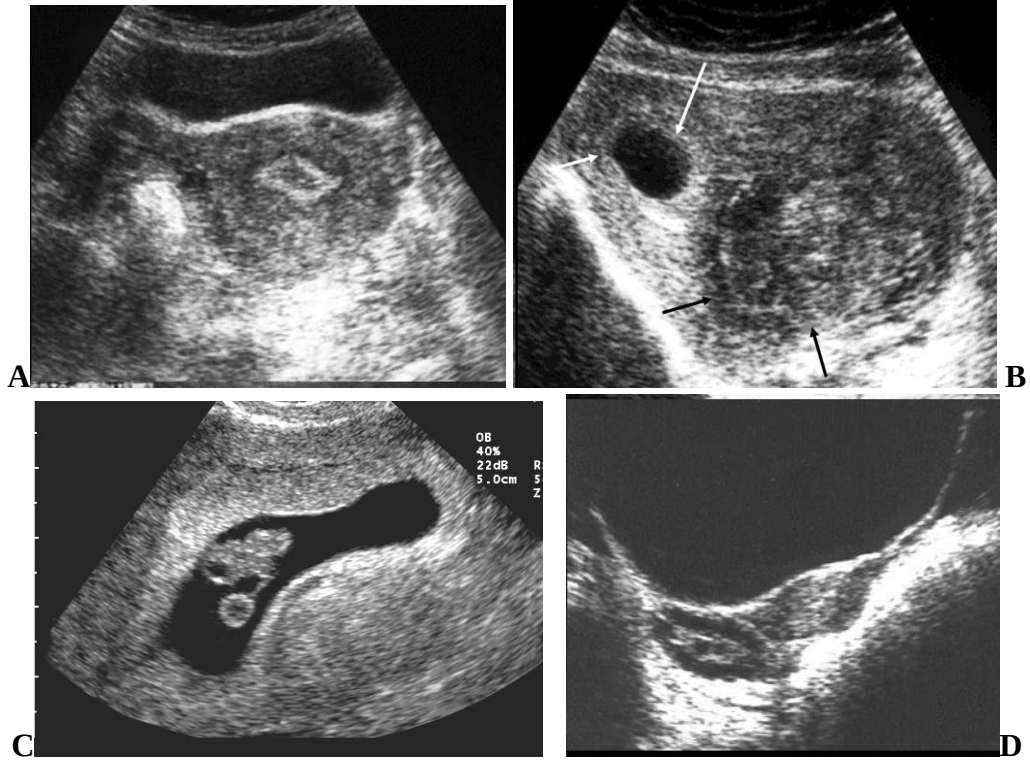
- Görüntü canlı olduğu için inceleme süreci tanıda en önemli evredir. Probun duruşu ile kesit düzleminin değişmesi, standart kesit almayı zorlaştırır. Bu nedenlerle tanı, incelemeyi yapan kişinin bilgi ve beceri düzeyine çok bağlıdır. Doppler US eğitiminin uzun olması da bir dezavantajdır.
- Hava ile dolu olan normal akciğerler görüntülenemez. Barsak gazları da, eğer uygun bir pencere bulunamazsa, arkalarındaki yapıların incelenmesini engeller.
- Ses kalın kalvaryum kemiklerini yeteri kadar geçemediği için yetişkinde intrakraniyal yapılar US ile görüntülenemez.

US’nin Klinikteki Yeri

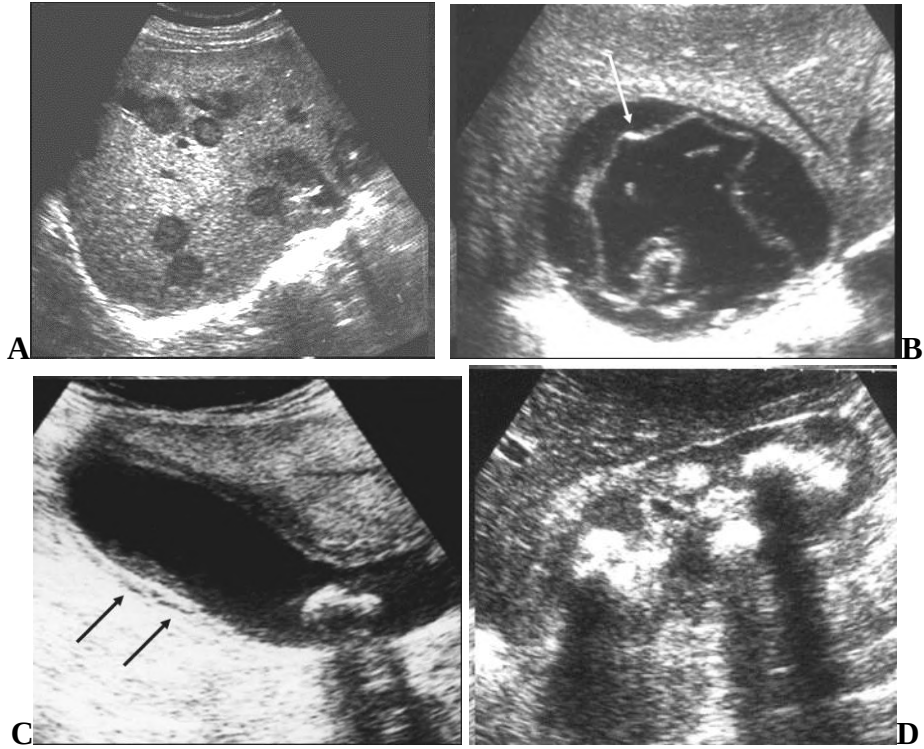
US bir yumuşak doku inceleme yöntemidir. Ses sıvılar içinde çok iyi yayıldığı için özellikle kistik yapıları çok iyi görüntüler. US’nin klinik kullanımını şu şekilde özetleyebiliriz:

Obstetrik ve Jinekoloji: Büyük bir kistik yapı olan amnion kesesi içindeki fetus, US ile incelemeye çok elverişlidir. Ek olarak zararlı bir etkisinin olmaması da US’yi obstetrikte temel tanı yöntemi konumuna getirmiştir. Benzer şekilde jinekolojide de US ilk ve temel yöntemdir (Resim62).

Parankimal organlar: Karaciğer, pankreas, dalak ve böbrek parankimi US ile çok iyi incelenir. Doğal kistik yapı olan safra kesesi ve mesane de US incelemesi için çok uygun yapılardır. (Resim 63).



Resim 62. A. Uterusun enine kesiti (transabdominal US) B. Uterusta miyom (siyah oklar) ve boş gestasyonel kese (beyaz oklar) (transvajinal US) C. Obstetrik US 1.trimestir embriyo ve yolk kesesi (transvajinal US) D. Over (transabdominal jinekolojik US, mesanı dolu)



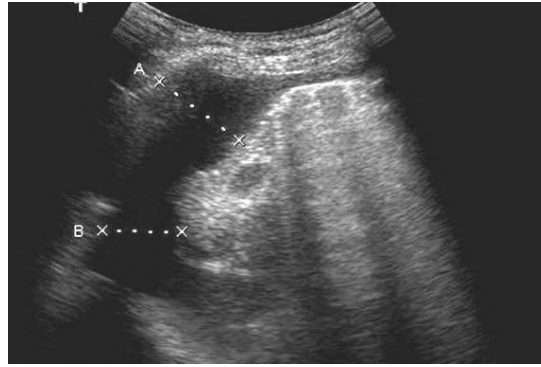
Resi 63. A. Karaciğerde hipoekoik metastazlar. B. Karaciğerde hidatid kist, germinatif membran (oklar) C. Safra kesesi taşı ve kolesistit safra kesesi duvarı kalınlaşmış (oklar) D. Böbrek taşları

Yüzeyel yapılar: Yüksek frekanslı problemlerle incelenirler. Tiroid, paratiroid, tükürük bezleri, göz küresi, lenfadenomegali, meme, rotator kılıf yırtıkları, gelişimsel kalça displazileri (femur başı ossifiye olmadan önce), yumuşak doku lezyonları ile testis ve skrotum ayrıntılı bir şekilde görüntülenebilir (Resim 64). Transrektal problemlerle prostat incelenir ve kanser şüphesinde biyopsi yapılır

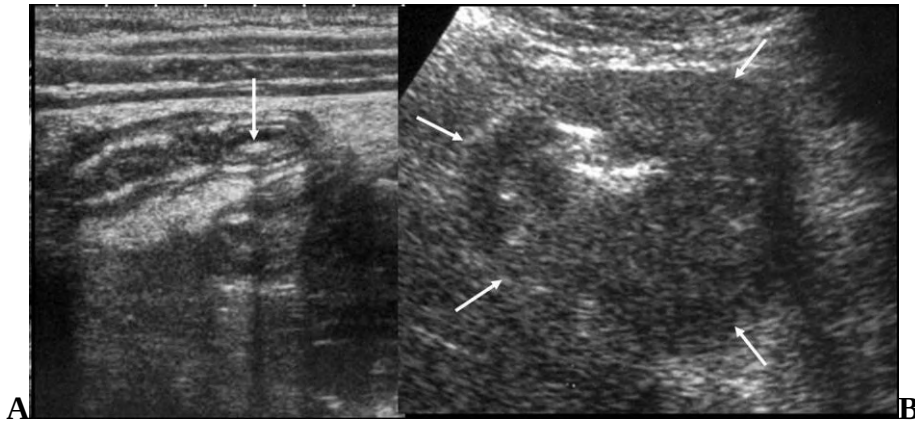


Resim 64. A. Tiroide hipoekoik nodül (oklar) B. Kalça US C. Testiste hipoekoik tümöral kitle (oklar)

Gazlı organlar: Gaz varlığı US'nin toraks ve sindirim borusundaki uygulamasını sınırlar. Bununla birlikte toraks duvarına dayanan solid veya kistik oluşumlar US ile çok iyi incelenebilir (Resim 65). US ile az miktardaki plevral sıvıyı saptamak mümkündür. Benzer şekilde gaz içermeyen barsak segmentleri US ile görüntülenebilir. İlginç olan nokta, duvarı kalınlaşmış barsak segmentlerinin genellikle gaz içermemesidir. Bu nedenle sindirim borusu duvarının kalınlaşmasına neden olan karsinom, lenfoma, enflamasyon ve akut apandisit US ile kolayca saptanabilir (Resim 66).



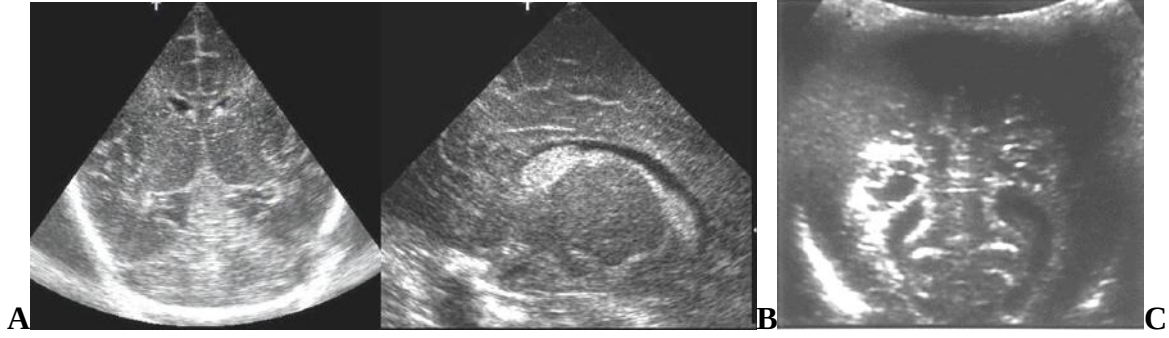
Resim 65. Plevral sıvı (işaretler arasındaki anekoik bölge)



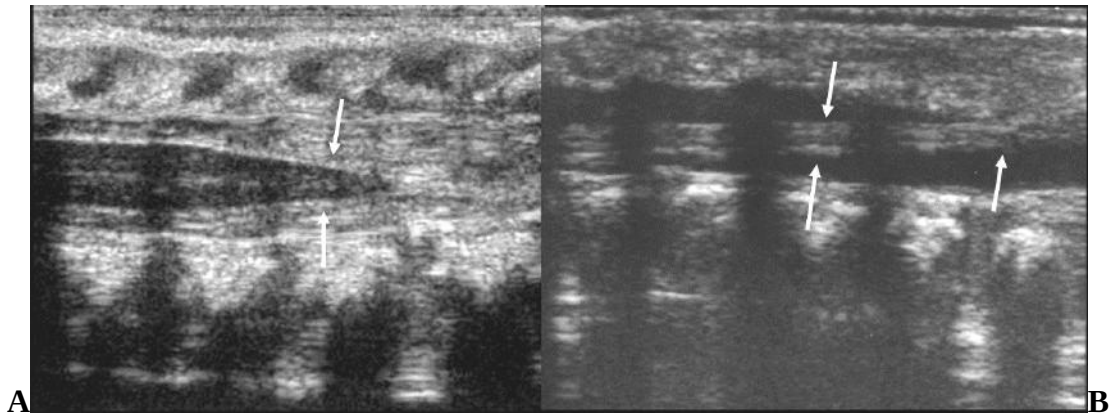
Resim 66. A. Akut apandisit: Uzunlamasına kesit. Uç kesiminde appendikolit ve akustik gölgesi görülüyor (ok) B. Barsak tümörüne ait psödokidney görünümü.

Transfontanel US: Kemik, US için bir engeldir. Bu nedenle erişkinde beyin dokusu US ile incelenemez. Buna karşılık fontaneli açık bebeklerde beyin mükemmel görüntülenir

(Resim 67.) US, x-ışını kullanılmaması ve incelemenin hasta yatağında yapılabilmesi nedeniyle, prematürlerde ve fontaneli açık çocuklarda değerli bir tanı yöntemidir. Aynı nedenlerde bir yaşına kadar bebeklerde medülla spinalis lezyonları da US ile incelenebilir (Resim 68).

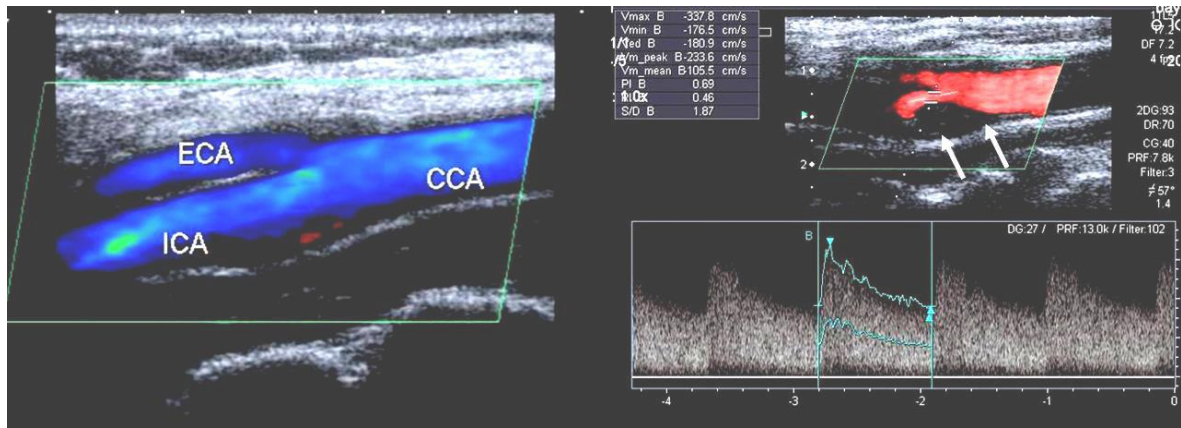


Resim 67. A. Normal transfontanel US (aksiyal) B. Germinatif matris kanaması (sagittal) C. Hipoksik iskemik ensefalopati sekeli periventriküler kistler

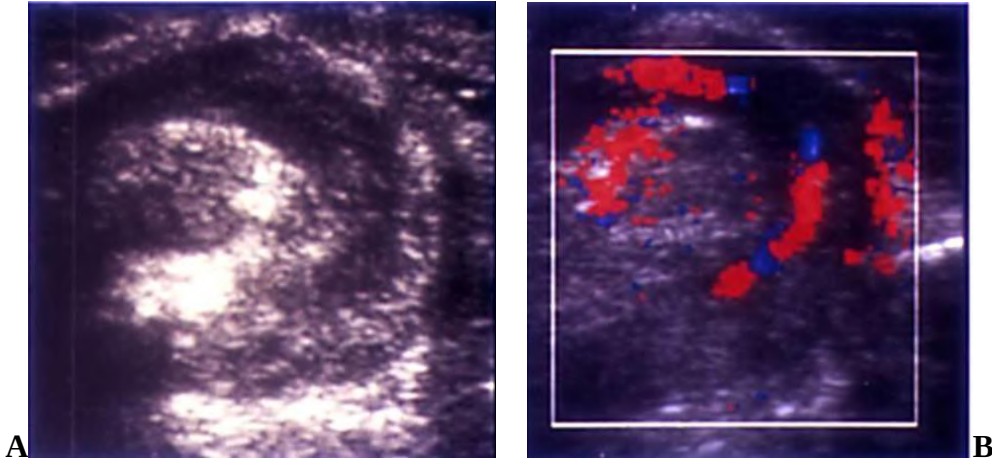


Resim 68. A. Normal konus medüllaris (oklar) B. Bağli kord (oklar)

Doppler US: Akımın varlığı, yönü ve hızı belirlenir. Akımın hızı ve şekline bakarak damar darlığının varlığı ve derecesi saptanabilir (Resim 69). Ayrıca kitlelerin vaskülarizasyonu değerlendirilebilir (Resim 70).



Resim 69. A. Renkli Doppler: Normal karotis kommunis (CCA), internal karotid arter (ICA) ve eksternal karotid arter (ECA) B. Renkli ve spektral Doppler. ICA'da aterom plağına bağlı darlık (oklar)



Resim 70. A. İnvaginasyonun gri skala US görünümü B. Renkli Doppler ile vaskülarizasyonunu değerlendiriliyor.

US'nin Zararlı Etkileri

Diyagnostik amaçlı kullanılan yüksek frekanslı sesin hiçbir yan etkisi yoktur. Bununla birlikte renkli Doppler incelemelerinde kullanılan yüksek frekanslı sesin intensitesi yüksek olduğundan, ABD'de FDA komisyonunca obstetrik incelemede sesin gücü 94 mW/cm^2 ile sınırlandırılmıştır.

MERAKLISI İÇİN NOTLAR!

- **US'nin temel fizik prensipleri nelerdir?**

Ses, cisimlerin titreşimi sonucu meydana gelir. Kulağın duyacağı sınırdan daha yüksek frekanslı sese ultrason (ultrases) denir. Diyagnostik radyolojide genellikle 3-7.5 MHz'lik (megahertz) ultrason kullanılır. Bu kadar yüksek titreşimi elde etmek için **piezo-elektrik** (basınç-elektrik) olayından yararlanılır. Bu olay, kuartz gibi bazı kristallerin elektrik enerjisi verildiğinde genişleyip daralarak titreşmeleri ve dolayısıyla ses oluşturmaları, kendilerine gelen sesi ise yine aynı yöntemle elektrik enerjisine çevirmeleridir. Bu şekilde enerji çevirici maddelere **transduser** (çevirici) denir. US aygıtlarında transduser olarak seramik diskler kullanılır. Transduser'i taşıyan başlığa **prob** adı verilir.

Ses maddeyi geçerken, absorbsiyon ve yansıma nedeniyle intensitesi azalır. Absorbsiyon sesin frekansı, dokunun absorbsiyon katsayısı ve doku kalınlığı ile doğru orantılıdır. Suyun absorbsiyon katsayısı çok düşük, kemiğin ise yüksektir. Bu nedenle ses sıvılardan zayıflamadan geçer. Yansıma ise dokuların atom ve moleküllerinin ses dalgasının oluşturduğu harekete gösterdiği direnç (akustik impedans) farklılıkları ile ilgilidir. Bu farklılık ne kadar fazla ise yansıma da o kadar çok olacaktır (Tablo 5).

Tablo 5. Ultrasonun doku yüzeylerinden yansıma oranları

Yüzeyler	Yansıyan Bölüm (%)
Kas-Yağ	1
Kas-Kemik	40
Kas-Hava	99.9

Bu kurallar uygulamaya şu şekillerde yansır:

- Sıvıların içerisindeki ya da arkasındaki yapılar daha iyi incelenir. Çünkü suyun sesi absorbe etme kat sayısı çok düşüktür, yani sıvılar sesi çok iyi iletir. Bu nedenle jinekolojik incelemede mesanenin dolu olması istenir. Dolu mesane, arkasındaki uterus ve adneksler için çok iyi bir akustik pencere görevi yapar.
- Barsak gazları, arkalarındaki yapıların görülmesini engeller. Çünkü hava-kas yüzeyinden sesin hemen hepsi yansır, arkaya ses geçmez. US incelemesi yapılan bölge üzerine jel

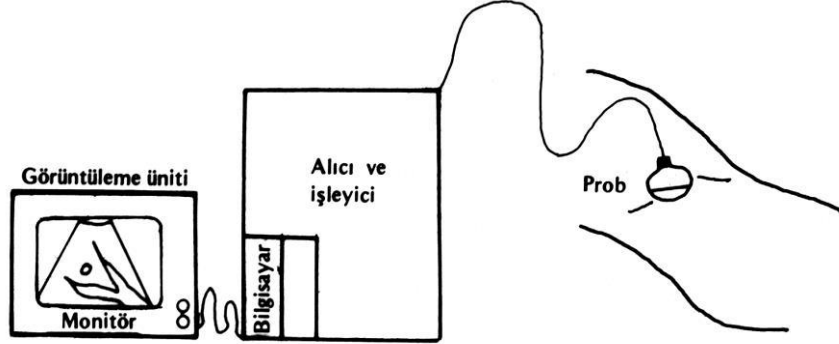
sürülmesinin amacı da bu yansımayı engellemektir. Jel, vücut ile prob arasındaki teması tam sağlayarak havayı elimine eder.

- Kemik ve kalsifikasyonun (taş) arkasına ses yeteri kadar geçmez. Çünkü hem kemiğin sesi absorbe etme katsayısı, hem de kas-kemik yüzeyinden yansıma oranı yüksektir.

• **US aygıtının temel parçaları nelerdir?**

US aygıtları üç ana parçadan oluşur: (Şekil 14)

- **Başlık (prob):** Elektrik enerjisini sese, sesi de elektrik enerjisine çeviren transduseri taşır. Bir kablo ile alıcı ve işleyici ana üniteye bağlıdır
- **Ana konsol:** İçerisinde, voltaja çevrilmiş olarak gelen ekoları bir görüntü haline getiren alıcı ve işleyici vardır. Bu işlem sürecinde bilgisayar teknolojisinden yararlanılır; ancak görüntüler BT ve MR'de olduğu gibi dijital değildir. Sistemin kontrolü ana konsol üzerinden yapılır.



Şekil 14. Ultrasonografi aygıtının bölümleri

- **Görüntüleme birimi:** Yüksek çözünürlüklü bir monitor ve kayıt sisteminden oluşur. Monitördeki görüntü canlıdır ("real-time"). İstenilen görüntü dondurularak genellikle özel kağıtlar üzerine kaydedilir.
- **Bir US incelemesi nasıl yapılır?**
 - Hasta masaya yatırılır, incelenen bölgeye jel sürülür. Jinekolojik organlar ya da pelvik yapılar incelenen mesane dolu olmalıdır.
 - İncelenen organ ve dokunun derinliğine uygun frenaksta ve şekilde bir prob seçilir. Bu seçimde göz önüne alınması gereken noktalar şunlardır.
 - Frekans, çözünürlük ve sesin penetrasyonu ile ilişkilidir. Frekans arttıkça dalga boyu kısalır. Buna bağlı olarak görüntünün kalitesi de artar. Fakat sesin derinlere inme yeteneği de hızla kaybolur. Bu nedenle yüzeysel yapılar yüksek frekanslı problemlerle incelenirken derin yapılarda frekansı düşük tutmak gerekir. Günümüzde bu sorun "broad-band" teknolojisi dediğimiz yöntemle kısmen çözülmüştür. Bu yöntemde problemler geniş bir frekans aralığında (örneğin 3.5-5.0 mHz ya da 3.5-7.5 mHz) ses üretirler.
 - Yüzeysel incelemede lineer şekilli ve yüksek frekanslı transduser taşıyan problemler seçilirken, karın organları gibi derin yapılar incelenirken konveks şekilli ve daha düşük frekanslı transduserler tercih edilir. Konveks problemlerde görüntü alanı yüzeyde dardır, derine gittikçe genişler. Böylece bağırsak gazı gibi engelleyici bir yapı ile karşılaşılma olasılığına karşı giriş kapısı küçültülmüş olur. Yüzeysel incelemede böyle bir önleme gerek yoktur.
 - Prob, incelenen organ ya da bölge üzerinde dolaştırılır. İncelenmeyen kesim kalmaması için bu tarama her organa özel bir protokole göre yapılmalıdır.
 - Prob, ağzının uzunluğu ve eni kadar kesit yapan bir bıçak olarak düşünülmelidir. Giriş kapısında bir engel yoksa (gaz ya da kemik gibi) istenilen her düzlemde, her açıda kesit alabilir. Bu özelliği anatominin çok iyi bilinmesini zorunlu kılar.
 - US görüntüsü canlıdır ("real-time"). Kesiti yapılan bölge monitörde canlı olarak izlenir. Örneğin üst karın incelemesinde solunumla karaciğerin aşağıya indiği, İVC'nin çap değiştirdiği veya aortanın pulsasyonları izlenebilir. İstenilen görüntü dondurularak resmi çekilebilir.

RADYOLOJİK İNCELEMELER: NE? NEREDE? NE ZAMAN?

“Primum non nocere”

Şimdiye kadar radyolojik tanı yöntemlerinin fizik prensipleri ve klinik kullanımları ile ilgili bilgiler edindik. Bu bilgiler bize gösterdi ki bu yöntemlerden elde ettiğimiz veriler çoğu zaman örtüşüyor. Örneğin, üriner sistemi dört tanı yöntemimizle de görüntüleyebiliriz. Bu durumda neye göre ve nasıl seçim yapmalıyız?

Radyolojik tanı yöntemlerinin seçiminde üç ölçüt vardır: Yararlılık, zararsızlık ve maliyet

- **Yararlılık:** Yapılacak inceleme hastanın tedavisini ve/veya sonucunu değiştirmelidir. Sadece hastalık hakkındaki bilgilerimizi artıran ancak ne hastalığın tedavisi ne de sonucu üzerinde etkili olan incelemeler yapılmamalıdır.

Seçilecek yöntem, araştırılan anormalliği yeteri kadar açık ortaya koyabilmelidir. Lezyon belirlendikten sonra ne olduğunu söyleyebilmek çoğu zaman patolojik bilgilerimize, klinik ve laboratuvar verilere dayanır. Bu nedenle radyolojik tetkik istenirken ne kadar çok bilgi verilirse saptanan lezyonun yapısı hakkında o kadar isabetli yorum yapılabilir. Onkolojik hastalarda olduğu gibi, tedaviye başlamak için histopatolojik tanının şart olduğu durumlarda biyopsi yapılmalıdır.

- **Zararsızlık:** Seçilecek yöntemin hastaya zarar vermemesi temel kuraldır. Örneğin röntgen ve BT’de hastanın iyonizan ışın alması yöntemlerin zararlı etkisidir. Mümkünse hastaya zararlı olabilecek yöntemlerden kaçınılmalı, mutlaka gerekli ise incelemenin yararının vereceği zarardan daima daha fazla olmasına dikkat edilmelidir.
- **Maliyet:** Seçilecek yöntemin ekonomik olmasına dikkat edilmelidir. Özellikle son yıllarda ileri teknolojiye sahip radyolojik tanı yöntemlerinin yaygın ve yoğun olarak kullanılması, sağlık harcamalarında aşırı boyutta artışa neden olmuştur. (Bkz. Serbest Okuma) Gelişmiş ülkelerde, maliyetlerine göre etkinliği (cost-effective) yeterli olmayan yöntemler kullanılmaz.

Amaç en zararsız yoldan, en ekonomik şekilde ve en kısa sürede doğru tanı koyabilmektir.

Hangi organ sisteminde hangi yöntem?

Bu soruyu cevaplamadan önce tanı yöntemlerinin önemli özelliklerine topluca bir göz atalım (Tablo 6)

Nöroradyoloji: Temel yöntem MR’dir. Kalsifikasyon araştırılmasında, akut subaraknoid kanamada ve travmada kontrastsız BT yapılır. Bununla birlikte beyin parankimindeki mikrohemorajilerde ve diffüz aksonal hasarlanmada MR daha duyarlıdır. Transfontanel US prematürlerin tarama yöntemidir.

İskelet ve yumuşak doku: Röntgen kemik lezyonlarının tanısında temel yöntemdir. Metastaz ve kemik lezyonlarının iskelet sistemindeki yaygınlığı sintigrafi ile araştırılmalıdır. BT/MR çoğunlukla tanı için değil, kemik lezyonlarının çevre ilişkisini belirlemek amacıyla kullanılır. Kortikal kemik ve kalsifikasyon BT ile incelenir. Vertebra gibi karmaşık anatomisi olan kesimlerdeki lezyonların açık bir şekilde gösterilmesi için de BT gerekir.

Tablo 6. Radyolojik Tanı Yöntemlerinin Karşılaştırılması

YÖNTEMLER	ENERJİSİ	KLİNİK KULLANIMI	GÜÇLÜ YANLARI	ZAYIF YANLARI
RÖNTGEN	X-Işını	• Doğal kontrastla çevrili yapılar (Akciğerler, kemikler, meme) • Kontrast madde ile incelemeler (Sindirim borusu, idrar yolları, damarlar)	• Anatomi bütünlük • Aygıtlar her yerde bulunabilir • İşlem basit ve ucuz	• Görüntüleri ayrıntılı değil • X-ışının zararlı etkileri
BT	X-Işını	• Travma • Yer kaplayan lezyonlar (tümör evrelemesi), özellikle göğüs ve karında.	• Ayrıntılı görüntü (kesitler) • Tüm yapıları görüntüler	• X-ışının zararlı etkileri • Röntgene göre pahalı
MR	Radyofrekans ve Manyetizma	• Merkez sinir sistemi • Eklemler (spor hekimliği) • Damarlar • Tümör evrelemesi (daha ayrıntılı görüntüler), özellikle T	• Yumuşak dokuyu en ayrıntı gösteren yöntem • Her düzlemde kesit görüntü alabilmesi • Kemiğe yakın yumuşak doku	• Pacemaker vb aygıtı olanlar incelenemezler • Harekete duyarlı • Akc.parenkimi incelenemez • Klostrid

		kategorisinde	- çok iyi görüntülenir - Akım kontrastsız görüntülenir - İyonizan ışın yok	En pahalı yöntem
US	Yüksek frekanslı ses	- Yumuşak dokular - Parenkimal organlar - Kistik yapılar - Damar darlıkları ve vaskülarizasyon (Doppler)	- İşlem basit ve ucuz - İyonizan ışın yok - Hasta yatağı başında inceleme	- Gaz ve kemik incelemeye engel - Sonuçlar yapana aşırı derecede bağlı

Eklemler röntgenle incelenir. Eklem yumuşak doku yapıları MR ile çok iyi gösterilir, bu nedenle spor hekimliğinde temel yöntemdir. Bağların ve kıkırdakların yaralanmalarında, avasküler nekroz ve kemik iliği tutulumunda sensitivitesi en yüksek yöntem MR'dir.

Kasların, tendonların ve yumuşak doku tümörlerinin ya da vasküler malformasyonların incelemelerinde MR ile birlikte US de kullanılır. Doğumsal kalça displazisi, eklem sıvısı ve yumuşak dokuda opak olmayan yabancı cisimlerin araştırılmasında US 'nin tanı değeri yüksektir. Memenin temel tanı yöntemi mamografidir, US yardımcı yöntemidir.

Göğüs: Akciğerlerin incelenmesinde röntgen ve BT temel yöntemlerdir. Göğüs röntgenogramları olmadan BT istenmemelidir. MR göğüs duvarı, mediasten, diyafragma ve spinal kanal gibi çevre yapıların invazyonlarını belirlemede, US ise plevral sıvının değerlendirilmesinde kullanılır.

BT/MR mediasten temel inceleme yöntemleridir. MR mediastinal damarları kontrastsız görüntüler. Sintigrafi ise periferik akciğer embolilerinin saptanmasında kullanılır. Ana pulmoner damarlardaki trombüsler kontrastlı BT ile görüntülenir.

Kalbin invaziv olmayan temel inceleme yöntemleri US ve sintigrafidir. Koroner yetmezliğin değerlendirilmesinde sintigrafi tarama yöntemidir; anjiografi verisi en yüksek olan yöntemdir (altın standart). Anjiokardiografi ise konjenital kalp hastalıklarında genellikle operasyondan önce uygulanır. MR, kardiyolojide anjiokardiyografinin alternatifi olarak gelişmektedir.

Karın: Sindirim borusunun temel tanı yöntemi olan baryumlu çalışmalar, teknolojinin gelişmesine paralel olarak yerini gittikçe endoskopik incelemelere bırakmaktadır. Bununla birlikte endoskopi ile incelemek mümkün olmadığı için ince bağırsakların baryumla incelenmesi güncelliğini korumaktadır. Sindirim borusunda duvar tutulumu ve çevre invazyonu BT ile araştırılır; US de değerli bilgiler verir.

Hepatobiliyer sistem, dalak ve pankreasın incelenmesinde ilk yöntem US'dir. Ancak BT daha ayrıntılı ve kesin görüntüler sağlar. Karaciğer lezyonlarının saptanmasında sensitivitesi en yüksek yöntem MR'dir.

Böbreğin parankimi ve yer kaplayan lezyonların saptanması ve çevre ilişkilerinin belirlenmesinde US ve BT gibi kesit yöntemleri önceliklidir. Ürografi ve çocuklarda voiding sistoüretrografi üriner traktus anormalliklerin araştırılmasında kullanılır.

Genital sistemde ve obstetrikte tartışmasız ilk ve temel yöntem US'dir. Jinekolojik kanserlerin çevre invazyonunu belirlemede MR kullanılır.

Damarlar: Damarların incelenmesinde invaziv olmayan bir yöntem olan Doppler US ilk ve temel yöntem konumundadır. MR ve BT anjiografi ile de damarlar non-invaziv olarak incelenirler; ancak küçük lezyonlar gösterilemez ve damarların incelenmesinde anjiografi hâlâ altın standarttır. Ancak kontrast madde kullanmaması nedeniyle MR anjiografi belirli bir boyutun üstündeki serebral anevrizmaların (ör: >5mm) araştırılmasında kullanılabilir.

Radyolojik tanı yöntemlerinin organ sistemlerindeki yeri Tablo 7'de özetlenmiştir.

Tablo 7. Organ sistemlerinde genel radyolojik tanı algoritmi

Organ Sistemleri	Radyolojik Yöntemler
Kemikler	Röntgen → Sintigrafi → BT/MR
Eklemler	Röntgen → MR → BT
Akciğerler	Röntgen → BT → MR/US /Sintigrafi
Meme	Mammografi → US
Sindirim borusu	Baryumlu röntgen → BT/US
İdrar Yolları	Ürografi → VSÜG

Yumuşak dokular	US → MR
Parenkimal organlar	US → BT → MR
Genital sistem	US → MR
Kalp	US → Sintigrafi → Anjiografi → MR
Damarlar	Doppler US (MR/BT) → Anjiografi
Beyin/omurilik	MR → BT (yenidoğanda US)

MERAKLISI İÇİN NOTLAR!

- **Hastanızdan bir radyolojik tetkik istediğinizde öğrenmek istediğiniz şeyler neler olmalıdır? Radyolojik tanı yöntemleri bu isteğinize ne kadar yanıt verebilir?**

Hastasını muayene eden hekim çoğu olguda tanı koyar ve tedaviye başlar. Bazı olgularda ise fizik muayene bulguları tanı için yeterli değildir. Böyle olgularda hekim, düşündüğü olası tanılardan birine ulaşabilmek ya da dışlayabilmek için kan, idrar gibi bazı laboratuvar testleri ve hemen her zaman da radyolojik tanı yöntemlerine gereksinim duyar.

Radyolojik tanı yöntemleri ile vücut yapılarının ve hastalıkların oluşturduğu anormallikler bir resim şeklinde görüntülenir. Bu anormallikler patolojinin radyolojik izdüşümleridir ve uygulanan yöntemin fizik prensiplerine göre görülür hale gelirler.

Hastalıkların organ veya dokuda oluşturduğu yapısal ve fonksiyonel değişikliklere lezyon denir. Ancak bu terim pratikte daha çok yapısal değişiklikleri anlatmak amacıyla kullanılır. Hastalıkların organ veya dokularda oluşturduğu değişiklikler yerel ya da yaygın olabilir. Yaygın tutulumda genellikle tüm organ ya da dokuda boyut, şekil ve uygulanan tanı yöntemine has radyolojik görünüm değişiklikleri vardır. Örneğin karaciğerde yağlanma, karaciğeri büyütebileceği gibi US'de ekojenite artışına, BT'de ise yoğunluk azalmasına neden olur. Ancak radyolojide lezyon dendiğinde daha çok yerleştiği organdan farklı görülen yerel anormallikler kastedilir.

Hastasına bir radyolojik tetkik isteyen hekimin genellikle cevaplanmasını istediği iki sorusu vardır:

*1. Bir anormallik var mı? : **Saptama***

*2. Anormallik varsa nedir? : **Karakterize etme***

Saptama

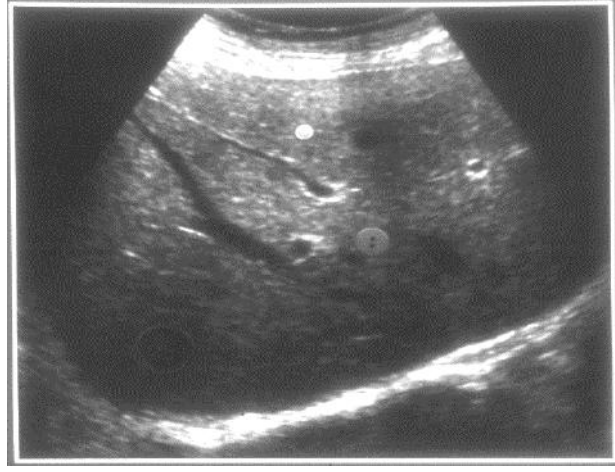
Bir yöntemin saptayabileceği en küçük boyut yöntemin kullandığı teknoloji ile belirlenir. Buna yöntemin geometrik çözümü gücü denir. Örneğin BT ve MR gibi yöntemlerde, bir vokselin hacminden daha küçük yapılar görüntülenemez. Buna karşılık konvansiyonel röntgende böyle bir sınırlama yoktur ve iyi bir teknikle memede çok küçük mikrokalsifikasyonlar saptanabilir.

Bir yapının görüntülenebilmesinin diğer şartı yöntemin kullandığı enerjiye verdiği yanıtın çevresindeki yapılardan farklı oranda olmasıdır. Buna kontrast diyoruz. Örneğin, bir lezyon röntgen ve BT'de X-ışınlarını farklı oranda tutmalı, MR'de sinyal şiddet ve süreleri farklı olmalı, US'de ise sesi farklı oranlarda yansıtmalıdır

Bir lezyonun kontrastı ne kadar yüksekse görülebilirliği o kadar artar. Örneğin aynı yapıdaki bir lezyon karaciğere göre akciğerde daha iyi görülebilir. Çünkü akciğerdeki hava lezyonla daha büyük bir kontrast farkı oluşturur. Akciğerdeki lezyon, örneğin miliyer TB değil de alveoler mikrolitiazis ya da kalay inhalasyonu sonucu gelişen stannozis gibi yüksek yoğunluklu yapılardan oluşuyor ise görebileceğimiz boyut daha da küçülecektir.

Görülebilirliğin kontrastla ilişkisini bir örnekle açıklamaya çalışalım: Seminer salonunun, koyu renkli halısını BT'deki karaciğer kesitimiz olarak düşünelim. Halının üzerine saçtığımız değişik büyüklük ve renkteki düğmeleri de karaciğer içerisinde yer kaplayan lezyonlar olarak kabul edelim. Rengi halıdan farklı ve boyutu büyük olan düğmeler önce gözümüze çarpar. Boyut ve renk farkı arasındaki ilişki ters orantılıdır. Renk ne kadar halının rengine benzerse görebilmemiz için düğmelerin boyutunun o kadar büyük olması gerekir. Tersine, renk farkı ne kadar belirginleşirse daha küçük boyutlu düğmeleri görebiliriz (Resim 71). Radyolojik yöntemlerin çözümü gücü ile ilgili kuralları şöyle özetleyebiliriz.

- *Yumuşak dokuları çözümü gücü en yüksek olan yöntem MR'dir, onu BT izler.*
- *Röntgen, voksel kısıtlaması olmadığı için kontrast farkı yüksek daha küçük lezyonları saptayabilir. Meme kanseri taramasında mamografi ile mikrokalsifikasyon araştırması bunun iyi bir örneğidir.*
- *Yöntemlerin içerisinde çözümü gücü en düşük olan US'dir. Görüntüler karlı TV ekranlarına benzetilir. Buna karşılık US, pratikte en çok yararlandığımız yöntemlerden birisidir!*



Resim 71. Görülebilirliğin kontrastla ilişkisi. Karaciğerin US görüntüsü üzerine konmuş düğmeler. Renk kontrastı arttıkça daha küçük boyuttaki düğmeler görülebiliyor.

Karakterize Etme

Bir lezyon görüntülendiğinde yanıtlanması gereken diğer soru, bu lezyonun ne olduğudur. Radyolojik olarak ayırabildiğimiz yapılar sınırlıdır (Tablo 8). Tabloda görüldüğü gibi saptadığımız bir lezyonun ne olabileceğine radyolojik olarak söyleyebileceğimiz şeyler şunlardır: Metal, kemik, kalsifikasyon, yumuşak doku, hematoma, ödem, sıvı, eski fibrozis, yağ, hava, solid yapı, kistik yapı. Ancak pratikte böyle olmadığını, radyogramları raporlarken bu kadar az şey söylemekle yetinmediğimizi, çoğu olguda tanı koyduğumuzu, çoğu olguda da sayısı çok aza indirilmiş bir ayırıcı tanı listesi yaptığımızı biliyorsunuz. Bu nasıl olmaktadır?

Tablo 8. Doku karakterizasyonunda radyolojik yöntemler.

Yöntemler	Ayırabildikleri Doku / yapılar	Histolojik tanı Malign/benign ayırımı
RÖNTGEN	Kemik / kalsifikasyon Yumuşak doku Yağ Hava +	+ BİYOPSİ
BT	Hematoma Ödem Sıvı +	
MR	Fibrozis? Akım	
US (Doppler)	Solid/Kistik ayırımı Akım	

Patolojinin izdüşümü olan bu görüntülerde lezyonun yukarıda sıralanan radyolojik yapısı saptandıktan sonra patolojik özellikleri belirlenir. Tanı koymamıza yardım edecek patolojik özellikler şunlardır:

- **Yerleşim yeri :** bronş içinde, paravertebral, metafizde vb.
- **Şekli:** küre, oval, kama şeklinde vb.
- **Kenarı:** - dar/geniş (geçiş zone)
- düzgün/düzensiz
- seçilebiliyor/seçilemiyor

- **İç yapı:** - her tarafta aynı (homojen)/ yer yer farklı (heterojen)
- kalsifikasyon : var/yok
- **Çevre:** - ödem: var/yok
- yer kaplayan/yer kaybettiren
- **Kanlanması** (kontrast tutma özelliği):
- tutuyor/tutmuyor
- tutma şekli: hızlı/yavaş, hızlı tutma-erken yıkanma, çevreden merkeze doğru

Radyolojik olarak doku yapısı belirlenen bir lezyonda bu patolojik özellikler yardımıyla çoğu zaman tanıya gidilir. Bazı lezyonlar çok tipiktir. Örneğin osteokondromun yerleşim yeri ve tipik görünümüyle röntgenle kesin tanısı konur, başka bir tanı yöntemine gerek yoktur. Böbrekteki bir kitle lezyonunda yağ içeriği saptanmışsa tanı anjiomiyolipomdur. Çünkü biliyoruz ki böbrekte yağ içeren başka bir kitle lezyonu yoktur. Benzer şekilde adrenaldeki salgı yapmayan bir kitleye, yağ içeriğinin saptanması ile adenom tanısı konabilir. Özellikle akciğer kanserinin sık metastaz yaptığı yerlerden biri olması nedeniyle böyle bir kitlenin metastazdan ayrılabilmesi hastayı biyopsi riskinden kurtarmış olur. Diğer bir örnek karaciğer hemanjiomlarıdır. Normal olgularda sık karşılaştığımız klinik önemi olmayan bu lezyonlar tipik görünümüyle kolayca tanınırlar. Fakat bazen karşımıza çıkan atipik hemanjiomlar büyük boyutlara erişirler ve görünümüyle ile tümörden ayrılamazlar. Böyle olgularda tanı hemanjiomun kontrast tutma özelliği ile konur. Hemanjiomlarda kontrast periferden tutulur ve yavaş yavaş merkeze doğru ilerler. Ancak her zaman bu kadar şanslı olamayız. Çoğu olguda yukarıda sıralanan radyolojik ve patolojik özelliklerle lezyonun ancak benign / malign ayırımını yapmaya çalışırız. Bunu yapabilmek bile büyük başarıdır. Lezyonların histopatolojisini söyleyebilmek ise çoğunlukla olanaksızdır. Çünkü radyoloji henüz mikroskopik bir yöntem konumuna gelememiştir!

Bu anlattıklarımızı istatistiksel olarak özetlemeye çalışırsak, radyolojik yöntemlerin sensitiviteleri genel olarak yüksektir, ancak spesifisimleri sensitivitelere göre oldukça düşüktür diyebiliriz. Diğer bir deyişle radyolojik tanı yöntemleri ile lezyonlar çoğunlukla saptanır, fakat onların ne oldukları kolayca söylenemez. Genellikle yapılan iş radyolojik bulguları klinik ve laboratuvar verileri ile birleştirilerek ayırıcı tanı listesini daraltmak ve "bu nedir?" sorusuna cevap vermeye çalışmaktır. Örneğin kemik yoğunluğunu düşüren metabolik bir hastalıkta kan kalsiyumu ve fosfor değerleri, akciğerde yuvarlak pnömoni düşünülen bir olguda hastanın ateşinin olup olmaması tanı koyduracak çok önemli laboratuvar ve klinik bilgilerdir.

Lezyonların histopatolojik tanısına gereksinim duyulan onkolojik olgularda biyopsi yapılması gerekir. Bunun için de yine radyolojiye başvurulur. Yapılacak işlem radyolojik tanı yöntemlerinin yol göstericiliğinde perkütan biyopsidir.

Lezyonların saptanması ve karakterize edilmesi ile birlikte lezyonun yaygınlığı ve çevre ilişkileri de belirlenmelidir. Bu bilgiler özellikle cerrahiye yol göstereceği için fevkalade önemlidir. Örneğin paravertebral yerleşmiş bir nörojenik tümörün spinal kanal ilişkisi nedir? Eğer spinal kanal invaze ise toraks cerrahı, beyin cerrahından yardım isteyecektir. Benzer şekilde bir akciğer tümöründe aortun invaze olması operabilite ve rezektabiliteyi değiştiren önemli bir tespittir. Veya bir osteosarkomda amputasyon kararı ve seviyesi için lezyonun çevre yayılımının doğru bir şekilde belirlenmesi gerekir. Bu örneklerde olduğu gibi lezyonların çevre ilişkilerinin belirlenmesinde seçilecek yöntem kontrast çözümleme gücü yüksek olan MR veya BT olmalıdır. Konuyu özetlemeye çalışalım:

- Lezyonların görülebilmesi, seçilen yöntemin kullandığı enerji ve teknik özelliklere bağlı olduğu kadar lezyonun o yöntemle göre çevresi ile arasındaki kontrast da bağlıdır.
- Saptanan lezyonun ne olduğunu söyleyebilmek, lezyonun radyolojik ve patolojik özellikleri ile hastanın laboratuvar ve klinik verilerinin birlikte değerlendirilmesi ile olasıdır. Bu nedenle radyoloji istek belgesinde ne kadar çok ve doğru klinik ve laboratuvar verisi varsa o kadar isabetli tahmin yapılabilir (dolayısıyla doğru tanıya ulaşılacağı için, bundan hastayı gönderen hekim ve doğal olarak da hasta kazançlı çıkacaktır).
- Onkolojik hastalarda olduğu gibi tedaviye başlamak için histopatolojik tanı şartsa biyopsi yapılmalıdır.

- EN az zarar vererek,
- EN ekonomik yolla,
- EN kısa sürede tanı koyan hekim,

EN iyi hekimdir”

Son Söz Yerine

Bir hekim olarak önünüzde uzun ve zorlu bir yolculuk var. Bu çetin yolculukta radyoloji bilimi size dört tane at sunuyor. Yolculuğunuz süresince karşılaşacağınız engelleri hızla aşıp, istediğiniz yerlere zaman kaybetmeden ulaşabilmeniz için, doğru yerde doğru atı seçebilmelisiniz. Atlarınızın nerede nasıl davranacaklarını çok iyi bilmelisiniz ki seçiminiz doğru olsun. Atlarınızı iyi tanımıyorsanız hiç binmeyin daha iyi! Sizi yanlış yola götürebilecekleri gibi çevrenize zarar da verebilirler.

Birlikte olduğumuz süre içerisinde sizlere atlarınızın yeteneklerini, güçsüzlüklerini, neyi yapıp neyi yapamayacaklarını anlatmaya çalıştım. Sizlerden ayrılırken atlarımıza bir defa daha bakalım diyorum:

- Röntgen ihtiyar bir attır, deneyimlidir. Ancak yaptıklarının bir çoğunu kendisinden sonra gelenler daha kolayca, daha hızlı ve daha iyi yapmaktadır. Bu nedenle artık hafif işlerde kullanılır. Fakat yine de bazı zor ve kritik geçitlerden onun yardımı olmadan geçilemez.
- BT yük atıdır. Genç ve güçlüdür. Nazlanmaz, dere tepe demez, her yolda iyi gider. Ancak ona göre de masrafı vardır.
- MR İngiliz atıdır. Çok yeteneklidir, çok hızlı koşar, yüksek engelleri aşar. Ama öyle her işi de yapmaz, nazlıdır. Bakımı da ona göredir, çok pahalıdır.
- US Anadolu atıdır. Gösterişsizdir, dayanıklıdır. Az yer, masrafı azdır. Ne en ağır yükü taşıma iddiasındadır ne de yarışlara girer. Bazı engelleri aşmaya gücü yetmez, ama her yere gider. Atların içerisinde en fazla “binicisine göre kişneyen” odur. Usta binici ile harikalar yaratır, binicisi acemi ise hiçbir yere varamaz!