RADYOLOJİK YÖNTEMLER

Ders Notları

Prof. Dr. E. Tuncel

Şubat 2008

Giriş

X-Işını ile Görüntüleme

- Röntgen
- Bilgisayarlı Tomografi (BT)

Radyo Dalgaları İle Görüntüleme

- Manyetik Rezonans (MR)

Ses Dalgaları ile Görüntüleme

- Ultrasonografi (US)
- Doppler US

Gama Işınları (Radyonüklid) ile Görüntüleme (Nükleer Tıp)

- Sintigrafi
- Tek Foton Emisyon Tomografi (SPECT)
- Pozitron Emisyon Tomografi (PET)

Radyolojik Tanı Yöntemleri Ne Yapabilir, Nasıl İstenir ve Klinikteki Yeri Nedir?

Radyolojik Görüntüleme Kılavuzluğunda Perkütan Tedavi Girişimleri

Son Söz Yerine

Röntgen ışınları bizi asla yanıltmazlar;
onların dilini yanlış yorumlamakla
ya da onlardan verebileceklerinden
fazlasını istemekle yanılan biziz"
1897, Antoine Béclère

Giriş

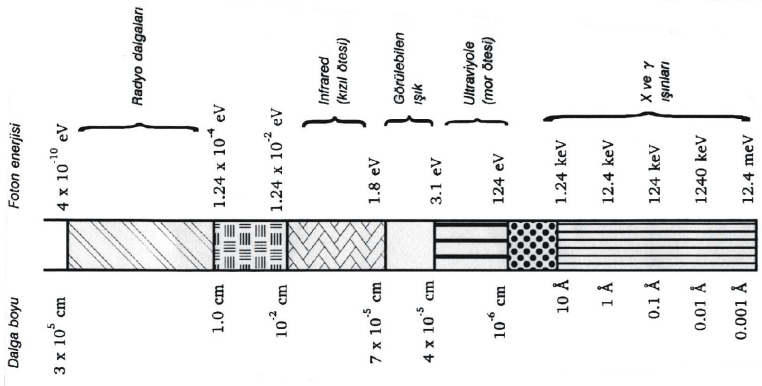
- Radyolojik tanı yöntemleri
- Radyolojik görüntüler
- Radyolojinin hekimlikteki yeri

Diğer tıp dallarına göre oldukça yeni olan Radyoloji biliminin doğuşuna yol açan x-ışınları, 1895 yılında Alman fizik Profesörü Wilhelm Konrad Röntgen tarafından keşfedilmiştir. Tıpta devrim yaratan bu önemli keşfe, fizik dalında ilk Nobel ödülü (1901) verilmiştir.

Radyoloji sözcüğü eski Yunanca ışın anlamındaki *radius* ve söz anlamındaki *logos* sözcüklerinin birleşmesinden oluşur ve ışın bilimi anlamına gelir. Radyoloji, bir tıp dalı olarak yirminci yüzyılın ilk çeyreğinde kliniğe girmiştir. Ülkemizde önce *Röntgen* daha sonra *Radyodiyagnostik* olarak isimlendirilen bu dalın günümüzdeki adı *Radyoloji*dir.

Radyolojik tanı yöntemlerinin işlevi, vücudun bir enerji ile test edilerek içyapılarının bir fotoğraf şeklinde gösterilmesidir. İçyapıların görüntülenebilmesi için kullanılan enerjilerin vücudu geçebilmesi gerekir. Bu amaçla üç tür enerji kullanılır: *x-ışınları*, *radyo dalgaları* ve *ses dalgaları*. Ülkemizde Nükleer Tıp adıyla ayrı bir anabilim dalı olan, radyonüklid görüntülemede kullanılan enerji ise *gamma ışınları*dır.

Bu enerji türlerinden ses dalgaları dışındakiler elektromanyetik radyasyon spektrumu içerisinde yer alır. Geniş bir spektrum oluşturan elektromanyetik radyasyonlar, transvers dalga formunda yayılırlar. Hızları sabittir (yaklaşık 300.000 km/sn). Dalga boyları ile karakterize edilirler; dalga boyları kısaldıkça enerjileri artar. Spektrumun bir ucunda dalga boyları metrelerle ölçülen radyo dalgaları, diğer ucunda dalga boyları çok kısa olan yüksek enerjili x ve gama ışıları bulunur; ortasında görülebilen ışık vardır (Şekil 1). Taşıdıkları enerji, kesintisiz değil, makineli tüfek mermileri gibi enerji paketleri şeklindedir. Bu enerji paketlerine *foton (kuantum)* adı verilir. Ses dalgaları ise mekanik bir enerji türüdür.



Şekil 1. Elektromanyetik spektrum. Işınları dalga boyları karakterize eder. Dalga boyu ne kadar kısa ise ışının enerjisi o kadar yüksektir. Spektrumun bir ucunda enerjisi en yüksek olan x ve gama ışınları, diğer ucunda ise dalga boyları metrelerle ölçülen radyo dalgaları vardır.

X- ve gamma ışınlarının enerjileri yüksektir, geçtikleri ortamlarda iyon çiftleri oluştururlar. Bu nedenle bu ışınlara *iyonizan ışın* adı verilmiştir. İyonizasyon dokunun yapısının atomik seviyede değişmesi demektir; dolayısıyla biyolojik yapılar için zararlıdırlar.

RADYOLOJİK TANI YÖNTEMLERİ

Radyolojide, kullandıkları enerji türleri ile belirlenen üç temel tanı sistemi vardır: *X-ışını ile görüntüleme*, *Radyo dalgaları ile görüntüleme* ve *Ses dalgaları ile görüntüleme*. Bunlara Nükleer Tıp yöntemi olan *Radyonüklid görüntüleme*yi de eklemek gerekir.

X-ışınları ile görüntülemenin, görüntü teknolojisine göre iki ana yöntemi vardır: ***Röntgen*** ve ***Bilgisayarlı Tomografi* (BT)**. Röntgen**,** Radyoloji disiplininin en eski ve en temel yöntemidir. Bu yöntemde vücudu farklı oranlarda geçen x-ışınları, iki boyutlu bir fotoğraf şeklinde kaydedilir (radyografi) veya canlı olarak izlenir (floroskopi). Görüntüler, vücut içyapılarının bir *projeksiyon*udur. BT'de ise vücut kesitler şeklinde (*tomografi*) görüntülenir. Görüntüleri röntgene göre çok ayrıntılıdır.

Radyo dalgaları ile görüntüleme yöntemi ***Manyetik Rezonans***dır **(MR)**. Yöntemin veri kaynağı su ve yağ moleküllerindeki hidrojen çekirdeğidir (proton). Görüntü, hidrojen çekirdeklerinin bulundukları ortama göre farklılaşan manyetizasyon değerlerinden oluşturulur. Kesit şeklinde üretilen görüntüleri çok ayrıntılıdır; yumuşak dokuda kontrast çözümlemesi en yüksek yöntemdir.

Ses dalgaları ile görüntülemenin yöntemi ***Ultrasonografi***dir **(US).** Kulağın duyma sınırının çok üstündeki yüksek frekanslı ses (ultrason), vücudu geçerken farklı yapıların yüzeylerinden yansır. Görüntü, bu yankılardan oluşturulur ve incelenen bölgenin kesiti şeklindedir. Kan akımı ise, kanın şekilli elemanlarından dönen ekoların frekans ve faz değişiklikleri ile değerlendirilir **(*Doppler US*)**.

Vücuda verilen radyoaktivitenin ilgili organ veya dokuda dağılımının saptanması temeline dayanan radyonüklid görüntülemenin yöntemi ***Sintigrafi***dir. Birçok batı ülkesinde radyoloji disiplini içerisinde yer alan bu yöntem, görüntülerinin hem oluşturulması, hem de taşıdıkları bilgiler ve yorumlanması bakımından, radyolojik tanı yöntemleri ile aynı kategoride değerlendirilir.

Radyolojik görüntüler analog veya dijital yöntemlerle elde edilir. Analog görüntülerde sinyal farklılıkları, nitelikleri değiştirilmeden görüntü şeklinde kaydedilir. Dijital görüntülerde ise saptanan sinyaller dijitalize edilir ve sayılaştırılmış bu değerler bilgisayar aracılığı ile görüntüye çevrilir. BT ve MR görüntüleri dijital olmak zorundadır. US ve sintigrafi görüntüleri analog olabilir ancak günümüzde dijital sistemlere dönüşmüşlerdir. Tek analog görüntü elde eden yöntem röntgen kalmıştır; o da hızla dijital sistemlere evrilmektedir.

RADYOLOJİK GÖRÜNTÜLER

Radyolojik görüntüler ya sabit bir görüntüdür veya canlı olarak izlenebilen video görüntüsüdür. Genel olarak sabit olan tüm radyolojik görüntüler *radyogram*, görüntünün elde ediliş sürecine ise r*adyografi* denir. *Röntgenogram,* röntgen görüntülerine; *röntgenografi* ise bu görüntüleri elde etme sürecine verilen isimdir. Ancak pratikte radyogram ve radyografi terimlerinin ikisi birden daha çok röntgen için kullanılır; BT, MR ve US' de ise *görüntü* ya da *kesit* terimleri tercih edilir. RG görüntülerine *sintigram,* görüntülerin elde edilme işlemine *sintigrafi* denir. Röntgendeki canlı izleme yöntemine *floroskopi* adı verilir.

Röntgenogramlar için kullanılan *akciğer filmi*, *sinüs filmi* gibi deyimler yanlıştır; doğrusu *göğüs röntgenogramı*, *paranazal sinüs röntgenogramı* olmalıdır. *Röntgen filmi* ifadesi çekim yapılmadan önceki filmi tanımlar.

Radyolojik tanı yöntemleri, kullandıkları enerji türüne, görüntülerinin şekline, verilerin görüntüye çevrilme teknolojisine ve oluşan görüntülerin gösterilme şekillerine göre Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Radyolojik Tanı Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Sınıflandırma ölçütleri	Röntgen	BT	MR	US	RG
Kullanılan enerji	x-ışını	x-ışını	radyo dalgası	ultrason	γ-ışını
Görüntünün şekli	projeksiyon	kesit	kesit	kesit	projeksiyon/ kesit
Görüntü teknolojisi	analog/dijital	dijital	dijital	analog/dijital	analog/dijital
Görüntü gösterimi	sabit/hareketli	sabit	sabit	hareketli	sabit

Görüntülerdeki gri tonların anlamları ve terminolojsi

Radyolojik görüntüler, renkli Doppler gibi bazı uygulamalar dışında, bir ucunda beyaz diğer ucunda siyah rengin bulunduğu gri tonlardan oluşur. Her yöntem farklı enerji ve/veya farklı teknoloji ile görüntü ürettiğinden, görüntülerdeki gri tonlamanın anlamı da yönteme göre değişir.

X-ışını yöntemlerinde (Röntgen ve BT) koyu tonlar x-ışınını görece olarak az zayıflatan (çok geçiren), açık tonlar ise tersine çok zayıflatan (az geçiren) dokuları temsil eder. MR görüntülerinde, açık tonlar sinyalin fazla olduğu, koyu tonlar az olduğu yerlerdir. US görüntülerinde, açık tonlar sesin çok yankılandığı, koyu tonlar az yankılandığı kesimleri gösterir. İçlerinde hiç yankılanmanın olmadığı sıvıyla dolu yapılar ile sesin hiç geçmediği kesimler siyah görülür. Sintigramlarda görüntüler, sintilasyonların karşılığı olan noktalardan oluşur. Bu noktalar beyaz zeminde siyah olabileceği gibi bilgisayar ortamında tersine de çevrilebilir. Modern aygıtlarda sintigrafi görüntüleri renkli olarak da üretilmektedir.

Röntgenogramlardaki parlak kesimler radyopak, koyu kesimler radyolusent olarak, diğer yöntemlerin görüntülerinde ise parlak kesimler hiper-, koyu kesimler hipo- ve aynı tondaki yerler izo- ön ekleri taşıyan sözcükler ile tanımlanır. Buna göre görüntüleri tanımlamak için BT'de hiperdens-hipodens-izodens, MR'de hiperintens-hipointens-izointens, US'de hiperekoik-izoekoik-hipoekoik (hiç eko alınmayan siyah kesimler için anekoik), RG'de ise hiperaktif-hipoaktif veya sıcak alan-soğuk alan veya pozitif aptek ("up-take")-negatif aptek terimleri kullanılır. Sintigrafide zemin beyaz olursa tutulum siyah, zemin siyah olursa tutulum beyaz noktalar şeklindedir. Radyolojik görüntülerdeki gri tonların terminolojisi Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Radyolojik Görüntülerdeki Gri Tonların Terminolojisi

	Koyu tonlar	Açık tonlar
Röntgen	radyolusent, lusent alan, düşük dansite, yoğunluk azlığı	radyopak, opasite, dansite artımı, yoğunluk artımı
BT	hipodens	hiperdens
MR	hipointens	hiperintens
US	hipoekoik / anekoik	hiperekoik
RG (zemin siyahsa)	soğuk alan, negatif aptek, düşük aktivite alanları	sıcak alan, pozitif aptek, artmış aktivite alanları

Yöntemlerin çözümleme yetenekleri

Rezolüsyon sözcüğünün karşılığı olan çözümleme, bir görüntüleme yönteminin ayrıntıları gösterebilme yeteneğidir. Bir yöntem ne kadar küçük bir yapıyı gösterebiliyorsa o yöntemin çözümleme gücü o kadar yüksektir. Bu yeti, görüntülenen yapının çevre ile oluşturduğu kontrasttan doğrudan etkilenir.

Çözümlemenin birbiri ile ilişkili iki bileşeni vardır: Geometrik (uzaysal, "spatial") çözümleme ve Kontrast çözümleme. ***Geometrik çözümleme*** ölçütü görüntülenen iki yapı arasındaki mesafe ya da kenar keskinliğidir. Bu mesafe ne kadar küçük ya da kenar ne kadar keskinse sistemin geometrik çözümleme gücü o kadar yüksektir.

Bir yöntemin geometrik çözümleme gücü ne kadar yüksek olursa olsun, nesnenin çevresi ile kontrast farkı yoksa görüntülenemez. ***Kontrast çözümleme*** sistemin, kullandığı enerjide oluşan faklılıkları gri tonlamaya çevirebilme yeteneğidir. Bir sistem kullandığı enerjide oluşan farklılıkları ne kadar fazla gri tonlama ile gösterebiliyorsa, sistemin kontrast rezolüsyonu o kadar yüksek demektir.

Radyolojik tanı yöntemleri içerisinde geometrik çözümleme gücü en yüksek olan analog röntgendir, bunu BT ve MR, daha sonra US izler. Geometrik çözümleme yetisi en düşük yöntem RG'dir. Kontrast çözümleme yetisi (yumuşak dokularda) en yüksek olan radyolojik tanı yöntemi ise MR'dir. Röntgene göre BT'nin kontrast çözümleme gücü belirgin şekilde yüksek, US ve RG'nin ise görece düşüktür.

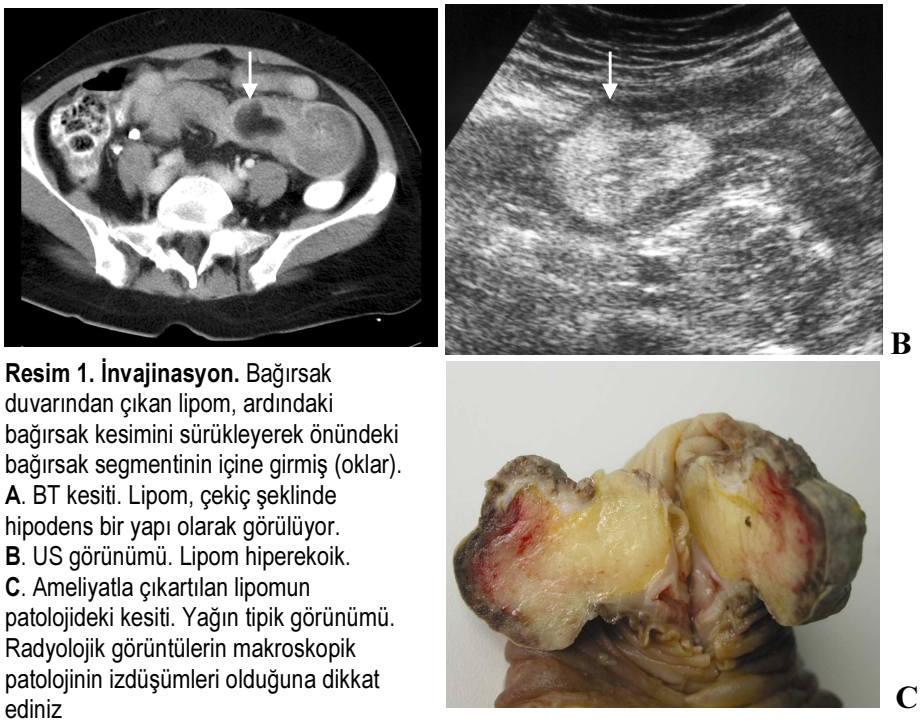
RADYOLOJİNİN HEKİMLİKTEKİ YERİ

Tedavi edici hekimlikte asıl önemli olan, tanı koymaktır, çünkü hastalıkların tedavisi çoğunlukla standart hale getirilmiştir. Tanı için hekimin yaptığı ilk iş, yakınması ile ilgili olarak hastayı sorgulamaktır. Anamnez alma dediğimiz bu sorgulamayı fizik muayene (bakı) izler. Fizik muayenede hekim hastasını inspeksiyon, palpasyon, perküsyon ve oskültasyon 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 beş duyumuzdan daha duyarlı yöntemlerle incelemeye gereksinim duyulur.

Hastalıkların vücut yüzeyinde oluşturduğu değişiklikler doğrudan, iç yüzeyleri de endoskop dediğimiz gelişmiş optik aletler aracılığıyla gözle incelenir. Bu şekillerde ulaşamadığımız organ ve dokuların içyapıları ise radyolojik tanı yöntemleri ile görüntülenir. Bu resimlerdeki veriler mikroskobik değil, gözümüzle görebileceğimiz boyutlardadır. Çoğu zaman, hastalıklı organın kesitlerinde makroskopik olarak ne görüyorsak radyolojik yöntemlerin oluşturduğu

resimlerde de onu görürüz. *Yani radyolojik görüntüler, hastanın içyapılarının radyolojik izdüşümleridir (*Resim l).

Anormallikler radyolojik görüntülerde normal anatominin ve/veya 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, içyapı vb. özelliklerine bakarak değerlendirilir.



Resim 1. İnvajinasyon. Bağırsak duvarından çıkan lipom, ardındaki bağırsak kesimini sürükleyerek önündeki bağırsak segmentinin içine girmiş (oklar). **A**. BT kesiti. Lipom, çekiç şeklinde hipodens bir yapı olarak görülüyor. **B**. US görünümü. Lipom hiperekoik. **C**. Ameliyatla çıkartılan lipomun patolojideki kesiti. Yağın tipik görünümü. Radyolojik görüntülerin makroskopik patolojinin izdüşümleri olduğuna dikkat ediniz

Radyolojik tanı yöntemleri sadece tanımladığımız bu anatomopatolojik bilgileri vermez; aynı zamanda fonksiyonel bilgiler de verir. Örneğin dokunun kanlanması ölçülebilir, beyindeki motor ve sensoriyal merkezler belirlenebilir ve hatta invivo (canlı organizmada) bazı metabolitler ölçülebilir. Fonsiyonel bilgi bakımından en zengin radyolojik yöntem radyonüklid görüntülemedir.

Radyolojik görüntülerde lezyonların varlığı saptanır; boyutları ve yayılımı değerlendirilir ve saptanan lezyonun ne olduğu söylenmeye (karakterize etme) çalışılır. Ancak tüm teknolojik gelişmişliklerine karşın bu yöntemler lezyonların histopatolojisini belirlemede çoğu zaman başarısızdır. Histolojik tanı, lezyondan alınan doku örneğinin mikroskopik incelemesi ile konur.

Günümüzde radyolojik yöntemler insan vücudunu adeta şeffaflaştırmıştır. Teknolojideki ilerlemeler iğne ve kateterlerin daha iyi kontrol edilebilir ve dokuya daha az hasar verecek şekilde yapılabilmesini de sağlamıştır. Bu gelişmeler sayesinde görüntüleme kılavuzluğunda lezyonlara kolayca ulaşılarak biyopsi (***perkütan iğne biyopsisi***) ve/veya tedavi girişimleri (girişimsel radyoloji) yapılmaktadır.

Girişimsel radyolojide, görüntüleme kılavuzluğunda, vücuda dışardan sadece iğne ve/veya kateterle girilerek birçok tedavi girişimi yapılır. Vücudun derinlerindeki iltihap birikintilerinin (apse) boşaltılması, köpeklerden geçen ve iç organlarda su keseleri oluşturan (hidatid kist)

hastalığın tedavisi, safra yolu tıkanıklıklarının açılması, damar darlıklarının genişletilmesi, damar baloncuklarının (anevrizma) tıkanması ya da damar içerisindeki yeni pıhtının (trombüs) eritilmesi benzeri birçok işlem, radyolojik görüntüleme kılavuzluğunda yapılan perkütan tedavi örnekleridir.

Yöntem birçok olguda cerrahiyi ve dolayısıyla genel anesteziyi ortadan kaldırır. Operasyonun riskli olduğu durumlarda, cerrahinin hastanın genel durumu düzeldikten sonra yapılmasını sağlar. Birçok olguda kanamayı azaltıp tümör boyutunu küçülterek cerrahiyi kolaylaştırır. Yöntemin, hastanın hastanede kalma süresini kısaltması ve bazı durumlarda ameliyatı ortadan kaldırması önemli ekonomik yarar sağlar.

Bu gelişmeler sonucunda günümüzdeki radyoloji uzmanlığının tanımını şöyle yapabiliriz: ***Değişik enerjiler aracılığı ile vücudu görüntüleyerek tanı koyan ve bu görüntülerin kılavuzluğunda tanı ve tedavi amaçlı perkütan girişimler yapan bir uzmanlık dalıdır.***

X-Işınları ile Görüntüleme

X-ışını

RÖNTGEN
- Röntgen aygıtları
- Röntgen incelemesi nasıl yapılır?
- Görüntü oluşturulması ve işlenmesi
- Röntgenin ayırt edebildiği yapılar
- Röntgenin klinikteki yeri
- Röntgenin zararlı etkileri ve korunma

BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ (BT)
- BT aygıtları
- BT incelemesi nasıl yapılır?
- Görüntü oluşturulması ve işlenmesi
- Yöntemin ayırt edebildiği yapılar
- BT'nin klinikteki yeri
- Yöntemin güçlü ve zayıfyanları, zararlı etkileri

Elektromanyetik spektrumun yüksek enerjili ucunda yer alan x-ışınlarının dokuları farkı oranlarda geçebilmesi sonucu vücudun içyapılarının röntgen görüntüleri elde edilebilmiştir. 1970'li yılların başında bilgisayar teknolojisinin x-ışınlarına entegrasyonu ile Bilgisayarlı Tomografi (BT) geliştirilmiş ve yöntemi geliştiren G. Hounsfield ve A.M.Cormak'a 1979 yılı Nobel tıp ödülü verilmiştir.

İkisinde de kullanılan enerji türü aynı olduğundan görüntülerin gri tonlamasının genel anlamı aynıdır. Kesit görüntüleme olması nedeniyle daha açık ve ayrıntılı görüntüler elde edebilmesi BT'nin üstünlüğünü oluşturur.

X-IŞINI

X-ışınları, yüksek gerilimli elektrik enerjisi ile *röntgen tüpü* adı verilen gereçlerde üretilir Gerilim ne kadar yüksekse elde edilen x-ışınının dalga boyu o kadar kısa, dolayısıyla enerjisi de o kadar yüksek olur. X-ışınlarının görüntü oluşumunda kullanılmasını sağlayan özellikleri şunlardır:

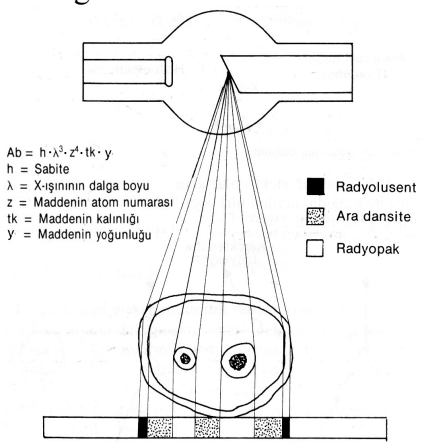
1. Maddeyi geçer (***penetrasyon***); bu geçiş sayesinde içyapıların görüntüsü oluşturulabilir.
2. ***Fotografik*** etkisi vardır; fotoğraf filmi üzerine aynen ışık gibi etki ederek görüntü oluşumuna neden olur
3. ***Floresans*** özelliği vardır; bazı kimyasal maddelerin üzerine düştüğünde ultraviyole ışık yayılımına neden olur. Bu özelliği sayesinde vücut yapıları canlı olarak izlenebilir (floroskopi).
4. ***İyonizasyon*** etkisi vardır; havada ve geçtiği ortamda iyon çiftleri oluşturur. Floresans ve iyonizasyon etkisi sayesinde ölçülebilir ve dolayısıyla sayısal (dijital) görüntüler oluşturulabilir.

X-ışınları vücuttan nasıl geçer?

X-ışınları maddeyi geçerken bir bölümü soğurulur. Bu soğurulma x-ışınının enerjisi ile ters, geçtikleri yol üzerindeki elektron yoğunluğu ile doğru orantılıdır (Şekil 2). Geçtikleri dokunun kalınlığı ve fiziksel yoğunluğu ne kadar fazla ve atom numaraları ne kadar yüksekse, x-ışınlarının zayıflaması o kadar fazla, dolayısıyla filme ulaşan x-ışını o kadar az olur. Kesit kalınlığı görüntünün her tarafında eşit olduğundan BT'de dikkate alınmaz.

Vücudumuzdaki yumuşak dokuların büyük bölümü sudur. Bu dokular hidrojen, oksijen, karbon, azot ve bazı nadir elementlerden oluşur ve ortalama atom numarası yüksek değildir. Kemikte ise yoğun bir şekilde kalsiyum bileşikleri vardır ($CaPO_4$). Kalsiyumun ve fosfatın atom numarası yumuşak dokuları oluşturan elementlere göre oldukça yüksektir. Bu nedenle kemikler ve yumuşak dokularda çöken kalsiyum odakları (kalsifikasyon), x-ışınlarını yumuşak dokuya göre daha fazla zayıflatır. Hava ile dolu akciğerler ise, havanın yoğunluğunun yumuşak doku ve kemiklere göre çok düşük olması nedeniyle, x-ışınını çok az

zayıflatır. Vücudu geçen x-ışınlarının zayıflaması, geçtiği yolda bu dokulardan ne oranda bulunduğuna bağlıdır.



Şekil 2. X-ışınlarının vücudu geçişi. Röngenogram üzerine düşen x-ışını miktarını, geçtiği yol üzerindeki yapıların zayıflatma derecesi belirler. Atom numarası, fiziksel yoğunluğu ve kalınlığı fazla olan yapılar x-ışınlarını fazla soğurur (Ab). Gönderdiğimiz ışının enerjisi arttıkça (dalga boyu kısaldıkça) soğurulma azalır.

RÖNTGEN

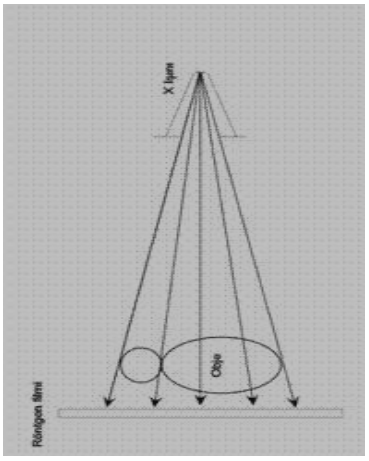
Radyolojik tanı yöntemlerinin en eskisi olan röntgen, bir projeksiyon yöntemidir. Bir projeksiyon makinesi, üzerine konan bir şekil ya da yazıyı perdeye nasıl yansıtırsa, vücudu geçen x-ışınları da vücudun içyapılarını röntgen filmi üzerine o şekilde yansıtır. Ancak bu iki projeksiyon olayı arasında önemli bir fark vardır: Projeksiyon makinesi üzerine konan şekil veya yazı iki boyutludur, projeksiyonu da iki boyutludur; dolayısıyla perdeye düşen görüntüsü ile aslı arasında bir fark yoktur. Oysa x-ışını önüne konan insan vücudu üç boyutludur; sadece eni, boyu değil derinliği de vardır. Röntgen görüntüsü, x-ışınının geçtiği bu derinlik boyutundaki yapıların x-ışınını zayıflatma farklılıklarından oluşur. Görece olarak x-ışınlarını çok zayıflatan yerler diğerlerine oranla daha beyazdır. Bu haliyle bir röntgenogram, vücudun içyapılarının, x-ışınları ile çekilmiş bir "*gölgegram*"ıdır; ancak fotoğraftakinin tersine x-ışınlarının çok düştüğü yerler koyu tonlardadır.

RÖNTGEN AYGITLARI

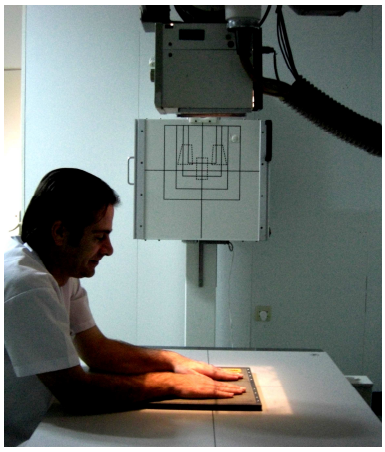
Giriş bölümünde radyolojik görüntü elde etmenin fotoğraf çekmenin benzeri bir işlem olduğunu belirtmiştik. Radyolojik yöntemler içerisinde fotoğraf çekmeye en çok benzeyen yöntem röntgendir. Bunun nedeni fotoğraf çekmede kullanılan enerji (ışık) ile röntgende kullanılan enerjinin (x-ışını) aynı karakterde olmasıdır. Fotoğraf tekniğinde olduğu gibi, röntgende de fotoğrafik görüntüler elde edilebilir veya video çekiminde olduğu gibi vücut canlı olarak izlenerek videoya kaydedilebilir ve tek tek fotoğrafları çekilebilir. Fotografik görüntü elde etmeye *radyografi (röntgenografi),* canlı olarak izlemeye *floroskopi* ve canlı olarak izleyerek istenen kesimlerin fotoğraflanmasına ise *flororadyografi* adı verilir. Röntgen aygıtları bu amaçlara uygun şekillerde tasarlanmıştır. Bu aygıtları *radyografi aygıtları* ve *flororadyografi aygıtları* olarak iki sınıfa ayırabiliriz. Hasta yatağı başında, özellikle yoğun bakımlarda ve ameliyathanelerde radyolojik işlemler için kullanılan her iki tip aygıtın küçük ve mobil şekillerine ise *taşınabilir (portabl) aygıtlar* adı verilir

Radyografi aygıtları

X-ışını üreten röntgen tüpü, ve hastayı geçen x-ışınlarının kaydını sağlayan röntgen filmini ya da dedektörü taşıyan bir düzenekten ibarettir (Şekil 3). İkisinin arasında, yatar pozisyonda çalışmalar için, hastanın üzerine uzandığı ya da grafisi yapılacak vücut kesiminin yerleştirildiği bir masa bulunur. Mamografi aygıtları gibi amaca göre tasarlanmış radyografi aygıtları da vardır.



A


B

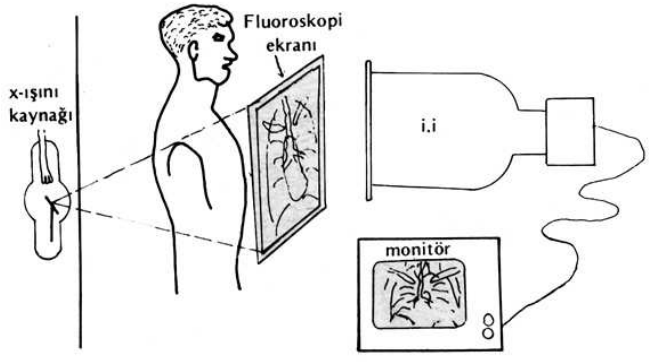
C

Şekil 3. Radyografi. **A**. Şematik gösterimi, **B**. Radyografi işlemi. Elin radyografisi yapılırken ışının geçeceğii alan ışıkla belirlenmiş. Bu işlem, x-ışını tüpünün altında görülen, kolimatör denen ışıklı kutunun ağzına yerleştirilen hareketli kurşun levhalardan oluşan bir diyafram ile yapılır. X-ışınını bu şekilde sınırlamanın adı da kolimasyondur. **C**. Mamografi aygıtı

Flororadyografi aygıtları

Bu aygıtlarla vücut yapılarının hareketleri izelenebilir. Yöntem, x-ışınının floresans özelliğine dayanır. Hastayı geçen x-ışınları *görüntü yükseltici* denilen tüplerde önce floresan bir ekran üzerine düşürülerek ışığa, sonra elektrona, daha sonra tekrar ışığa çevrilir. Bu işlemin amacı hastayı geçen x-ışınlarının etkinliğini artırmaktır; böylece hastaya daha az x-ışını verilmiş olur. Görüntü yükselticinin çıkışına bağlanan bir video kamera aracılığı ile görüntüler bir TV monitöründe izlenir ve uygun görüntülerin radyografisi yapılır. Flororadyografi aygıtlarının farklı amaçlar için kullanılan iki şekli vardır:

R/F (radyografi/floroskopi) üniteleri: Yatar-kalkar bir masaya bağlı tüp ve görüntü kayıt sisteminden oluşur (Şekil 4). Bu aygıtlar ile her türlü floroskopik gözlem yapılabilirse de daha çok özofagus, mide, kolon gibi sindirim borusunun incelemeleri için kullanılır. Floroskopik olarak gözlenen kesimlerin radyografisi de yapılabilir.



Şekil 4. Floroskopi. Floroskopi ekranında oluşan görüntü, görüntü yükselticiye (imaj intensifayr-İ.İ) bağlanmış bir video kamera ve TV monitörü ile izlenebilir. Radyoloğun eliyle tuttuğu düzenek hem radyografi yapılmasını sağlayan seriografı hem de görüntü yükselticisini taşıyor.

Anjiyografi üniteleri: "C-kollu" olarak tanımlanan şekilde üretilmişlerdir (Resim 2). Kolun bir ucunda x-ışını tüpü diğerinde kayıt sistemi bulunur. C kol tavana veya yere bağlıdır ve tam hareketlidir. Sistem, yüzer masa dediğimiz her yöne hareketli bir hasta masası ile tamamlanır. Her türlü anjiyografik ve girişimsel işlem yapılabilir. İki C-kol taşıyan sistemler, aynı anda iki

düzlemde görüntü alabilir ve kardiyak ve nöroradyolojik çalışmalarda kullanılır. Bunlara *"biplane" anjiografi* üniteleri adı verilir. Bu özellik nedeniyle kontrast madde gereksinimi yarıya düşürülür ve ince girişimsel işlemlerde istenilen noktaya tam isabet sağlanır.

Resim 2. Anjiyografi. Yassı-panel dedektör kullanan dijital subtraksiyon anjiyografi (DSA) aygıtı. Röntgen tüpü aşağıda, yassı panel dedektör yukarıda.

Taşınabilir röntgen aygıtları

Hastayı yatağında inceleme olanağı veren tekerlekli ve taşınabilir (portabl) yapıdadırlar. Sadece radyografi yapan şekilleri olduğu gibi hem radyografi hem floroskopi yapan şekilleri de vardır. Portabl floroskopik aygıtlar C-kollu yapıdadır. Genellikle ortopedik ve vasküler cerrahi uygulamalarda ameliyathanelerde kullanılırlar (Resim 3). Küçük boyutlu, görece olarak düşük kilowatt (kW) gücündedirler.

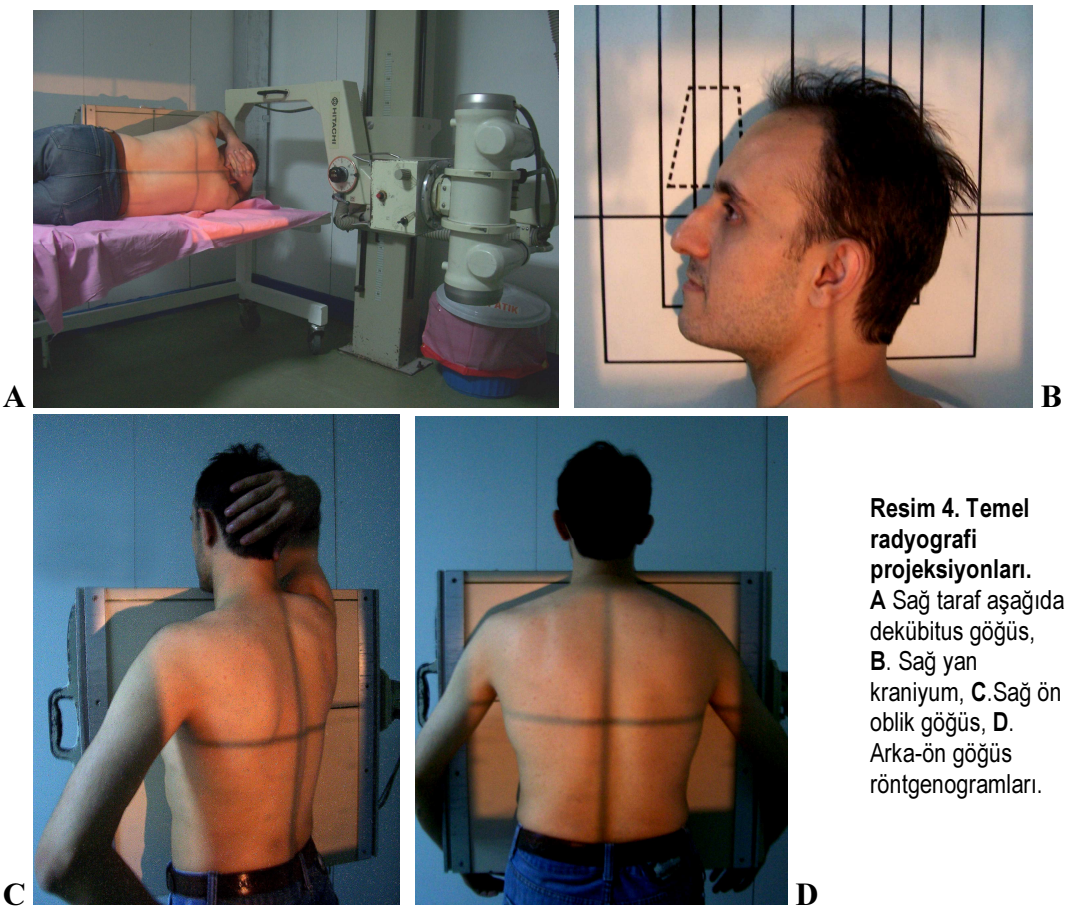
Resim 3. Taşınabilir röntgen cihazları. A. Radyografi. Kaset hastanın arkasına yerleştirilmiş, ön-arka göğüs röntgenogramı çekiliyor. **B**. C-kollu flororadyografi. X-ışını tüpü yukarıda, görüntü yükseltici masanın altında; görüntü aygıtın ana gövdesinin üzerine monte edilmiş bir monitörde (fotoğrafta görülmüyor) oluşur. Yapılan işlem ameliyat esnasında safra yollarının görüntülenmesi

RÖNTGEN İNCELEMESİ NASIL YAPILIR?

Radyografi

Hastanın radyografisi yapılacak bölgesi, elde edilmek istenen görüntüye uygun bir pozisyonda x-ışını tüpü ile kayıt gereci arasına yerleştirilir. Kayıt gerecinden uzaklaştıkça görüntünün büyümesi ile birlikte kenar netliğinin kaybolması, lezyon bulunan tarafın kasete yakın olmasını gerektirir. Örneğin kafada kırık araştırılan olgularda, kırık olduğu düşünülen taraf kasete yakın olmalıdır ki kırık daha net görülebilsin. Bu nedenle radyografi istenirken belirli bir pozisyon terminolojisi kullanılmalıdır. Bu terminolojide *ön-arka* ve *arka-ön* terimlerinde

ikinci sözcük kasete yakın olan kesimi belirtir. *Yan* ve *oblik* grafiler kasete yakın olacak tarafın adıyla belirtilir; sağ yan, sol ön oblik gibi (Resim 4).

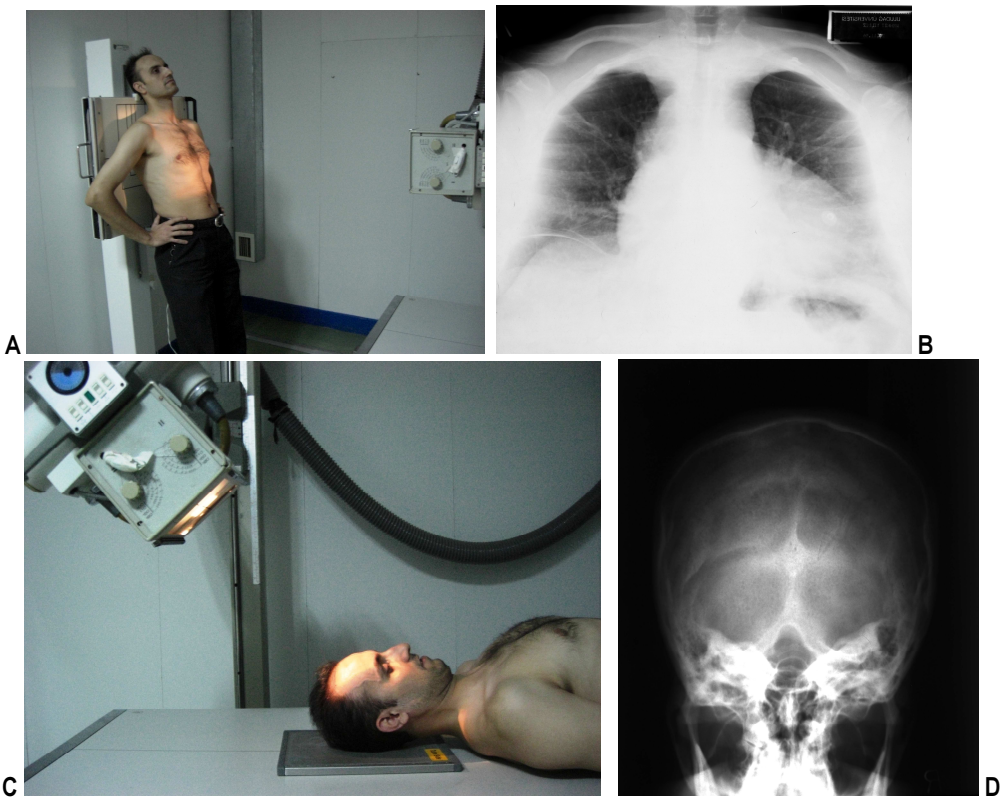


Resim 4. Temel radyografi projeksiyonları. **A** Sağ taraf aşağıda dekübitus göğüs, **B**. Sağ yan kraniyum, **C**.Sağ ön oblik göğüs, **D**. Arka-ön göğüs röntgenogramları.

Bağırsak tıkanmasında ve/veya akut sinüzitte olduğu gibi hava-sıvı seviyeleri araştırılırken ya da bağırsak delinmelerinde peritondaki serbest havayı saptamak için inceleme ayakta yapılır. Ayağa kalkamayacak hastalarda *dekübitus* projeksiyonu kullanılır. Normalde radyografi masası üzerinde yapılan incelemelerde kayıt gereci, incelenecek vücut bölgesinin altındadır ve ışın masaya daima dik gelir. Dekübitus projeksiyonlarda ise ışın masaya paraleldir ve kayıt gereci incelenecek bölgenin yanında masaya dik olarak durur. En sık kullanılan şeklinde hasta masa üzerinde yan yatar; ancak sırtüstü veya yüzüstü yatar şekilde dekübitus görüntüler de istenebilir. Dekübitus projeksiyonlarının temel kullanım alanı, göğüs röntgenogramlarında aşağıda toplanarak görülemeyen az miktardaki plevral sıvıyı ve ayağa kalkamayacak hastalarda bağırsaklardaki hava-sıvı seviyelerini göstermektir. Dekübitus projeksiyonu istenirken, hastanın hangi tarafının aşağı veya yukarıya geleceği istek belgelerinde açıkça belirtilmelidir.

Radyografisi yapılan vücut bölgesindeki yapıların gölgelerinin bozulmaması için ışın incelenecek vücut düzlemine dik olarak gelmelidir; eğik olarak gelirse ışının doğrultusuna bağlı olarak anatominin görüntüsü değişir. Bu özellikten yararlanarak bazı bölgelerdeki anatominin daha iyi görülmesini sağlanabilir. Örneğin akciğerin apekslerini daha iyi görmek için, bazen isteyerek yaptığımız benzer distorsiyone görüntüye *apiko-lordotik* projeksiyon adı verilir (Resim 5). Benzer bir işlem kafada posterior fossayı çevreleyen kemikleri, özellikle de petroz kemikleri daha açık görüntülemek için yapılır. *Towne* projeksiyonu denilen bu görüntüde, sırtüstü yatan hastada x-ışını hastanın alnına merkezlenerek ayağa doğru yaklaşık

30 derecelik eğimle verilir. Böylece yüz kemiklerinin gölgeleri ilgilenilen alanın dışına atılmış olur.



Resim 5. Işının eğimli gelmesine bağlı distorsiyone görüntüler. A ve **B**. Apiko-lordotik projeksiyon ve görüntüsü, **C**.ve **D.** Towne projeksiyonu ve görüntüsü.

Radyografide, x-ışınlarının geçtiği boyuttaki vücut yapılarının gölgelerinin üst üste düşmesi (süperpozisyon) önemli bir sorundur. Örneğin, arka-ön bir göğüs röntgenogramında akciğer alanlarının yaklaşık %30'u diyafragma kubbeleri ve kalp gibi yapıların gölgeleri tarafından örtülür ve omurga, kalp ve sternumun gölgeleri üst üste düşer. Bu sorunu çözmek için genellikle birbirine dik iki düzlemde görüntü alınır; ancak sorun BT ve MR gibi kesit görüntüleme yöntemlerinin kliniğe girmesi ile köklü olarak çözülebilmiştir.

Floroskopik incelemeler

Röntgenogramlarda görüntü fotoğraf gibi sabit bir kayıt iken, floroskopide görüntü, canlı olarak ("real-time") izlenir. Örneğin kalp atışları gözlenebildiği gibi, diyafragma hareketleri ya da sindirim borusunun hareketleri de incelenebilir.

Floroskopi hareketli yapıları gözlemek için kullanılabilir, ama asıl işlevi radyografisi yapılacak bölgeyi belirlemek için kılavuzluk etmektir. Floroskopi kılavuzluğunda görerek radyografi yapmaya flororadyografi adı verilir. Bu aygıtlarda sindirim borusunun kontrastlı çalışmaları ile floroskopik gözlem gerektiren idrar yolları ve benzeri incelemeler yapılır. Örneğin, duodenal ülser araştırılırken mide ve duodenum floroskopik olarak gözlenerek tam ülserin göründüğü pozisyonun radyografisi yapılır.

Anjiyografi, damarların kontrast madde vererek incelenmesidir. Örneğin, renal anjiyografi yapmak için kasık seviyesinde femoral artere iğne ile girilip bir kateter sokulur. Kateter, floroskopik gözlem altında aorta içerisinde ilerletilip renal arterin ağzına yerleştirilir. Sonra kontrast madde verilerek radyografi yapılır (flororadyografi).

Floroskopi, perkütan tedavinin de temel kılavuz yöntemlerinden biridir. Örneğin renal arter darlıkları, floroskopik kontrol altında balonlu kateterle genişletilebilir. Genişletilen kesime tekrar daralmaması için tel kafes (stent) konabilir. İşlem sonunda kayıt için gerekli görülen flororadyografiler yapılabilir.

GÖRÜNTÜLERİN OLUŞTURULMASI VE İŞLENMESİ

Röntgen görüntüsü, dokuların x-ışınlarını zayıflatma farklılıklarının bir haritasıdır. Bu harita bir röntgen filmi tarafından görüntüye çevrilebileceği gibi (analog görüntü), dedektörlerle saptanıp ölçülerek sayısal (dijital) görüntüler de oluşturulabilir. Röntgen filmi üzerindeki görüntü, gümüş atomları tarafından oluşturulur, koyu yerlerde gümüş atomu çok, açık yerlerde görece daha azdır. Görüntü sabittir, işlenemez, değiştirilemez.

Dijital görüntülerde ise vücudu geçen x-ışınları dedektörlerle ölçülür ve dijitalize edilerek kullanılır. Görüntü dijitalize edilmiş ölçümlerden yapıldığı için hem yapılma aşamasında hem de yapımından sonra, amaca uygun olarak işlenebilir (Resim 6), elektronik ortamlarda transfer edilebilir, çok büyük sayılarda görüntü, yer sorunu olmadan, arşivlenebilir.

Resim 6. Dijital röntgen görüntülerinin işlenmesi. **A**. Görüntüler küçültülebilir, **B**. Görüntülerin istenilen kesimi (solda yumuşak doku sağda kemikler) belirginleştirilebilir, **C**. Subtraksiyon (çıkarma) yapılabilir. Serebral anjiyografi. Kemik yapıların görüntüsü elektronik olarak çıkarılmış. Oksipital bölgede anterio-venöz malformasyon (ok), **D**. Üç boyutlu subtrakte reformasyon görüntüleri. Orta serebral arterde anevrizma (ok)

RÖNTGENİN AYIRT EDEBİLDİĞİ YAPILAR

Röntgende bir yapının (organ, doku, lezyon) seçilebilmesi için, o yapının x-ışınını çevresinden farklı oranda zayıflatması ve bu farkın röntgenogramlarda gözle farkedilebilecek bir gri ton oluşturması gerekir.

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 bağırsaklar içerisindeki doğal olarak bulunan havayı ekleyebiliriz. Bunlardan x-ışınını en fazla zayıflatan metal, kemik ve kalsifikasyonlar beyaz-açık gri, yumuşak dokular orta gri, yağ ise siyaha yakın koyu gri tonlarda görülür, hava ise simsiyahtır.

Film üzerine düşen x-ışınlarının miktarı, geçtiği yol üzerinde bu dokulardan hangisinin ne oranda bulunduğuna bağlıdır. Kaburganın ortalama atom numarası karaciğerden yüksektir. Buna rağmen bir göğüs röntgenogramında karaciğer kaburgalardan beyaz görülür. Nedeni kaburganın kalınlığının az olması ve önündeki akciğer dokusu ile birlikte toplandığında zayıflatma katsayısının karaciğere göre düşük olmasıdır. Aynı kural yumuşak doku içerisindeki hava veya yağ için de geçerlidir. Örneğin düz karın röntgenogramında aynı boyuttaki iki bağırsak gazından daha siyah görünenin derinlemesine genişliği daha fazla demektir. Diğer bir deyişle bir röntgenogramda bir noktanın gri tonu, o noktanın doğrultusundaki tüm yapıların x-ışınlarını zayıflatma değerlerince belirlenir.

Röntgenogramlarda kemikleri, kalp ve mediyastenin sınırlarını, böbreklerin ve psoas kasının kenarlarını görebiliriz (Resim 7). Bunun nedeni, hava veya yağ gibi kendileri ile kontrast oluşturan dokularla çevrili olmalarıdır. Ancak böbreğin toplayıcı sistemini, çevresinde yeteri kadar kontrast oluşturan bir doku olmadığı için ayıramayız. Bir göğüs röntgenogramında akciğerler içerisinde damarları görebildiğimiz halde onlara paralel giden bronşları, içleri hava dolu olduğu için göremeyiz. Röntgenogramda, karaciğer ve dalak aynı yumuşak doku yoğunluğundadır; aralarında ton farkı varsa bu, x-ışınının geçtiği doğrultudaki kalınlıklarının farklı olması nedeniyledir.

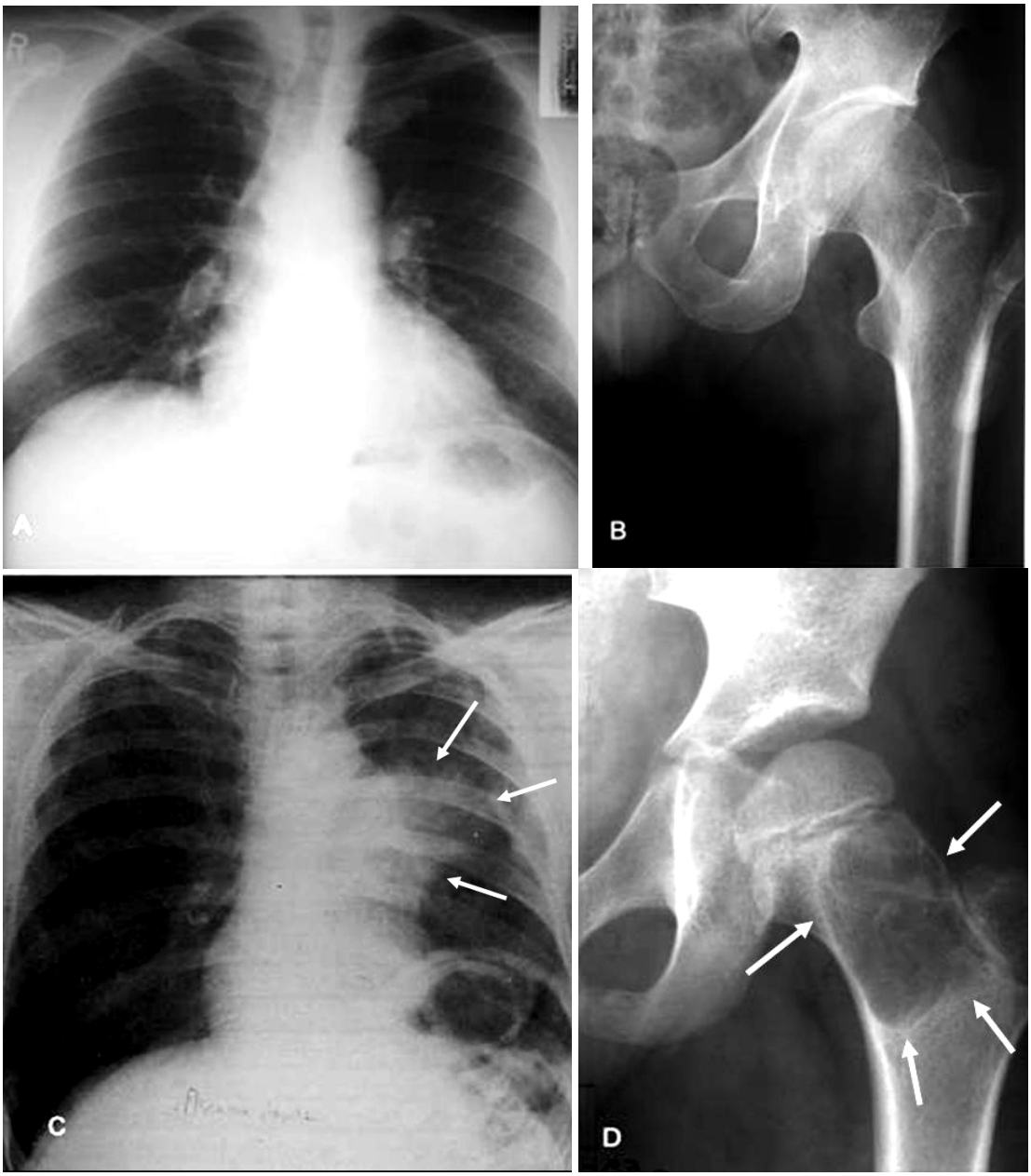
Bir röntgenogram üzerinde, açık tonda görülen yerler *radyopak (yoğunluk artımı, dansite artımı),* koyu tondakiler ise *radyolüsent (yoğunluk azlığı, dansite azlığı*) olarak tanımlanır (Tablo 3). Renk tonları mutlak değil görecelidir. Çekim tekniğinin farklı olması nedeniyle röntgenogramlardan biri açık diğeri koyu tonda olabilir; ancak tonların birbiri ile ilişkisi aynı kalır. Aynı kural dijital görüntülerde, görüntülerin işlenmesinde de geçerlidir.

Tablo 3. Röntgenogramlarda Ayrılabilen Dokular ve Gri Tonları

Çok radyolusent	Radyolusent	Ara yoğunluk	Radyopak	Çok radyopak
gaz (hava)	yağ (yağ dokusu)	su (yumuşak doku)	kemik ve kalsifikasyonlar	metal (atom ağırlığı yüksek elementler)

Resim 7. Röntgenin ayırabildiği yoğunluklar. A. Düz karın röntgenogramı. Hastanın omurgasını tesbit için metal bir gereç konmuş, uterusun içerisine yerleştirilmiş hamileliği önleyici gereç (IUCD) görülüyor (ok). Bağırsak gazları radyolusent. **B**. Normal göğüs röntgenogramı. Damarlar, havalanan akciğer kesimleri ile çevrelenmiş olduğu için görülebiliyor (oklar), ancak bronşlar görülmüyor. **C**. Uyluğun alt kesiminde lipom. Yağ kitlesini yumuşak dokuya göre radyolusent görülüyor (oklar). **D**. Ayak sırtındaki yumuşak dokuda gazlı gangrene bağlı gaz görünümleri (ok). **E**. Yan lumbosakral röntgenogram. Aort duvarında yoğun kalsifikasyonlar (ok). Dokuların gri tonlamasının mutlak değil, göreceli olduğuna dikkat ediniz.

Hastalıkların organ ve dokularda oluşturduğu anormallikler de bu kurallara göre görüntüye yansır. Akciğer alanlarında opasite artımı, normalde hava ile dolu alveollerin yumuşak doku yoğunluğunda bir doku ile dolduğunu gösterir. Kemiklerde radyolüsent alanların ortaya çıkması ise kalsiyum içerikli dokunun yıkılıp yerini yumuşak doku yoğunluğunun aldığının göstergesidir (Resim 8).



Resim 8. Anormalliğin röntgende görülme şekli. **A** ve **B** normal, **C** ve **D** ise anormal akciğer ve femuru gösteriyor. Sol akciğerde mediyastene bitişik beyaz alan ve femur boynundaki siyah alan anormal (oklar). Akciğerdeki anormallik, normalde hava olması gereken alanı yoğunluğu yüksek bir dokunun doldurmuş olması. Nedeni sıvı, kan, iltihap ya da kanser hücreleri olabilir. Uyluk kemiğindeki siyah alan için ise tersini söyleyebiliriz; normalde olması gereken ve kalsiyum bileşikleri içeren kemik doku bu kesimde kaybolmuş, yerini daha az yoğun olan bir dokuya, yani yumuşak dokuya bırakmış. Bu yumuşak doku da sıvı ya da iltihap olabileceği gibi kanser dokusu da olabilir.

Kontrast madde kullanımı

Röntgenin sorunu, tüm yumuşak dokuları aynı yoğunlukta göstermesi ve birbirinden ayıramamasıdır. Bu sorun yöntemin kontrast çözümleme yeteneğinin düşük olmasına bağlıdır ve kontrast madde kullanımı ile bir dereceye kadar çözülebilir.

Kontrast maddeler atom numaraları yüksek maddelerdir, dolayısıyla x-ışınlarını zayıflatma yetileri de yüksektir. Konsantrasyonları ile orantılı olarak röntgenogramlarda opak görülürler (Resim 9). İki tür kontrast madde kullanılır: İyotlu kontrast maddeler ve Baryum sülfat süspansiyonları.

Resim 9. Kontrast madde uygulamaları. A. Normal ekskretuvar ürografi. Papillaları çevreleyen kaliksler profilden hilal şeklinde görülüyor (oklar).Bu keskinlik normalliğin işaretidir. **B**. Konvansiyonel anjiyografi. Femoral arterden sokulan kateter aort içerisinde ilerletilerek sol renal arter ağzına yerleştirilmiş ve kontrast madde verililiyor. Renal arter ağzının nerede olduğunu göstermek için daha önceden aortaya verilen kontrast madde, böbreğin toplayıcı sistemini ve üreterini de (ok) görülür hale getirmiş. **C**. Normal histerosalpingografi. Serviksten verilen kontrast madde endometriyum kavitesini ve her iki tuba uterinayı (oklar) doldurarak peritona geçmiş. Tüpler açık. **D**. Normal çift kontrast kolon röntgenogramı. Baryumla bağırsağın iç yüzeyi sıvandıktan sonra kontrast madde alınıp hava verilerek lümen genişletilmiş ve mukozanın görülebilmesi sağlanmış.

İyotlu kontrast maddeler iyonik ve non-iyonik olmak üzere iki gruba ayrılır. Non-iyonik iyotlu kontrast maddelerin katyon tarafı iyonik değildir; buna bağlı olarak yan etkileri daha azdır, fakat pahalıdırlar. Dolaşım sistemine verilen iyotlu kontrast maddeler böbreklerden süzülerek idrarla atılır; dolayısıyla idrar yollarının görülmesini sağlar (ekskretuvar ürografi). Ayrıca doğrudan mesaneye, uterus kavitesine ve gerekli durumlarda özofagusa da verilebilir. Anjiyografi adı verilen damar incelemesinde ise kontrast madde damar içerisine sokulmuş bir kateterden hızla verilerek radyografi yapılır.

Baryum sülfat ($BaSO_4$) sindirim borusunu incelemede kullanılır. İncelenecek bölgeye göre ağızdan ya da rektumdan verilir. Baryum sülfat inert bir maddedir; emilmez ve dışkıyla olduğu gibi atılır. Mukozal sıvanmayı görmek için lümeni genişletmek amacıyla, hava kullanılabilir. Hava ve nadiren gereksinim duyulan karbondioksit, düşük yoğunlukları nedeniyle negatif kontrast madde gibi davranırlar.

Kontrast maddelerin önemli istenmeyen etkileri olmamalıdır. Baryumlu kontrast maddeler böyledir; buna karşılık iyot bileşikleri, seyrek de olsa ciddi alerjik reaksiyonlara ve hatta ani ölüme neden olabilirler. Bulantı, kusma, sıcaklık hissi, kolda yanma gibi yan etkileri de vardır. Alerjik reaksiyon bakımından iyonik ve non-iyonik iyotlu kontrast maddeler arasında anlamlı bir fark yoktur; fakat iyonik olanların yan etkileri daha fazladır.

Böbrek fonksiyonları sınırda olan olgularda iyotlu kontrast madde verilmesi zorunlu ise, hasta iyi hidrate edilmelidir.

RÖNTGENİN KLİNİKTEKİ YERİ

1970'li yıllara kadar radyoloji tümüyle röntgenden ibaretti. Geçen yüzyılın son çeyreğinde yeni tanı yöntemlerinin kliniğe girmesi ile bu durum değişmiş, röntgenin klinikteki yeri gerilemiştir. Bu değişiklikleri şu şekilde özetleyebiliriz:

1. BT ve MR'nin kliniğe girmesi ile hastaya müdahale ederek yapılan ve az veya çok acı ve/veya zarar veren (pnömoansefalografi, miyelografi vb) birçok röntgen incelemesi ortadan kalkmıştır.
2. Eskiden çok önemli tanı yöntemi kabul edilen sindirim borusunun baryumlu incelemeleri, endoskoplardaki gelişmeler nedeniyle çok azalmış neredeyse özofagus ve ince bağırsak incelemeleri (enteroklizis) dışında yapılmaz olmuştur.
3. Ultrasonografinin kliniğe girmesi ile safra kesesinin ve hamilelerin röntgen incelemeleri terkedilmiştir.

Buna karşın tek bir görüntüde en çok veri taşıyan yöntem röntgendir. Görüntülerinin anatomik bütünlüğü, her yerde bulunabilirliği, uygulama basitliği ve göreceli olarak ucuz olması nedeniyle günümüzde hala en çok kullanılan yöntem olmaya devam etmektedir. Günümüzde radyoloji departmanlarındaki incelemelerin yaklaşık % 70'ini röntgenografi oluşturur; bunların % 30'u da göğüs röntgenografisidir. Röntgenin en sık uygulandığı alanlar aşağıda özetlenmiştir.

Göğüs röntgenogramı

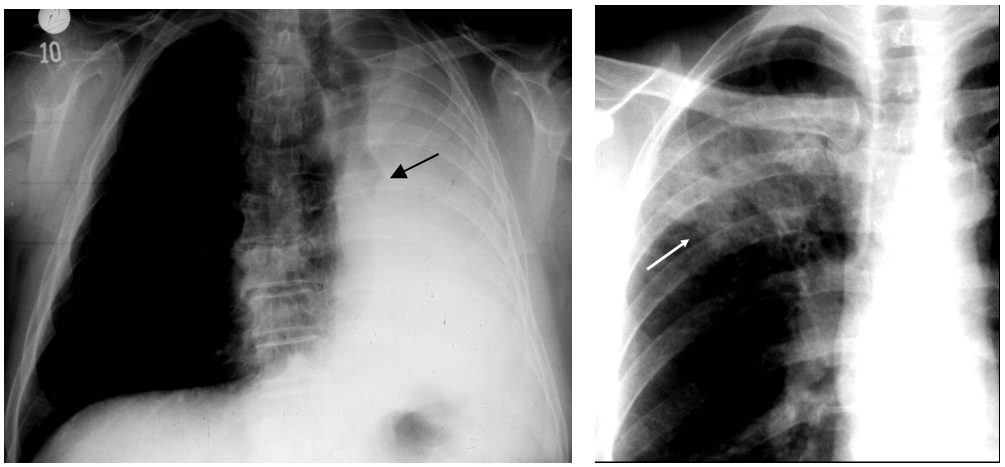
Solunum sisteminin ilk radyolojik inceleme yöntemidir ve tanı değeri yüksektir. Alveollerdeki havanın oluşturduğu kontrast nedeniyle akciğer parankimi çok iyi görüntülenir. Göğüs röntgenogramı olmadan bir hastadan toraks BT, toraks MR gibi ileri incelemeler istemek yanlıştır.

Normal bir göğüs röntgenogramında kalp, trakea, özofagus ve mediyasten yapıları her iki akciğerin ortasındadır. Akciğerler oldukça simetrik yerleşimdedir. Anormallik, anatominin bozulması ve/veya normal radyolojik yoğunlukların değişmesi şeklinde görülür. Normal akciğerin gri tonunun değişmesi beyazlaşma (opasite artımı) veya siyahlaşma (radyolosensi artımı) şeklindedir. Bu değişiklikler bölgesel olabileceği gibi bir lobu veya bir akciğeri de tutabilir veya her iki akciğerde yaygın olarak görülebilir.

Opasite artımı: Akciğerde opasite artımı, akciğer alanlarında havanın azalmasına ve/veya havanın yerini yumuşak doku (su) yoğunluğu veren bir dokunun almasına bağlıdır. Opasite artımının röntgenografik görünümleri fizyopatolojik gelişimine uygun olarak değişik şekillerde görülür.

Akciğerde havanın azalması sonucu tutulan kesim söner (kollabe olur). Buna ***atelektazi*** adı verilir. Hacim kaybı fazla ise komşu fissürler, damarlar, diyafragma ve mediyasten yapılarında kollabe kesime doğru yer değişikliği görülebilir. Genellikle tutulan kesimin bronşu tıkanmıştır. Bir ana bronşun tıkanmasına bağlı olarak tüm bir akciğer kollabe olabilir (*total atelektazi*). Böyle olgularda görünüm çok tipiktir (Resim10). Daha küçük akciğer birimlerinin tutulmasında, tıkanan bölgenin gerisindeki akciğer alanında konsolidasyon yoksa, opasite artımı belirgin olmaz.

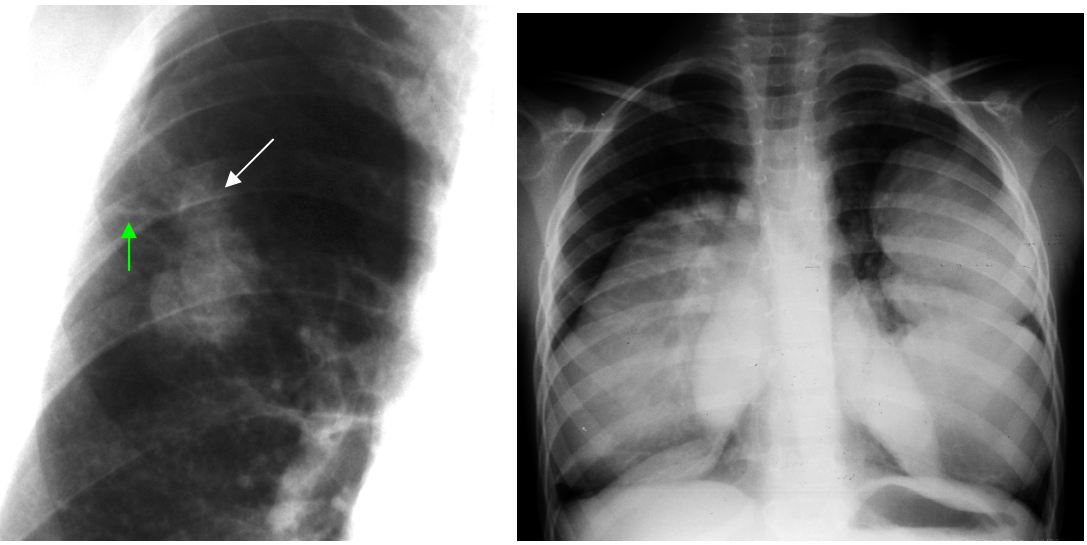
Havalanan normal akciğer kesimleri hücre ve/veya sıvı ile dolabilir. Hücre iltihabi veya tümöral, sıvı ise damarlardan sıvı sızması (ödem) şeklinde veya kan olabilir. Alveollerin iltihabi doku ile dolmasına ***pnömonik konsolidasyon*** adı verilir. Bir lobu tümüyle doldurmadıkça kenarları keskin değildir. Konsolide alanın içerisinde hava ile dolu bronşlar seçilebilir (*hava bronkogramı işareti*).



A **B**

Resim 10. Total atelektazi ve pönomoni. A. Sol akciğerde total atelektazi. Kalp ve mediyastinum sol hemitoraks içerisine çekilmiş, kaburga aralıkları daralmış. Sol ana bronşun hava sütunu, bronşu tıkayan tümöral kitle nedeniyle dışa konveks bir şekilde sonlanıyor (ok). **B**. Sağ akciğer üst zonda pnömonik konsolidasyon (ok). Konsolide alanın kenarları keskin değil, içyapısı heterojen ve siyah dallanmalar şeklinde hava bronkogramları görülüyor.

Tümöral yoğunluk artımları, erken dönemde genellikle küresel yapıdadır. Kenarları pnömonik konsolidasyondan daha düzgündür; ancak yine de kalemle çizilmiş gibi değildir. Kenarında dışa doğru küçük kabartılar (*lobülasyonlar)* veya *göbekleşme* (umbilikasyon) dediğimiz içeri doğru çöküntüler bulunabilir (Resim 11). Tümöral dokunun oluşturduğu fibroza bağlı olarak çevreye doğru *ışınsal uzantılar* görülebilir. Bu şekildeki lezyonların çapları 3 cm' den küçük olanlarına ***nodül*** adı verilir. Akciğerlere yerleşen içi sıvı dolu hidatid kist gibi küresel şekilli lezyonların kenarları genellikle kalemle çizilmiş gibi keskindir.

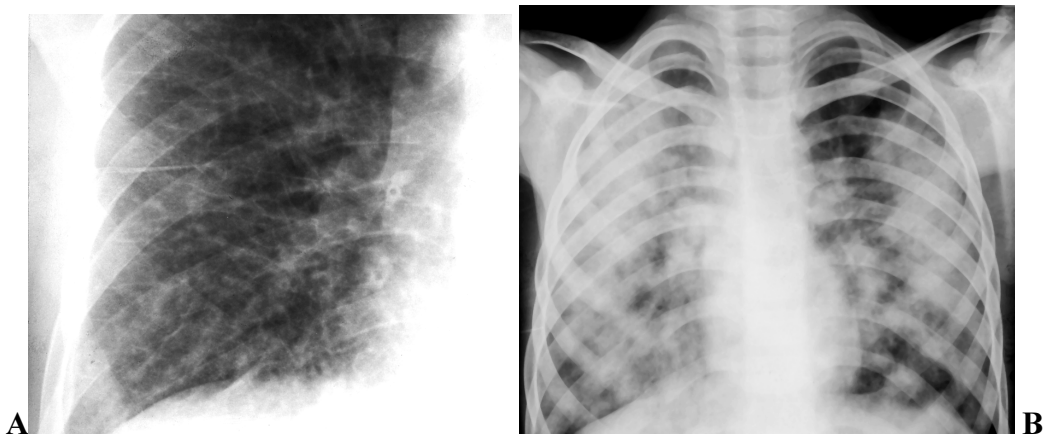


A **B**

Resim 11. Akciğer kitleleri. A. Akciğer kanseri. Kenarları oldukça keskin, lobülasyon gösteriyor (ok) ve plevraya uzanan fibrotik çekintisi var (yeşilok). **B**. Hidatik kistler. Çok keskin kenarlı küresel yapıda homojen yoğunluk artımları.

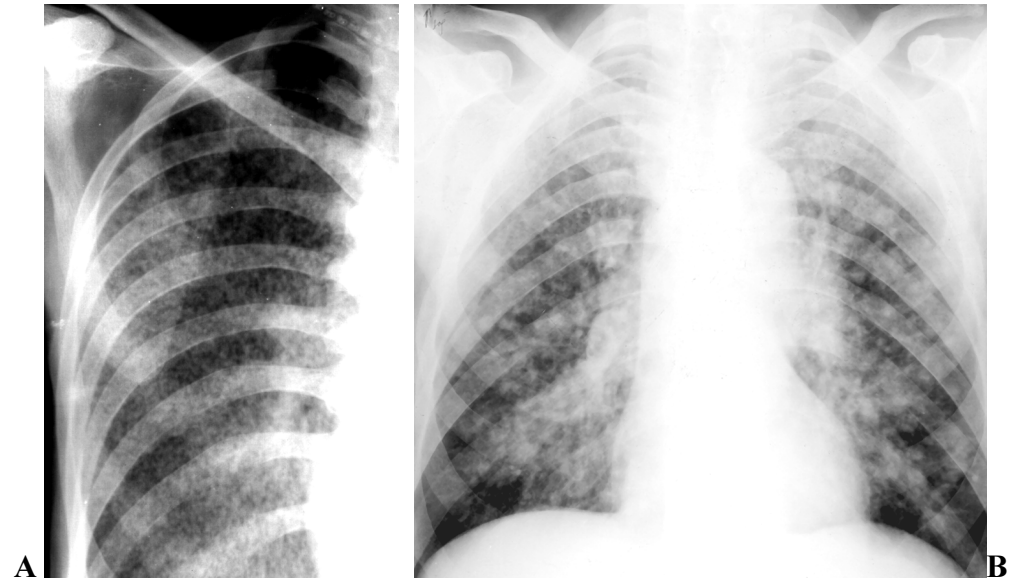
Akciğer alanlarındaki yoğunluk artımı yaygın da olabilir. Yaygın akciğer tutulumunda tutulan kesim interstisiyum veya hava alanları (alveoller) olabilir. ***İnterstisiyumu tutan hastalıklar***,

damarların ve bronşların çevresini sararak hiluslardan perifere uzanan *keskin kenarlı çizgilenmeler* ve *küçük nodüler opasiteler* şeklinde görünüm verirler. Alveollerin sıvı ile dolmasında (ödem, kanama gibi) ise yaygın konsolidasyon görünümü ortaya çıkar (Resim12). Alveollerin bu şekilde tutulumunda opasitelerin kenarları *keskin değildir* ve *hızla birleşme eğilimindedirler*. Bu görünüme ***alveoler örnek*** adı verilir.



Resim 12. Akciğerde yaygın yoğunluk artımı örnekleri. A. İnterstisiyel tutulum. Akciğerlerde keskin kenarlı çizgilenmeler. Mide kanseri metastazının lenfanjitik yayılımı. **B**. Akciğerlerde alveoller sıvı ile dolu (kanama). Alveoler örnek. Sıvı ile dolan alveol kümeleri (asinuslar) birbirleri ile birleşeye meyilli ve kenarları keskin değil, yumuşak görünümde.

Tüm akciğer alanlarına homojen olarak yayılmış üniform boyut ve şekildeki küçük nodüller ise ***miliyer yayılım*** olarak isimlendirilir. Bu görünüm hastalığın akciğere hematojen yolla yayıldığını gösterir. Bu yayılım tüberkülozda olduğu gibi enfeksiyon nedenli olabileceği gibi tümöral nedenli de olabilir. Tümöral nedenli miliyer yayılımdaki (*miliyer karsinomatozis*) nodüllerin boyutları *miliyer tüberküloz*dakilere göre daha büyüktür ve daha az üniformite gösterirler (Resim 13).



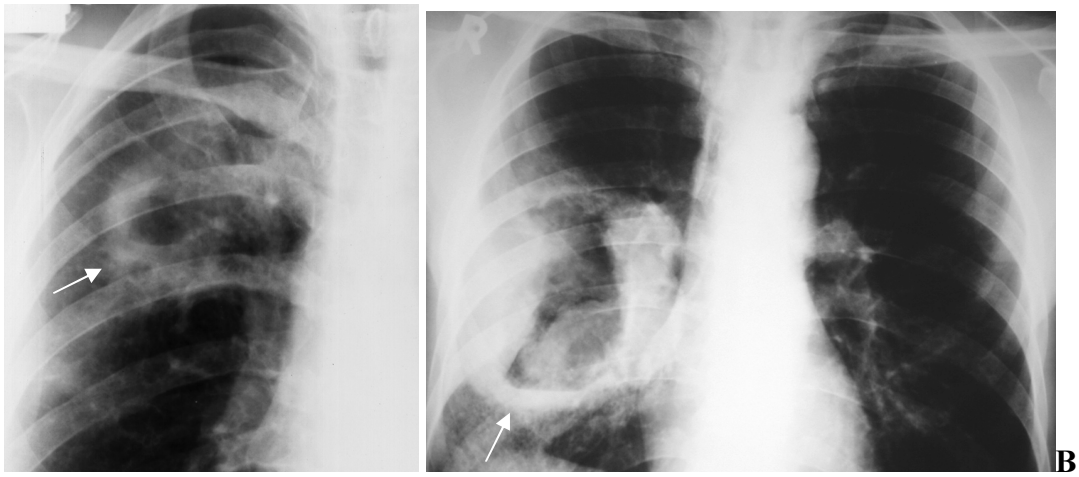
Resim 13. Miliyer akciğer yayılımı. A. Miliyer tüberküloz, **B**. Miliyer karsinomatoz. Miliyer tüberkülozda lezyonlar daha küçük, eşit boyutta ve homojen olarak dağılmış. Karsinomatozda ise miliyer opasiteler daha büyük ve irili ufaklı; dağılımı da homojen değil.

Plevral sıvı birikimleri akciğerin çevresini saran yoğunluk artımı şeklindedir (Resim 16A). Az miktardaki sıvı kostodiyafragmatik sinüsleri küntleştiren yoğunluk artımı şeklinde görülür. Daha fazla olanları tabanda geniş ve yukarıya, toraks duvarına doğru incelen sıvı kalınlığı

şeklindedir. Sıvının kenarı, hilusa doğru konkav bir parabol çizer. Sıvı daha da artarak tüm hemitoraksı doldurabilir. Bu durumda hemitoraks genellikle hafif şekilde genişler ve çevre yapılarda bu genişlemenin etkileri görülür.

Radyolusensi artımı: Akciğerin radyolusensisinin artımı (daha koyu görülmesi) havalanmanın artmasına bağlıdır. Opasite artımında olduğu gibi bölgesel veya yaygın olabilir; bir lobu veya tüm bir akciğeri tutabilir. Havalanan kesimin boyutu artacağı için, tutulan kesim yeteri kadar büyükse atelektazide olanların tersine, fissürler, komşu damarlar, diyafragmalar ve mediyasten yapılarında itilmeler görülebilir; kaburga aralıkları genişleyebilir. Radyolusensi artımının da fizyopatolojisine göre değişik şekilleri vardır.

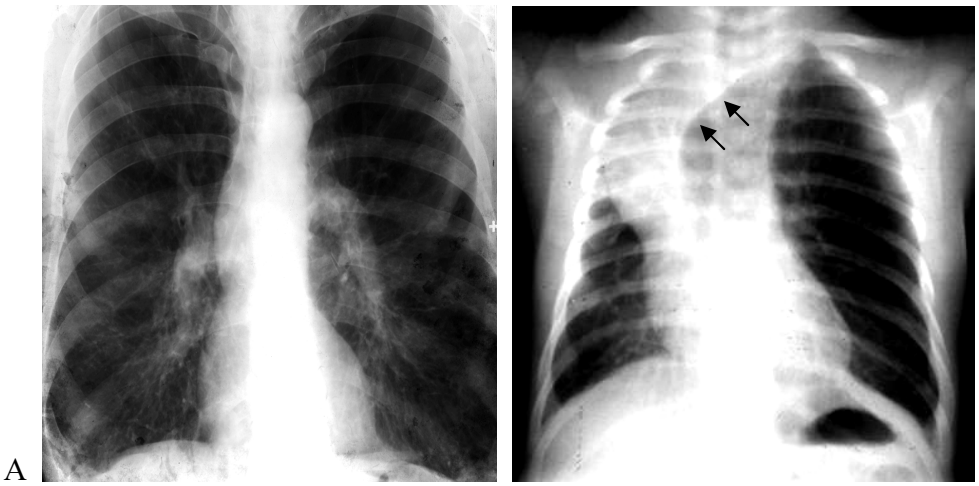
Bölgesel havalanma artışının örnekleri ***hava kistleri*** ve ***kaviteler***dir (Resim 14). Kistler düzgün, ince kenarlı hava balonlarıdır. Kaviteler ise daha önce var olan pnömonik veya tümöral konsolidasyonun ortasının nekroze olması sonucu ortaya çıkar; kenarları kalın ve düzensizdir. Çevrelerindeki akciğerde asıl hastalığın bulguları görülür. Tüberküloz kavitelerine klinikte *kavern* adı verilir ve kenarları daha incedir.



Resim 14. Akciğerde yerel radyolusensi artımı örnekleri. **A**. Apse kavitesi (ok), **B**. Tümör kavitesi. Tümör kavitesinin duvarları düzensiz ve daha kalın (ok).

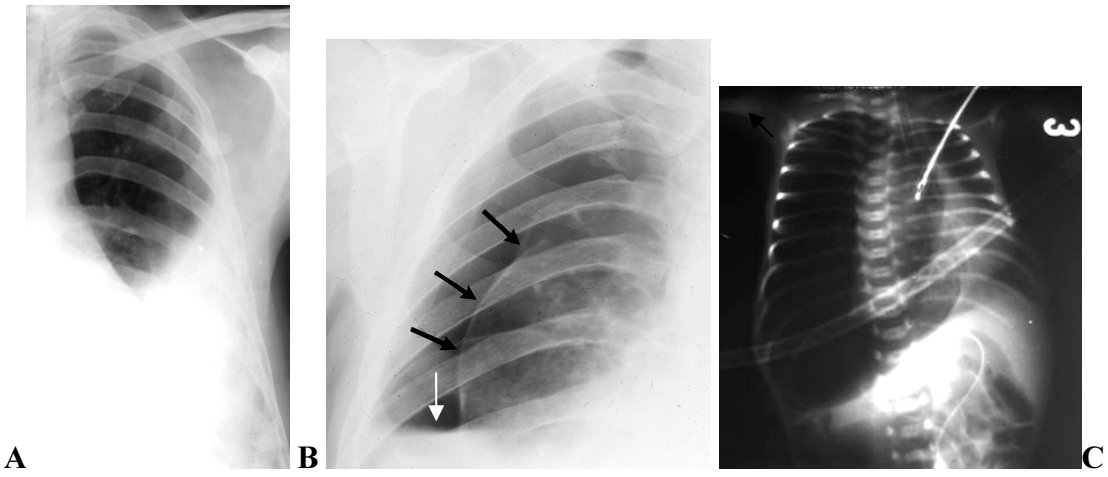
Bir lobun hava ile şişmesine ***lober amfizem*** adı verilir. Yeni doğanda lobun bronşundaki bir anormallikten, çocuklarda solunum yollarına yabancı cisim kaçmasından, yetişkinlerde ise bronş içi tümöral büyümeden kaynaklanır. Bu olgularda bronş tam tıkanmaz, ama kritik bir seviyeye kadar daralır; öyle ki hava nefes alındığında bronş genişlediği için girebilir, ancak nefes verirken bronş daralacağı için çıkamaz (*çek-valv* mekanizması).

Akciğerlerdeki yaygın radyolusensi artımının nedeni ise **astım** ve **amfizem**dir. Astımda krizler arasındaki dönemde akciğerler normaldir ve havalanma fazlalığı görülmez. Kriz sırasında her iki akciğer şişer. Amfizemde ise akciğerlerde havalanma artışı, alveol duvarlarındaki harabiyetle birliktedir. Her iki akciğer şişmiş ve radyolusensisi artmıştır. Akciğerler normale dönemez. Havalanma artışının derecesine bağlı olarak her iki hemitoraks genişler, diyafragmalar aşağıya itilir ve kalp ve mediyasten gölgesi ortada sıkışır. Lober amfizem ise alveol duvarlarında bir harabiyetle birlikte olmadığı için gerçek bir amfizem değil, havalanma artışıdır (Resim 15).



Resim 15. Akciğerde yaygın radyolusensi artımı örnekleri. A. Amfizemli bir akciğerin görünümü. Her iki akciğer genişlemiş ve radyolusensisi artmış, diyafragmalar aşağı pozisyonda, kalp ortada görece küçük boyutta, hiler damarlar belirginleşmiş. **B.** Sol üst lobda lobar amfizem. Bronştaki daralmaya bağlı olarak giren hava çıkamadığı için üst lob hava ile şişmiş ve sol hemitoraksı genişleterek ön mediyastenden karşı hemitoraksa geçmiş (oklar).

Plevral boşluğa hava girmesine **pnömotoraks** adı verilir. Havanın girmesi ile plevral boşluktaki negatif basınç ortadan kalkar ve akciğer kollabe olur. Hava bulunan kesimde akciğer dokusu bulunmaz ve radyolusensi artar (Resim 16). Bu alan plevral sıvıda olduğu gibi akciğerin çevresindedir ve ayakta çekilen röntgenogramlarda apeksleri çevreler. Havanın iç kenarında kollabe akciğerin visseral plevrasına ait opak ince bir çizgi görülür. Plevral boşluğa her nefes almada havanın girmeye devam ettiği bir mekanizmada, hava geriye çıkamayacağı için plevral boşlukta gittikçe daha fazla hava birikir; hemitoraks genişler. Bu genişleme mediyastinal baskıya neden olarak kalbe venöz dönüşü engelleyebilir. Acil bir durum olan bu tabloya *tansiyon pnömotoraks* adı verilir. Pnömotoraksla birlikte plevral boşukta sıvı bulunmasına *hidropnömotoraks* adı verilir. Hidropnömotaraksta sıvı, plevral boşluğa hava girmesi (negatif basınç ortadan kalkar) nedeniyle, ayakta veya dekübitus projeksiyonlarında çekilen röntgenogramlarda düzgün bir sıvı seviyesi şeklinde görülür.



Resim 16. Plevral boşlukla ilgili anormallik örnekleri. A. Plevral sıvı. Plevra yaprakları arasındaki negatif basınç devam ettiği için sıvının dış kenarı göğüs duvarına doğru tırmanıyor. **B**. Hidropnömotoraks. Visseral plavraya ait opak çizgi görülüyor (siyah oklar). Çizginin dışında akciğer dokusu yok. Plevral boşluğa hava girmesi nedeniyle negatif plevral basınç ortadan kalkmış; kostodiyafrafmatik sinüste hava sıvı seviyesi (beyaz ok). **C**. Bir bebekte tansiyon pnömotoraksı. Sağ hemitoraks genişlemiş, sağ diyafragma aşağıya doğru itilmiş ve kubbesi tersine dönmüş, kalp ve mediyasten karşı hemitoraksın içine itilmiş.

Göğüs röntgenogramlarında sadece akciğerler değil toraksın kemik ve yumuşak dokularında yerleşen lezyonlar, kalp ve mediyastinal organ ve dokuların anormallikleri de izlenebilir. Kalbin boyutu ***kardiyotorasik oran*** **(KTO**) ile değerlendirilir. Yetişkin bir olguda kalp gölgesinin enine boyutunun toraksın enine boyutuna oranı 0.50 veya daha az olmalıdır (KTO< 0.50). Bu oranın artması kalbin büyüdüğünü gösterir.

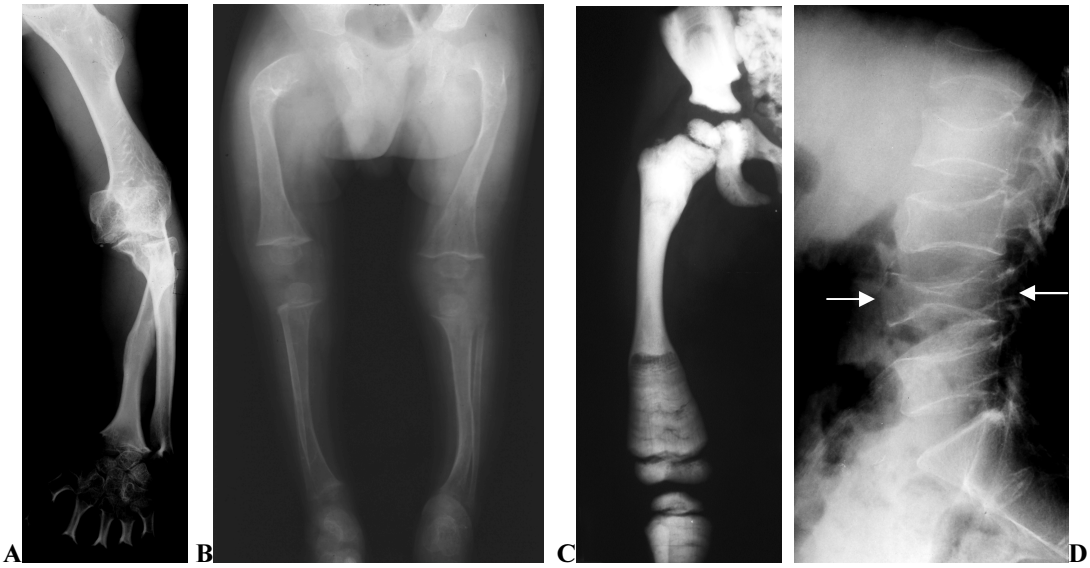
İskelet röntgenogramları

Röntgen, kemik lezyonlarının tanısında en değerli inceleme yöntemidir. Bunun nedeni kemiğın çevresine göre yüksek kontrast oluşturması ve röntgenogramların kemikleri anatomik bütünlük içerisinde göstermesidir. Çoğu olguda kemik lezyonlarının tanısı röntgenle konur. BT ve MR kesitlerinin tanıda röntgenogramlara ekleyecekleri fazla bir şey yoktur; bu yöntemler genellikle lezyonların daha ayrıntılı görülmesini sağlar ve çevre yayılımını çok iyi gösterir.

Röntgen ile osteokondrom gibi tipik görünümlü bazı kemik lezyonlarına kesin tanı konabilir (Resim 17). Bununla birlikte kemik iltihabı ya da eklem hastalıkları gibi birçok lezyonda tanı klinik verilerin yardımıyla konur. Bir kemik lezyonunun malign olup olmadığını söyleyebilmek içinse çoğu zaman biyopsi gerekir.

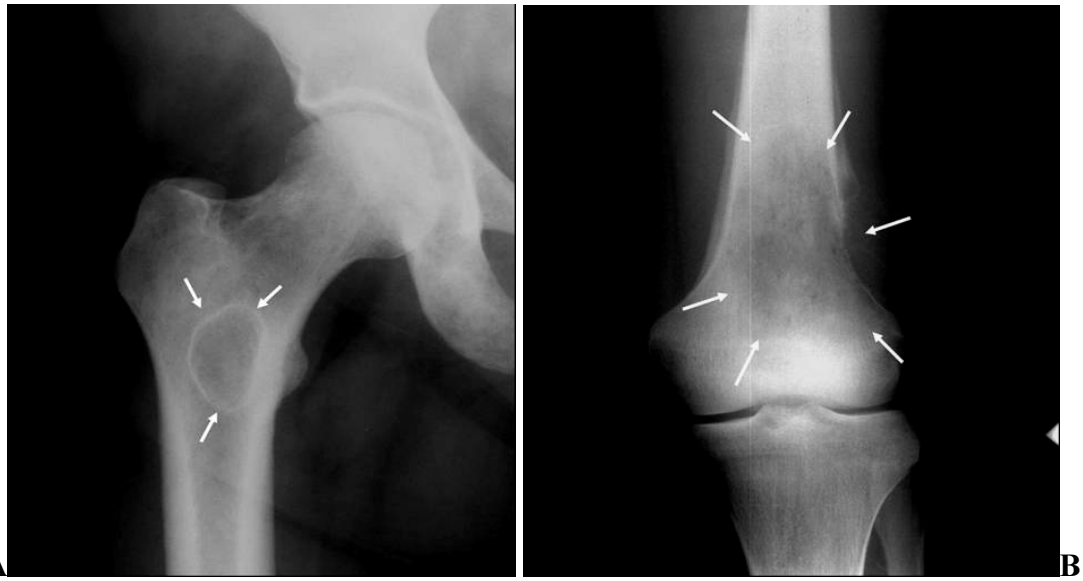
Resim 17. Röntgenle tanı koyma şekilleri. A. Osteokondrom (ok). Görünüm tipiktir, tanı bu görünümle konur; başka bir inceleme gerekmez. **B**. Osteomiyelit. Kemik içerisindeki apselerin kemikten dışarı açıldığı görülüyor (oklar). Görünüm oldukça tipik, ancak yine de tanı klinik bilgi yardımı ile konur. **C**. Fibrosarkom. Görünümün tanı koydurucu özelliği yok; tanı ancak biyopsi ile konabilir.

Displazi başlığı altında toplanan yapısal bir grup hastalıkta iskelet değişiklikleri yaygındır. Tutulan kemiklerde boyut ve şekil anormallikleri görülür (Resim 18). Displazilerdeki kemik değişiklikleri, genellikle aksiyal iskelette daha belirgindir. Bu olgularda çoğunlukla el kemikleri de etkilenmiştir. Doğumsal hastalıklardan *osteogenezis imperfekta*da iskelette yaygın radyolusensi artımı, *osteopetroz*da ise yaygın yoğunluk artımı vardır. Metabolik nedenli *osteoporoz* ve *hiperparatiroidizm*de de tüm kemiklerde radyolusensi artımı görülür.



Resim 18. İskeletin yaygın tutulumu. A. Akondroplazi. Kemikler kısa ve kalın. **B**. Osteogenezis imperfekta. Kemiklerde yaygın radyolusensi artımı ve eğilmeler. **C**. Osteopetrozis. Kemiklerde yaygın opasite artımı. **D**. Osteoporoz. Kemiklerde yaygın radyolusensi artımı. Vertebraların içi boşalmış, yükseklikleri azalmış. Lomber 4. vertebrada belirgin çökme (oklar)

Kemikte yerel değişiklik oluşturan hastalıklar genellikle kemik dokusunu tahrip eder, dolayısıyla heterojen radyolusent bir alan şeklinde görülürler (Resim 19). Kemik dokusu kendisini korumak için lezyon çevresini yeni kemik yapımı ile sınırlamaya çalışır. Bu nedenle radyolusent kemik lezyonlarının çevresi az veya çok radyopak (sklerotik) bir kenar ile çevrelenir. Böyle lezyonların sintigrafide radyonüklidi tutması, lezyonun kendisine değil bu yeni kemik yapımına bağlıdır.



Resim 19. Kemikte yavaş ve hızlı büyüyen lezyonlar. A. Düzgün kenar ve yavaş büyüme benignite işareti, **B**. Malign özellikler gösteren bir kemik lezyonu; sınırları seçilemiyor, geçiş zonu geniş, periostu yırtmış. Osteosarkom.

Lezyonları çevreleyen reaktif yeni kemik yapımının miktarı, kemikteki lezyonun büyüme hızı ile ters orantılıdır. Malignitesi yüksek lezyonların çoğu, çevresinde yeni kemik yapımına izin vermeyecek kadar hızlı gelişir. Buna karşılık genellikle benign yapıda olan büyüme hızı düşük lezyonlar, yeni kemik yapımına ait yoğunluğu artmış düzgün bir kenarla çevrelenir. Tümüyle radyopak olan kemik lezyonları nadirdir; en sık karşılaştığımız radyopak kemik lezyonu *prostat kanserinin metastazları*dır. *Kronik osteomiyelit*te de tutulan kemik kesiminde

hetorojen yapıda yeni kemik yapımına bağlı yoğunluk artımı gelişir. *Osteoid osteoma*da ise ortasında radyolusent bir nidus bulunan belirgin yeni kemik yapımı alanı vardır.

Kemikteki bir lezyonun tanısı için önce lezyonun tek veya birden fazla sayıda olup olmadığı bilgisi gerekir. Bu amaçla tüm iskeletin radyografisi yapılır (*iskelet survey*). Metastaz düşünülüyorsa hem duyarlılığının yüksek olması hem de tüm iskelet radyografisine göre daha az ışın alınması nedeniyle, öncelikle sintigrafi istenir. Tek bir lezyonda temel amaç, lezyonun benign veya malign olup olmadığını belirlemektir. Benign lezyonlarda genellikle bir şey yapılmaz, malign bir lezyon düşünülüyorsa vakit geçirmeden biyopsi yapılmalıdır. Sintigrafi ile osteomiyelit ve stres kırıkları gibi ayrılma göstermeyen kırıklar röntgenden daha erken saptanabilir.

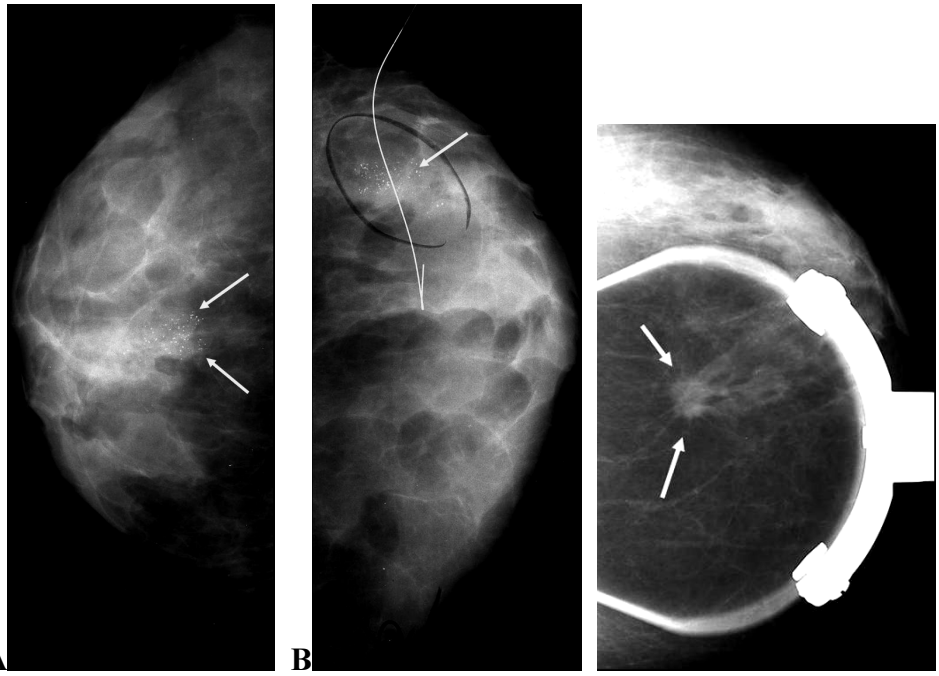
Kemikteki bir lezyonun radyolojik tanısında kullanılan ölçütler hastanın yaşı, iskeletin tutulan kesimi ve tutulan kemik, lezyonun kemikte oturduğu yer, lezyonun kenar özellikleri ve birlikte periost reaksiyonun varlığı ve tipidir. Bir kemik lezyonu normal kemikle keskin bir sınır oluşturuyorsa benigndir. Malign lezyonlarda lezyondan normal kemiğe geçiş keskin bir hat şeklinde değil gittikçe normalleşen anormal bir alan şeklindedir (Resim 19B). Bu bölgeye *geçiş zonu* adı verilir. Geçiş zonu ne kadar genişse lezyonun malign olma olasılığı o kadar yüksektir. Kemikteki lezyonun periostu yırtarak çevreye taşması malignite bulgusudur.

Mamografi

Memenin röntgenogramını elde etme yöntemidir. Sadece bu iş için üretilmiş kaliteli x-ışını çıkaran özel radyografi cihazları ile çalışılır. Meme taramasında amaç çok küçük ve silik kalsifikasyonları saptamak olduğundan, tanı değeri yüksek mamogramlar elde etmek için, araç-gerecin düzenli kalite kontrollerinin yapılması gerekir.

Mamografinin temel kullanım alanı ***kanser taraması***dır ("screening"). Kanser taramasında amaç kanseri erken dönemde yakalamaktır. Bu evredeki kanserin bulgusu malign özellikler taşıyan *mikrokalsifikasyon*lardır. Böyle bir kalsifikasyon saptandığında lezyonun çıkarılabilmesi için yerinin işaretlenmesi gerekir. *İşaretleme,* mikrokalsifikasyon alanının dışarıdan sokulan bir tel ile belirlenmesidir ve mamografi kılavuzluğu ile yapılır (Resim 20). Telin ucu, yerleştirildikten sonra hareket etmemesi için olta şeklinde kıvrıktır. Birbirine dik projeksiyonda alınan iki mamogramda mikrokalsifikasyonların tele olan konumuna göre ameliyat gerçekleştirilerek kalsifasyonların bulunduğu doku parçası ameliyatla çıkarılır. Günümüzde bu işlem, meme kanseri tarama merkezlerinde stereotaktik biyopsi cihazları ile radyologlar tarafından da yapılmaktadır.

Mamografinin diğer kullanımı ***tanısal amaçlı***dır. 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 iyi huyluluğu, *tırtıklı (spiküler) kenar* ise kötü huyluluğu işaret eder. Yağ nekrozu gibi tümüyle benign olan lezyonlarda da spiküler kenar özelliği görülebilir. İyonizan ışına duyarlı bir organ olan memede tanı amacıyla mamografiden önce US kullanılmalıdır.

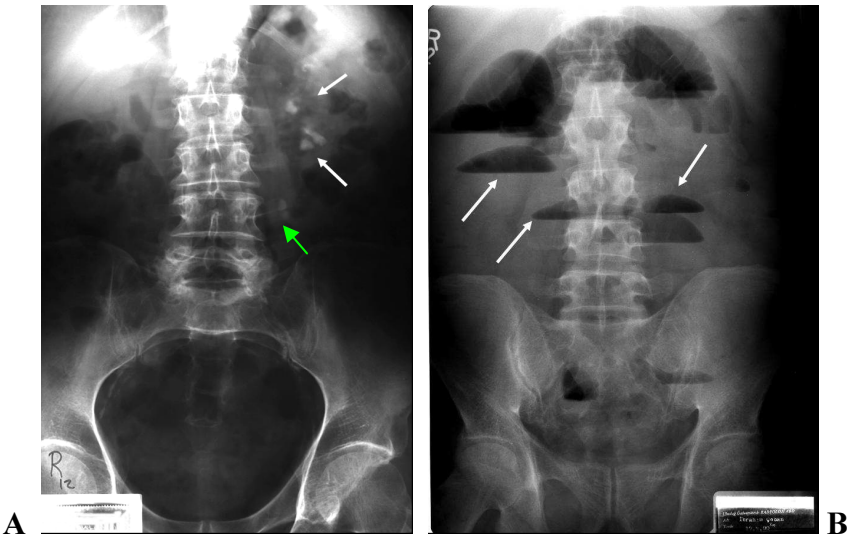


Resim 20. Mamografi uygulamaları. A. Mamogramda mikrokalsifikasyonlar (oklar), **B**. Mikrokalsifikasyon bölgesinin iğne ile işaretlenmesi (ok), **C**. Lezyonun radyolojik özelliklerini ortaya çıkarmak için baskı uygulanarak elde edilen mamogram. Işınsal kenar özelliği gösteren bir meme kitlesi (oklar).

Karın röntgenogramı

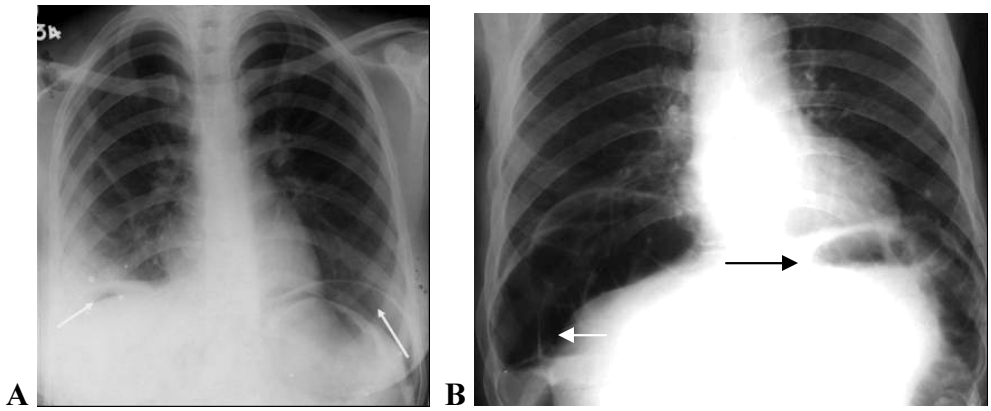
En sık böbrek ve idrar yollarındaki taşları araştırmak amacıyla istenir. Bu taşların büyük çoğunluğu radyopaktır. Küçük taşlar bağırsak içeriği tarafından örtülebilir, bu nedenle radyografiden bir gece önce müshil verilerek bağırsaklar boşaltılır. Böbrek taşlarını tanımak kolaydır. Üreter taşları ise idrar yollarının anatomisine uyan *pirinç şeklinde* opasitelerdir (Resim 21).

Bağırsak tıkanmasından (*ileus*) şüphelenildiğinde de karın röntgenogramı istenir. Tıkanmada bağırsak içeriğinin geçişi engellenir; sıvı ve gaz içerik, tıkanmanın üst kesiminde birikir. Karın röntgenogramının amacı bu birikimi göstermektir. Bunun için inceleme ayakta yapılmalıdır. Ayağa kalkamayacak hastalarda dekübitus röntgenogramları çekilir. Normal olgularda ayakta çekilen röntgenogramlarda sıvı seviyesi görülmezken mekanik ileusta tıkanmanın üst kesimindeki karın bölgelerinde *sıvı seviyeleri* görülür.



Resim 21. Düz karın röntgenogramları.
A. Yatarak. Böbrek taşları (oklar) ve üreter taşları (yeşil ok)
B. Ayakta. Bağırsakta sıvı seviyeleri (oklar). İleus.

Ayakta düz karın röntgenogramının endikasyonlarından biri de bağırsak delinmesine (*perforasyon*) bağlı periton boşluğundaki serbest havayı araştırmaktır. Düz karın röntgenogramında x-ışını verme süresi uzundur. Bu süre zarfında zaten çok ağrılı olan hastanın nefesini istediği gibi tutması beklenemez. Nefes tutma yetersiz olursa, diyafragmalar hareket ederek altlarındaki havanın seçilememesine neden olur. Bu nedenle perforasyon araştırılan olgularda çekim süresi çok daha kısa olan *göğüs röntgenogramları (diyafragma altları görülecek şekilde)* istenmelidir (Resim 22).



Resim 22. Diyafragma altları görülecek şekilde çekilen arka ön göğüs röntgenogramları. A.Diyafragma altlarında serbest hava (oklar), **B**.Diyafragma altında serbest havayı taklit eden gazla dolu kalın bağırsak segmentleri. Görüntülerin bağırsağa ait olduğu haustraların görülmesi ile anlaşılıyor (oklar).

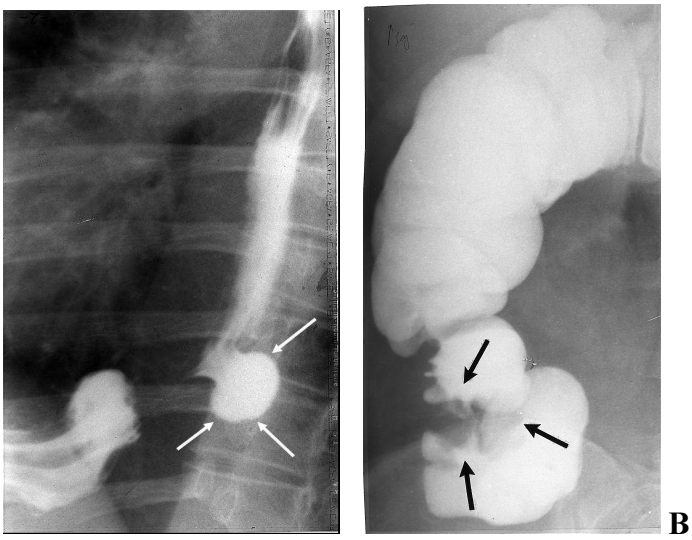
Sindirim borusunun baryumlu incelemeleri

Röntgenin yumuşak doku yoğunluklarını birbirinden ayıramaması nedeniyle, sindirim borusunu gösterebilmek için kontrast madde kullanmak (baryum sülfat) gerekir. Normalde sindirim borusunun her bölümünün kendine has mukoza yapısı vardır (Resim 23).

Sindirim borusu *kanserleri* erken dönemde, önce mukozada değişiklikler yapar. Hastalığı bu evrede yakalayabilmek için mukozal yapının gösterilmesi gerekir. Bu amaçla lümeni genişleterek duvarları birbirinden ayırmak ve mukozal yapıyı açmak için hava kullanılır. Mide için baryumla birlikte hava yapan tabletler, kolon için ise doğrudan hava verilir. Bu yönteme, kullanılan havadan dolayı ***çift kontrast sindirim borusu incelemeleri*** adı verilir. Bu yöntemle mide kanserinin erken evresindeki mukozal değişiklikler ve kalın bağırsaktaki *polip*ler gösterilebilir.

Resim 23. Sindirim borusunun baryumlu incelemeleri. A. Tek kontrastla çalışılmış normal mide-duodenumu görünümü. Mide içeriği antrumda görülen derin peristaltizmle duodenuma boşalırken alınmış bir görüntü. **B**. Çift kontrast kolon röntgenogramı; tüm kolon segmentlerinde çok sayıda polip görünümü (familyal polipozis), **C**. Normal enteroklizis.

Baryumla dolu lümenin kenarında (kontur) görülebilecek anormallikler ya dışa doğru keselenme (*dolma fazlalığı*) ya da içe doğru dolma eksikliğidir (*dolum defekti*) (Resim 24). *Divertiküller* veya *ülserler* dolma fazlalığı yapar, kanser ise duvar düzensizliği ile birlikte dolma defekti şeklinde görülür. Normal sindirim borusu düzenli kasılmalar göstererek (peristaltizm) içeriğini ileriye doğru atar. Bağırsak duvarının hastalık tarafından invazyonu, *rijidite* olarak tanımlanan ve en iyi floroskopik olarak gözlenen peristaltizm kaybına neden olur.



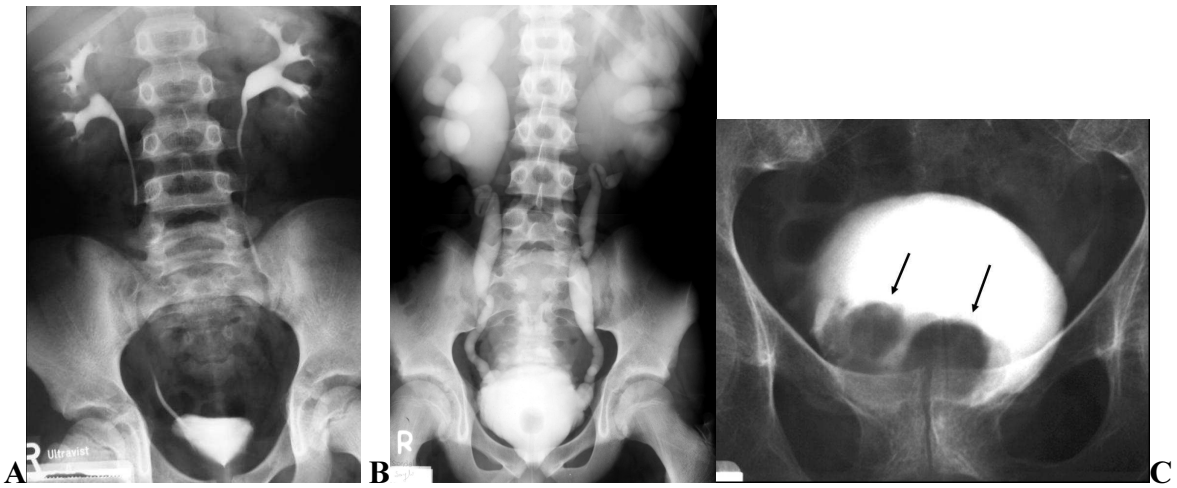
Resim 24. Sindirim borusunda kenar anormallikleri.
A. Dolma fazlalığı (oklar). Özofagus divertikülü.
B. Dolma defekti (oklar). Çekumda tümoral kitle.

Gelişmiş endoskoplar sayesinde sindirim borusu artık optik düzenekler aracılığıyla doğrudan incelenebilmektedir. Bunun bir istisnası ince bağırsaklardır. İnce bağırsakları henüz kullandığımız endoskoplarla incelemek mümkün değildir. Kapsül endoskoplarla yapılan incelemeler ise oldukça pahalıdır. Bu nedenle ***enteroklizis*** adı verilen ince bağırsak incelemeleri hala tanı değerini korur. Bu yöntemde ağızdan ince bağırsağa ilerletilen bir tüpten baryum süspansiyonu verilerek floroskopik gözlem altında radyografiler yapılır.

Üriner sistemin kontrastlı incelemeleri
İki temel yöntemi vardır:
1. İlaçlı böbrek tetkiki: intravenöz piyelografi ***(İVP)***= intravenöz ürografi (İVÜ)= ekskretuvar ürografi ***(EÜ)***
2. İşerken yapılan ilaçlı mesane-idrar yolu tetkiki: "voiding"/ miksiyon sistoüretrografisi ***(VSÜG))***.

İlaçlı böbrek tetkiki: Damardan verilen iyotlu kontrast maddelerin glomerüllerden süzülmeleri temeline dayalı bir yöntemdir. Ana amaç toplayıcı sistemi göstermektir. Kontrastın verilmesinden 5-10 dakika sonra elde edilen karın röntgenogramlarında (ürogram) idrar yolları gösterilir ve bir miktar kontrast madde mesaneye iner (Resim 25). Tıkanmada, tıkanmanın üst kesiminde idrar yolları genişler. Basınç artımının derecesine ve süresine bağlı olarak böbrek parankimi de incelirse, bu genişleme *hidronefroz* olarak isimlendirilir. Mesane için daha geç röntgenogramlar alınır. Mesane duvarının tümörle invazyonu sonucu oluşan duvar kalınlaşması ve rijidite, tümörün veya büyümüş prostatın yaptığı dolma defekti veya divertiküllere ait dolma fazlalığı görülebilir. Ancak günümüzde mesane, US ile çok daha kolay ve ayrıntılı incelenmektedir

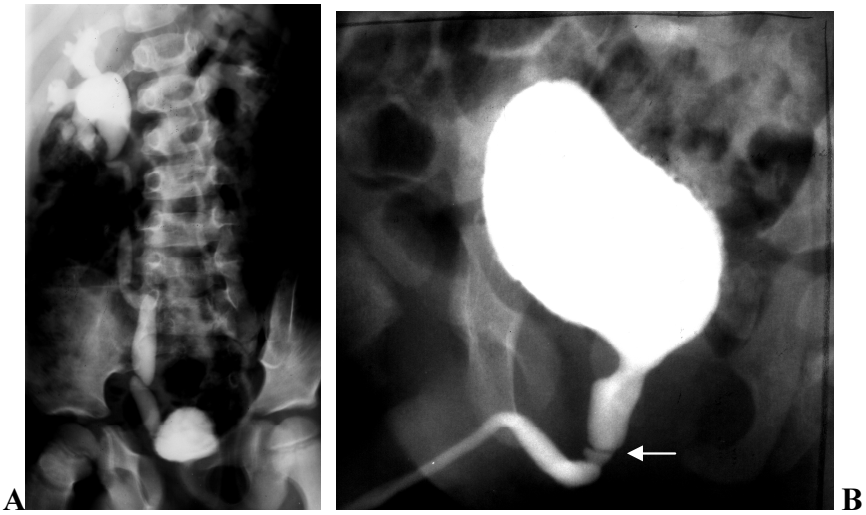
EÜ'nun tüm üriner sistemi anatomik bir bütünlük içinde göstermesi ve her iki böbreğin fonksiyonları hakkında, kabaca da olsa, bir fikir vermesi önemli bir üstünlüğüdür. Ancak US ve BT gibi yöntemlerin ayrıntılı görüntüleri EÜ'nün günümüzdeki kullanım alanını belirgin şekilde sınırlamıştır. Günümüzde EÜ neredeyse, taşa bağlı tıkanmanın seviyesinin ve derecesinin gösterilmesi amacıyla kullanılmaktadır.



Resim 25. İlaçlı böbrek tetkikinde normal ve anormal görünümler. A. Normal ürogram, **B**. Her iki tarafta hidronefroz ve hidroüreter, **C**. Mesane tabanında ileri derecede büyümüş prostatın basısı (oklar).

İşerken yapılan mesane-idrar yolu tetkiki: Üretradan sokulan bir sonda aracılığı ile mesane, seyreltilmiş kontrast madde solüsyonu ile doldurulur. Mesane, idrarını tutamayacak kadar dolduğunda hastaya işemesi söylenir. İşerken mesane kasılır. Normalde idrarın mesaneden üreterlere geçmemesi gerekir, geçiyorsa *vezikoüreteral reflü (VÜR)* var demektir. Reflü, idrar yollarındaki genişlemenin boyutuna göre derecelendirilir (Resim 26). Kalikslerde ve üreterlerde belirgin genişlemenin olduğu ileri derecede VÜR varlığında tedavi cerrahidir.

Ana kullanım alanı tekrarlayan üriner enfeksiyonu olan çocuklarda VÜR araştırılmasıdır. Bu yöntemle, erkek çocuklarda görülen ve idrarın normal akışını engelleyen doğumsal *posterior üretral valv* anomalisi de gösterilir.



Resim 26. VSÜG.
A. Sağda IV. derece, solda III. derece VÜR,
B. Posterior üretral valv. Valvin proksimalinde üretra kesimi yelkene benzer şekilde tipik bir genişleme gösteriyor. Valv bu genişlemenin alt kesiminde transvers radyolusent ince bir bant şeklinde görülüyor (ok). Mesane duvarının kalınlaştığı, mukozal kıvrımların derinleşmesine bağlı tırtıklı görünümden anlaşılıyor.

Anjiyografi
Tanı amaçlı olarak anevrizma ve anormal damar ağızlaşmaları (*arterio-venöz malformasyonlar*) gibi damar anormalliklerinin araştırılmasında kullanılır. Damar anormalliklerinin tanısında temel standarttır. Girişimsel radyolojik yöntemlerle tedavi edilen darlıklar, tıkanmalar vb tüm damar hastalıklarında temel kılavuz yöntemdir. Günümüzdeki anjiyografi üniteleri, subtraksiyon yapan gelişmiş dijital teknolojilerle donatılmıştır.

Subtraksiyonun sözlük anlamı çıkarma demektir. Kemiklerin opasitesi yüksektir ve anjiyografideki kontrast madde ile dolmuş opak damarların üstünü örterek küçük damarların ve damar lezyonlarının görülmesini güçleştirir. Tanıya katkısı olmayan bu yapıların gölgelerinin görüntüden kaldırılması damarların daha açık bir şekilde görülmesini sağlar. Bu işlem bilgisayar marifetiyle yapılır. Önce incelenecek kesimin görüntüsü alınır. Daha sonra hasta hiç hareket etmeden aynı bölgenin anjiyografik görüntüsü alınır. Birinci görüntünün piksellerinin değerleri, ikinci görüntününkilerden çıkarılır. Bu durumda her iki görüntüde aynı olan her değer silinir. Sadece görüntülerin birinde olup diğerinde olmayan değerler kalır. Bizim örneğimizde bu, damar içeresine verdiğimiz kontrast maddedir. Zemin silinmesi tam olabileceği gibi istenilen oranda da yapılabilir. Bu yönteme ***dijital subtraksiyon anjiyografisi* (DSA)** adı verilir (Resim 27).

Resim 27. DSA. **A**. Alt ekstremite venografisi (subtraksiyon yapılmamış), **B**. Renal anjiyografi; yaklaşık %50 oranında subtraksiyon yapılmış, vertebralar silik **C**. Aortografi; tam subtraksiyon yapılmış, **D**. Baziler arter tepesinde anevrizma; sırasıyla arteriyel, kapiller ve venöz faz. Kemik yapılar hiç görülmüyor; tam subtraksiyon yapılmış.

RÖNTGENİN ZARARLI ETKİLERİ VE KORUNMA

İyonizan ışınların biyolojik etkileri geçtikleri dokuda iyon çiftleri oluşturmalarına bağlıdır. İyonizasyonla doğrudan makromolleküllerin yapısını değiştirebilecekleri gibi hücre içerisindeki suda çok reaktif olan serbest radikaller de oluşturabilirler. Bunların birleşmesiyle ortaya çıkan hidrojen peroksit şiddetli oksidan bir maddedir, hücre metabolizmasını bozabilir. Serbest kökler makromolleküllerle birleşerek de yapılarını değiştirebilir.

İyonizan ışınların etkileri (-ki bu etkilerin kümülatif olduğuna inanılır), alınan doza, bu miktarın ne kadar süre içerisinde alındığına ve ışın alan dokunun ışına duyarlılığına göre değişir. Bu etkiler, belirleyici (deterministik) ve rastlantısal (stokastik) olmak üzere ikiye ayrılır.

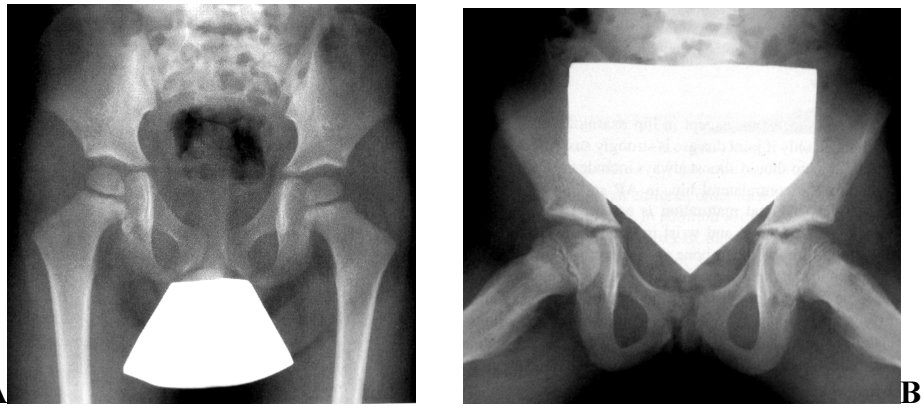
Deterministik etki görece yüksek doz radyasyonun akut etkisine bağlıdır. Deri hasarı, katarakt ve gonadların ışınlanması ile oluşan kısırlık, deterministik etki örnekleridir. Radyasyonun deterministik etkilerinin ortaya çıkması için her dokuya özgü belli bir eşik değer vardır ve radyasyon dozu arttıkça zararlı etki de artar. Atom bombası ve nükleer reaktör kazalarının kurbanlarında gözlemlenen bu etkiler, tedavi amaçlı ışınlanan dokularda da izlenebilir. Radyolojik tanıda deterministik etki söz konusu değildir. Bununla birlikte floroskopi klavuzluğundaki çok uzun süren girişimsel işlemlerde nadiren deri hasarlanması görülmüştür.

Rastlantısal etki ise çok düşük dozdaki radyasyonun kronik alımına bağlı oluşan etkilerdir. Bir eşik değeri yoktur; etkinin şiddeti değil, görülme olasılığı dozla artar. Rastlantısal etkide DNA, kritik hedefi oluşturur. Bu etkiler genetik ve somatik olmak üzere iki başlık altında toplanabilir. Genetik etki, ışının DNA zincirinde yapacağı değişikliğin mutasyona neden olması ile ortaya çıkar. Örneğin 25 rad'lık gonad dozunun mutasyon oranını yaklaşık iki kat artıracağı ileri sürülmüştür. Bu nedenle overlerin korunması büyük önem taşır. ***Teratojenik*** (anormal fetüs oluşumu) ve ***karsinojenik*** etkiler (lösemi ve diğer kanser insidansında artış) ise ışınların somatik etkileridir.

Radyolojik tanıda görülen iyonizan ışın etkileri rastlantısaldır. Çok küçük dozlarda kronik ışın alımının karsinojenik etkileri, lösemi için ortalama 12 yıl, solid tümörler için ise 25 yıl sonra görülür. Dolayısıyla genç popülasyon daha büyük risk altındadır. Büyüme evresindeki yapılar, iyonizan ışınlardan daha çok zarar görürler. Bu nedenle fetüs (özellikle hücrelerin çok hızlı çoğaldığı ve organların ortaya çıktığı ilk üç ay) ve büyüyen bir organizma olan çocuklar, öncelikli olarak korunmalıdır. Çocukların iyonizan radyasyona yetişkinlerden yaklaşık on kat daha duyarlı olduğuna inanılır. Tanısal radyolojide iyonizan ışınlardan hastaları koruma kuralları şu şekilde özetlenebilir:

1. Temel kural gereksiz radyolojik tetkikin istenmemesidir. Yapılacak tetkikten beklenen yarar, iyonizan ışınının olası zararından daha fazla olmalıdır.
2. Radyografi ya da floroskopide vücudun neresi incelenirse incelensin gonadlar az ya da çok ışın alırlar. Bu nedenle çocuklar ve üreme çağındaki yetişkinlerde testis ve overler ışın geçirmez kurşunlu örtülerle korunmalıdır (Resim 28).
3. 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.
4. Çocuklarda mümkün olan her durumda iyonizan ışın kullanan röntgen ve BT yerine US ve MR gibi yöntemler tercih edilmelidir.
5. Sadece hastalar değil, hastaya refakat edenler ve çalışan personel de korunmalıdır. İyonizan ışınların intensitesi (*intensite=birim alandan birim sürede geçen enerji miktarı*)

uzaklığın karesi ile ters orantılıdır ve en çok atom numarası yüksek maddeler tarafından tutulur. Bu nedenle ekspojur esnasında ışın kaynaklarından olabildiğince uzak durulmalı, odada durmak gerekiyorsa kurşunlu bariyerlerin arkasına geçilmeli ve/veya kurşunlu gömlek, boyunluk, eldiven ve gözlük gibi koruyucu giysiler kullanmalıdır. Röntgen ve BT odalarının duvarları, dışarıya ışın sızıntısını önlemek amacıyla kurşun levhalarla zırhlanmalıdır.



A **B**

Resim 28.
Gonad koruması.
A.Erkek,
B.Kız çocukta.

Işın alma konusunda en duyarlı hasta grubu hamilelerdir. Hamileliğinin 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 löseminin görülme sıklığının yüksekliğini gösteren eski tarihli çalışmalar vardır. Gebe farelerde belirli dozda ışınlama ile fetal anomaliler oluşturululabilir. Ancak şimdiye kadar insanda doğrudan x-ışınının etkisine bağlanabilecek doğumsal bir anomali gösterilmemiştir.

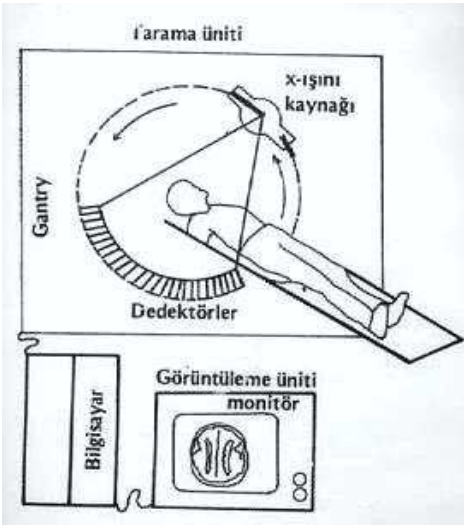
Ovumun, döllendikten sonra endometriyum içerisine yerleşmesine kadar geçen sürede alınan ışında *hep veya hiç* kuralı geçerlidir. Ya etkilenen zigot ölür, gebelik oluşmaz ya da ışının etkisi yok kabul edilir. Gestasyonel kese oluştuktan sonra radyolojik incelemelerde alınan ışın dozu nadiren gebeliğin sonlandırılmasını düşündürecek kadar yüksek olabilir. Genelde hamileliğin sonlandırılması, fetüsün aldığı dozun 10 rad (100 mGy)'ı aştığı durumlarda gündeme gelmektedir. Bir ilaçlı böbrek incelemesinde alınan ışın dozu 8 mGy, en fazla ışın alınan radyolojik tetkik olan çift kontrast kolon tetkikinde 35 mGy olduğu göz önüne alınırsa hamileliğin sonlandırılmasının, üst üste 3 çift kontrast 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.

BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ (BT)

Yöntem, Radon tarafından ileri sürülen (1917) "vücudun çepeçevre her noktasından görüntüsünü alabilirsek kesit görüntüsünü oluşturabiliriz" önermesine dayanır. Bir BT kesiti oluşturabilmek için, kesitteki her noktanın x-ışınını zayıflatma değerini bilmek gerekir. Bunun için kesit yapılacak vücut parçasının çepeçevre her yönünden x-ışını geçirilir. Vücudu geçen x-ışınları detektörlerle ölçülür. Yapılan çok sayıdaki ölçüm, güçlü bilgisayarlarla işlenir. Bulunan sayısal değerler, karşılığı olan gri tonlarla boyanarak kesit görüntüleri elde edilir.. Yöntem vücudu kesitler şeklinde görüntüler (*tomografi*).

BT AYGITI

Bir BT aygıtı, hastanın incelendiği bir *tarama ünitesi* ile incelemenin programlandığı, görüntülerin ortaya çıktığı ve işlendiği bir *kontrol ünitesi*nden oluşur (Şekil 5). Tarama ünitesinin iki parçası vardır: Gantri ve hasta masası. Gantri tüp ve dedektörleri taşıyan kutu şeklindeki bir düzenektir. Ortasındaki gantri açıklığı denilen içinden hasta masasının geçtiği yuvarlak bir açıklık vardır. Gantri içerisindeki birbirine bağlı tüp ve dedektör zinciri bu açıklık çevresinde döner. Hastayı geçerek dedektör üzerine düşen x-ışınının dedektör materyelinde yaptığı iyonizasyon, elektrik akımına çevrilerek ölçülür. Bu ölçümler dijitalize edilerek görüntü oluşturmak üzere sistemin güçlü bilgisayar donanımına aktarılır. Görüntüler kontrol ünitesinde işlenir ve içlerinden seçilenler, film üzerine geçirilir. Bu bölüm aynı zamanda sistemin komuta ünitesidir.

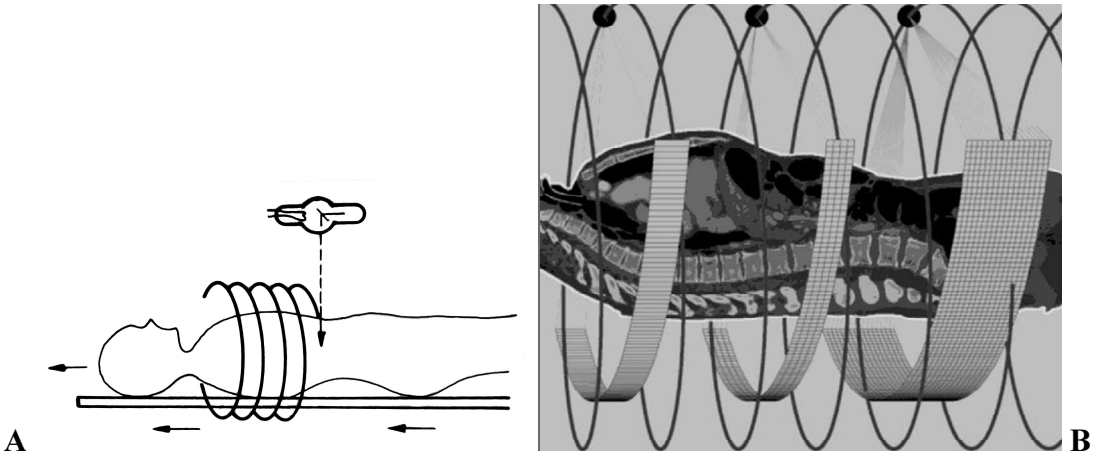


A

B

Şekil 5. BT aygıtı (konvansiyonel). A. BT aygıtının şematik görünümü. Tüp ve detektör zinciri birbirine bağlı olarak hasta çevresinde döner, **B.** Tarama ünitesi. Gantri ve hasta masası.

Günümüzde kullanılan modern BT aygıtlarında vücut, ayrı ayrı kesitler şeklinde değil bir blok halinde ve çok hızlı bir şekilde taranmaktadır. Bu aygıtlarda tarama sürecinde tüp devamlı döner, hasta masası ise devamlı kayar. Bu teknolojiye *helikal (spiral) BT* teknolojisi adı verilir. Helikal teknolojiye ek olarak, tek dedektör sırası yerine yan yana sıralardan oluşan bir dedektör bloğu vardır. Bu dedektör bloklarındaki sıra sayısı 64, 128, 256 ve daha fazla olabilir. Tek dedektör sıralı sistemlerde tek bir kesit alınırken, bu sistemlerde ayrı ayrı aktive edilen dedektör sırası kadar kesit alınır; bir defa nefes tutturularak 40-80 cm'lik bir alan, hatta tüm vücut taranabilir (Şekil 6). Bu aygıtlarda kesit kalınlığı 1 mm'nin altına düşürülmüştür. Çok kesitli BT (ÇKBT) adı verilen bu aygıtların kliniğe girmesi ile konvansiyonel BT aygıtları yavaş ortadan kalkmaya başlamıştır. .



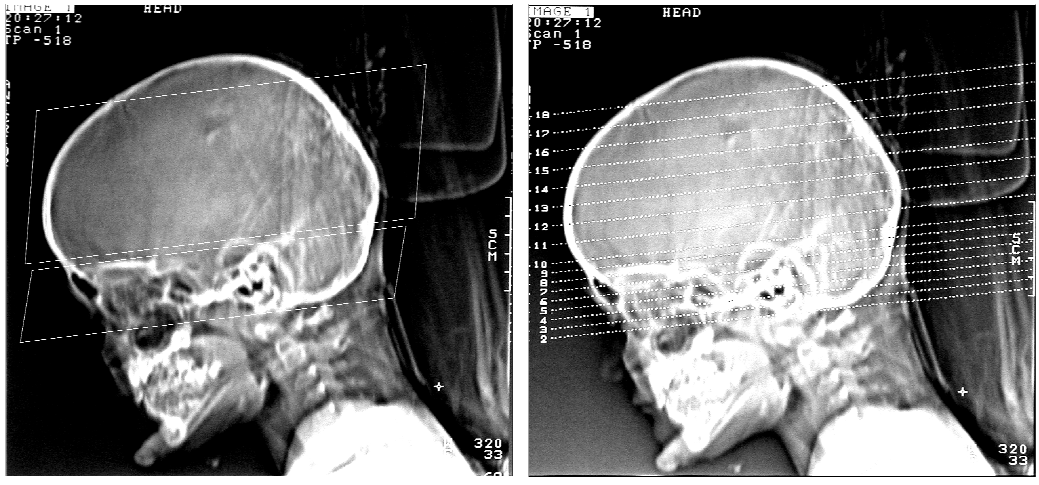
A **B**

Şekil 6. Modern BT aygıtı. A. Spiral (helikal) BT tekniği. Tüp devamlı dönerken masa hareket eder. Taranan vücut bloğundan kesintisiz veri toplanır. **B**. ÇKBT. Detektör zinciri tek bir sıra değil, yan yana birçok sıradan oluşan bir batarya şekilindedir. Günümüzdeki modern aygıtlarda 64 ve daha fazla sıradan oluşan detektör bloğu kullanılır. Şekilde üç farklı şekil ve sayıda düzenlenmiş detektör sırası görülüyor.

ÇKBT'nin üstünlüğü verileri hızlı toplamasından ileri gelir. Hareketin istenmeyen etkileri ortadan kalkar. İnceleme süresinin kısalmasının diğer bir yararlı etkisi de kontrast madde dağılımının daha duyarlı olarak saptanabilmesi ve miktarının azaltılabilmesidir.

BT İNCELEMESİ NASIL YAPILIR?

1. Hasta, tarama ünitesindeki masanın üzerine yatırılır. Kesit alınacak bölgeye uygun pozisyon verilir. BT'nin kesit düzlemi, gantri açıklığının düzlemidir. İncelenecek bölge masanın hareketi ile bu düzlem içerisinden geçirilir. Alınan kesitleri, bu düzlemde çalışan bir *salam bıçağının* kestiği dilimlere benzetebiliriz.
2. Kesit almaya başlamadan önce, incelenecek bölgenin *kılavuz görüntü, topogram* veya daha yaygın kullanılan adıyla *skenogram* adı verilen, ön-arka veya yan dijital bir röntgenogramı alınır. BT kesit görüntülerinin yanına konan skenogram görüntülerinin üzerinde, kesitlerin geçtiği düzlemi gösteren çizgiler bulunur (Resim 29). Skenogram incelemeyi yapacak teknisyenin ve değerlendirecek hekimin kılavuzudur; kesit düzlemi ve hangi kesitin hangi seviyeden geçtiği bu görüntü üzerinde belirlenir.



A **B**

Resim 29. Bir kraniyum incelenmesinin skenogramı. A. Kesit alınacak alanlar ve düzlemleri belirlenir, **B**. Kesitlerin geçtiği düzlemler işaretlenmiş.

3. Genellikle incelenecek kesimin önce kontrastsız kesitleri elde edilir, daha sonra kontrast madde verilerek kesitler tekrarlanır. Kontrast madde venöz yoldan verilir. Karın incelemelerinde bağırsakların kesitleri, kitle görünümü vererek karışıklığa neden olabilir. Bu karışıklığı önlemek için sindirim borusu, incelenen bölgeye göre ağızdan, rektumdan veya her iki yoldan verilen su ile doldurulur (eskiden dilüe kontras madde kullanılırdı).
4. Göğüs ve karın inceleniyorsa hastaya nefesini tutması söylenir ve incelemeye başlanır. Knaniyum gibi hareketsiz yapıların incelenmesinde incelenen bölgenin hareket etmemesi yeterlidir. X-ışını verilirken kesit alınacak vücut bölgesi gantri düzleminden kayarak geçer. Görüntüler hemen hemen kesit alımıyla eş zamanlı olarak görüntüleme ünitesindeki monitöre gelir ve işlenerek değerlendirmek üzere filme kaydedilir. Tümüyle dijital olan ve görüntülerinin dijital ortamlarda arşivlendiği ve iletildiği modern radyoloji departmanlarında film ortadan kaldırılmıştır. Radyogramların değerlendirilmesi, çözümleme gücü yüksek monitorlardan oluşan raporlama istasyonlarında yapılır ve hastaya, gerekirse incelemenin CD'leri verilir.

GÖRÜNTÜ OLUŞTURULMASI VE İŞLENMESİ

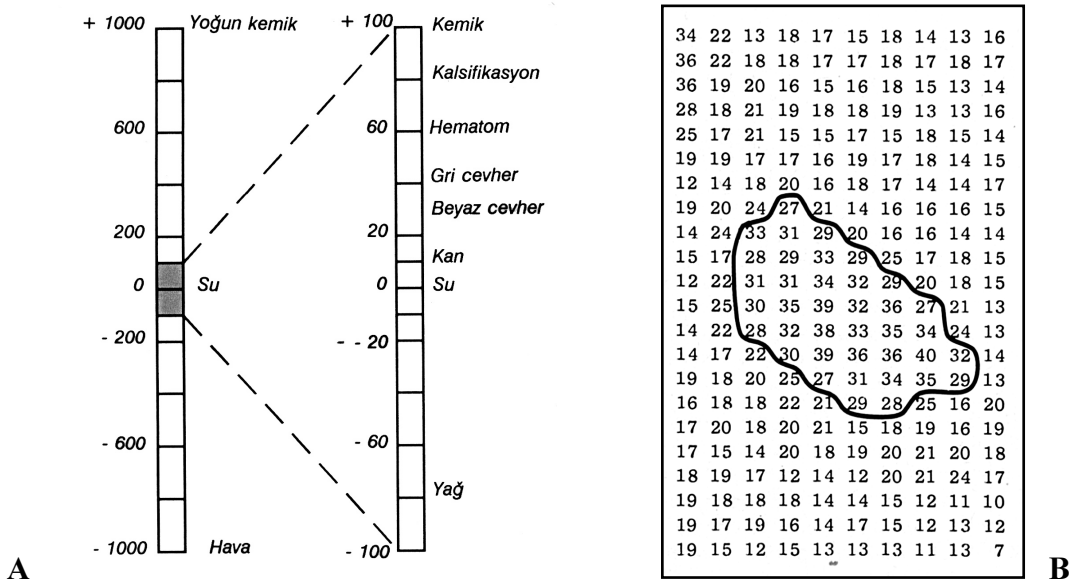
Bütün dijital görüntülerde olduğu gibi BT'de de görüntü, küçük resim elementlerinden ***(piksel)*** oluşur. Görüntüyü oluşturan piksellerin tümüne görüntü matrisi denir. Matris sayısı görüntünün iki kenarındaki piksel sayısının çarpımıdır. Günümüzdeki aygıtlarda toplanan verileri göstermek için genellikle 512x512'lik matris yeterlidir (cep telefonunuzun kamerasına göre ne kadar düşük bir matris!).

BT'de görüntüler aslında iki boyutlu değildir; bizim tarafımızdan belirlenen bir kalınlıkları vardır. BT'de ölçüm yapılan birimler piksel değil, tabanını pikselin, yüksekliğini kesit kalınlığının yaptığı üç boyutlu birimlerdir. Bunlara volüm (hacim) elementi anlamına gelen ***voksel*** adı verilir (Şekil 7). BT görüntüsündeki pikselin gri tonu, ait olduğu vokselin içeriğinin x-ışınını zayıflatma değerini temsil eder; dolayısıyla siz bir BT görüntüsüne bakarken pikselin değil ait olduğu vokselin ortalama x-ışınını zayıflatma değerine karşılık gelen gri tonu izlersiniz.

Şekil 7. Piksel (a x b) ve voksel (a x b x d). Yandaki kraniyal kesit İlk BT görüntülerinden biri. Matrisi 80x80. Çizimdeki vokselerin pikselleri tek tek seçilebiliyor.

Bulunan değerlerin görüntü oluşturmada kullanılabilmesi için referans bir doku yoğunluğuna ihtiyaç vardır. Referans yapı olarak su kullanılır. Suyun zayıflatma değeri sıfır kabul edilerek negatif uçta havanın zayıflatma değerinin karşılığı olan -1000, pozitif uçta ise metallerinkinin karşılığı olan +3,096 değeri olan bir cetvel oluşturulur (*Hounsfield cetveli)*. Eksi değerler x-ışınının sudan daha az, artı değerler ise daha çok zayıflatılmasını temsil eder. Sistemin bilgisayarları bu cetvele göre tüm voksellere bir sayı verir (Şekil 8). Bu sayılara *Hounsfield ünitesi* (HÜ) veya *BT ünitesi* adı verilir.

Sistemin yapacağı son işlem Hounsfield cetveline göre sayısal değerler almış vokselleri, aldıkları sayıların karşılığı olan gri tonlarla boyamaktır. Bunun için artı ucu beyaz, eksi ucu siyah olan gri bir cetvel kullanılır (*gri skala*). BT aygıtlarında kullanılan gri cetvelde 2^{12}= 4096 gri ton vardır.

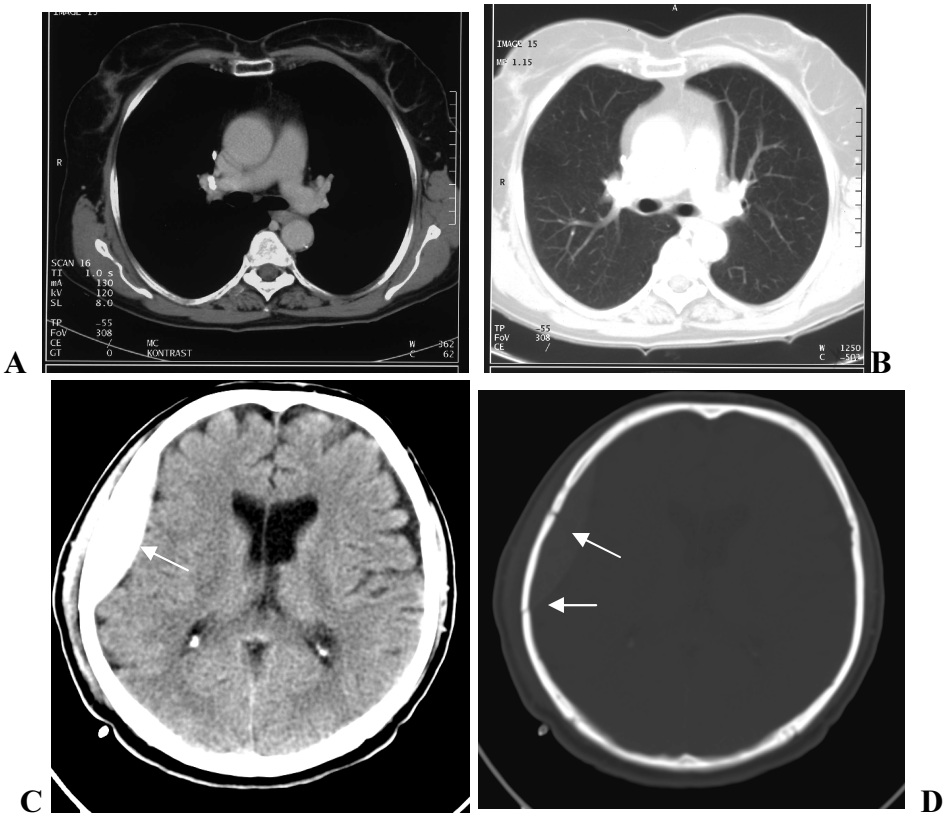


Şekil 8. Ölçülen x-ışını değerlerinin bir cetvele göre düzenlenmesi. **A**. Hounsfield ölçeği örneği, **B**. Görüntünün piksellerine, temsil ettikleri vokselin x-ışınlarını zayıflatma değerinin karşılığı olarak, Hounsfield ölçeğine göre verilmiş BT üniteleri. Çizilmiş alan, çevreye göre yoğunluğu yüksek bir yumuşak doku lezyonunun gri ton kodlamasından önceki ölçüm değerlerini gösteriyor.

Görüntülerin işlenmesi

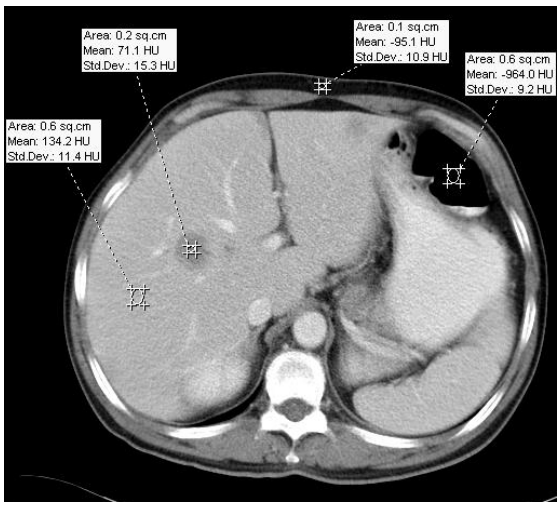
Yöntemin dijital olması, elde ettiğimiz bu verilerden amaca dönük farklı işlemler yapmamızı ve farklı görüntüler elde etmemizi olanaklı kılar. Bu işlemleri şu şekilde özetleyebiliriz:

Pencereleme: Bir BT görüntüsünde bulunan 4096 gri tonu gözümüzün aynı anda algılaması olanaksızdır. Radyogramlara baktığımız şartlarda gözümüz ancak 30-90 gri tonu ayırabilir. Bu durumda yöntemin ayırabildiği ve ayrı bir tonla kodladığı komşu gri tonlardaki birçok yapı, gözümüzce algılanan gri ton yelpazesi içerisinde tek bir ton içinde kaybolur ve fark edilemez. Sorun, gözümüzün kontrast çözümleme yetisinin BT'ninkinden az olmasına bağlıdır. Sorunu çözmek için sıfır noktasını ilgilendiğimiz alana çekerek gri tonlarımızın bu alanın çevresindeki daraltılmış bir bölgede dağıtılmasını sağlarız. Böylece daha küçük HÜ farklılıkları daha büyük gri ton farkları ile kodlanarak gözümüzce algılanır hale getirilir. Bu işleme *pencereleme ("windowing")* adı verilir. Pencereleme işleminde, gri tonların dağıtılmasını istediğimiz aralığa ***pencere genişliği***, bu aralığın ortasına ise ***pencere seviyesi*** denir. Pencere genişliğinin üzerindeki yapılar beyaz, altındaki yapılar ise siyah tonlar içerisinde silikleşir (Resim 30). Pencereleme ile sistemin çözümleme gücü artırılmaz; aygıtın çözümlediği ancak görüntüde gözümüzün fark edemediği ayrıntılar görülür hale getirilir.

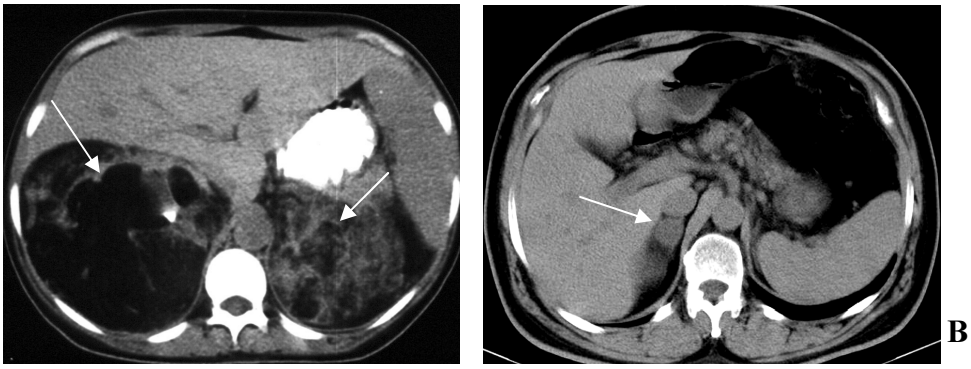


Resim 30. Pencereleme. **A**. Mediyasten penceresi. Pencere genişliği (W):362, pencere seviyesi (C): 62 (kesitlerin sol alt köşelerinde). Gri ölçeğin tonları 62 HÜ 0 kabul edilerek +243 ile -119 HÜ değerleri arasında dağıtılmış. Bu değerlerin üzerindeki HÜ değerleri beyaz, altındakiler ise siyah tonların içerisinde kaybolmuş, seçilemiyor. Mediyasten yumuşak dokuları, göğüs duvarı yumuşak dokuları ve kemik yapıları ve sağ hilustaki kalsifikasyonlar çok iyi görülüyor fakat akciğerdeki bronkovasküler yapılar görülemiyor. **B**. Parankim penceresi. Bronkovasküler yapılar görülüyor, mediyastinal yapılar ve göğüs duvarındaki kemik ve yumuşak dokular beyaz ton içerisinde zor seçiliyor. Sağ hilustaki kalsifikasyonlar seçilemiyıor. **C**. Yumuşak doku penceresinde basılmış kraniyum kesiti. Yumuşak dokular çok iyi görülüyor; sağda epidural hematom mevcut (ok) ancak kemik yapılar seçilemiyor. **D**. Kemik penceresi. Beyin yapıları, gri, beyaz cevher ve ventriküller seçilemiyor fakat kemik yapılar çok iyi görüntülenmiş; epidural hematomun altındaki kemikte kırıklar ortaya çıkmış (oklar).

Yoğunluk ölçümü: BT'nin tanıya önemli katkı sağlayan diğer bir özelliğidir. Bu sayede gözle fark edilmeyecek yoğunluk farklılıkları sayısal değerleriyle ortaya çıkarılabilir (Resim 31). Voksellerin x-ışınını zayıflatma değerinin ölçülebilmesi lezyonların karakterize edilmesine katkıda bulunur. Örneğin böbreküstü bezindeki bir kitlenin yağ içeriği belirlenerek karsinom değil adenom olduğu söylenebilir (Resim 32).

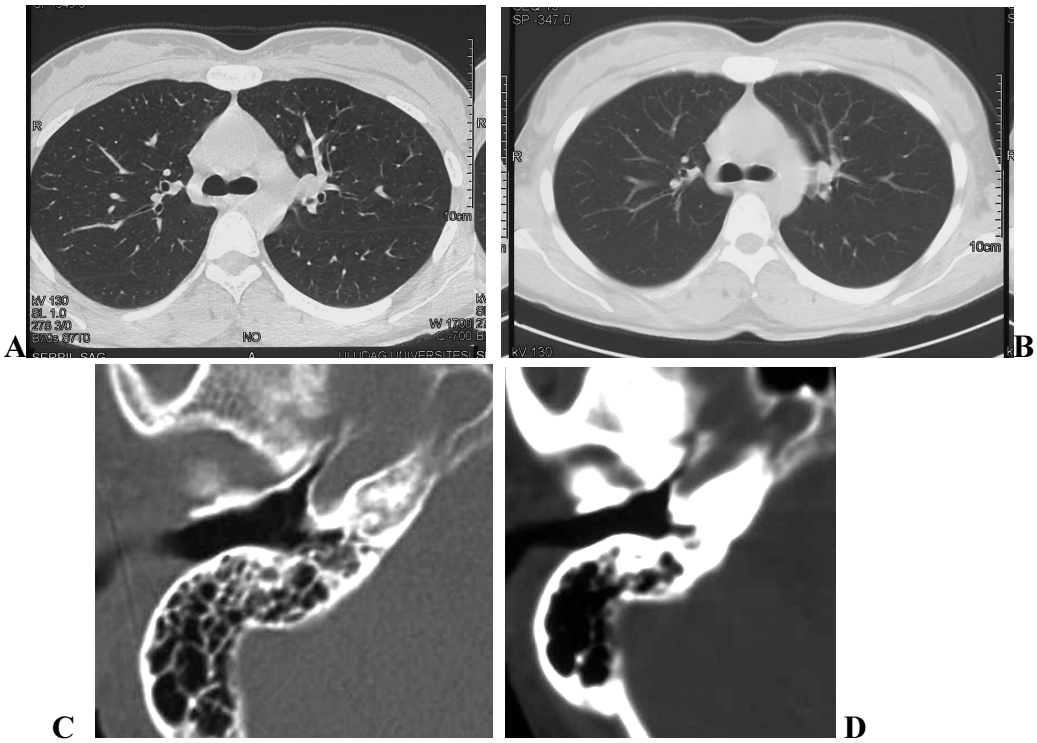


Resim 31. BT'de yoğunluk ölçümü. Deri altı yağ dokusu ve mide gazı arasındaki ton farkını gözümüz algılamıyor. Her ikisi de siyah tonda. Bu bölgelerden seçilen küçük alanlardan yapılan ölçümlerde yağın -95, havanın ise -964 HÜ olduğu görülüyor.



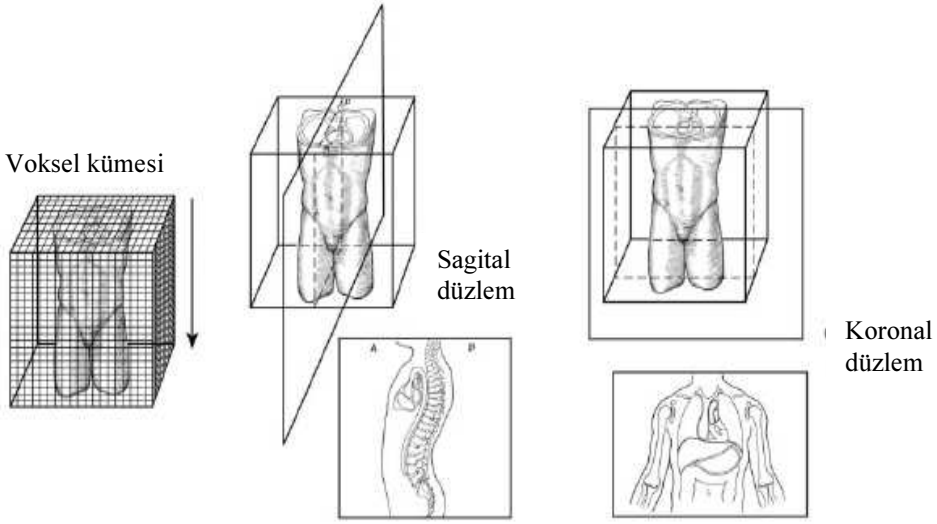
Resim 32. Üst abdomenin kontrastsız BT kesitleri. **A**. Her iki böbrekte yağ yoğunluğunda hetorejen yapıda kitleler: Tuberöz sklerozlu olguda her iki böbrekte anjiyomiyolipomlar (oklar). Karaciğerin dansitesi dalaktan yüksek (normal bulgu). Ağızdan verilen kontrast madde mideyi doldurmuş. **B**. Sağ sürrenalde küçük hipodens kitle (ok). Lezyonun yağ yoğunluğuna yakın hipodansitede olması öncelikle adenom olasılığını düşündürüyor.

Yüksek çözümlemeli rekonstrüksiyon (yüksek çözümlemeli BT-YÇBT): *" High Resolution Computed Tomography (HRCT)"* nin çevirisi olan ve *yüksek rezolüsyonlu BT* (YRBT) de denilen bu yöntemde, ince kesitler alınır. Yapılan ölçümler voksel değerlerine çevrilirken matematiksel filitrelerden geçirilir. Bu işlem, voksellerin değerlerinin, çevresindeki voksel değerleri ile karşılaştırılarak belirli bir formüle göre hesaplanmasıdır. YÇBT yönteminde amaç yapıların kenar keskinliğini belirgin hale getirerek geometrik rezolüsyonu artırmaktır; buna karşılık gürültü artar ve kumlu bir görünüm ortaya çıkar. Yöntem en çok akciğer parankim tutulumunu ve orta ve iç kulaktaki kemik yapıları ayrıntılı olarak göstermek için kullanılır (Resim 33).



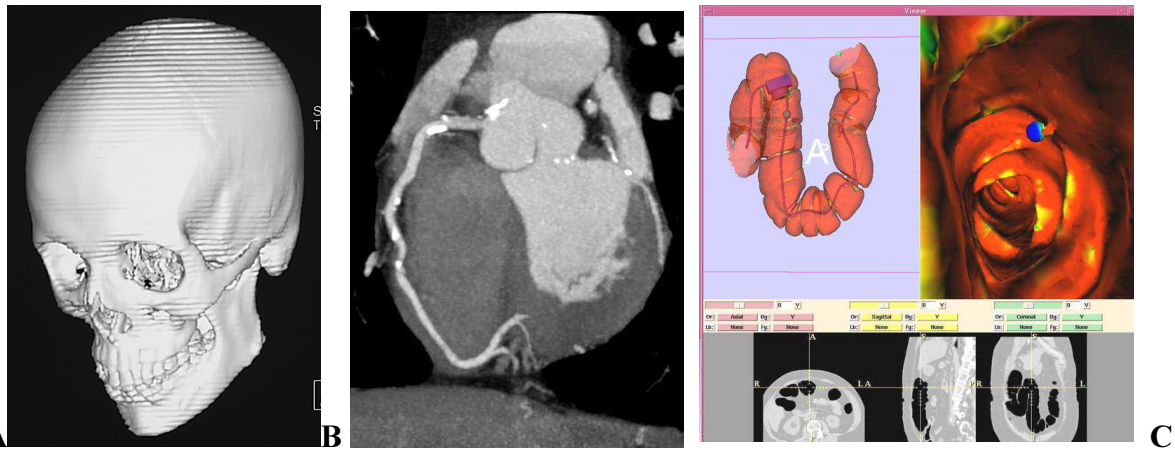
Resim 33. YÇBT'nin standart görüntülerle karşılaştırılması. **A**. YÇBT. Yapılan ölçümlerden filitrelenerek oluşturulan kesitte interlobüler septalar seçilebiliyor, akciğer parankimi ayrıntılı görülebiliyor, ancak görüntü gürültülü; resmin kumlu bir görünümü var. **B**. Parankim penceresinde standart kesit; yumuşak doku filtresi ile rekonstrükte edilmiş, yumuşak bir görüntü. **C**. Petroz kemiğin YÇBT kesiti; mastoid hücrelerin duvarları net seçiliyor. **D**. Aynı kesitin standart kemik penceresi görünümü; kemik septalar net olarak seçilemiyor.

Reformasyon görüntüleri: Taranan bir bölgenin voksellerinin istenilen düzlemde rekonstrükte edilmesine reformasyon adı verilir (Şekil 9). İncelenen bölgedeki voksellerin bazılarının seçilerek reforme edilmesi ile 3 boyutlu (3B) reformasyon görüntüleri de elde edilebilir.



Şekil 9. Reformasyon. Aksiyal kesitlerle taranan vucut kesımının voksellerinin degerıerı bılgısayar hafızasında mevcuttur. Görüntüsü oluşturulmak istenen düzlemdeki vokseller bir araya getirilerek (reforme edilerek) istenen düzlemde sagital ve koronal görüntüler elde edilir.

Üç boyutlu reformasyonlar, yüz kemikleri ve pelvis gibi bölgelerin kırıklarında, ameliyatla yapılacak düzeltmeyi planlamak amacıyla kullanılır. BT-anjiyografi diğer sık kullanılan bir üç boyutlu reformasyon yöntemidir. ***Koroner BT-anjiyografi*** en popüler örneğidir. ***Sanal ("virtual") endoskopi*** ise kolon ve bronş ağacı gibi lümenli yapıların iç yüzeylerini oluşturan voksellerin reformasyonları ile elde edilir. En sık sanal kolonoskopi yapılır, ancak bu şekilde yapılan endoskopik çalışmaların polip gibi lezyonların gösterilmesinde duyarlılıkları yüksek değildir (Resim 34).



Resim 34. 3B Reformasyon görüntüleri. A. Kraniyum ve yüz kemiklerinin 3B reformasyonu **B**. Koroner BT- anjiyografi. Görüntü kalitesi çok yüksek. **C**. Sanal kolonoskopi. Kolonlar çok iyi temizlendikten sonra hava verilerek genişletilir ve ince kesitlerle aksiyal tarama yapılır. Verilerden sagital ve koronal reformasyon görüntüleri elde edilir (aşağıda). Kolonun dış yüzeyinin vokselleri 3B olarak reforme edilmiş (üstte sağda). İç yüzeyinin voksellerinin 3B reformasyonu ile elde olunan endoskopik görünüm (üstte solda),

YÖNTEMİN AYIRT EDEBİLDİĞİ YAPILAR

Kullanılan enerji x-ışını olduğundan, BT görüntülerdeki yoğunluk farklılıkları röntgendekilerle aynı anlamı taşır, ancak kontrast çözümlemesi röntgenden çok yüksektir. Bir BT kesitinde yoğunluğu göreceli olarak yüksek olan, yani beyaza yakın tondaki bölgeler x-ışınını fazla zayıflatan, yoğunluğu düşük olan, yani siyaha yakın kesimler ise x-ışınını daha az zayıflatan 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.

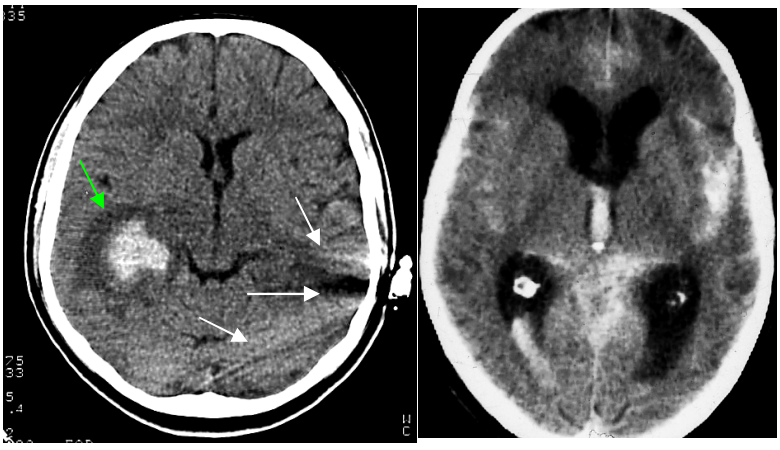
BT görüntüleri röntgenden daha ayrıntılıdır (Tablo 4). Röntgende hepsi aynı yoğunlukta görülen su ve yumuşak dokular, BT kesitlerinde birbirinden ayrılabilir. Kist gibi içi su dolu keseler, ödem ve hematom BT'de ayrı gri tonlarda görüntülenir. Karaciğer ve dalağın gri tonları da farklıdır. Bir kraniyum röntgenogramında, yoğun kalsifikasyon dışında beyinle ilgili hiçbir şey görülemezken BT ile beyin dokusu görülebilir ve beyaz/gri cevher ayırımı yapılabilir (Resim 35). Bunun temel nedeni üst üste düşme sorununun ortadan kaldırılması ve görüntülerin doğrudan voksellerin x-ışınlarını zayıflatma değerlerinden yapılmasıdır. Kalınlığın etken olmaktan çıkarılması nedeniyle BT görüntüleri, voksellerin elektron yoğunluklarının bir haritası olarak düşünülebilir.

Karaciğer gibi parankimal organlarda yerleşen lezyonlar, genellikle su içeriğinin artmasına bağlı olarak hipodens görülürler. Nekroz gelişince sıvılaşma artacağı için hipodansite de artar (Resim 36). Kanama ve kalsifikasyon, lezyonun dansitesinin artmasına neden olur.

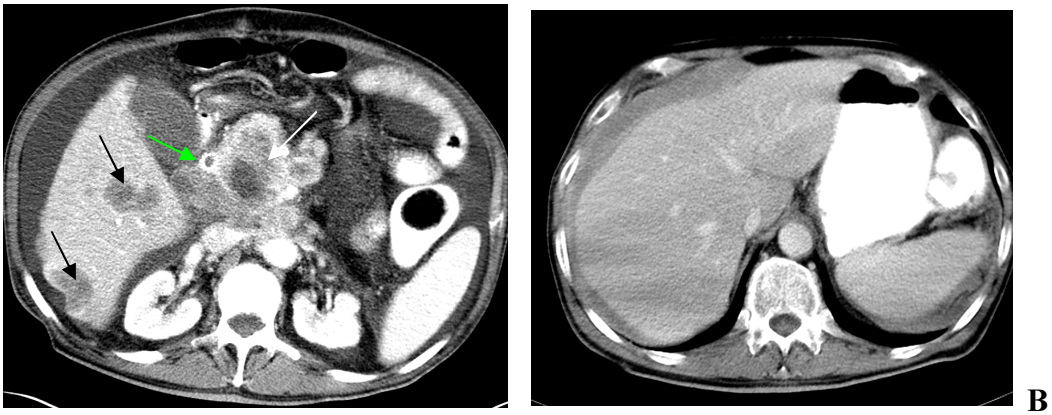
Yağ düşük dansitesi ile özellikle karın içindeki parankimal organlar için doğal bir kontrast oluşturur. Şişman hastaların karın incelemelerinde görüntü, karın içinde yağ dokusu çok az olan bebeklerinkine göre daha kalitelidir (Resim 37). Bu nedenle röntgen ve US'de görüntü kalitesini bozan bir faktör olan şişmanlık, BT için bir avantaj olabilir.

Tablo 4. X-Işını Yöntemlerinin Ayırabildiği Dokular

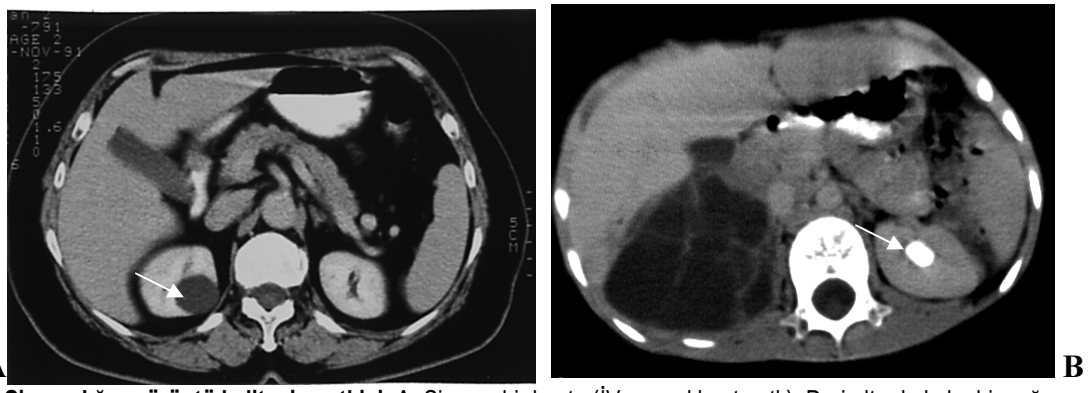
Röntgen	**Gri Ölçek**	**BT**
metal		metal
kemik ve kalsifikasyon		- kemik - kalsifikasyon - hematom
su (yumuşak dokular)		- karaciğer - dalak - gri cevher - beyaz cevher - ödem - su
Yağ		yağ
hava		hava



Resim 35. Beyinin kontrastsız BT görünümleri. Beyaz cevher, gri cevhere göre hipodens; BOS siyah. **A**. Sağ hemisferde hematoma ait hiperdansiteyi ödeme ait hipodens alan çevrelemiş (yeşil ok). Solda saçlı derideki metal yapıya bağlı çizgilenme artefaktı (*Artefakt: Görüntüyü bozan etkilerin görüntüdeki karşılıkları*) görülüyor (oklar). **B**. Silviyan sisternalarda ve interhemisferik fissürde BOS'un dansitesinde belirgin artış. Subaraknoid kanama. Ventriküller genişlemiş; 3. ventrikülde ve sağ yan ventrikülün arka boynuzu içinde hematoma ait hiperdens görünümler.



Resim 36. Peritonda sıvının ve kanamanın BT'de görünümü (İV ve oral kontrastlı). **A** Pankreas başı kanseri (beyaz ok) ve karaciğerde metastazları (siyah oklar). Koledoka yerleştirilen metal stent görülüyor (yeşil ok). Peritonda toplanan serbest sıvı karaciğer çevresinde belirgin. **B**. Peritonda serbest kan. Yoğunluğu bir önceki resimdeki serbest sıvı yoğunluğundan yüksek, ancak subaraknoid kanamada olduğu kadar yüksek değil.

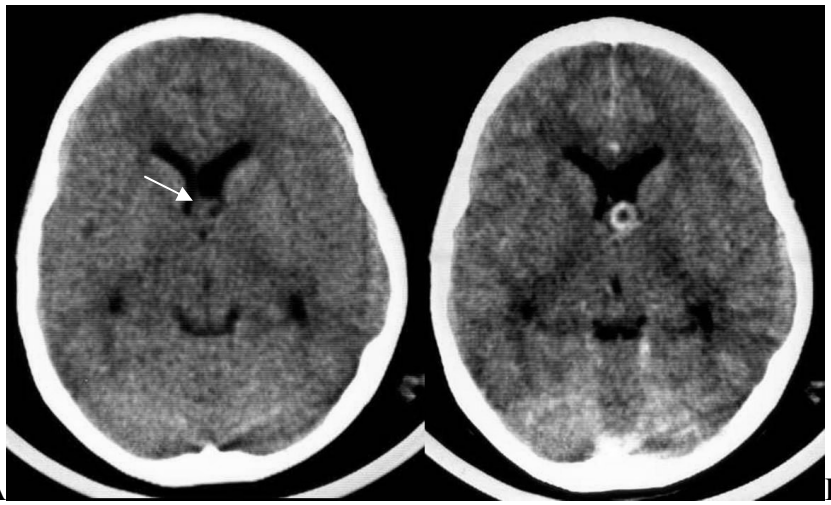


Resim 37. Şişmanlığın görüntü kalitesine etkisi. **A**. Şişman bir hasta (İV ve oral kontrastlı). Deri altında kalın bir yağ tabakası ve mezanterde yoğun yağ var. Sağ böbrekte basit kist (ok), **B**. Bir çocuğun abdomen kesiti. Sağ böbrekte belirgin hidronefroz, toplayıcı sistem idrarla dolu kistlere dönüşmüş, böbrek parankimi ileri derecede incelmiş, seçilemiyor. Sol böbrek pelvisinde opak taş (ok). Midede az miktarda ağızdan verilmiş kontrast madde görülüyor. Şişman hastada organların sınırları net olarak seçilirken çocukta yağ az olduğu için seçilemiyor.

Kontrast madde kullanımı

BT incelemelerinin çoğunluğunda röntgende olduğu gibi venöz yoldan iyotlu kontrast maddeler kullanılır. Kontrast madde kullanımının lezyonların görülebilirliğini artırmak ve karakterize etmek gibi iki önemli işlevi vardır.

Kontrast madde kullanımı ile, lezyonlarla normal dokular arasındaki kontrast farkı artırılarak lezyonlar belirgin hale getirilebilir (Resim 38). Lezyon çevreye göre daha fazla kontrast tutuyorsa kendisinin, tutmuyorsa çevresinin yoğunluğu artar. Yöntemin kontrast çözümlemesinin röntgenden yüksek olması nedeniyle çok az miktardaki kontrast tutulumu bile saptanabilir.

A  **B**

Resim 38. Kontrast madde kullanımının lezyonun görülebilirliğine katkısı. A. Kontrastsız ve **B**. Kontrastlı kraniyal BT: Tüberkülom. Kontrastsız kesitte çevresindeki beyin dokusu ile izodens olan lezyon güçlükle görülüyor (ok), kontrastla halka şeklinde boyanarak hem belirgin hale geliyor hem de karakterize edilebiliyor.

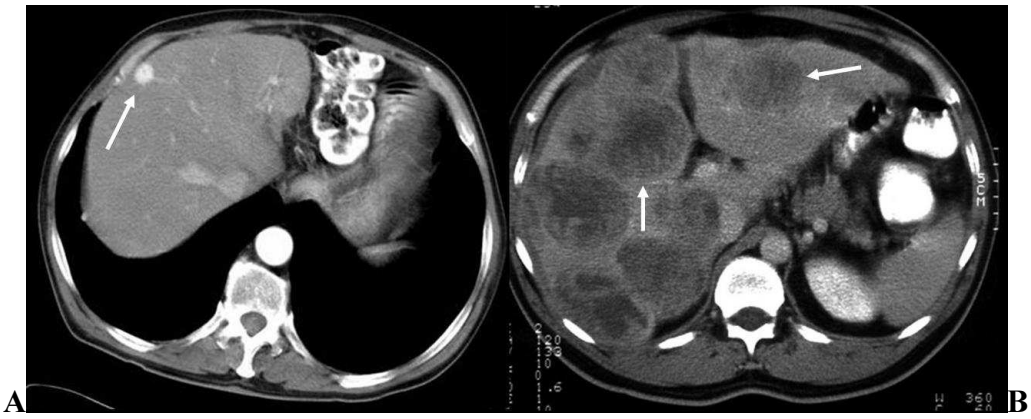
Modern aygıtlarda tarama hızının çok artmış olması da kontrast madde kullanımının etkinliğini artırmıştır. Otomatik enjektörlerle kısa sürede çok miktarda kontrast madde verilerek (bolus şeklinde) kontrastın *arteriyel, kapiller (parankimal) ve venöz fazlarını* görüntülemek mümkündür. Bu sayede kontrast madde tutma özelliklerine bakarak bir lezyon karakterize edilebilir.

BT'de kontrast madde kullanımı ile ilgili genel kurallar şunlardır:

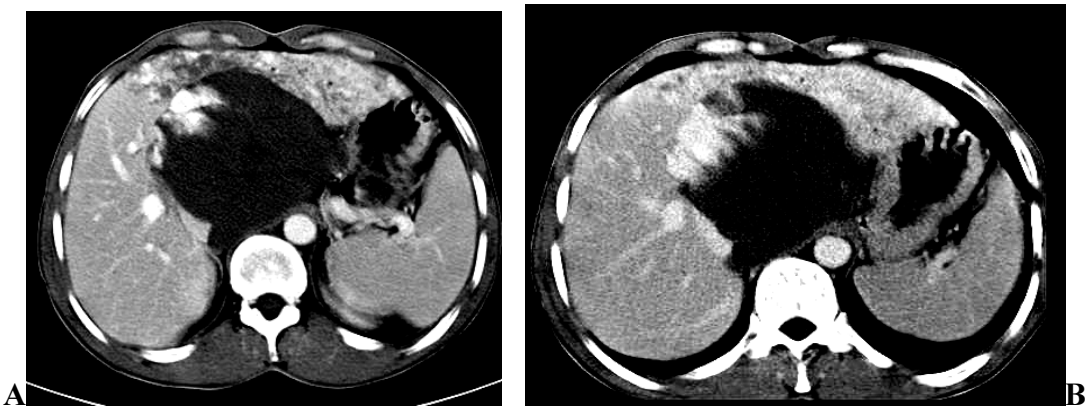
1. Kafa travmasında, hematomun beyaz görüntüsünü maskeleyeceğinden damardan kontrast madde verilmemelidir. Vücut travmasında ise kontrast madde verilmesi şarttır. Damarsal bir anomali araştırılmıyorsa, akciğerin incelenmesinde genellikle kontrast madde kullanılmaz.
2. Damardan kontrast kullanımının vazgeçilmez olduğu bölge karındır. Karaciğer incelemelerinde verilen kontrast madde, önce hepatik arterleri, daha sonra portal venleri doldurur ve parankimal faza geçerek tüm karaciğeri boyar (Resim 39). Çok damarlı bir lezyon arteriyal fazda boyanır. Kontrast tutmayan lezyonlar ise, çevre parankimin kontrast tutması ile daha belirgin hale gelir (Resim 40). Bazı lezyonlar da farklı kontrast tutma özellikleri ile tanınırlar. Örneğin karaciğerdeki büyük boyutlu atipik hemanjiyomların çevreden merkeze doğru yavaş bir şekilde kontrast tutması tipiktir (Resim 41).
3. Karın kesitlerinde enine kesilen bağırsakların görünümü, lenf bezi büyümesi ya da kitleyi taklit edebilir. Bu karışıklığı önlemek için, kesitler alınmaya başlanmadan önce, sindirim

borusu ağızdan ve/veya rektumdan (içirilerek ve/veya lavman şeklinde) seyreltilmiş kontrast madde ile (günümüzde su ile) doldurulur.

Resim 39. Karaciğerdeki bir lezyonun kontrast maddeye davranışına göre karakterize edilmesi. A. Kontrastsız BT: Hipodens lezyon (ok), **B**. Arteriyel faz. Lezyon kontrast maddeyi karaciğer parankimine göre daha erken ve yoğun bir şekilde tutmuş. **C**. Venöz faz. Tutulan kontrast madde karaciğere göre erkenden temizlenmiş. Kapsül boyanması (oklar). Lezyonun kontrast maddeyi tutuş şekli malignite lehine. Tanı: Hepatosellüler karsinom



Resim 40. Karaciğerde kontrast tutan ve tutmayan lezyonlar. A. Tipik hemanjiyom (ok). Arteriyel fazda yoğun kontrast tutan (aorta ile aynı yoğunlukta) düzgün kenarlı lezyon. Lezyonun yoğun kontrast tutması ile birlikte subkapsüler yerleşimi ve çok keskin kenarı hemanjiyom için tipik. **B**. Karaciğer metastazları. Kontrast tutmayan hipodens lezyonlar (oklar). Karaciğer parankiminin kontrast tutması lezyonları daha belirgin hale getirmiş.

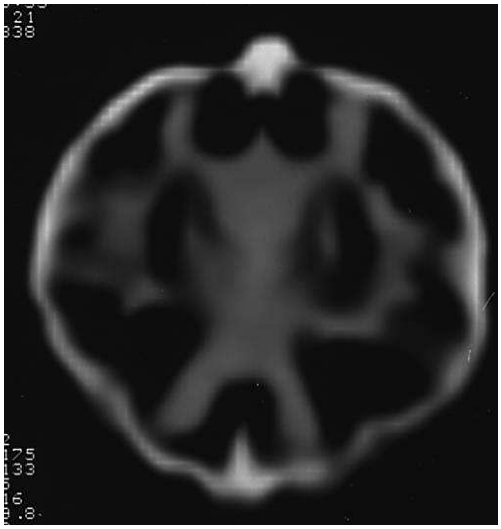


Resim 41. Karaciğerde atipik hemanjiyom. Lezyon çevreden merkeze doğru oldukça yavaş boyanıyor. Bu özellik atipik hemanjiyom için tanı koydurucudur.

BT'NİN KLİNİKTEKİ YERİ

BT, fiziksel yapısı ne olursa olsun kesit düzlemine giren her yapıyı görüntüler (Resim 42). Bu özellik yönteme önemli bir üstünlük sağlar. Örneğin normal akciğerler hava ile dolu olduğu için MR ve US ile görüntülenemezler. BT'de böyle bir sınırlama yoktur. Bu nedenle klinikte en çok kullanılan tanı yöntemidir. Merkezi sinir sitemi ve yumuşak dokulardaki önceliğini

MR'ye bırakmakla birlikte toraks ve abdomenin temel kesit görüntüleme yöntemi olmaya devam etmektedir.



Resim 42. Cevizin BT kesiti (kontrastsız!!). Kabuğu, bileşimindeki kalsiyum nedeniyle hiperdens görülüyor. İçerisindeki bölmelerin dansitesi daha düşük. Cevizin yenen tohum kesimi ise hipodens. Bu görünüm kalvaryum ve beyini andırıyor; kabuğu kalvaryum kemiklerinin, iki kabuk yarım küresinin bileşim yeri sagital sütürün karşılığı. Sütürün arkadaki birleşim yerindeki içe doğru uzantı protuberensiya oksipitalis internaya benziyor. İçerisindeki septalar falks ve tentoriyumun karşılıkları. Modelleme aynı!

İki temel kullanım alanı vardır: ***Yer kaplayan lezyonlar*** ve ***travma***. Yer kaplayan lezyonları saptar, çevre ilişkilerini belirler ve ne olduklarını söylemeye (karakterize etmeye) çalışır. Kanserlerde evrelemeyle birlikte, tedaviye cevabın izlenmesi, ameliyat sonrası kontrol ve ışın tedavisi planlaması yapılır. Bu nedenle BT, kanser tanısında ve tedavisi sürecinde vazgeçilmez bir yöntemdir.

Yöntemin diğer temel kullanım alanı travmadır. Kemik yapıyı çok iyi görüntülemesi, hematomu ayırabilmesi ve incelemenin MR'ye göre daha kolay yapılabilmesi nedeniyle travmalı hastalarda tercih edilir. Solunum destek ünitelerine bağlı olan ve hareketleri kontrol edilemeyen hastaları MR ile incelemek çok zor, hatta olanaksızdır.

Göğüs

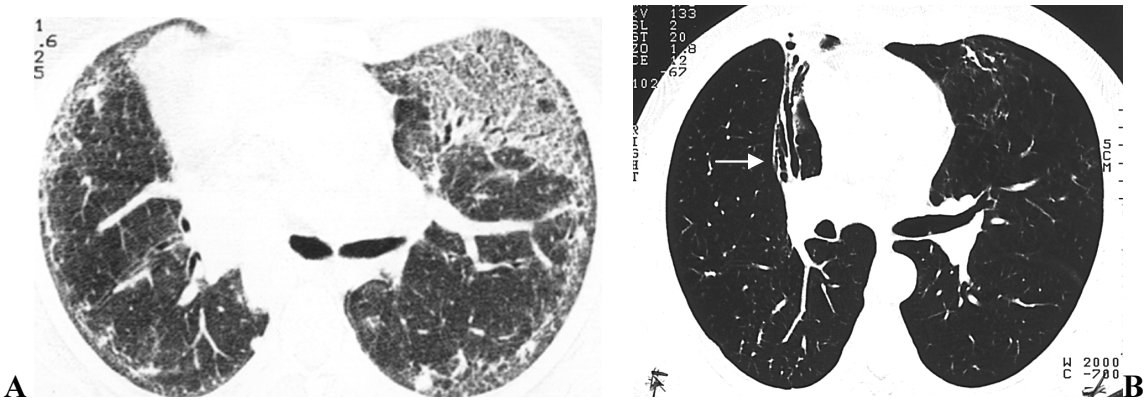
Göğüs röntgenogramından sonra en sık istenen yöntemdir ve göğüs röntgenogramının tamamlayıcısı konumundadır. Klinikte göğüsle ilgili bir sorun, göğüs röntgenogramı ile çözülemezse mutlaka BT istenir. Üç temel endikasyonu vardır:

I. Göğüs röntgenogramında görülmeyen veya şüpheli olan lezyonları araştırmak:
   1. Sitolojisi pozitif olgularda kanser araştırılması
   2. Varlığı tedavinin şeklini değiştirecek metastaz araştırılması
   3. Akciğer parankimini difüz tutan hastalıkların (ör: interstisiyel tutulum, bronşiyektazi) araştırılması (YÇBT ile) (Resim 43)
   4. Aort yaralanması, pulmoner arterde emboli vb büyük damar lezyonlarının araştırılması (Resim 44)

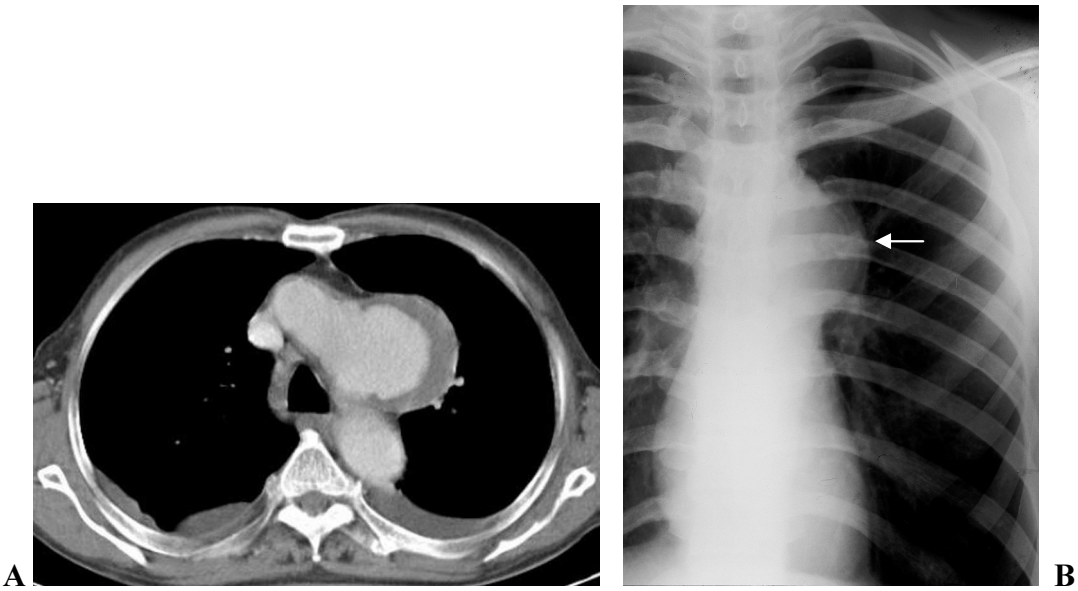
II. Göğüs röntgenogramında görülen lezyonları, daha ayrıntılı göstermek ve/veya karakterize etmek
   1. Akciğer kanserlerini evrelemek (Resim 45)
   2. Akciğer nodüllerini karakterize etmek. Örneğin bir nodülün içerisinde yağ dokusu ve tipik kalsifikasyonlar gösterilerek hamartom tanısı konabilir.
   3. Mediyastendeki veya göğüs duvarındaki lezyonları ayrıntılı olarak göstermek ve karakterize etmek

III. Toraks biyopsilerine kılavuzluk etmek

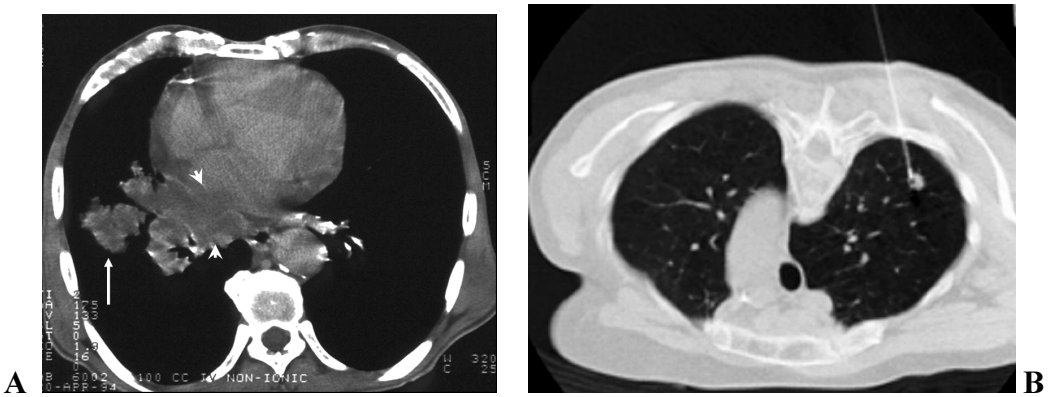
Aorta gibi büyük damar yaralanması, ana pulmoner arter embolisi ve akciğerde nadiren görülen arteriyo-venöz malformasyonların gösterilmesi dışında, çok az olguda kontrast madde kullanımına gereksinim duyulur.



Resim 43. YÇBT. **A.** İntralobüler (parankimal) interstisiyum kalınlaşması. Sol ön akciğer kesiminde yoğun *örümcek ağı* görünümü, **B**. Bronşiyektazi. Sağ parakardiyak bölgede göğüs ön duvarına kadar uzanan *tren rayı* görünümü (ok).



Resim 44. Aort topuzunda anevrizma. A. BT kesitinde Anevrizma içerisinde trombüs görülüyor. Her iki plevrada az miktarda sıvı (kan?). **B**. Anevrizmanın göğüs röntgenogramındaki görünümü (ok).

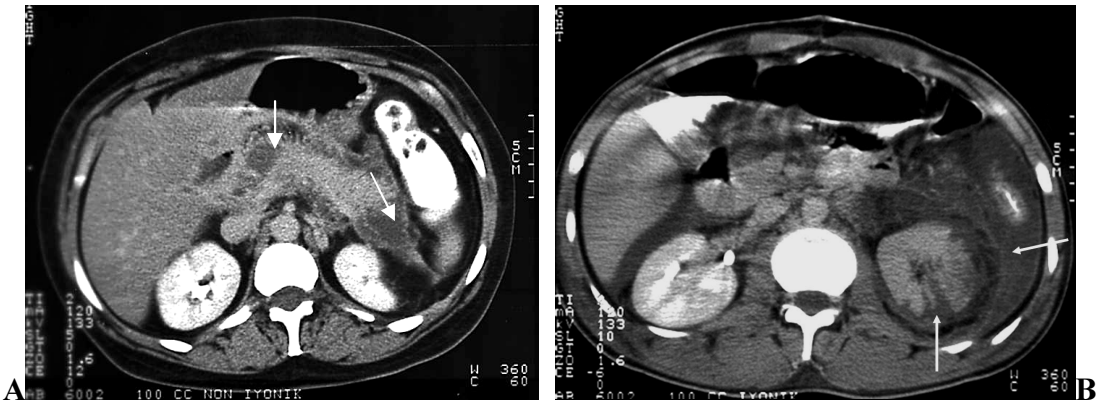


Resim 45. BT'nin akciğer tümöründeki yeri. A. Evreleme. Sağ akciğerde tümöral kitle (ok) ve hiler ve mediyastinal lenfadenomegali (ok başları). **B**.Biyopsi. Yüzüstü yatan olguda sağ akciğerdeki lezyona biyopsi yapılıyor. Ayrı olgular.

Karın

Karnın temel inceleme yöntemidir. Bununla birlikte karın BT istenen olguların büyük çoğunluğuna, uygulaması daha kolay ve daha ucuz bir yöntem olduğu için daha önceden US incelemesi yapılmıştır. Görüntülerinin standart olmaması ve yapana aşırı derecede bağlı olması nedeniyle US, çoğu olguda ilk ve/veya tamamlayıcı bir yöntem pozisyonundadır. Buna karşılık BT, çözümlemesi yüksek kesitleri ile karnın incelenmesinde standart referans yöntemdir.

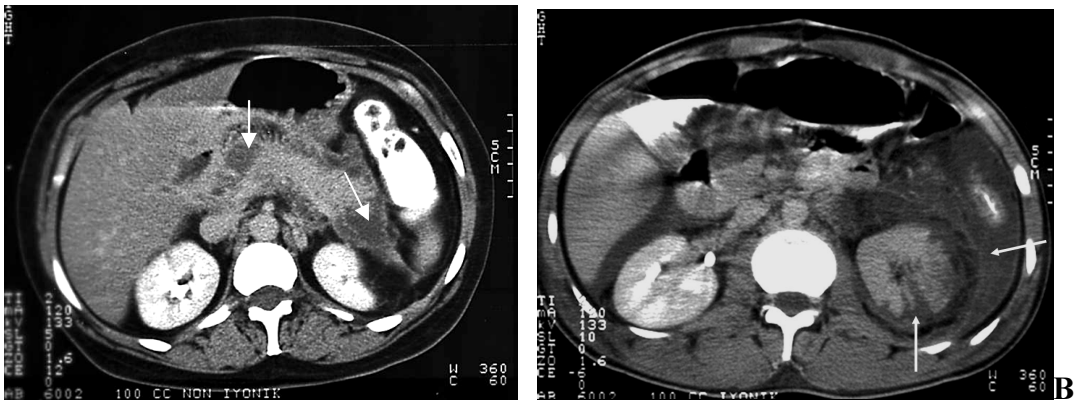
Temel tanı yöntemi olması nedeniyle BT'nin karındaki endikasyonları hemen tüm karın patolojilerini kapsar (Resim 46). En sık onkoloji hastalarına istenir. Başta kanser olmak üzere tüm yer kaplayan lezyonların saptanması ve çevre ilişkilerinin belirlenmesi, temel endikasyonunu oluşturur (Resim 47). Diğer bir ana endikasyon travmadır.



Resim 46. Karında BT endikasyonları (İV ve oral kontrastlı kesitler). **A.** Akut pankreatit. Pankreas büyümüş, başında ve kuyruk kesiminde muhtemelen nekroz a bağlı hipodens alanlar (oklar). Sol böbreğin korteksinde parankim kaybına bağlı atrofik alan. **B**. Abdominal travma. Sol böbrek parankiminde yırtıklar ve perirenal, pararenal ve periton içinde kanama (oklar).

Karın incelemelerinde, göğüsten farklı olarak kontrast madde kullanımı esastır. Fakat büyük çoğunluğu opak olan böbrek ve üreter taşı araştırılmasında kontrast madde kullanılmaz. Çünkü opak olan kontrast madde, opak olan taşların çevre yumuşak doku ile olan kontrastını ortadan kaldırarak görülmesini engeller. Travmada İV kontrast madde kullanılmalıdır. Hemen her karın incelemesinde sindirim borusu su ile doldurulur.

Karaciğer lezyonlarının kanlanması, çok belirginden çok aza kadar değişen bir yelpaze gösterir. Bu nedenle kontrast verilirken doğru zamanlama lezyonun görülebilirliği ve karakterizasyonu açısından büyük önem taşır (Resim 39). Bu amaçla otomatik enjektörler kullanılır. Zamanlaması uygun olmayan kontrast madde, lezyonun var olan kontrastını da ortadan kaldırabilir. Bu nedenle kontrastın yanlış bir şekilde verilmesindense, incelemenin kontrastsız yapılması daha iyidir.



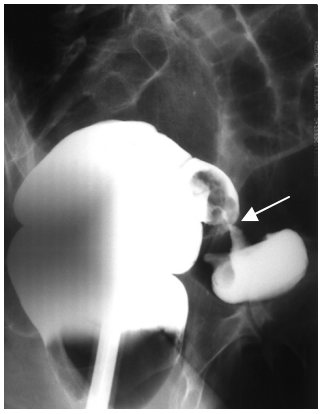
A B

Resim 46. Karında BT endikasyonları (İV ve oral kontrastlı kesitler). **A.** Akut pankreatit. Pankreas büyümüş, başında ve kuyruk kesiminde muhtemelen nekroz a bağlı hipodens alanlar (oklar). Sol böbreğin korteksinde parankim kaybına bağlı atrofik alan. **B**. Abdominal travma. Sol böbrek parankiminde yırtıklar ve perirenal, pararenal ve periton içinde kanama (oklar).

Karın incelemelerinde, göğüsten farklı olarak kontrast madde kullanımı esastır. Fakat büyük çoğunluğu opak olan böbrek ve üreter taşı araştırılmasında kontrast madde kullanılmaz. Çünkü opak olan kontrast madde, opak olan taşların çevre yumuşak doku ile olan kontrastını ortadan kaldırarak görülmesini engeller. Travmada İV kontrast madde kullanılmalıdır. Hemen her karın incelemesinde sindirim borusu su ile doldurulur.

Karaciğer lezyonlarının kanlanması, çok belirginden çok aza kadar değişen bir yelpaze gösterir. Bu nedenle kontrast verilirken doğru zamanlama lezyonun görülebilirliği ve karakterizasyonu açısından büyük önem taşır (Resim 39). Bu amaçla otomatik enjektörler kullanılır. Zamanlaması uygun olmayan kontrast madde, lezyonun var olan kontrastını da ortadan kaldırabilir. Bu nedenle kontrastın yanlış bir şekilde verilmesindense, incelemenin kontrastsız yapılması daha iyidir.

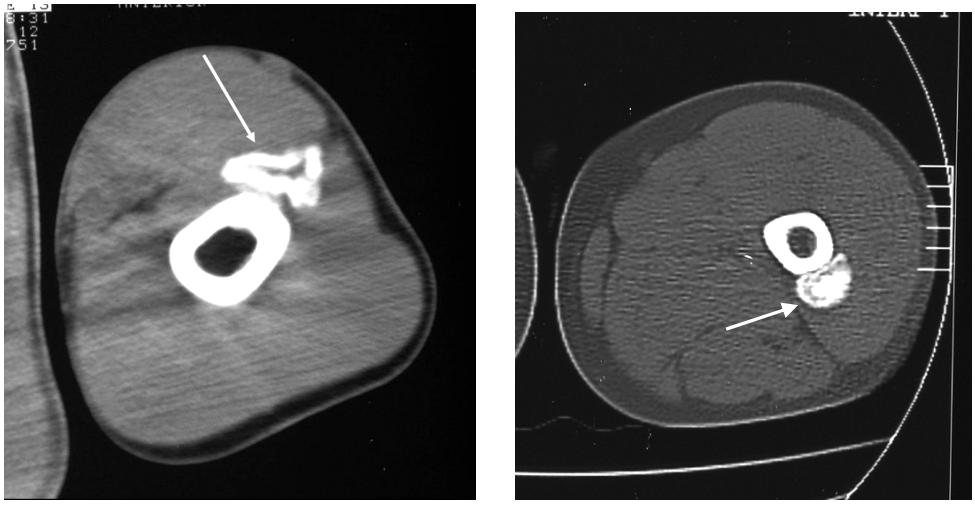
A



B

C

Resim 47. Onkolojide BT (İV ve oral kontrastlı kesitler). **A.** Sigmoid kolon tümörü (oklar). **B.** Aynı olguda kolonun baryumlu incelemesi. Rektosigmoid bölgede lümen dar ve düzensiz (ok) fakat kitle görülmüyor. **C**. Lenfomada dalak tutulumu. Dalak normalden büyük, içerisinde hipodenns alanlar. Kontrastla boyanan aort ve İVC'nin ön kesiminde büyümüş lenf nodları görülüyor (oklar)



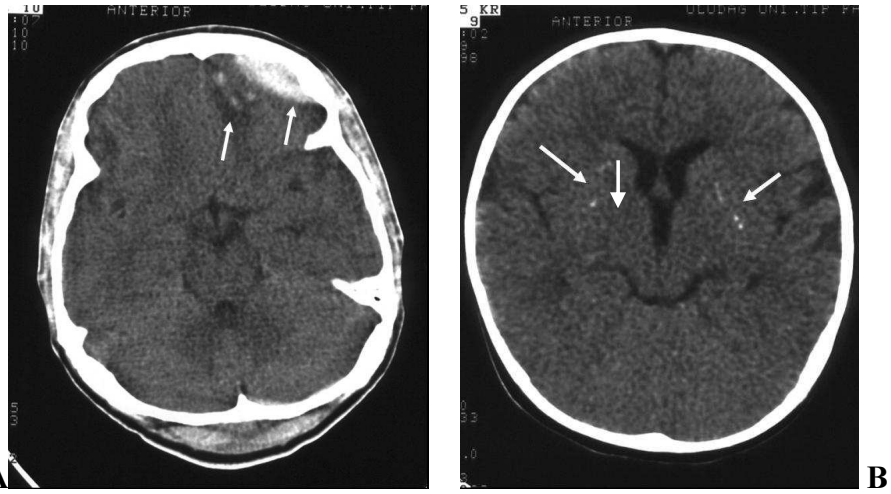
Resim 49. Yumuşak doku kalsifikasyonuda BT'nin tanı değeri (kontrastsız). **A**. Miyozitis ossifikans (ok). **B**. Parosteal osteosarkom (ok). İki lezyon arasındaki ayırıcı tanı ölçütü kalsifikasyonun merkezde veya çevrede yoğun olmasıdır.

Merkezi sinir sistemi

Temel endikasyonu kafa travmasıdır. Kanamanın hiperdens görülmesi nedeniyle kontrast kullanılmaz. Taze kanın çok iyi görüntülenmesi nedeniyle sadece travmada değil diğer kanamalarda da tercih edilir (Resim 50). Beyin-omurilik sıvısı içine taze kanamalar en iyi BT ile görüntülenir. Bu nedenle inmenin akut evresinde kanamanın dışlanması için BT yapılır. Kalsifikasyon da kontrastsız BT ile araştırılır. Ameliyat sonrası kontrollerde genellikle BT ile yapılır. Burun çevresindeki (paranazal) sinüsler ve temporal kemik incelemesinde kontrastsız BT, temel tanı yöntemidir.

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

Bu temel kullanım alanları dışında BT, nöroradyolojideki yerini hemen tümüyle MR'ye terk etmiştir. Bununla birlikte MR'nin bulunmadığı her koşulda BT, kliniğin tüm gereksinimlerini karşılar.



Resim 50. BT'nin nöroradyolojideki iki temel endikasyonu (kontrastsız kesitler). **A**. Travmada epidural hematom ve komşu beyin parankiminde kontüzyona bağlı küçük kanama odakları (oklar). **B**. Bazal çekirdeklerde küçük kalsifikasyonlar (oklar).

YÖNTEMİN GÜÇLÜ VE ZAYIF YANLARI, ZARARLI ETKİLERİ

BT'nin röntgene göre üstünlüğü, yüksek kontrast çözümleme gücü nedeniyle 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 başvurulan yöntem olmasını sağlayan önemli bir üstünlüğü de tüm yapıları görüntüleyebilmesidir.

BT'nin röntgene göre zayıf yanı, kesit olması nedeniyle görüntülerinin anatomik bütünlüğünün olmaması ve pahalı olmasıdır. Kesite giren protez gibi metal yapıların ışınsal siyah beyaz çizgilenmelere (hiperdansite artefaktı) neden olarak çevre yapıların görüntülerini örtmesi (Resim 35A) yöntemin diğer bir zayıf yanıdır. MR'ye göre ise yumuşak dokuyu ayırt edebilme yetisi düşüktür.

Zararlı etkileri

Röntgende olduğu gibi, BT incelemelerinde de başlıca risk iyonizan ışın kullanılmasıdır. BT tetkikleri, radyolojik incelemelerin çok az bir yüzdesini oluşturur, buna karşılık tıbbi nedenli alınan radyasyonun büyük bölümü BT kaynaklıdır. Işının dar bir şerit şeklinde gönderilmesi saçılmayı azaltır. Dolayısıyla BT'de çevre organların aldığı ışın miktarı röntgene göre çok azdır. Toraks ya da karın BT'de hastanın aldığı ışın dozu genellikle bir kolon ya da ilaçlı böbrek tetkikinde alınandan fazla değildir, ancak bazen bir göğüs röntgenogramında alınan dozun yüz katına kadar çıkabilir. Çok kesitli BT'lerde alınan doz 3-5 kat daha yüksek olabilir. Günümüzde BT incelemelerinde kullanılan ışının miktarını azaltmak için yoğun çalışmalar yapılmakta, çocuklarda mümkün olan en az dozla inceleme yapılması önerilmektedir.

Kontrast madde kullanımı ve bebeklerde sedasyon/anestezi gerektirmesi diğer risk faktörleridir.

Radyo Dalgaları ile Görüntüleme

MANYETİK REZONANAS (MR)

Spin, presesyon, MR sinyali	Özel amaçlı görüntüleme teknikleri
MR aygıtı	MR Spektroskopi (MRS)
Görüntü elde edilmesi	MR'nin klinikteki yeri
Yöntemin ayırt edebildiği yapılar	Yöntemin güçlü ve zayıf yanları, zararlı etkileri

MR, 1980'li yılların başında kliniğe girmiş, BT gibi bir kesit görüntüleme yöntemidir. Yöntemi geliştiren P.C.Lauterbur ve P.Mansfield'e, 2003 yılı tıp Nobel ödülü verilmiştir.

Görüntüleri, BT'de olduğu gibi gelişmiş bilgisayarlar aracılığı ile oluşturulur. Kullandığı enerji, radyo dalgaları ve çok güçlü bir manyetik alandır. Veri kaynağı hidrojen atomlarının çekirdeğidir. Hidrojen atomu vücutta en yoğun olarak suda ve yağ dokusunda bulunur. Görüntüler, bu çekirdeklerin manyetizasyonlarının ürettiği sinyallerin ölçümlerinden yapılır.

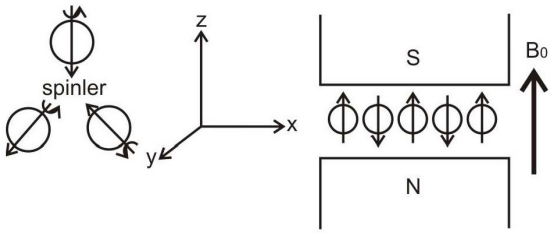
MR görüntülerindeki dokuların gri tonlaması inceleme protokolünde kullanılan ölçütlere göre değişir. Buna karşılık sinyal açısından anlamı her zaman aynıdır; açık (beyaz) tonlar artmış sinyal alanlarını, koyu (siyah) tonlar ise sinyalin az olduğu veya olmadığı alanları gösterir.

Radyolojik yöntemler içerisinde yumuşak dokuyu en ayrıntılı olarak gösteren yöntem MR'dir. Akımı doğrudan görüntüleyebilmesi de önemli üstünlüklerinden biridir.

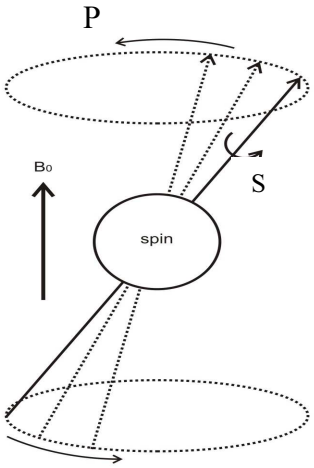
SPİN, PRESESYON, MR SİNYALİ

Atom çekirdeğinin temel yapıları olan proton ve nötronlar her zaman kendi aksları etrafında döner. Buna ***spin*** hareketi adı verilir. Elektrik yüklü oldukları için manyetik bir çubuk (dipol) 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.

Vücutta protonlar, normal şartlarda birbirinin manyetik etkisini ortadan kaldıracak şekilde rastlantısal olarak dizilirler. Bu nedenle vücudun toplam manyetizasyonu sıfırdır (Şekil 10). İncelenecek vücut kesimi güçlü bir manyetik alan içerisine konduğunda, bu protonlar (dipoller) küçük demir çubukların manyetik alanda davrandıkları gibi, manyetik alan vektörüne göre dizilirler. Bu diziliş, hareketsiz bir duruş değil, manyetik alan vektörü çevresinde topaç gibi bir dönüşle birliktedir. Bu dönüşe ***presesyon*** adı verilir (Şekil 11).



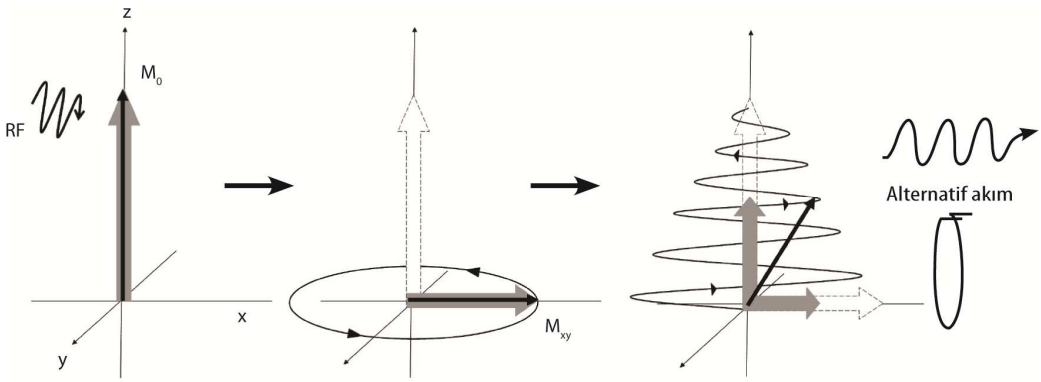
Şekil 10. Spinler ve manyetik alan içersindeki konumları. Normalde çevrede manyetik bir güç yokken protonlar birbirlerin manyetik etkisini ortadan kaldıracak şekilde dizilmişlerdir; manyetik alana konduğunda, paralel ve antiparalel konuma geçerler ve paralel konumdaki proton sayısı daima daha fazla olduğu için oluşan manyetik alan, dışarıdaki manyetik alan vektörüne (B_0) paraleldir.



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

Protonların presesyonlarının frekansı (saniyedeki dönüş sayısı), manyetik alanın gücü ile belirlenir ve bu güçle doğru orantılıdır. Presesyon, manyetik rezonans olayının temelidir. Protonlara enerji aktarımı ancak, presesyonun frekansındaki bir radyo dalgası ile mümkündür. MR terminolojisinde bu etkileşime ***rezonans***, bu radyo dalgasına da ***radyofrekans*** **(RF)** adı verilir.

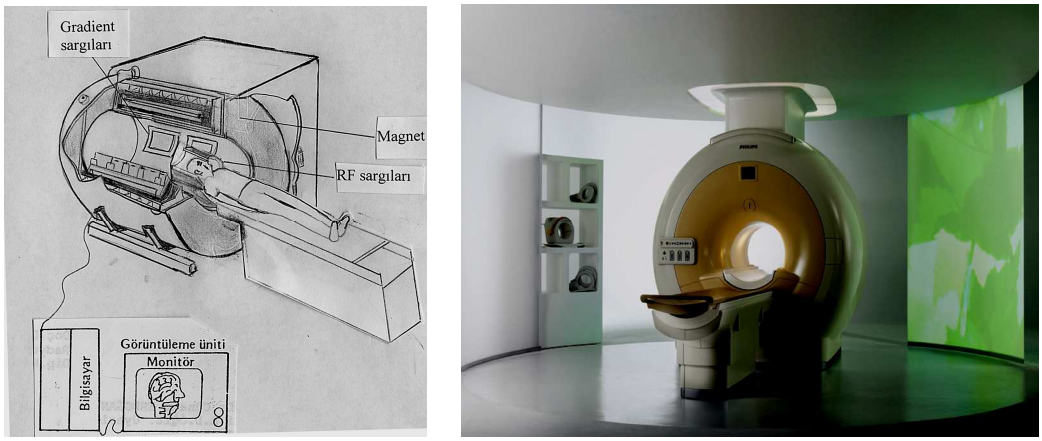
MR'de ölçülen, hidrojen çekirdeklerinin manyetizasyonlarıdır. Manyetik alan içerisine kazandıkları bu manyetizasyon, dışarıdaki manyetik alana paraleldir ve ona kıyasla çok küçüktür; dolayısıyla bu konumda iken ölçülemez, ölçmek için ana manyetik alanın yönünden saptırılmalıdır. Bunun için uygun frekansda bir RF pulsu göndermek gerekir. Sapmanın derecesi aktarılan enerjiye bağlıdır; 90 derece veya daha küçük ya da büyük değerlerde olabilir. Sapan vektörü oluşturan protonlar RF pulsundan sonra tekrar presesyona başlar. Fizik derslerinden çok iyi bildiğiniz gibi dönen bir manyetik alan alternatif akım üretir. İncelenen alanın yakınına yerleştirilen bir sargı ile saptanan bu değer görüntülerin oluşturulduğu ***MR sinyali***dir (Şekil 12).



Şekil 12 . MR sinyalinin üretilmesi. Manyetik alan içersine konan dokudaki protonların manyetik vektörü (Mo), RF pulsu ile konumundan sapar. Bu sapmanın vektörel izdüşümü yatay düzleme düşer (Mxy). RF pulsu kesildikten sonra presesyon yaparak eski konumlarına dönen protonların manyetik vektörünün oluşturduğu alternatif akım sinyal olarak kaydedilir.

MR AYGITI

Bir kesit görüntüleme yöntemi olan MR aygıtı da BT aygıtına benzer; incelemenin yapıldığı bir ünite ile incelemenin programlandığı ve görüntülerin ortaya çıktığı bir kontrol ünitesinden oluşur (Şekil 13). İncelemenin yapıldığı ünite bir gantri ile hasta masasından ibarettir**.** Gantri tüm vücudu içine alabilecek uzunluk ve genişlikte bir tünel ve bu tünel çevresine konumlanmış çok yüksek (1.5, 3.0 Tesla) ve çok homojen manyetik alan üretebilen düzenekten ibarettir. Bu kadar güçlü bir manyetik alan üretebilmek ancak süperiletken



A B

Şekil 13. MR aygıtının bölümleri. A. MR aygıtının şematik görünümü (içinin görülmesi için mıknatıs bloğu kesilmiş). Hastanın başının çevresinde kraniyal görüntüleme için üretilmiş RF sargısı görülüyor. Gradiyent sargıları tünelin çevresine yerleştirilmiş. **B**. 1.5 T'lık bir MR aygıtının resmi. Mıknatıs bloku ve ortasında tüneli, önünde hasta masası. Duvardaki rafların üzerinde değişik bölgelerin görüntülenmesi için üretilmiş RF sargıları görülüyor.

teknolojisi ile mümkündür. Gücü daha düşük olan manyetik alanların, sabit veya karma yapıda mıknatıslarca üretildiği sistemler de vardır.

Gantri çevresinde 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.

Veri toplama bölümünün diğer önemli parçası RF sargılarıdır. ***RF sargıları ("coil")*** RF pulsunu gönderen ve/veya sinyalleri toplayan aygıtlardır. İncelenecek bölgeye ne kadar yakınsa veriler o kadar hassasiyetle elde edilir. Her vücut bölgesine göre üretilmiş RF sargıları vardır. İncelenecek bölgeye RF sargısı yerleştirildikten sonra hasta mıknatısın tüneli içerisine sokulur. Modern aygıtlarda birbirine bağlanarak kullanılan birden fazla sargı ile ("array coil") yöntemin çözümlemesi artırılmıştır.

GÖRÜNTÜ ELDE EDİLMESİ

MR görüntülerinin elde edilmesi x-ışını yöntemlerindekilerden tümüyle farklıdır. X-ışını yöntemlerinde vücuttan x-ışını geçirerek oluşan zayıflama farklılıklarının kaydı ile görüntü elde edilir. MR de ise görüntü elde edilmesi bir veri toplama sürecidir; RF pulsları arka arkaya bir zincir oluşturacak şekilde gönderilip her pulstan sonra dinleme yapılır; ne kadar çok veri toplanırsa görüntünün kalitesi o kadar yüksek olur.

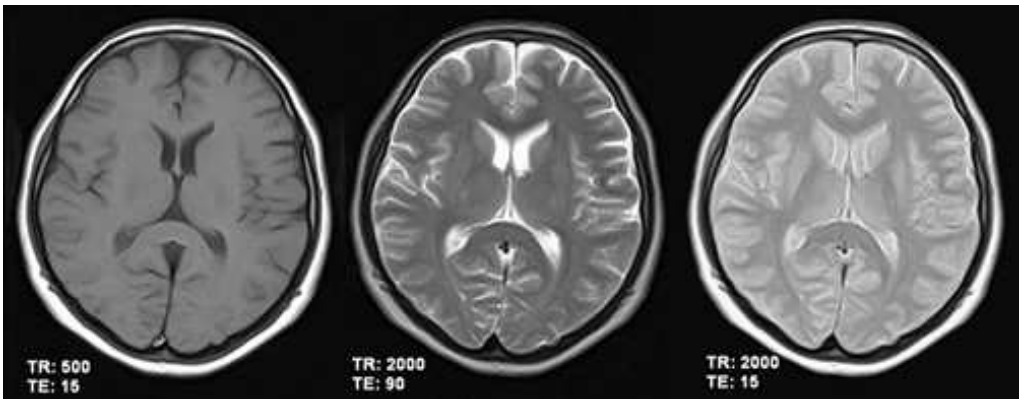
MR görüntüsü, hidrojen çekirdeklerinin manyetizmasının karşılığı olan, alternatif akım şeklindeki sinyallerden oluşturulur. Bir voksel içerisinde ne kadar çok proton varsa sinyalin genliği (amplitüdü) o kadar yüksek olur. Bu şekilde elde edilen görüntüdeki kontrastı oluşturan ölçüt, sinyal veren hidrojen çekirdeklerinin yoğunluğudur. Bu ölçüt tek başına bizi tatmin edecek yeterlilikte doku kontrastı sağlamaz. Daha yüksek bir kontrast elde etmek için manyetizasyonun genliğinden başka süresi ile ilgili ölçütlerden yararlanılır. Uygun RF pulsu ile rezonansa gelerek enerji aktarılan protonlar manyetik alandan saparlar. Puls kesildikten sonra bu protonlar eski konumlarına dönmeye başlarlar ve bu arada ürettikleri sinyal gittikçe azalarak biter. Bu iki olayın da süreleri dokulara göre (protonların içlerinde bulunduğu ortamın molekül yapısına göre) farklıdır (Tablo 5). Bu ölçütler sinyalin sönüş süresi (T2) ve ana manyetik alandan saptırılan protonların başlangıç hallerine geri dönme (manyetizasyonun geri kazanılma) süresidir (T1).

Tablo 5. Bazı Dokuların T1 ve T2 Değerleri (msn olarak)*

Doku	T1 değerleri		T2 değerleri
	0.5 T	**1.5 T**	
Yağ	210	260	80
Karaciğer	350	500	40
Kas	550	870	45
Beyaz cevher	500	780	90
Gri cevher	650	900	100
BOS	1.800	2.400	160

* T1 değerleri manyetik alan gücü ile doğru orantılı olarak artar, T2 değerleri değişmez.

MR görüntülerindeki yüksek kontrast bu farkların her birinin ağırlıklı olarak kullanıldığı görüntülerle elde edilir. Bu nedenle bir MR incelemesinde aynı bölgenin gri tonlaması birbirinden farklı olan üç görüntüsü elde edilebilir. Bu görüntüler, oluşturulurken ağırlıklı olarak kullanılan parametrenin adıyla anılırlar: T1 ağırlıklı görüntüler (T1AG), T2 ağırlıklı görüntüler (T2AG) ve Proton dansite ağırlıklı (PDAG) görüntüler (Şekil 51). Bunlardan ilk ikisi bir MR incelemesinde rutindir ve tanıya bu iki görüntünün birlikte değerlendirilmesiyle gidilir. PDAG ise her zaman kullanılmaz; kas-iskelet sistemi incelemeleri gibi bazı durumlarda değerlidir.



Resim 51. SE puls sekansının görüntüleri. Su T1AG'de siyah, T2AG'de beyaz, proton ağırlıklı görüntüde daha az beyaz görülüyor. Yağ T1AG ve proton ağırlıklı görüntülerde beyaz, T2AG'de kirli beyaz tonda. Turbo SE sekanslarında yağ, T2AG'de de beyaz görülür.

T1 ağırlıklı görüntü **(T1AG)** elde etmek için gönderdiğimiz RF pulsları arasındaki süre ("time to repetation" TR) kısa tutulur. Su protonlarının T1 değeri uzun olduğundan bu süre içerisinde geri dönemez, dolayısıyla ikinci RF pulsu ile saptırılacak yeterli proton bulunamaz. Ölçüm yapılacak manyetizasyon olmadığı için de sinyal elde edilemez; su siyah görülür. Beyin dokusunun protonlarının T1 süreleri ise suya göre belirgin şekilde kısadır. Bu süre içerisinde protonlar dönebildiği için RF pulsu ile saptırılarak ölçülebilir; sinyal alındığı için beyin dokusu açık tonlarda görülür. Bu görüntüye T1AG diyebilmemiz için T2 farklılıklarının da baskılanması gerekir; bunun için dinleme erken yapılarak ("time to echo" TE kısa tutularak) sinyal sönümlenme farklılıklarının ortaya çıkması engellenir.

T2 ağırlıklı görüntü **(T2AG)** de yaptığımız işlem yukarıdakinin tersidir. TR uzun tutulur; tüm protonlar dönecek zaman bulur, dokular arasında T1 farklılığı kalmaz. Sinyal geç dinlenir

(TE süresi uzun tutulur); dokular arasındaki T2 farklılığı belirgin şekilde ortaya çıkar. Suyun T2 değeri beyin dokusundan daha uzundur; dinleme anında beyin dokusunun sinyali bittiği halde suyun protonlarından sinyal gelmeye devam ediyordur. Su parlak, beyin dokusu koyu tonlarda görülür

***Proton dansite ağırlıklı görüntü**de* **(PDAG)** ise hem T1 hem T2 farklılıkları baskılanır. Bunun için TR değerini uzun tutmak, TE değerini ise kısa tutmak gerekir. Uzun TR ile tüm protonların geriye dönmeleri sağlanır T1 farklılığı kalmaz, kısa TE ile ise tüm protonlardan sinyal alınır T2 farklılığı ortaya çıkacak zaman bulamaz; bu durumda görüntü sadece protonlardan gelen sinyallerle oluşturulacağından kontrast, dokuların proton yoğunluklarındaki fark tarafından belirlenir.

Temel inceleme teknikleri (puls sekansları)
MR'de hastayı hareket ettirmeden, istenilen düzlemlerde doğrudan kesit görüntüler elde edilebilir. MR'de elde edilen görüntüler RF pulsunun gücüne, süresine, gönderme şekline ve sinyalin dinleme süresi başta olmak üzere birçok teknik düzenlemeye göre değişir. Yukarıda gördüğümüz gibi sadece RF pulsunu gönderme ve sinyali dinleme sürelerini değiştirerek dokulardan gelen sinyal intensiteleri ve dolayısıyla gri tonlamalar tamamen değiştirilebilir. Bu nedenle, klinikte kullanabilmek için görüntüler, dolayısıyla görüntü alma ölçütleri standardize edilmiştir. Bu çekim tekniklerine *puls sekansları* adı verilir. Puls sekansları, RF pulsunun şiddetini, TR ve TE sürelerini ve benzeri birçok ayrıntıyı belirleyen ve kontrol eden bilgisayar programlarıdır.

Genel amaçlar için, standart puls sekansları kullanılır. MR'de kullanılan temel puls sekansının adı ***spin ekodur* (SE)**. SE yöntemi MR görüntülemenin *yük atı*dır. Resim 51'deki kaliteli görüntüler SE puls sekansı ile elde edilmiştir.

MR görüntülemede incelemenin uzun olması önemli bir sorundur. Bir düzlemdeki kesitler ayrı ayrı alınmaz; inceleme süresi boyunca belirli sayıdaki kesitlerden aynı anda veri toplanır. Dolayısıyla çekim sırasında hastanın hareket etmesi tüm kesitlerin bozulmasına neden olur. Bu sorunu çözmek için daha hızlı görüntü alabilen teknikler geliştirilmiştir. ***Gradiyent eko* (GRE)** başlığı altında toplanan, bir dizi çekim tekniğiyle görüntü elde etme süresi saniyelere düşürülmüştür. Ancak hıza karşılık görüntülerde SE sekanslarına göre veri kaybı ve sinyal farklılığı olabilir. GRE sekanslarında kan ürünleri gibi paramanyetik maddelerin etkileri daha belirgin olarak görülür. Hızlı görüntülemede son aşama ekoplanar görüntülemedir (EPI). Bu yöntemde görüntü elde etme süresi milisaniyelere düşmüştür.

MR incelemesi nasıl yapılır?
1. Yapılacak incelemenin sekansları, kesit düzlemleri, kesit kalınlıkları ve kesit sayıları kontrol ünitesinde programlanır.
2. Hasta, üzerindeki mıknatıs tarafından çekilebilecek yapıdaki (saç tokası, kolye, saat, kredi kartı vb) eşyaları çıkartılarak MR odasına alınır ve MR aygıtının masası üzerine, yapılacak incelemeye uygun pozisyonda yatırılır. İncelenecek bölgeye uygun sargı ("coil") yerleştirildikten sonra hasta masası tünelin içerisine gönderilir. Görüntü kalitesi için, incelenecek bölge mümkün olduğunca tünelin merkezinde olmalıdır.
3. Önce BT'de olduğu gibi kılavuz görüntü alınır. Alınacak kesitler bu kılavuz görüntü üzerinde işaretlenir. Her düzlem için ayrı kılavuz görüntü ve işaretleme yapılır.
4. Kontrast madde verilmesi gerekiyorsa, verildikten sonra aynı kesit alma işlemleri tekrarlanır.

YÖNTEMİN AYIRT EDEBİLDİĞİ YAPILAR

Bir BT görüntüsündeki dokuların gri tonlaması birbirlerine göre sabittir, hiçbir şekilde değişmez. MR'de ise dokuların sinyal intensitesi görüntü ölçütlerinin ağırlığına göre değişir. Ancak gri tonlamanın anlamı aynıdır; parlak tonlar sinyalin fazla olduğu alanları, koyu tonlar düşük olduğu alanları temsil eder. Sinyalin yüksek olduğu parlak kesimler *hiperintens* ya da yüksek sinyal veya yüksek intensite, siyaha yakın kesimler ise *hipointens* ya da düşük sinyal veya düşük intensite olarak tanımlanır. Eşit intensitedeki kesimler için *izointens* terimi kullanılır.

MR'deki görüntülerde doku kontrastını belirleyen ölçütler proton yoğunluğu T1 ve T2 değerleridir. Proton ağırlıklı görüntülerde intensiteyi başlıca dokuların proton yoğunluğu belirler. T1ağırlıklı görüntülerde görüntünün kontrastının ana belirleyeni dokuların T1 değerleridir; T1 değeri kısa olan dokular hiperintens, uzun olan dokular hipointens görülür. T2 ağırlıklı görüntülerde ise kontrast başlıca dokuların T2 değerlerindeki farka bağlıdır; T2 değeri uzun olan dokular hiperintens, kısa olanlar ise hipointens görülür.

Hidrojen atomunun yoğun olarak bulunduğu su ve yağın MR görünümleri karakteristiktir. T1AG'de su hipointens, yağ hiperintens; T2AG'de ise su hiperintens yağ orta sinyal intensitesindedir. Hızlandırılmış SE sekanslarında (turbo veya "fast") teknik nedenlerden dolayı yağ T2AG'de de hiperintenstir. Proton ağırlıklı görüntülerde su T2AG'dekinden daha az parlaktır, yağ ise belirgin hiperintens görülür.

Kompakt kemik ve hava sinyalsizdir, her görüntüde siyah görülür. Kompakt kemiğin sinyalsiz oluşu komşu yumuşak dokulardan gelen sinyallerin net bir şekilde kaydını sağlar. Ekstraserebral alan, omurilik yapıları, meniskus, kıkırdak ve bağların MR ile BT'den daha iyi gösterilmesinin bir nedeni de budur.

Kemik iliği yetişkinde inaktiftir ve yağla dolu olduğu için açık gri tonlardadır. Bebeklerde iskeletin büyük bölümünde kemik iliği hematopoeze katılır; bu nedenle yetişkinlerden farklı olarak hipointens görünümdedir. Yetişkinlerde, derin anemide olduğu gibi, yağlı kemik iliğinin hematopoez fonksiyonu kazandığı durumlarda, kemik iliğindeki yağ intensitesi T1AG'de hipointensiteye dönüşür.

Yumuşak doku kalsifikasyonlarının saptanmasında MR'nin duyarlılığı BT'den düşüktür. Kalsifikasyonların MR görünümleri de uygulanan puls sekanslarına göre değişir. SE sekansı bu konuda en duyarsız ve güvenilmez olanıdır. GRE sekansılarının duyarlılığı daha yüksektir ve kalsifikasyonlar bu sekanslarda sinyalsiz alanlar şeklinde görülür.

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

Beyinde T1AG'de beyaz cevher açık, gri cevher koyu, T2AG'de ise tersine beyaz cevher koyu, gri cevher açık gri tonlarda görülür.

Akım, normal dolaşımda olduğu gibi yeteri kadar hızlı ise, RF pulsu ile eskite edilen protonların dinleme sürecinde kesiti terk etmeleri nedeniyle, damar kesitleri sinyalsiz yani siyah görülür.

T1AG anatomiyi, T2AG ise patolojiyi iyi gösterir (Resim 52). Az sayıda kullanım alanı olan proton ağırlıklı görüntüler genellikle standart incelemelerden kaldırılmıştır. Lezyonlar (tümör

ya da enflamasyon) genel olarak T1AG'de hipointens, T2AG'de ise hiperintenstir. Bunun nedeni genellikle lezyonlarda su içeriğinin artmış olmasıdır. Az sayıda doku veya lezyon T1AG'de hiperintenstir ve bu özellikleri radyolojik tanı açısından büyük değer taşır. Bunlar, kontrast maddeler, yağlı lezyonlar, subakut evredeki kanama, protein içeriği yüksek sıvı ve paramanyetik katyonlar içeren örneğin melanin pigmenti gibi maddelerdir.

Resim 52. Sol oksipital lobda lezyonu olan bir olgunun MR ve BT kesitleri. **A**. T1AG ve **B**. T2AG. **C**. Aynı seviyeden geçen BT kesiti. Lezyon en iyi T2AG'de izleniyor.

Kanama, evresine göre MR görüntülerinde farklı intensitede görülür (Tablo 6). Kanamanın intensitesi, hemoglobininin oksijenasyon durumuna ve hücre içi ve dışında olup olmamasına göre değişir. Akut subaraknoid kanamanın saptanmasında MR duyarlı değildir. Bunun nedeni kanamanın içinde dağıldığı BOS'un oksijenasyonunun yüksek olması ve buna bağlı olarak hemoglobinin uzun süre oksihemaglobin fazında kalmasıdır. Oksihemoglobinin sinyal intensitesi çevreden belirgin bir farklılık göstermez.

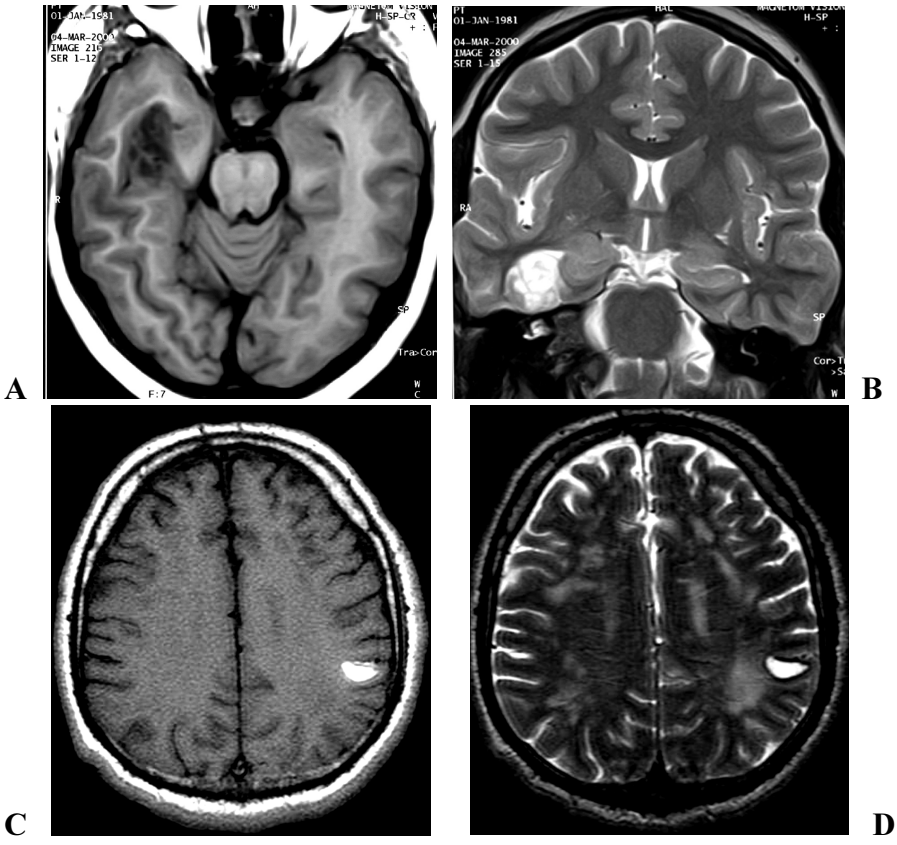
Tablo 6. MR Görüntülerinde Parankimal Hematomun Evreleri

				Beyine Göre İntensitesi	
Evre	**Süre**	**Hemoglobin**	**Bölme**	**T1AG**	**T2AG**
Hiperakut	24 saat ↓	oksihemoglobin	intrasellüler	izointens	hafif hiperintens
Akut	1-3 gün	deoksihemoglobin	intrasellüler	hafif hipointens	belirgin hipointens
Subakut					
Erken	3 gün ↑	methemoglobin	intrasellüler	belirgin hiperintens	belirgin hipointens
Geç	7 gün ↑	methemoglobin	ekstrasellüler	belirgin hiperintens	belirgin hiperintens
Kronik	14 gün ↑				
Merkez		hemikrom	ekstrasellüler	izointens	hafif hiperintens
Kenar		hemosiderin	intrasellüler	hafif hipointens	belirgin hipointens

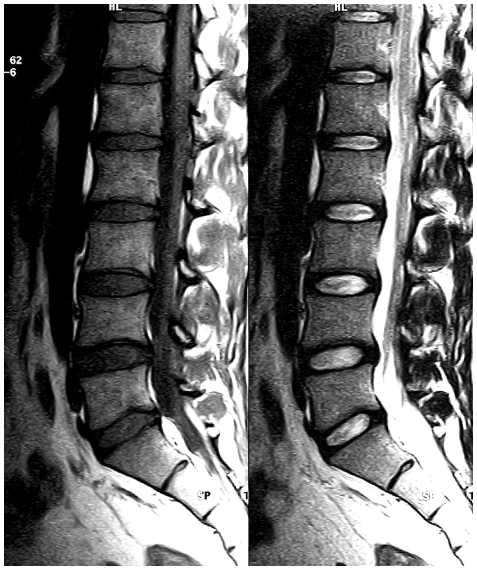
Belli başlı dokuların MR görüntülerindeki sinyal intensiteleri Tablo 7'de ve Resim 53, 54 ve 55'de gösterilmiştir.

Tablo 7. MR Görüntülerinde Dokuların Gri Tonları

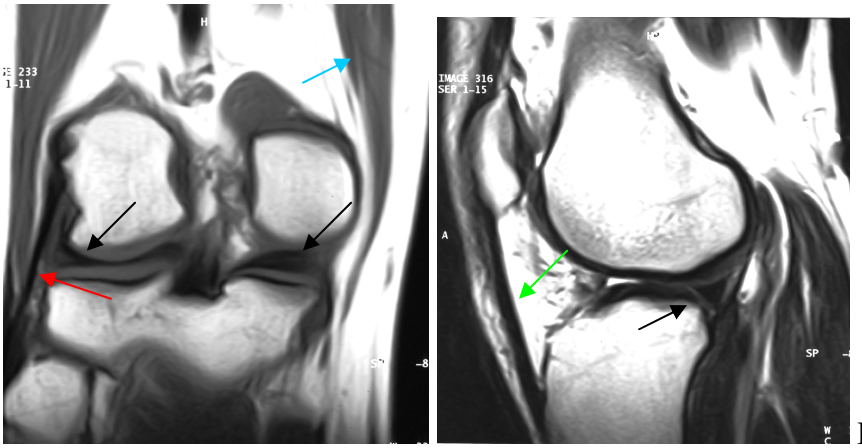
Dokular	T1AG	T2 AG
- Hava - Kompakt kemik - Menisküs-tendon-bağlar - Matür fibroz	çok siyah	çok siyah
- Yağ -Geç subakut kanama (methemoglobin) - Paramanyetik katyonlar (melanin) - Kontrast madde (Ör: Gd-DTPA) - Protein içeriği yüksek sıvı	çok beyaz	-beyaz/gri-beyaz -çok beyaz -koyu gri -koyu gri -beyaz
- Beyaz cevher - Karaciğer-pankreas	açık gri	koyu gri
- Gri cevher - Dalak	koyu gri	açık gri
- Kas	koyu gri	koyu gri



Resim 53. MR'nin ayırabildiği yoğunluklar. A ve **B**. Aksiyal T1AG ve koronal T2AG.Beyaz ve gri cevher ve BOS intensiteleri görüntülerde birbirinin tersi. Skalptaki yağ T1AG'de belirgin hiperintens, T2AG'de daha düşük intensitede. Sağ temporal lobda T1AG'de hipointens, T2AG'de hiperintens olan bir lezyon görülüyor. **C**. ve **D.** Subakut fazdaki kanamanın T1AG ve T2AG'de hiperintens görünümü. T2AG'de kanamanın çevresinde belirgin hipointens hemosiderin halkası görülüyor (oklar).



Resim 54. Normal omurilik ve omurganın T1AG ve T2AG. Genç bir olgu. Diskler TıAG"de hipointens, T2AG'de hiperintens. Yöntem turbo SE olduğu için yağ dokusu T2AG'de de beyaz görülüyor.



A **B**

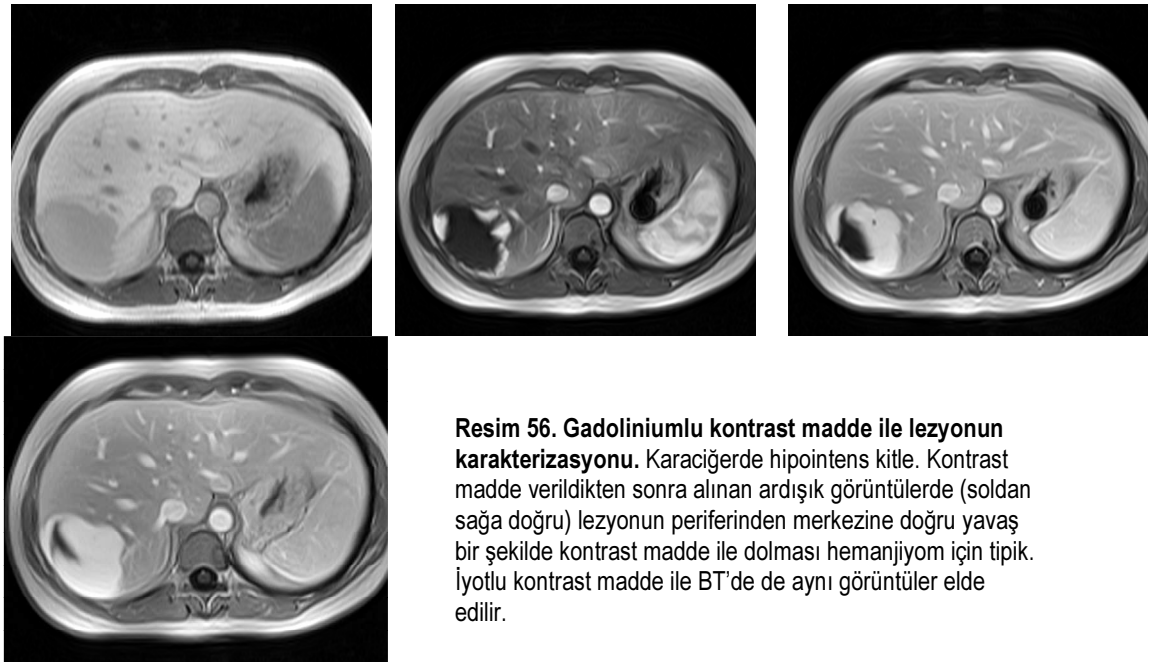
Resim 55. Dizin MR görünümleri A. Koronal T1AG ve **B**. Sagital T2AG.Meniskuslar (siyah oklar), patellar tendon (yeşil ok) ve dış çapraz bağ (kımızı ok) siyah, kaslar (mavi ok) koyu gri.

Kontrast madde kullanımı

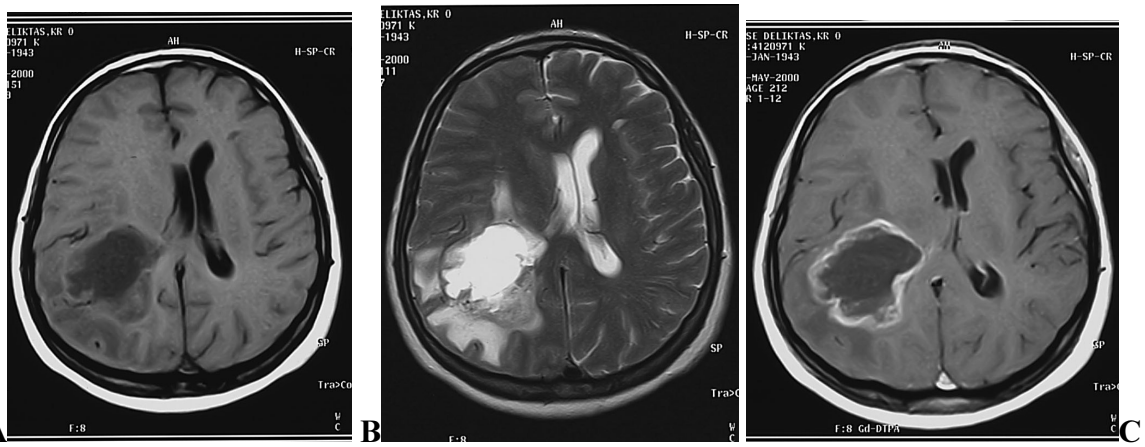
MR'de kullanılan kontrast maddelerin TI ve T2 değerleri kısadır; bulundukları ortamın bu değerlerini düşürürler. T1 kısalması daha belirgindir. Bu nedenle kontrast madde T1 ağırlıklı sekanslarda kullanılır. En sık kullanılan kontrast müadde Gadolinium şelatlarıdır. Bunlardan en eskisi ve en yaygın kullanılanı dietilentriamin pentaasetik asit (DTPA) ile şelat yapan ***gadopentat dimeglumin***dir **(Gd-DTPA).** Bu maddelerin vasküler ve interstisyel bölmelerde dağılımı iyotlu kontrast maddelerin dağılımı gibidir (Resim 56). Beyinde davranışı da iyotlu kontrast maddelere benzer. Kan-beyin bariyerinin bozulduğu bölgelerde tutulur (Resim 57). Kan-beyin bariyerinde bozulma oluşturmayan düşük greydli astrositom gibi lezyonlarda, iyotlu kontrast maddelerde olduğu gibi, tutulum olmayabilir. Dolaşıma verilen kontrast maddenin %95'i glomeruler filtrasyonla, %5'i safra ile atılır.

Gadoliniumlu kontrast maddeler, iyotlu kontrast maddelerden çok daha emniyetlidir. Şiddetli alerjik reaksiyon oluşturma oranı yaklaşık 1/350.000 dir. Baş ağrısı, bulantı, gibi minor reaksiyonlar olguların %1,5'unda görülür. Genel olarak nefrotoksisitesi iyotlu kontrast maddelerden düşüktür. Bununla birlikte son yıllarda bazı bileşiklerinin renal fonksiyonu bozuk hastalarda *nefrojenik sistemik fibroz* oluşturduğuna ait yayınlar bulunmaktadır. Bu nedenle renal fonksiyonu bozuk hastalarda dikkatli ve seçici olarak kullanılmalıdır. Gebelerde kullanılmaması önerilir; süte geçtiğinden kontrast verilen anneler 24 saat emzirilmemelidir.

MR'de daha çok karaciğer lezyonlarını karakterize etmek amacıyla, hepatositler tarafından tutulan *mangafodipir trisodium* (Mn-DPDP), retiküloendotelyal sistem hücreleri tarafından tutulan *ferrumoksit* ve *ferrumoxstran* gibi demir partikülleri içeren kontrast maddeler de kullanılır.



Resim 56. Gadoliniumlu kontrast madde ile lezyonun karakterizasyonu. Karaciğerde hipointens kitle. Kontrast madde verildikten sonra alınan ardışık görüntülerde (soldan sağa doğru) lezyonun periferinden merkezine doğru yavaş bir şekilde kontrast madde ile dolması hemanjiyom için tipik. İyotlu kontrast madde ile BT'de de aynı görüntüler elde edilir.



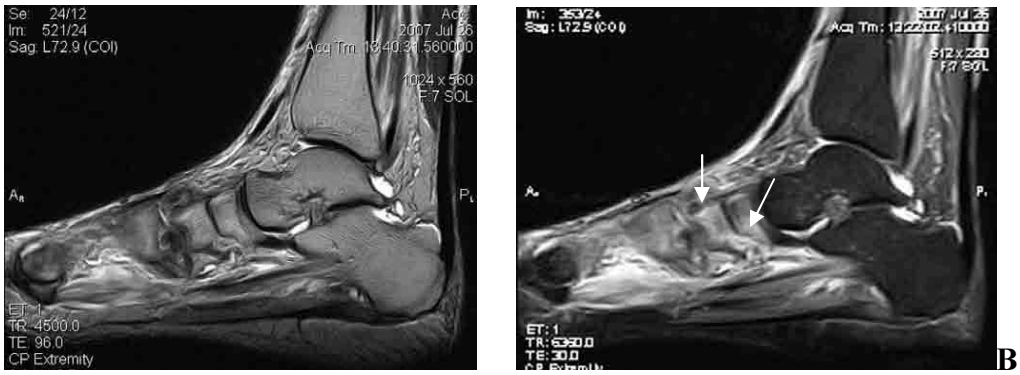
Resim 57. Gadoliniumlu kontrast maddenin görüntülemedeki yeri. A. Kontrastsız T1AG. Sağ hemisferde ortası kistik alanı temsil eden hipointens tümöral kitle. Çevresinde ödeme bağlı hipointensite. Lezyonun yer kaplayan etkisine bağlı olarak komşu ventrikül komprese ve birlikte orta çizgi oluşumları karşıya itilmiş. **B**. T2AG. Çevredeki ödem daha belirgin görülüyor. **C**. Kontrastlı T1AG'de kistik alanı çevreleyen tümörün solid kesimi kontrast tutuyor..

ÖZEL AMAÇLI GÖRÜNTÜLEME TEKNİKLERİ

Genel amaçlar için, standart puls sekansları kullanılır. Belirli bir anormalliği araştırmak için, görüntü ve kayıt ölçütleri incelemenin amacına göre yeniden şekillendirilir. Bunlardan günlük pratik içerisinde en sık kullanılanları doku baskılama teknikleri ve difüzyon ağırlıklı görüntülemedir. Doku baskılama teknikleri yağ ve su baskılama teknikleri olmak üzere iki tanedir. Fonksiyonel görüntüleme de bu başlık altında incelenebilir.

Yağ baskılama

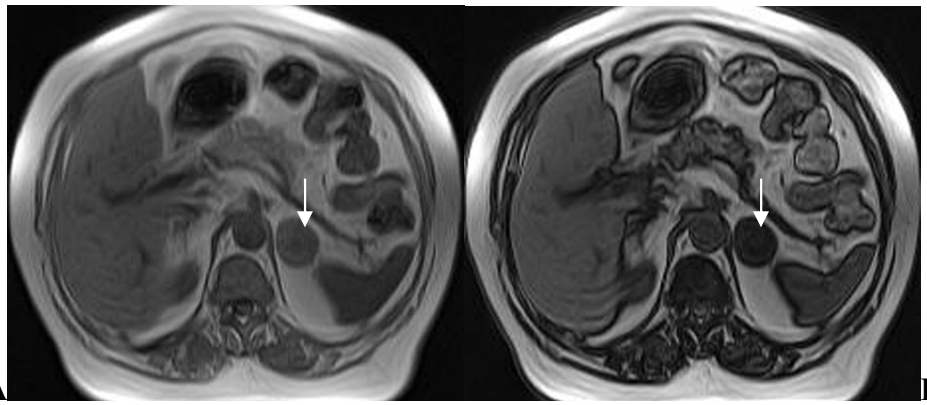
MR'de yağ dokusu, hem T1AG, hem T2AG'de beyaz tonlarda (yüksek sinyalli-hiperintens) görülür. Yağ dokusu içindeki veya komşuluğundaki normal veya anormal hiperintens oluşumlar seçilemez. Bu sorun, görüntüdeki doku kontrastını değiştirmeden, yağdan gelen sinyaller yok edilerek çözülebilir. Yağ baskılama adı verilen bu yöntem kemik iliği, mezenter, orbita gibi yağlı alanlardaki lezyonları daha iyi göstermek ve tanı için gerekli olduğu durumlarda yağ dokusunun varlığını araştırmak amacıyla kullanılır (Resim 58). Yağ baskılama ile birlikte kontrast madde kullanılması lezyonun saptanma olasılığını artırır.



A **B**

Resim 58. Yağ baskılama tekniğinin (STIR) tanıdaki yeri. A. T2AG. **B**.Yağ baskılama. Küçük tarsal kemiklerin iliğindeki yağın hiperintensitesi içerisinde fark edilemeyen ödem açığa çıkmış (oklar).Sağlam kemiklerin iliğindeki yağın baskılanma sonucu sinyal kaybına karşın bu kemiklerde ilik hiperihntens görülüyor..

Yağ ve su protonlarının presesyonları arasında çevrelerindeki elektronların durumundan kaynaklanan minimal bir frekans farkı vardır. Güçlü manyetik alanlarda (1.5 T ve üzeri) ortaya çıkarılabilen bu farklılığa ***kimyasal şift*** adı verilir. Kimyasal şift etkisi nedeniyle bir vokselde yan yana bulunan su ve yağ protonları presesyon sürecinde periyodik olarak aynı fazda ("in phase") ve arkasından tam karşıt fazda ("out of phase") olurlar. Aynı fazda olduklarında sinyal güçlenir; tam karşıt fazda olduklarında ise sinyal düşer. Bu özellik nedeniyle bir dokunun içerisinde mikroskopik seviyede yağ bulunup bulunmadığı saptanabilir. Örneğin sürrenaldeki bir kitlenin içerdiği yağ gösterilerek adenom olduğu söylenebilir. Kitlenin *faz görüntüleri* ile, *faz-dışı görüntüleri* arasında intensite farkı varsa kitle içerisinde yağ dokusu var demektir (Resim 59). Yöntem BT'deki dansite ölçümünün benzeridir.

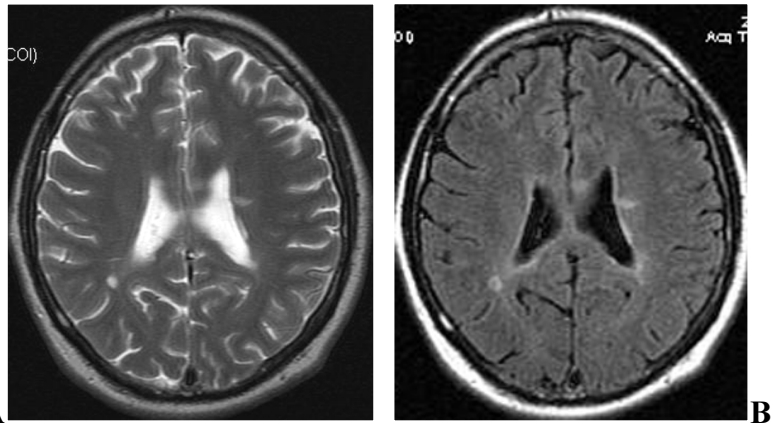


A **B**

Resim 59. Sürrenal kitlesinin MR ile karakterize edilmesi. A. Faz görüntüsü, **B**. Faz-dışı görüntüsü. Yağ ve serbest su protonlarının arasındaki çok az da olsa var olan frekans farkından (kimyasal şift) yararlanarak yapılan iki farklı görüntüde, kitlenin sinyal kaybetmesi yağ içeriğini gösteriyor. Sürrenal kitlelerinden sadece adenomda yağ bulunması nedeniyle tanı: sürrenal adenom (oklar). Karşıt faz görüntüsünde karaciğer, dalak, bağırsaklar ve diğer organ ve yapıların dış kenarlarının *çini mürekkeple çizilmiş gibi* hipointens olması kapsül ve serozalarındaki vokseller içerisinde su ve yağ protonlarının bir arada bulunmasına bağlıdır.

Su baskılama sekansı

Lezyonlar T2AG'de daha iyi görünürler ve genellikle çevrelerinden daha parlak tonlardadır. Beyindeki ventriküllere komşu lezyonlar, T2AG'de beyin-omurilik sıvısının (BOS) beyazlığı ile karışabilir. Çözüm bu sekansta serbest sudan gelen sinyalleri silmektir. BOS'dan gelen sinyallerin baskılandığı T2 ağırlıklı bu sekansa *siyah sıvı tekniği* adı verilir (Resim 60). Beyin incelemelerinde kullanılan bu yöntem, nöroradyolojide **FLAIR** *("fluid attenuated invertion recovery")* olarak bilinir.

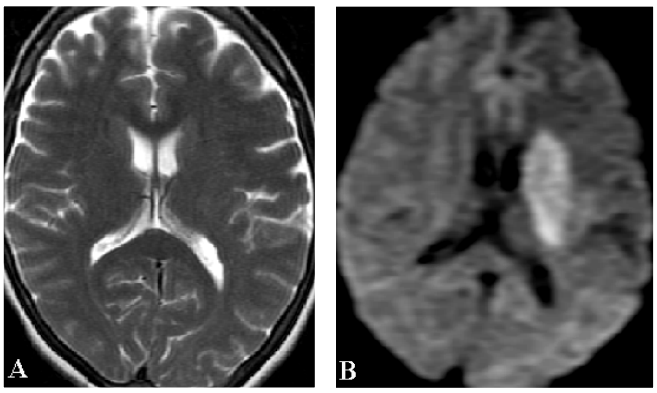


Resim 60. FLAIR görüntülerinin tanıya katkısı. Periventriküler multiple skleroz plakları. **A**. T2AG, **B**. FLAIR görüntüsü. T2AG'de BOS'un hiperintensitesine karışan periventriküler hiperintens alanlar FLAIR görüntüsünde açıkça görülüyor

Difüzyon ağırlıklı görüntüleme (DAG)

Normal dokuda difüzyon, hücre seviyesindeki su moleküllerinin her yöne doğru, bir kurala uymayan rastlantısal tarzda hareket etmesi olarak bilinir. Buna *"Brownian" hareket* adı verilir. Bu hareket protonlar arasında faz kaybına neden olur. Hareketin neden olduğu faz kaybı şimdiye kadar anlatılan puls sekansları ile saptanamayacak kadar küçüktür. Bu değişiklikleri saptamak için uygun teknoloji kullanarak özel puls sekansı hazırlamak gerekir. Bu puls sekansına DAG adı verilir.

Difüzyon ağırlıklı görüntüleme, beyindeki doku ölümünü (enfarkt) en erken gösteren yöntemdir. Enfarkt alanındaki hücrelere sıvı ve iyon girişi olur; giren sıvı çıkamaz ve hücre şişer (sitotoksik ödem). Buna bağlı olarak Brownian hareket kısıtlanır. Normal dokularda devam eden Brownian hareket defaze etkisi nedeniyle sinyal intensitesini düşürürken, hareketin olmadığı kesimlerde (enfarkt alanı) sıvı parlak görülür. Bu yöntemle beyindeki doku ölümü ilk saatlerde saptanabilir (Resim 61). Ayrıca apse, epidermoid, kolestatom gibi lezyonların ayırıcı tanısında da yararlı bilgiler verir.

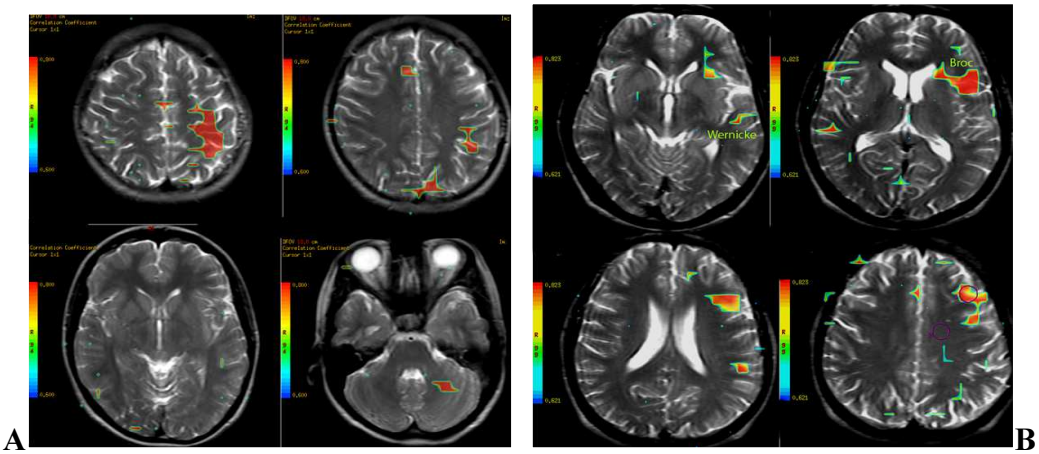


Resim 61. DAG'ın tanıya katkısı. A. T2AG normal, **B**. Aynı olgunun DAG görüntüsü. Derin paryetalde enfarkt alan açıkça görülüyor.

Fonksiyonel görüntüleme
Günümüzde beyinin fonksiyonel görüntülenmesinde kullanılan temel yöntem **BOLD** *("Blood Oxygen Level-Dependent")* tekniğidir. Bu tekniğin esası aktive edilen kesimlerde görece artmış olan oksihemoglobinin verdiği sinyalin saptanmasıdır.

Beyinin, motor ya da sensoriyal uyaranlara verdiği ilk cevap o bölgedeki kan akımının aşırı artmasıdır. Bu artış aktivite için gerekli oksihemoglobin kullanımından görece olarak fazladır. Bu durumda aktive olan kesimde oksihemoglobinin miktarı artar. Oksihemoglobin artışının diğer bir nedeni olarak, ani cevaplarda oksijen gerektiren glükolizis olayının beklenememesi ve enerji gereksiniminin aneorobik kanallardan karşılanması ileri sürülmüştür. Sonuçta aktive edilen alanlardaki damar yatağında görece olarak oksihemoglobin artar. Oksihemoglobinin çevre dokulardan sinyal intensi bakımından farkı yoktur; deoksihemoglobin ise T2 değerini belirgin olarak kısaltır.

Fonksiyonel görüntüleme ile beyindeki motor ve sensoriyal korteks alanları belirlenebilir (Resim 62). Bu amaçla inceleme sırasında hastadan el ve ayaklarını hareket ettirmesi istenir ve hasta konuşturulur. Aktive olan alanlarda oksihemoglobin görece olarak fazla olduğundan bu alanlar, deoksihemoglobin nedeniyle intensitesi düşen diğer beyin kesimlerine göre yüksek intensitede görülür. Bu alanlar T2 ağırlıklı görüntüler üzerinde renkle kodlanır. Koruyucu cerrahi uygulamaya olanak veren bu yöntem sayesinde ameliyata bağlı motor ve sensoriyal merkez hasarlanmaları önemli ölçüde azalır.

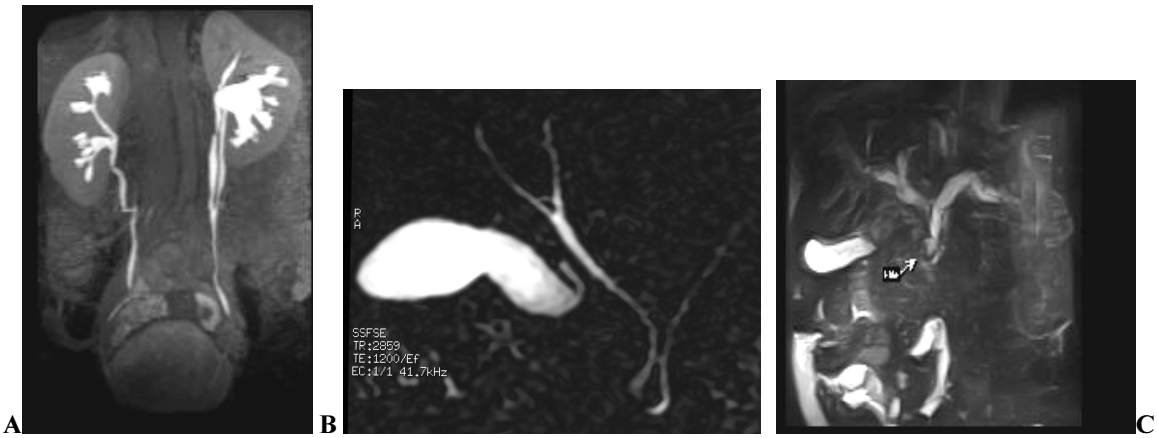


A **B**

Resim 62. Beyinde fonksiyonel görüntüler. A. Sensorimotor merkezler, **B**. Konuşma merkezleri. Aktive alanlar T2AG üzerinde renkle kodlanmış.

Reformasyon görüntüleri
MR ile BT'de olduğu gibi istenilen düzlemde (multiplanar) ve/veya üç boyutlu, görüntü kalitesi yüksek reformasyonlar yapılabilir. Bu olanaktan yararlanarak kontrast madde kullanmadan MR-kolesistografi ve MR-ürografi görüntüleri elde edilebilir (Resim 63); kontrastlı ya da kontrast madde kullanmadan MR-anjiyografi yapılabilir

MR anjiyografi: MR'nin önemli bir üstünlüğü de kontrast madde kullanılmadan akımın görüntülenebilmesidir. Akan kandaki protonlar görüntüleme sürecinde kesit düzlemini terk eder ve yerine yeni protonlar gelir. Uygulanacak puls sekansına göre, veri kaynağı olarak kesiti terk eden veya kesite yeni giren protonlar kullanılabilir. SE puls sekansında yeteri kadar hızlı kan akımının sinyalsiz görülmesinin nedeni, uyarılan kesitteki kanın, dinleme fazında kesiti terk etmesidir. Yerini alan kanın protonları uyarılmadığı için sinyal alınamaz. Buna *"sinyal void"* denir.

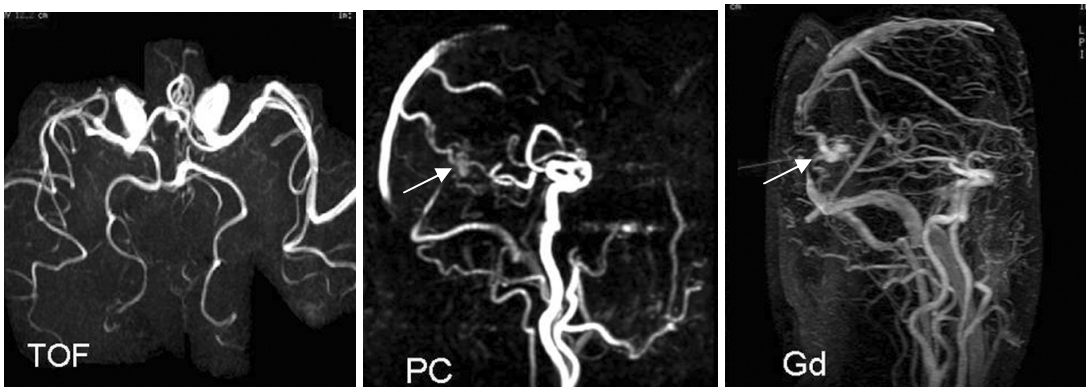


Resim 63. MR'de 3B reformasyon görüntüleri. A. MR-ürografi. Böbrekler ve toplayıcı sistemleri normal. Sol böbrekte pelvis ve üreterin proksimal kesimi duplike. **B**. Normal MR-kolanjiyografi. Safra kesesi, duktus sistikus, ana hepatik safra kanalı, koledok ve pankreasın ana kanalı normal görülüyor. **C**.MR-kolanjiografi. Pankreas başında tümöral kitle ve yaptığı obstrüksiyona bağlı olarak ana safra ve pankreas kanalında genişleme.

GRE yöntemi ile elde edilen anjiyografik görüntülerde akımın parlak görülmesinin nedeni ise kesite dışarıdan giren kan içerisindeki manyetizasyonun tam olmasıdır. Bu yöntemde kullanılan çok kısa TR süreleri, akımın dışında kalan durağan dokunun manyetizasyonunun geri kazanılmasına izin vermez. Kesite yeni giren kandaki manyetizasyon tamdır ve güçlü sinyal verir; buna karşın dokuda hiç manyetizasyon kalmadığı için sinyal alınmaz. Bu şekilde akımın parlak görülmesine *akım zenginleşme etkisi* adı verilir. Bu anjiyografi yönteminin teknik adı ***"time of flight"*** **(TOF)** ***anjiyografi***dir (Resim 64).

Akan kandaki protonlar durağan dokulara göre daha hızlı defaze olur. Bu defaze oluş, akım hızı ile doğru orantılıdır. Bu özellikten yararlanarak da akım görünütülenebilir. Bu yönteme ***faz kontrast anjiyografi*** **(PCA)** adı verilir.

MR'de, kontrast madde kullanılarak da anjiografi yapılabilir. Çözümleme gücü daha yüksek ve görüntü alma süresi daha kısa olduğundan, pratikte daha çok ***kontrastlı MR-anjiyografi*** yapılır. Gadoliniumlu kontrast madde kol venlerinden verilir. Yöntem BT-anjiyografinin analoğudur.

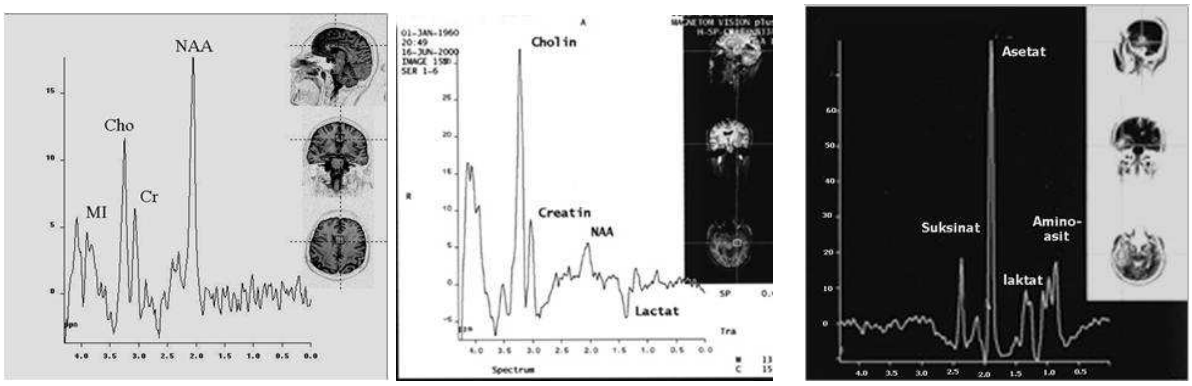


Resim 64. MR-anjiyografi yöntemleri. TOF: "time of flight" yöntemi. Akım zenginleşmesine bağlı olarak akım parlak görülüyor. **PC**: "phase contrast" yöntemi. Akımın faz farklılıklarını belirginleşmesinden yararlanarak yapılan anjiyografi. **Gd**: Aynı olguda aynı kesitin kontrast madde ile yapılan MR anjiyografisi. Arteriyo-venöz malformasyonun nidusu (ok) kontrastlı anjiyografide daha iyi görülüyor.

MR-SPEKTROSKOPİ (MRS)

MR yönteminin en ilginç uygulamalarından biri de MR spektroskopidir. Yöntem farklı moleküler bağlantıları olan protonların, kimyasal şiftleri nedeniyle presesyon frekanslarının farklı olması temeline dayanır. Bu yöntemle, içerdikleri bazı metabolitler saptanarak lezyonların ayırıcı tanısı yapılabilir. Beyinin proton spektroskopisinde 3 metabolit önemlidir: 1) Kolin (Cho): Hücre membranlarında fazla miktarda bulunur, lezyonun hücre bakımından zenginliğini gösterir. 2) N-asetil aspartat (NAA): Nöronlarda bulunur; nöron yoğunluğunu gösterir. 3) Kreatin (Cr): Birçok hücrede bulunur; standart referans olarak kullanılır.

MRS'de bir lezyon ya da bölgede, işaretlenen hacimdeki N-asetilaspartat (NAA), kolin içeren bileşikler, kreatin ölçülerek tümör/apse, tümör/enfarkt ayırımı yapılabilir, epilepsinin bazı nedenleri saptanabilir. (Resim 65).



A B C

Resim 65. MRS. **A**. Normal, **B**. Tümör ve **C**. Apse olgularında metabolit piklerinin görünümü.

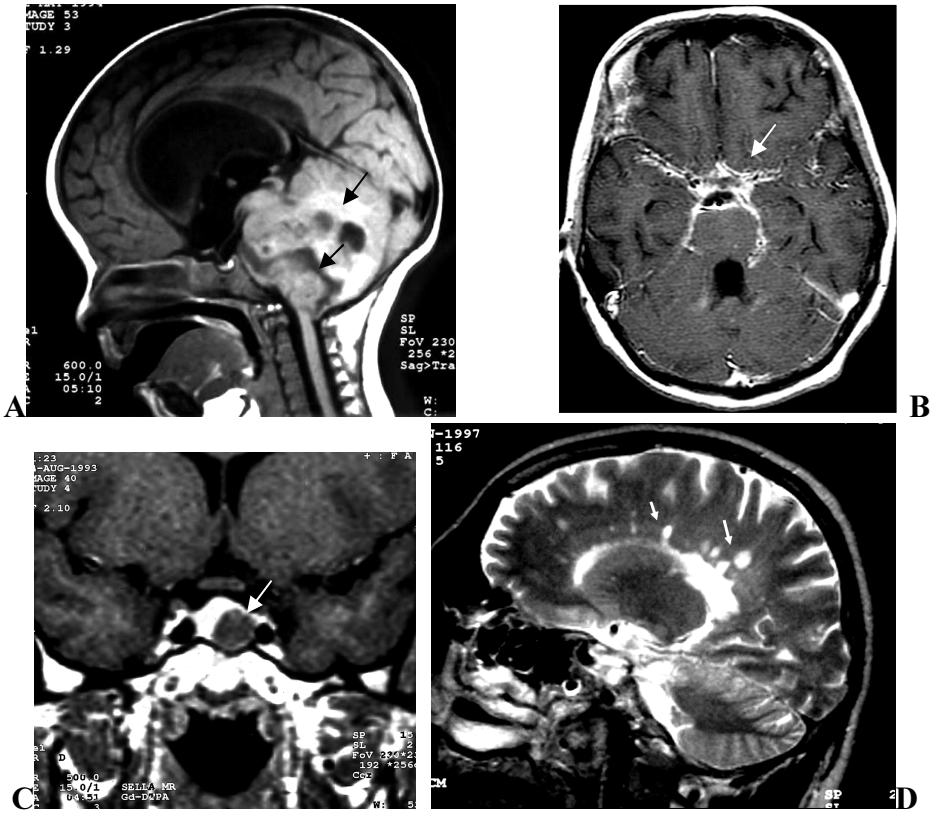
MR'NİN KLİNİKTEKİ YERİ

Yukarıda özetlediğimiz MR görünütleme yöntemleri ile ilgili açıklamalardan anlaşılıyor ki MR standart bir görüntüleme yönteminden daha çok, klinik soruna göre çok değişik alternatifleri olan bir tanı yöntemidir. BT ile karşılaştırırsak, BT incelemesi hastaya bir konfeksiyon elbise seçerek giydirmekse, MR incelemesi ölçü alarak yeni bir elbise dikmektir. Bu nedenle, aranan hastalığa uygun puls sekansının seçebilmesi için, hastaya ait tüm klinik ve laboratuar verileri, incelemeyi yapacak radyoloji uzmanına aktarılmalıdır.

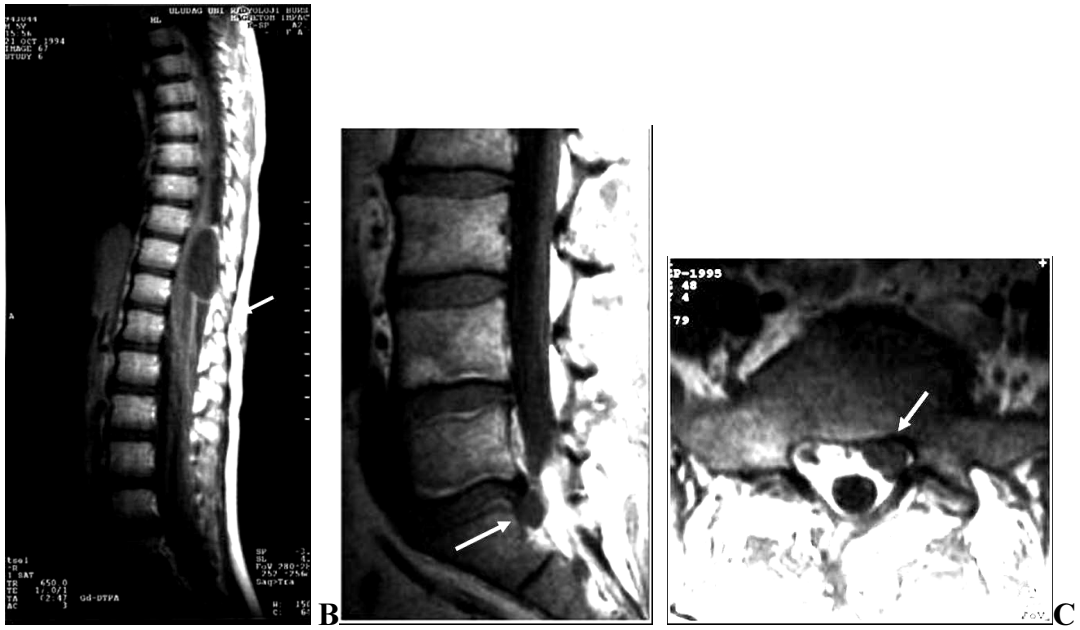
İyonizan ışın olmaması ve yumuşak dokuları en ayrıntılı görüntüleyen yöntem olması nedeniyle MR, birçok alanda temel tanı yöntemi konumuna gelmiştir. Günümüzde bir MR ünitesinin günlük hastasının yaklaşık %70'ini nöroradyolojik incelemeler, %20 'sini spor hekimliği başta olmak üzere iskelet- kas-yumuşak doku incelemeleri, geriye kalanını da karın ve mediyasten gibi vücut incelemeleri oluşturmaktadır.

Merkezi sinir sistemi

Merkezi sinir sisteminin temel tanı yöntemi MR'dir. Yumuşak doku kontrast çözümleme gücünün yüksekliği yanında kemiğe komşu yumuşak dokuların çok iyi görüntülemesi, yöntemi merkezi sinir sistemi hastalıklarının tanısında değerli kılar. Kalsifikasyon ve akut subaraknoid kanama dışındaki tüm merkezi sinir sistemi hastalıklarının tanısında öncelikli olarak kullanılır (Resim 66). Miyelografi gibi invaziv birçok yöntem yerini MR'ye bırakmıştır. Omurilik lezyonlarında tartışmasız temel yöntemdir (Resim 67).



Resim 66. Beyin patolojilerinde MR örnekleri. A.T1AG. Posterior fossa tümörü (oklar). Tümör ponsu ve serebellumu invaze etmiş. Akuaduktus seviyesindeki obstrüksiyona bağlı olarak obstrüktif hidrosefali gelişmiş; 3. ventrikül belirgin şekilde geniş. **B**. TB menenjit: Kontrastlı T1AG. Bazal sisternalarda yoğun kontrast tutulumu (ok). **C**. Hipofizde mikroadenom. Kontrastlı koronal T1AG. Hipofiz bezi belirgin kontrast tutarken adenom kontrast tutmuyor (ok). **D**.T2AG. Multipl skleroz. Ventriküller çevresinde, korpus kallozuma dik demiyelinizan plaklar hiperintens görülüyor (oklar).

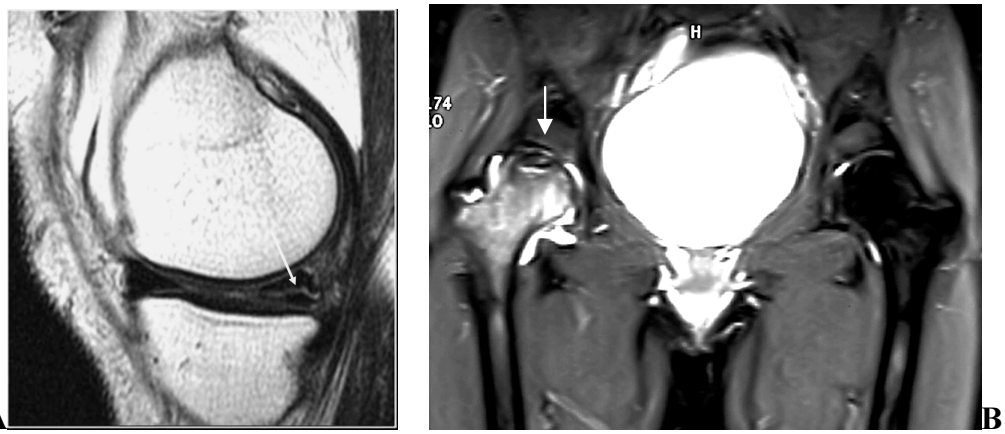


Resim 67. Omurilik patolojilerinde MR örnekleri. A. T1AG. Dermal sinüs (ok), medulla spinalisteki gelişimsel bir kistik tümöral yapıya (dermoid?) uzanıyor. **B** ve **C**.T1AG. L_5-S_1 seviyesinde disk hernisi (oklar). B'de *sıkılmış diş macunu* görünümü. Aksiyal kesitte epidural yağın içerisinde sağ kök normal görülüyor. Herniye disk sol köke basmış,

Kas-iskelet sistemi

Kas-iskelet sistemindeki tüm yumuşak dokular (tendon, bağ, kıkırdak, menisküs vb.), en ayrıntılı şekilde MR ile gösterilir. Bu nedenle spor hekimliğinin temel inceleme yöntemidir

(Resim 68). MR, kemik iliğini değerlendirmede ve yumuşak doku kitlelerinde değerli bilgiler verir. Kemik tümörlerinin yaygınlığı en iyi MR ile saptanır (Resim 69).



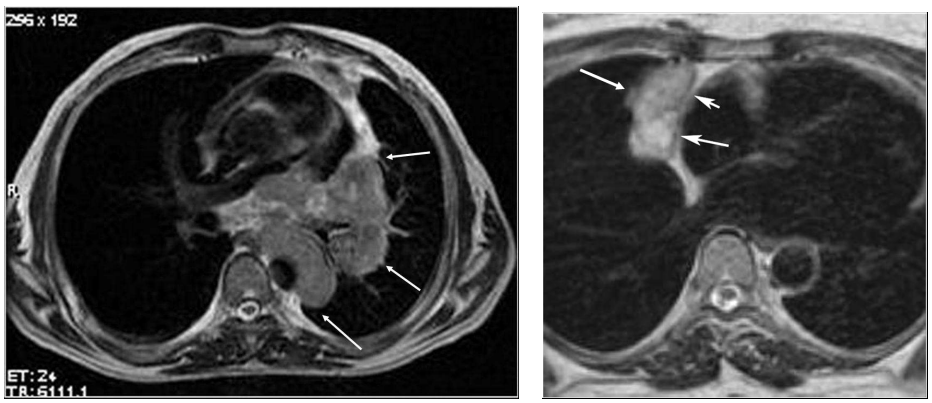
Resim 68. Kas-iskelelet sistemi patolojilerinde MR örnekleri. A. Menisküs yırtığı (oklar), **B**. Yağ baskılamalı T2AG. Sağ femur başında aseptik nekroz ok), eklem içinde sıvı ve femur başı ve boynunda kemik iliği ödemi. Normal olan sol femurda yağ baskılandığı için kemik iliğinden sinyal alınmıyor.

Resim 69. Kemik tümörlerinde MR. **A.** Femur distalinde malign tümöral kitle ve çevre yayılımı**:** Osteosarkom.T2AG. **B**. Vertebralarda metastaz (oklar). Tutulan vertebralar hipointens. Tümör kitlesi çevreye doğru uzanıyor (oklar)

Göğüs

Akciğerler hava ile dolu olduğu için MR incelemesine uygun bir yapı değildir. Ancak akciğerdeki kitle lezyonlarının çevre invazyonları (perikart, büyük damarlar, göğüs duvarı, diyafragma gibi) MR ile BT'den daha iyi gösterilir (Resim 70).

Mediyastendeki büyük damarlar kontrast madde verilmeden çok iyi görüntülenir (Resim 71). Arka mediyastendeki nörojenik tümörlerin medüller kanalla ilişkisini en iyi gösteren yöntem MR'dir.



A B

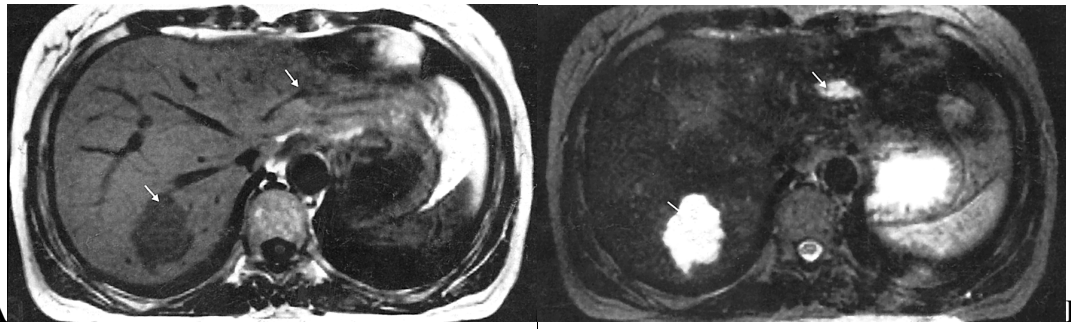
Resim 70. Akciğer kanserinde çevre ilişkilerin MR ile gösterilmesi. A. Sol hiler kitle. Aort ve mediyasten invaze (oklar), **B**. Sağ parakardiakta kitle perikardı invaze etmiş (oklar).Görüntülerin ikisinin de T2AG olduğu medulla spinalisi çevreleyen BOS'un parlaklığından anlaşılıyor.

A **B**

Resim 71. Damar ve mediyasten kitlelerinde MR'nin yeri. A. Takayasu aortitine bağlı aortada anevrizmatik genişleme, **B**. Posterior mediyasten tümörü. Kitlenin medüller kanalla ilişkisi çok iyi görülüyor

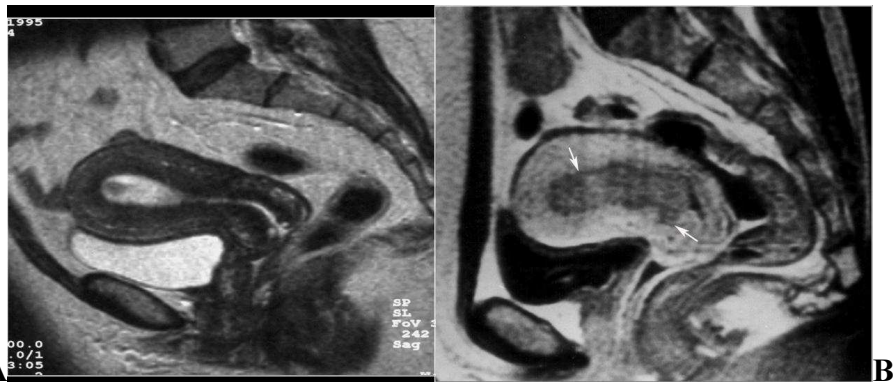
Karın

MR karın organlarının incelenmesinde problem çözücü konumdadır. Sürrenal kitlelerinin yağ içeriği duyarlılıkla saptanarak karakterize edilebilir. Karaciğer lezyonlarını karakterize etmede yardımcıdır (Resim 72). Kanserlerin karaciğer yayılımını saptamada da en duyarlı yöntemlerden biridir. Uterusdeki tabakaların (endometrium-miyometrium) ayırımı en iyi MR ile gösterilir. Dolayısıyla uterus ve serviks kanserlerinin evrelenmesi en iyi MR ile yapılır. (Resim 73). Daha hızlı puls sekanslarının gelişmesi ve artan bilgi birikimi sayesinde MR, karında gittikçe daha çok olguda BT'nin yerini almaktadır.



A **B**

Resim 72. Karaciğerde hemanjiomlar. A. T1AG. Lezyonlar hipointens. **B.**T2AG. Lezyonlar belirgin hiperintens. Lezyonların intensitesi omurilik çevresindeki BOS intensitesine eşit.



Resim 73. A. MR'nin endometrium kanserindeki yeri.
A. T2AG. Normal uterus, **B**. Kontrastlı T1AG. Endometrial kanserin miyometriumu invazyonu (oklar).

Matür fibroz doku

Matür fibröz doku, MR'de daima hipointenstir. Bu özellik sayesinde ışın tedavisi alan olgularda lezyonun bulunduğu bölgede ortaya çıkan bir oluşumun fibroz doku veya lezyon (tümör veya enflamasyon) olup olmadığı ayırımı yapılabilir. Lezyon varsa T2 ağırlıklı görüntülerde hiperintens görünür. İzlemde saptanan kitle, T1 ve T2 ağırlıklı kesitlerde hipointens görülüyorsa fibroz doku kabul edilir, böylece hastaya gereksiz biyopsi yapılması önlenmiş olur.

YÖNTEMİN GÜÇLÜ VE ZAYIF YANLARI, ZARARLI ETKİLERİ

Güçlü yanları

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

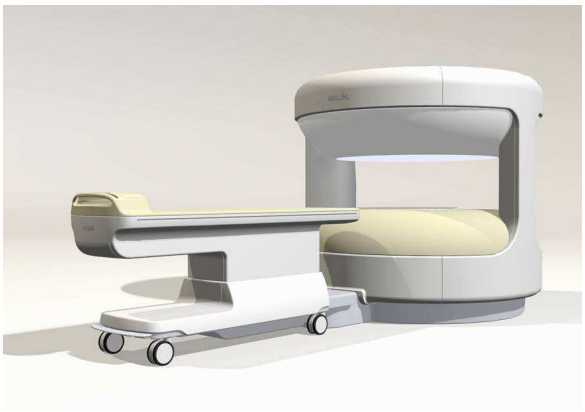
Zayıf yanları

1. Kalsiyumun ve akut dönemdeki subaraknoid kanamanın, standart incelemelerde iyi görüntülenememesi,
2. Akciğer parankim hastalıklarının görüntülenememesi
3. Görüntüleme zamanının uzunluğu nedeniyle harekete çok duyarlı olması nedeniyle hareketi kontrol edilemeyen hastaların incelenmesinin zor olması (teknolojik ilerleme görüntüleme süresini kısaltarak bu dezavantajı ortadan kaldırmaktadır),
4. Serum seti, solunum cihazı gibi bir çok aygıta bağlı hastaların, hem tünelin içerisine girememesi hem de bu gereçlerin manyetize materyel içermesi nedeniyle incelenememesi,
5. Güçlü manyetik alan nedeniyle kardiyak "pacemaker" benzeri (nörostimulatör, koklear implant,) cihaz taşıyanların ve manyetik metallerden yapılmış protez ve klip (günümüzdekiler MR uyumludur) ve ferromanyetik cerrahi klipler taşıyanların ve göz içinde manyetik yabancı cisim bulunanların incelenememesi
6. Klostrofobili olguların (%2-5) tünele girebilmek için sedasyon ve hatta anestezi gerektirmesi (açık MR ile incelenebilirler),
7. Kuruluş ve işletme giderlerinin, dolayısıyla inceleme fiyatının yüksek olması.

Zararlı etkileri
MR'nin bilinen zararlı bir etkisi yoktur. Kontrast maddesinin alerjik etkileri de iyotlu kontrast maddelere göre az ve hafiftir. Ancak bazı kontrast maddelerinin nefrotoksik etkilerinin varlığı bu konuda da dikkatli olmayı gerektirir.

Klostrofobili kişilerde sedasyon, bazen de anestezi gerekebilir. Ancak bu sorun kapalı tüneli olmayan **açık ("open") MR** ile de çözülebilir (Resim 74). Bu aygıtların gücü düşüktür, dolayısıyla inceleme süreleri güçlü aygıtlara göre daha uzundur; kimyasal şift görüntüleri elde edemezler, MR spektroskopi yapamazlar; ancak görüntü kalitesinde önemli bir fark yoktur.

MR'nin harekete çok duyarlı olması nedeniyle küçük çocuklarda ve koopore olamayan hastalarda anestezi verilmesi zorunluluğu risk oluşturur.



Resim 74. Açık ("open") MR

Ses Dalgaları ile Görüntüleme

ULTRASONOGRAFİ (US)
- Ses fiziği
- US aygıtı
- Görüntü oluşturulması
- US incelemesi nasıl yapılır?
- Yöntemin ayırt edebildiği yapılar
- US'nin klinikteki yeri

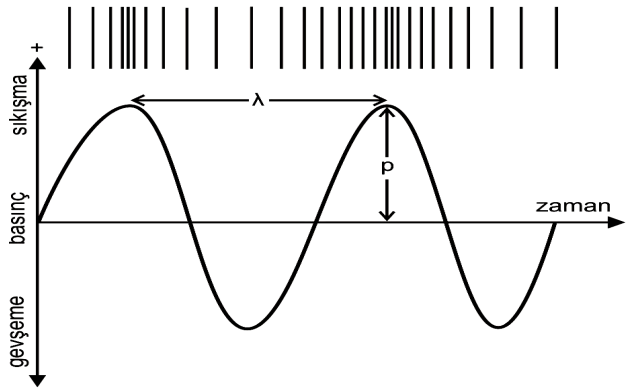
DOPPLER US
- İnceleme yöntemleri
- Doppler ile damar nasıl incelenir?
- Diğer Doppler yöntemleri
- Doppler US'nin klinikteki yeri,
- US yöntemlerinin güçlü ve zayıf yanları, zaralı etkileri

Ultrasonografi vücudu kesit şeklinde görüntüleyen bir yöntemdir. Vücuda yüksek frekansta ses dalgaları (ultrason) gönderilir ve sesin dokulardan yansımaları (eko) kaydedilir. US görüntüleri bu ekolardan oluşturulur. Doppler US'de ise, dönen sesin faz ve frekans farkından (Doppler kayması) akım bilgisi de elde edilir.

SES FİZİĞİ

Ses üretimi

Ses, maddenin titreşiminin kulağımız tarafından algılanmasıdır. Sesin oluşabilmesi ve yayılması için maddenin varlığı şarttır. Ses madde içerisinde sıkışma ve gevşeme periyotları şeklinde yayılır. İki sıkışma veya iki gevşeme periyodu arasındaki mesafeye dalga boyu adı verilir (Şekil 14). Saniyedeki dalga sayısı frekansı verir. Sesin frekans birimi Hertz'dir (Hz). Saniyede bir ses dalgası üreten bir kaynağın frekansı l Hz'dir. Kulağımızın duyabileceği sesin frekansı 20-20.000 Hz arasındadır; daha yüksek frekanslı sese *ultrason* denir.



Şekil 14. Ses dalgasının yayılımı. Ses madde içerisinde sıkışma ve gevşeme periyotları ile yayılır. Buradaki dalga çizgisi elektromanyetik radyasyondaki transvers dalgayı değil sadece sıkışma ve gevşeme periyotlarını temsil eder. λ: Dalga boyu. p: Genlik

Diyagnostik radyolojide genellikle 3-7.5 MHz'lik (megahertz) ultrason kullanılır (1MHz=1.000.000 Hz). Bu kadar yüksek titreşimi elde etmek için *piezo-elektrik (basınç-elektrik)* olayından yararlanılır. Kuartz gibi kristal yapısındaki bazı maddelerin kristal dizilişleri, alternatif akımın fazına göre yön değiştirir. Bunun sonucunda madde daralıp genişleyerek titreşir ve ses üretir. Kristal yüzeyine çarpan ses ise bu olayı tersine çevirir; kristallerin yönünü değiştirerek elektrik akımı üretir. Bu şekilde enerji çevirici maddelere genel olarak *transduser (çevirici)* denir. US aygıtlarında transduser olarak seramik diskler kullanılır. Transduser'i taşıyan başlığa ***prob*** adı verilir.

Sesin doku ile etkileşimi

Elektromanyetik radyasyonların hızlarının sabit olmasına karşılık sesin hızı, içinde yayıldığı maddeye göre değişir. Ses maddeyi geçerken, absorbsiyon ve yansıma nedeniyle zayıflar. Absorbsiyon ses enerjisinin ısı enerjisine çevrilmesi ile gerçekleşir. Yansıma ise dokuların atom ve moleküllerinin ses dalgasının oluşturduğu harekete gösterdiği direnç (akustik direnç) farklılıkları ile ilgilidir. Dokular arasındaki direnç farklılığı ne kadar fazla ise yansıma o kadar çok olur (Tablo 8). Zayıflama sesin frekansı, dokunun zayıflatma katsayısı ve doku kalınlığı ile doğru orantılıdır. Suyun zayıflatma katsayısı çok düşük, kemiğin ise yüksektir. Bu nedenle ses sıvılardan zayıflamadan geçer.

Tablo 8. Doku Yüzeylerinden Yansıma Katsayıları

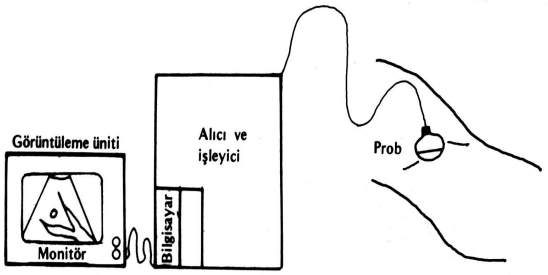
Doku yüzeyleri	Yansıyan intensite (%)
Karaciğer-Böbrek	0.0003
Karaciğer-Yağ	0.11
Yağ-Kas	0.15
Kas-Kemik	41
Kas-Akciğer	65
Kas-Hava	99

Bu fizik kurallar uygulamaya şu şekillerde yansır:

1. Sıvıların içerisindeki ya da arkasındaki yapılar daha iyi incelenir. Bu nedenle uterus ve overlerin incelenmesinde mesanenin dolu olması istenir. Dolu mesane, arkasındaki organlar için sesi geçiren çok iyi bir pencere görevi yapar.
2. Bağırsak gazları, arkalarındaki yapıların görülmesini engeller. Çünkü hava ile yumuşak dokunun oluşturduğu yüzeyden, sesin hemen hepsi yansır, arkaya ses geçmez. US incelemelerinde cilde jel sürülmesinin amacı da bu yansımayı engelleyerek, mümkün olduğunca fazla miktarda ses enerjisini vücuda göndermektir. Jel, vücut ile prob arasındaki teması tam sağlayarak havayı elimine eder.
3. Kemik ve kalsifikasyonun (taş) arkasına ses yeteri kadar geçmez. Çünkü hem kemiğin sesi zayıflatma katsayısı yüksektir, hem de çevreleyen yumuşak doku ile arasındaki akustik direnç farklılığı fazla olduğu için yüzeyinden yansıma oranı yüksektir.

US AYGITI

US aygıtları ana bir konsola bağlı prob ve görüntüleme biriminden oluşur (Şekil 15). Transduseri taşıyan prob transdusırı taşır, bir kablo ile ana konsola bağlıdır. Ana konsol, sesin pulslar halinde üretilmesini ve gelen ekoların saptanıp işlenerek görüntü verisi olarak kullanılır hale getirilmesini sağlayan düzenekler içerir. Bu işlem sürecinde bilgisayar teknolojisinden yararlanılır. Sistemin kontrolü ana konsol üzerinden yapılır. Görüntüleme birimi ise bir monitör ve kayıt sisteminden oluşur. Monitördeki görüntü canlıdır (“real-time”), video görüntüsü şeklinde kaydedilebileceği gibi, genelde yapıldığı gibi istenilen görüntü dondurularak özel kağıtlar üzerine fotoğrafı çekilir.



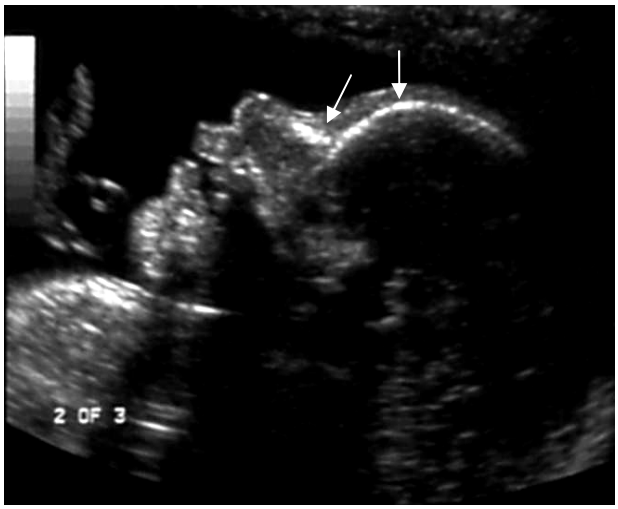
A

B

Şekil 15. Ultrasonografi aygıtı. A. Prob içerisindeki transduserin ürettiği ses organ ve doku yüzeylerinden yansır. Yansıyan ses yine transduserde elektrik enerjisine çevrilerek alıcı ve işleyicilerde görüntü haline getirilir. Bu görüntü doğrudan alınan sinyallerden oluşturulabileceği gibi, sinyallerin dijitalize edilmesi ile dijital verilerden de oluşturulabilir. Görüntünün oluşturulabilmesi için BT ve MR'de olduğu gibi dijitalizasyon şart olmadığı için şemada bilgisayar ayrı bir birim olarak değil aygıtın küçük bir parçası olarak gösterilmiştir. **B**. Aygıtın resmi. Üstte, konsolun üzerinde, görüntülerin canlı olarak izlendiği monitör, konsolun yanında probların konduğu yuvalar ve birinin içerisinde konveks prob görülüyor (ok).

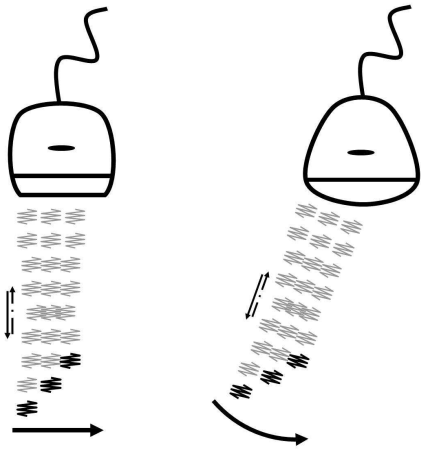
GÖRÜNTÜ OLUŞTURULMASI

Bir US görüntüsü, siyah bir zemin üzerinde, değişik parlaklıktaki noktalardan oluşur (Resim 75). Bu noktalar vücuda gönderilen sesin yankılarını (eko) temsil eder. Görüntü oluşturmanın fizik kuralları denizaltıları ve balık sürülerini saptayan sonar sistemlerine benzer. Sesle görüntü oluşturan bu yöntemler genel olarak **puls-eko sistemleri** olarak isimlendirilir.



Resim 75. Fetüsün başının sagital görüntüsü. Yüzün profil çizgisini, amnion sıvısının fetüsün cildi ile oluşturduğu yüzeyden dönen ekolar yapıyor. Burun ve alın kemiğinden dönen ekoların genlikleri, dolayısıyla noktaların parlaklığı belirgin şekilde yüksek (oklar) .

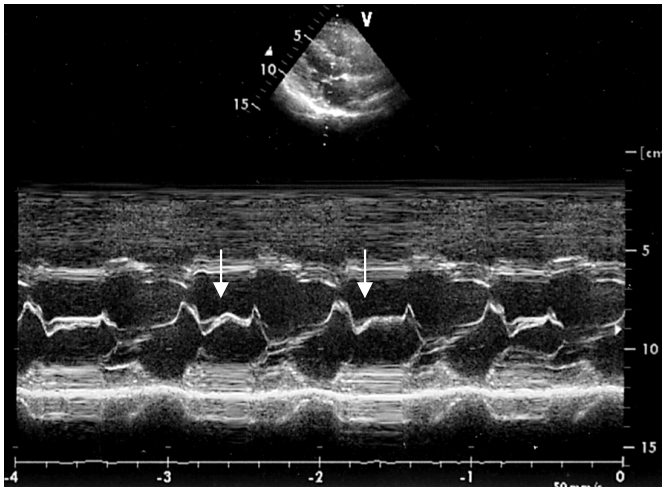
Görüntü oluşturabilmenin ilk şartı ekoların kaynaklandığı yerlerin bilinmesidir. Bunun için ses kısa bir *atım (puls)* şeklinde gönderilir ve dönen ekolar kaydedilir. Pulsun gönderilmesi ile ekoların saptanması arasında geçen süreler ölçülür. Bu süreler sesin yumuşak dokulardaki ortalama hızı (1540 m/sn) ile çarpılıp ikiye bölünürse ekoların hangi derinliklerden geldikleri saptanır. US görüntüsü, görüntülenen alanın ses pulsları ile taranması ve yankılarının, genlikleri (amplitüdleri) ile orantılı parlaklıklara çevrilmesi ile oluşturulur (Şekil 16). Akustik direnci çok farklı olan doku yüzeyleri, çok yansıtıcı bir yüzey olarak davranırlar; ekolarının genlikleri yüksektir. Görüntüdeki beyaz yerler, yankının fazla olduğu kesimleri temsil eder.



Şekil 16. US tarama. Görüntü alanı saniyede binlerce üretilen pulslarla çok hızlı bir şekilde taranır. Bu tarama ile elde edilen görüntü sayısı, saniyede belirli bir sayının üzerine çıktığında görüntüler sinemada olduğu gibi hareketli elde edilir.

US görüntülerinin üst tarafı cilde yakın yüzeyi gösterir. Prob, aksiyal kesitlerde görüntünün sağ tarafı hastanın sağını, sagital kesitlerde ise baş tarafını gösterir şekilde tutulmalıdır. 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 *transonik* ve *sonolusent* gibi tanımlamalar da kullanılır.

Kalp kapakları gibi hareketli yapıların hareketlerinin EKG'ye benzer grafik şeklinde bir kağıda yazdırılarak incelenmesine "motion-mode" anlamına ***M-mod ekokardiyografi*** adı verilir. Bu yöntemde incelenecek kapaktan geçen bir çizgi boyunca ardışık pulslar gönderilir. Puls çizgisi sabittir. Her kalp kasılmasında kapak ya da kalp duvarı gibi kesimler proba yaklaşır ya da uzaklaşır. Bu mesafe değişikliği nedeniyle farklı zamanlarda saptanan ekolar hareket ettirilen bir kağıt üzerine çizdirilirse M-mode ekokardiyografi elde edilmiş olur (Resim 76).

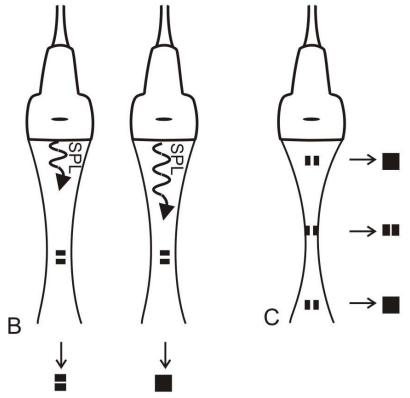


Resim 76. Ekokardiyografi. Üstteki küçük US görüntüsü kalbin longitudinal kesitini, üzerindeki dik inen noktalı çizgi gönderilen ses pulslarının yolunu işaret ediyor. Ses pulsları mitral kapaktan geçiyor. Alttaki grafik M-mod. Grafiğin ortasındaki en hareketli çizgi mitral kapağın hareketleri (oklar)

Yöntemin çözümleme gücü

Görüntülerdeki ayrıntı, yani yöntemin çözümleme yetisi, gönderilen pulsun uzunluğu ve kalınlığı ile ters orantılıdır (Şekil 17). Vücuda gönderilen bir puls 2-3 dalgadan oluşur. Dalga boyu da frekansla ters orantılıdır. Yüksek frekanslı sesin pulsu daha kısa, dolayısıyla *aksiyal çözümleme*si daha yüksektir. Puls, yayılımı sırasında başlangıçta geniştir, gittikçe daralır ve daha sonra tekrar genişler. Dar olduğu kesime *fokal zon* adı verilir. Puls ne kadar ince ise

lateral (yanlara doğru) çözümleme yetisi o kadar yüksektir. Dolayısıyla çözümlemenin en iyi olduğu kesim fokal zondur.

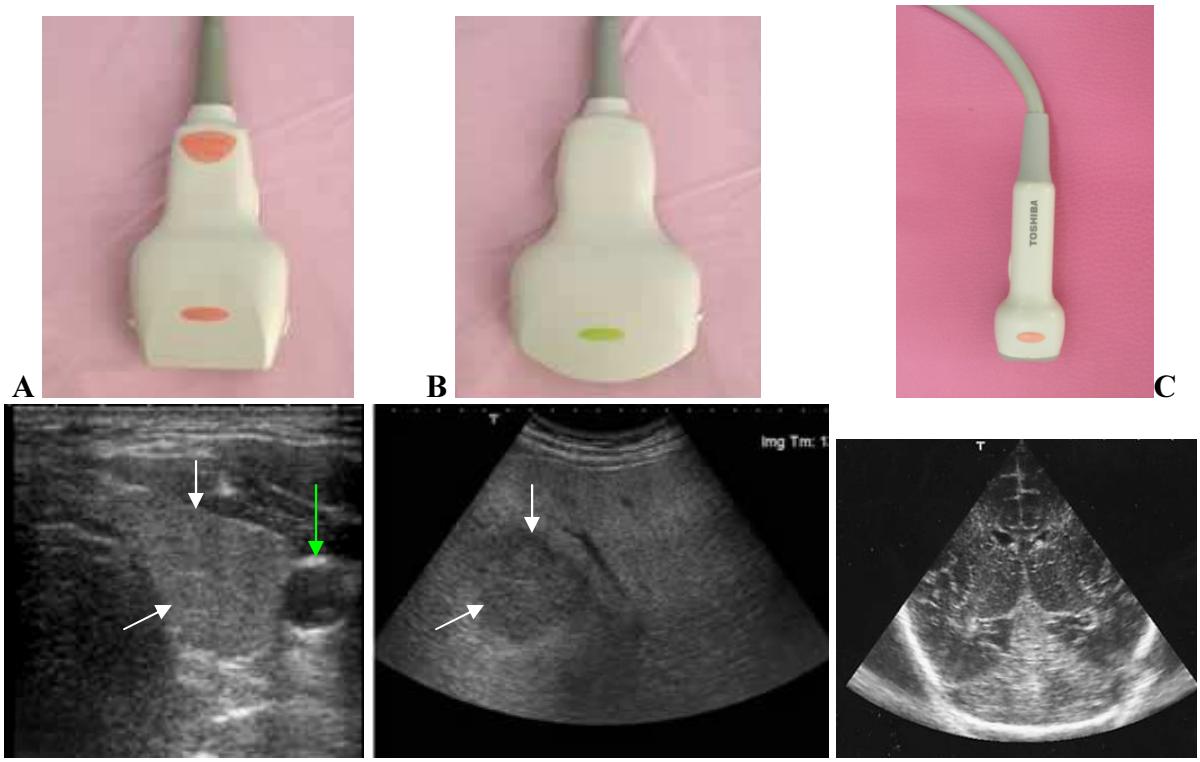


Şekil 17. Aksiyal (B) ve lateral (C) rezolüsyon. SPL: puls uzunluğu. Kısa puls ardı ardına duran iki noktayı ayrı ayrı görüntülerken, uzun puls ile iki nokta tek bir nokta olarak görüntülenir. Benzer şekilde pulsun dar olduğu yerde (fokal zon), yan yana iki nokta ayrı ayrı görüntülenebilirken fokal zonun alt ve üst bölgelerindeki aynı yapıdaki noktalar birbirinden ayrılamaz ve tek bir nokta olarak görüntülenir.

Bu fizik kurallara göre çözümlemesi yüksek görüntüler için yüksek frekans üreten transdusırlar kullanılmalı ve incelenen kesim fokal zona getirilmelidir. Ancak sesin frekansı arttıkça derinlere inme yetisi (penetrasyonu) azalır. Bu nedenle yüzeysel yapılar yüksek frekanslı problarla incelenirken derin yapılarda, frekansı derinliğe göre ayarlamak gerekir. Günümüzde bu sorun "broad-band" teknolojisi dediğimiz yöntemle kısmen çözülmüştür. Bu yöntemde transduserler geniş bir frekans aralığında (örneğin 3.5-5.0 MHz ya da 3.5-7.5 MHz) ses üretirler.

US İNCELEMESİ NASIL YAPILIR?

1. Hasta masaya yatırılır, incelenecek bölgenin cildine jel sürülür. Uterus ve overler incelenecekse mesane, akustik bir pencere oluşturması için, dolu olmalıdır.
2. İncelenecek organ ve dokunun derinliğine uygun frekansta ve şekilde bir prob seçilir (Resim 77). Yüzeyel incelemede dikdörtgen şekilli ve yüksek frekanslı transdusır taşıyan problar *(lineer prob)* seçilirken, karın organları gibi derin yapılarda ağzı konveks yapıda ve daha düşük frekanslı transdusırler tercih edilir. *Konveks prob*larda görüntü alanı yüzeyde dardır, derine gittikçe genişler. Böylece bağırsak gazı gibi bir engele karşı giriş kapısı küçültülmüş olur. Yüzeyel incelemede böyle bir önleme gerek yoktur. Fontanel açıklığı veya kaburga aralığı gibi dar giriş kapılarından yapılacak örneğin transfontanel ve kardiyak incelemelerde daha küçük tabanlı problara gereksinim vardır. Bir noktadan çıkıp tabanı değişik genişlikte üçgen şeklindeki bir alanı görüntüleyen bu problara da *sektör prob*lar adı verilir.
3. Jel sürülerek hazırlanmış bölge probla sistematik bir şekilde taranarak görüntüler monitorda izlenmeye başlanır. Prob, ses pulslarının eni kadar kesit yapan bir bıçak gibi düşünülmelidir. Giriş kapısında bir engel yoksa (gaz ya da kemik gibi) istenilen her düzlemde, kesit alabilir. Kesitler, probun ağzının düzlemine ve probun eğimine göre şekillenir. Bu nedenle bir US görüntüsü en iyi, incelemeyi yapan tarafından yorumlanır.
4. Ayrıntının en iyi gözlendiği alan fokal zondur. Bu nedenle küçük taş ya da kanal gibi yapılar araştırılırken, araştırılan kesimin fokal zonda olmasına dikkat edilmelidir. Modern aygıtlarda foküsleme elektronik olarak değişik derinliklerde ve birden fazla sayıda yapılabilir.



Resim 77. US probları ve görüntüleri. A. Lineer prob ve tiroid bezinin sol lobunun aksiyal kesiti (oklar). Bezin sol kenarında karotis arterin enine kesiti görülüyor (yeşil ok). **B**. Konveks prob ve karaciğer sağ lobunun aksiyal kesiti. Karaciğer içinde düzensiz kenarlı hipoekoik lezyon (oklar). **C**.Sektör prob ve transfontanel aksiyal normal beyin görüntüsü

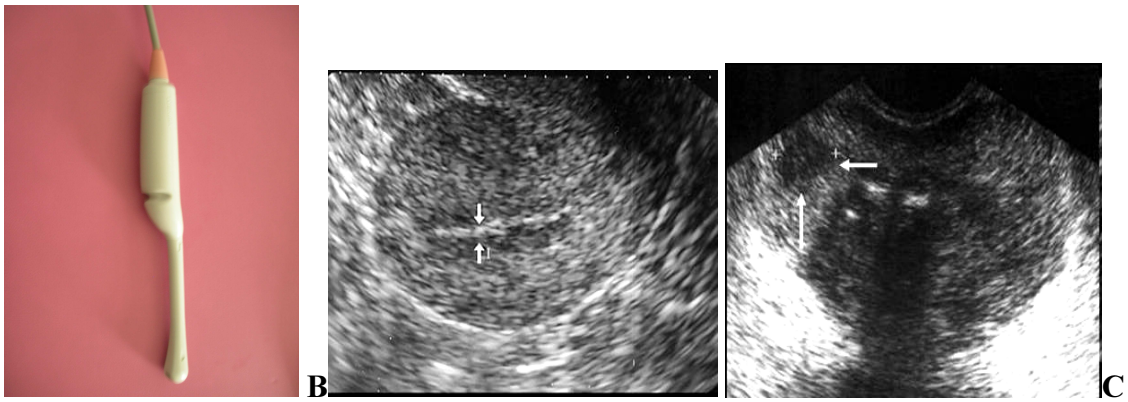
Özel US incelemeleri

US incelemesinde, sesin frekansı arttıkça görüntünün ayrıntısı artar; fakat sesin penetrasyonu azaldığı için derin yapıların görüntülenmesi güçleşir. Bu fizik kural, iyi bir görüntü için, incelenecek dokuya olabildiğince yaklaşmak düşüncesini doğurmuştur. Bu düşünceden yola çıkarak endokaviter, endoskopik ve intraoperatif uygulamalar geliştirilmiştir.

Endokaviter US'de parmak gibi uzun bir yapının ucuna monte edilen transduserlerle incelenecek organın duvarına dayanılır (Resim 78). Transvajinal problarla uterus ve adneks detaylı olarak görüntülenir; transrektal problarla prostat lezyonları saptanıp biyopsi yapılabilir. Prob doğrudan incelenen organ duvarına dayandığı için mesanenin dolu olmasına gerek yoktur.

Endoskopik US*'*de ucuna transduser yerleştirilmiş endoskoplarla sindirim borusunu tutan lezyonların duvar katmanları ile ilişkisi histopatolojisine yakın bir doğrulukta saptanabilir. Ayrıca duvara dayanan pankreas gibi organlardaki küçük lezyonlar da ayrıntılı olarak görüntülenir. Yaygın kullanılan bir yöntem değildir. *Transözofajiyal ekokardiyografi* de bir çeşit endokaviter-endoskopik US uygulamasıdır. Bu yolla kalbin arka duvarına dayanarak daha ayrıntılı kardiyolojik US incelemesi yapılabilir.

İntraoperatif US*'*de ise iki parmak arasına sıkıştırılabilecek boyuttaki yüksek frekanslı problarla, ameliyat esnasında organ doğrudan incelenerek çıkarılacak lezyonun sınırları çok açık bir şekilde görüntülenir. Bu yöntem sayesinde cerrah çevre dokulara zarar vermeden kitleyi çıkarabilir.



Resim 78. Endokaviter US örnekleri. A. Endokaviter prob. **B.**Transvajinal US. Prob uterus ön duvarına dayanmış. Sagjtal kesit. Mesane boş. Endometrium net olarak seçiliyor (oklar). **C**. Transrektal US. Prob rektum ön duvarına dayanmış. Aksiyal kesit. Prostatın perifer kesiminde hipoekoik lezyon (ok). US rehberliğinde yapılan biyopside lezyonun prostat kanseri olduğu saptandı.

YÖNTEMİN AYIRABİLDİĞİ YAPILAR

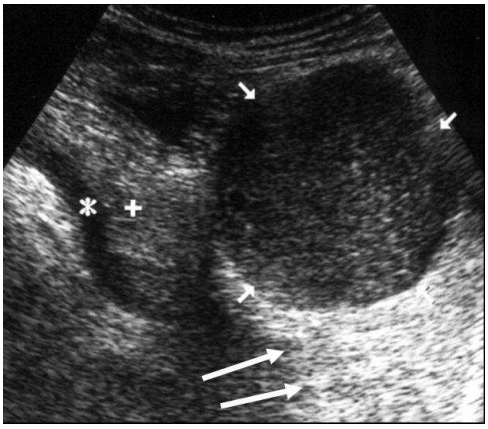
US görüntüleri ekolarla oluşturulur. Ekolar, dokuların birbirleri ile oluşturdukları yüzeylerden kaynaklanır. Yüzeyi oluşturan dokuların akustik dirençleri ne kadar farklı ise yansıma o kadar belirgin olur. Dolayısıyla US görüntülerinde belirleyici olan, dokuların sese davranışının mutlak farklılığından daha çok, yüzey oluşturduğu diğer doku ile arasındaki görece farklılıktır.

Sıvılar

Suyun sesi zayıflatma katsayısı yumuşak dokulardan belirgin şekilde düşüktür. İçinde hiç yansıtıcı yüzey bulunmadığı için eko üretmez. Bu nedenle safrakesesi, mesane gibi sıvı dolu organlar veya kistler anekoik görülür. Vena kava inferior, aort, karotid ve femoral arter gibi yeteri kadar büyük damar yapıları, pulse eden anekoik yapılar şeklinde izlenir.

Suyun sesi zayıflatma katsayısının düşük olması nedeniyle içi sıvı dolu yapıların arkasına, komşu yapılara kıyasla daha fazla ses geçer. Fazla geçen sesin yansıması da fazla olacağı için böyle yapıların arka kesimi aynı derinlikteki komşu dokuya göre daha parlak görülür. Bu bulguya ***akustik zenginleşme*** ya da ***arka duvar yankılanması*** adı verilir.

Vücuttaki sıvı birikintileri içlerinde yansıtıcı yüzeyler varsa görüntüde ekolar ortaya çıkar. Bu nedenle apse ve nekroz gibi içlerinde yansıtıcı yüzeyler bulunan sıvılar, içerdikleri partiküllerin boyutu ve yoğunluğuna göre değişik ekojenitede görülür ve solid yapı izlenimi verir. Bu durumda arkasındaki akustik zenginleşme lezyonun solid değil sıvı yapıda olduğunu gösterir (Resim 79).



Resim 79. Arka duvar yankılanması. İçyapısı partiküller nedeniyle parankim ekosu veren bir apse (küçük oklar). Lezyonun çevreye göre daha sıvı yapıda olduğu, akustik zenginleşmenin varlığı (büyük oklar) ile belirlendi.

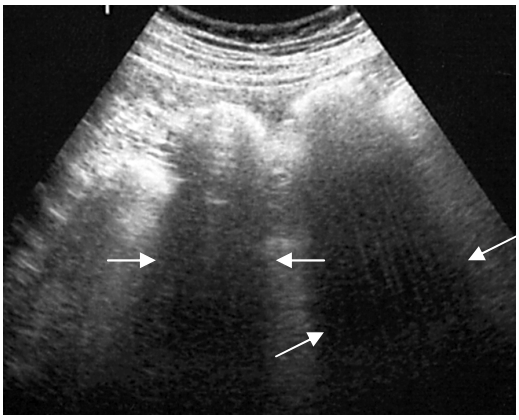
Kemik, kalsifikasyon ve taş

Suyun tersine kemikler ve kalsifiye yapılar sesi çok fazla zayıflatır. Ayrıca bu yapılarla, kendilerini çevreleyen yumuşak dokuların akustik direnci arasında oldukça büyük fark vardır. Bu yüzeylere gelen sesin yarısına yakını yankılanır. Dolayısıyla kemiklerin ya da kalsifikasyon kümelerinin veya taşların arkalarına geçen sesin miktarı çok azalır ve görüntülerde bu bölge simsiyah görülür. ***Akustik gölge*** adı verilen bu bulgu taşlar ve kalsifikasyonların tanınmasını sağlar (Resim 80). Bu fizik kural nedeniyle kemikler hem US ile görüntülenemezler hem de arkalarındaki dokunun incelenmesi için engel oluştururlar.

Resim 80. Akustik gölge. Safrakesesi içerisinde taş ve arkasında yoğun akustik gölge (oklar).

Hava

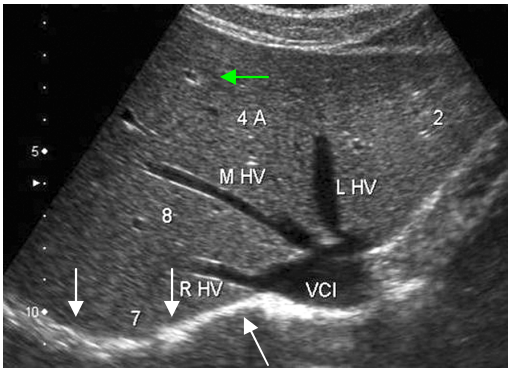
Sese davranışı oldukça farklı olan diğer yapı havadır. Akustik direnci vücut yapılarına göre ileri derecede düşüktür; dolayısıyla oluşturduğu yüzeylerden sesin tamamına yakın kısmı yansır ve arka kesime ses geçemez. Bu nedenle akciğerler ve bağırsak gazlarının arkalarındaki kesimler incelenemez. Sesin geçemediği arka kesimde akustik gölge oluşur. Ancak bu gölge kemik ve kalsifikasyonda olduğu gibi tamamen siyah değildir; gazın içerdiği kabarcıkların ekolarından dolayı enine çizgilenmeler görülür. Bu nedenle gazın arkasındaki görünüm ***kirli akustik gölge*** olarak tanımlanır (Resim 81).



Resim 81. Gaz gölgesi. Üst abdomenin US incelemesinde pankreasın görüntüsünü tümüyle kapatan *kirli akustik gölge* görünümü (oklar). Muhtemelen transvers kolon içerisindeki gaza bağlı. Bir önceki resimdeki taş gölgesi ile karşılaştırınız.

Yumuşak dokular

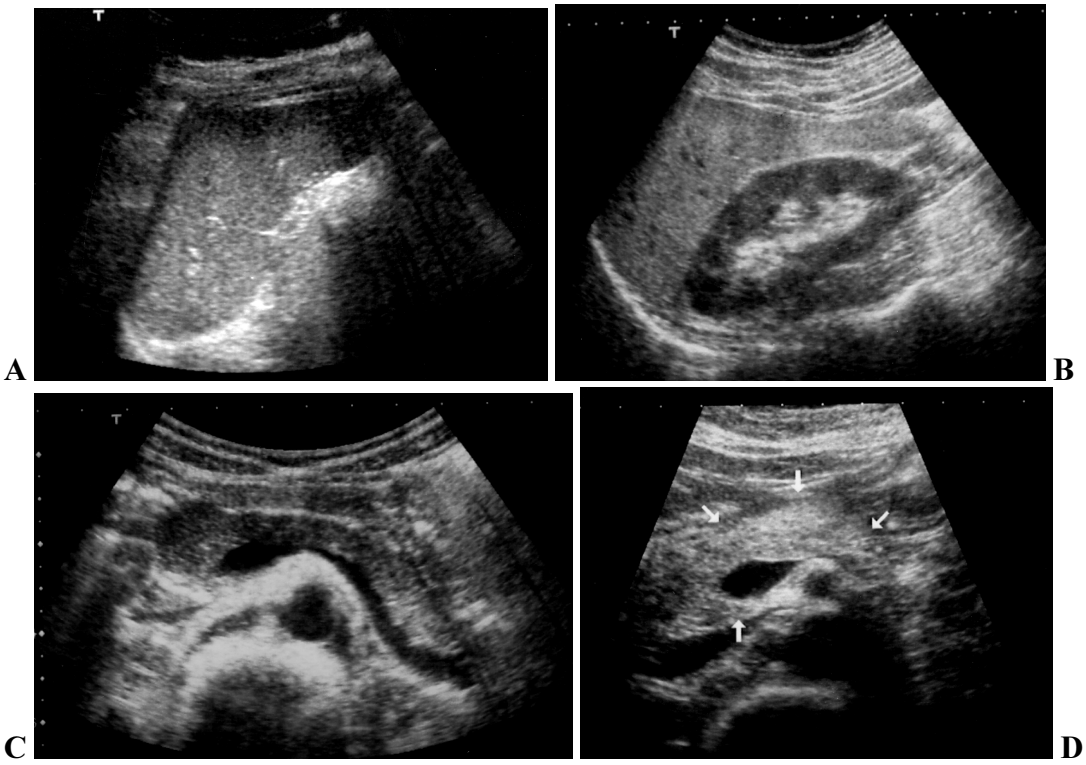
Karaciğer, dalak, pankreas, böbrek gibi parankimal organların, kendilerine has ince granüler yapıda ve değişik tonlarda, homojen parankim ekoları vardır. Karaciğerde, portal ven dallarının kenarları, Glisson kapsülü ile çevrili olduğu için hepatik venlerden daha ekojen görülür (Resim 82).



Resim 82. Karaciğerin transvers kesiti. Kaburga kavsi altından, proba başa doğru eğim verilerek alınmıştır. Diyafragma belirgin ekojen bir çizgi şeklinde (oklar). Portal ven kesitinin çevresi, hepatik venlere göre daha ekojen (yeşil ok). VCİ: vena kava inferior, RHV, MHV, LHV: sırasıyla sağ, orta ve sol hepatik ven.

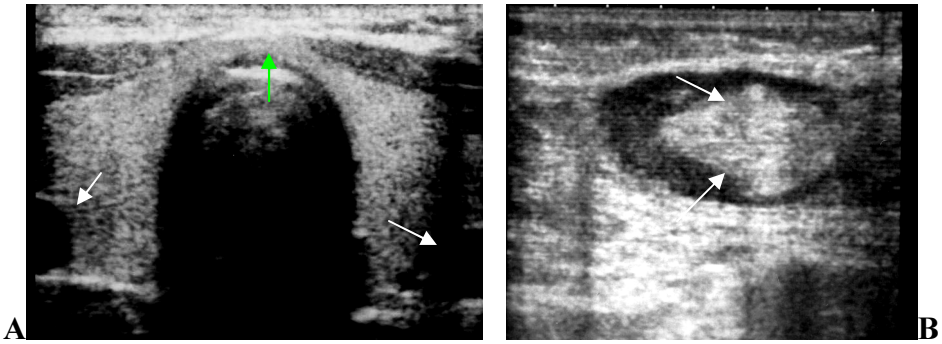
Diyafragma kalın fibroz bir dokudan yapılmıştır ve karaciğerle arasında belirgin akustik direnç farklılığı vardır. Buna bağlı olarak sesi fazla yansıtan reflektif bir yüzey gibi davranır ve karaciğerin arka yüzünü çevreleyen ekojen bir bant şeklinde görülür.

Dalağın eko yapısı karaciğere benzer. Pankreas, karaciğer ve dalaktan daha kaba granüler yapıdadır. Çocuklarda hipoekoiktir, ancak yaşlandıkça yağ infilitrasyonu nedeniyle ekojen hale gelir. Böbreklerin parankimi karaciğere göre hafif hipoekoiktir; ortasında piyelovasküler alanı temsil eden ekojen bir ada bulunur (Resim 83).



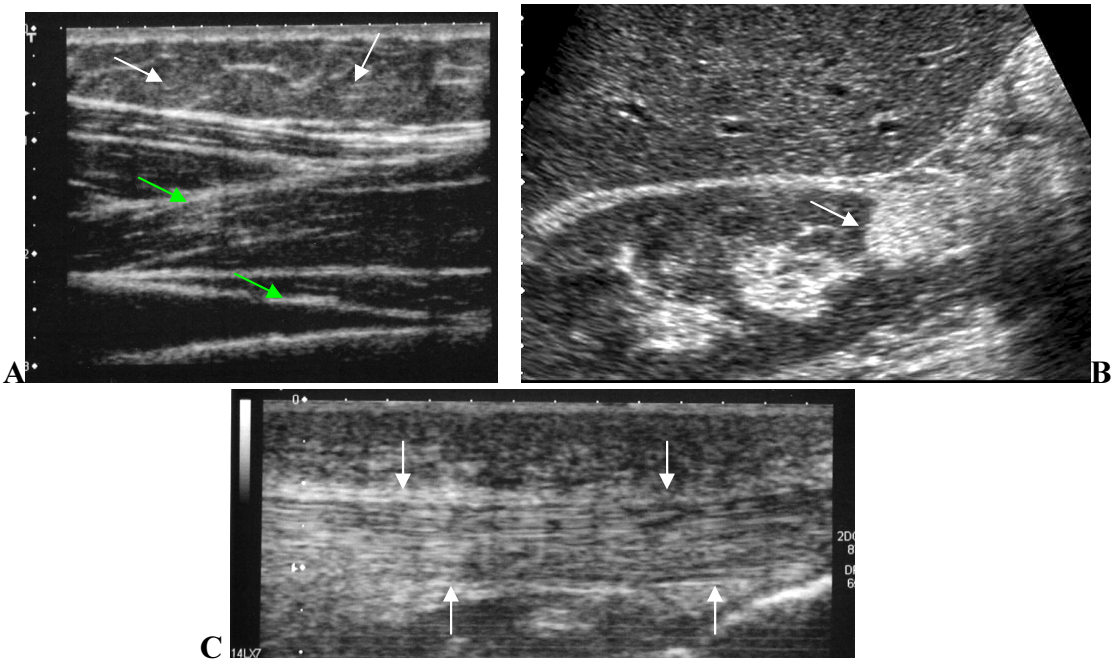
Resim 83. Parankimal organların US görünümleri. **A**. Dalak. Eko yapısı karaciğere çok benziyor. Karaciğerden farkı içerisinde o kadar belirgin damar yapılarının olmaması. **B**. Böbrek, Tipik fasülye şeklinde. Ortasındaki ekojen bölge piyelovasküler alanı temsil ediyor (oklar). **C**. Çocukta ve **D**. Yetişkinde pankreas (oklar). Aksiyal kesitler. Pankreas splenik ven üzerine oturuyor. Bezin ekojenitesi çocukta daha düşük.

Tiroid, parotis bezi ve testis de ince granüler ekojen yapılarıyla kendilerine has bir görünüme sahiptir. Normal lenf nodları oval yapıda, boyutları 1 cm'den küçük hipoekoik oluşumlardır. Hilus adı verilen giriş kesimlerinde ekojen yağ beneği bulunur. Bu şekildeki morfoloji boyun, koltuk altı gibi yüzeyel kesimlerde daha açık olarak izlenebilir (Resim 84).



Resim 84.Yüzeyel yapılar. A. Tiroid bezi. Aksiyal kesit. Ortada trakeadaki havanın akustik gölgesi, yanlarda karotid arterlerin enine kesitleri (oklar), Tiroid bezinin her iki lobu trakeanın önünde istmus kesimi ile birleşiyor (yeşil ok). **B**. Lenf nodu. Oval yapıdaki lenf nodunun ortasında ekzantrik yerleşimli hilusa ait ekojen yağ beneği (oklar).

Yağ dokusunun US görünümü değişkendir. Deri altı yağ dokusu komşu kas dokusundan hafif hiperekoik görülür. Buna karşılık lezyonların içerisindeki yağ dokusu belirgin hiperekoik görünümdedir. Çizgili kaslar hipoekoiktir. Çevreleyen fasiyalarla oluşturdukları yüzeyler ekojen çizgilenmeler şeklindedir. Tendonların fibrilleri de ince, hiperekojen çizgiler şeklinde tipik bir görünüm verir (Resim 85).



Resim 85. Yağ dokusunun, kasların ve tendonların US görünümleri. **A**. Deri altı yağ dokusu (oklar), kasları çevreleyeni fasiyaların neden olduğu ekojen çizgiler (yeşil oklar). **B**. Böbreğin alt kutbunda parankim içerisinde subkapsüler yerleşimde anjiyomiyolipoma ait ekojen görünüm. Ekojenite nedeni tümörün yağ içermesidir (ok). **C**. Aşil tendonu (oklar). Tendon içerisindeki fibrillerin oluşturduğu tipik çizgili görünüm.

Lezyonların US görünümü

Organ veya doku içerisindeki bir lezyonun US'de görülebilmesi için ekojenitesinin oturduğu dokudan farklı olması gerekir. Bir dokunun ekojenitesini belirleyen en önemli öge içerisindeki yansıtıcı yüzey konsantrasyonudur. Bu konsantrasyonun azalması dokunun su içeriğinin artması ile olur. Tipik örneği kalp yetmezliği gelişmiş bir hastada karaciğer ekojenitesinin düşmesidir. Malign tümörler de, su tutma sonucu reflektif yüzeylerin görece azalmasına bağlı olarak hipoekoiktirler. Bu nedenle karaciğerde metastatik kitleler genellikle hipoekoiktir. Akut pankreatitde olduğu gibi akut enflamasyonda da aynı nedenle ekojenite düşer.

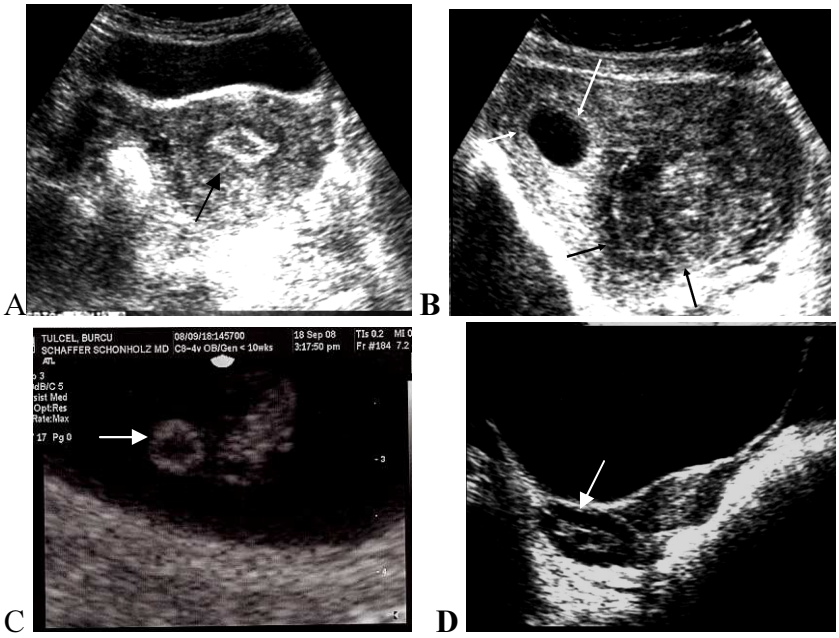
Reflektif yüzeylerin konsantrasyonunun arttığı kesimler hiperekoik görülür. Bunun tipik örneği karaciğerin en sık görülen beniğn lezyonu olan hemanjiyomlardır. Hemanjiyomlarda sinüzoidlerin duvarlarının oluşturduğu reflektif yüzeyler lezyonların hiperekoik görünümünden sorumludur. Buna karşın sıvı içeriklerinin çevreye göre sesi daha az zayıflatması, arkalarında hafif bir akustik zenginleşmeye neden olur (Resim 86).

Resim 86. Karaciğerde hemanjiomlar. Ekojen yapılarına rağmen arkalarında hafif akustik zenginleşme görülüyor (oklar). Düzgün kenar önemli bir tanı ölçütü.

Kontrast madde kullanımı
US incelemelerinde kontrast madde nadiren kullanılır, günlük pratik içerisinde yeri yoktur. Kontrast madde olarak 3-6 μ çapında kapsüllü hava kabarcıkları kullanılır. Kapsülleri insan albümininden yapılmıştır ve gazın istenilen süre kapalı kalmasını sağlar. Damara verilen bu madde ile damarsal lezyonların görünürlüğü artırılmaya çalışılır.

US'NİN KLİNİKTEKİ YERİ
US bir yumuşak doku inceleme yöntemidir. Özellikle sıvı dolu yapıları çok iyi görüntüler. Bu nedenle günümüzde parankimal organların ve yumuşak dokuların incelenmesinde ilk yöntem olarak uygulanır. Karnından yakınması olan olgularda neredeyse bir tarama testi şeklinde kullanılmaktadır. Kadın hastalıkları ve doğum alanında ve kardiyolojide temel inceleme yöntemi konumundadır. Yöntem klinisyen açısından gittikçe fizik muayenenin yerini almaktadır.

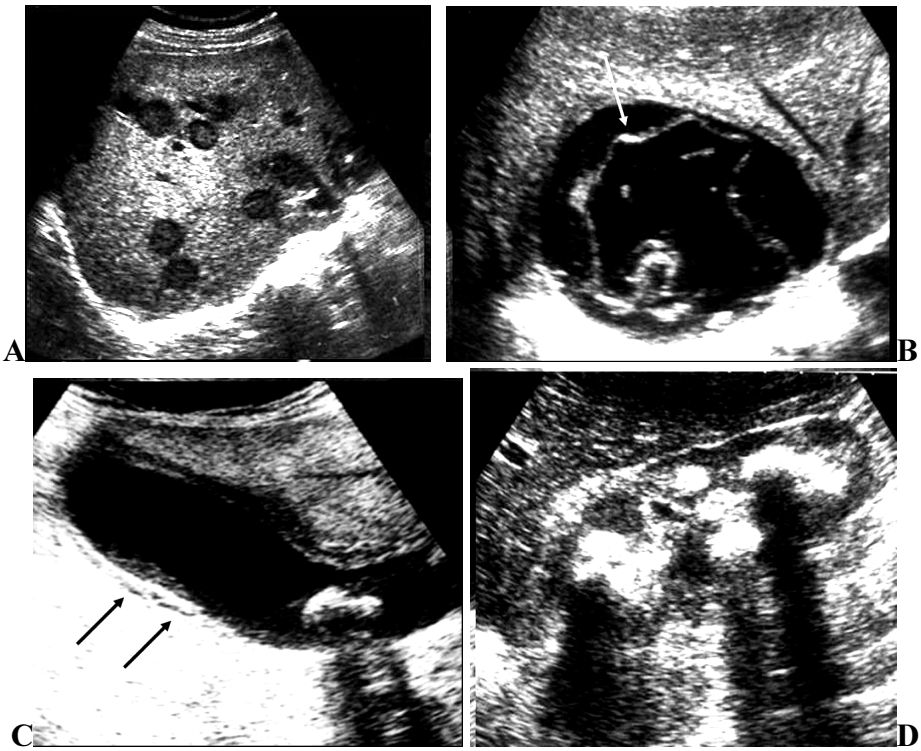
Kadın hastalıkları ve doğum
Büyük su dolu bir kese (amnion kesesi) içindeki fetüs US ile incelemeye çok elverişlidir. Ek olarak zararlı bir etkisinin olmaması da US'yi hamilelikte temel tanı yöntemi konumuna getirmiştir. Uterus ve overlerin incelenmesinde de US ilk ve temel yöntemdir (Resim 87).



Resim 87. Kadın hastalıkları ve doğum disiplini içerisinde US'nin kullanımı ile ilgili örnekler. **A**. Uterusun enine kesiti. Üzerinde az miktarda idrarla dolu mesane görülüyor. Endometrium iki ekojen yaprak şeklinde (ok). **B**. Transvajinal US. Uterusta miyom (siyah oklar) ve boş gestasyonel kese (beyaz oklar).Sagital kesit. **C**. Erken gebelik döneminde fetüsün ve fetüse bağlı yolk kesesinin (ok) görünümü (transvajinal US), **D**. Transvers oblik kesitte sağ overin görünümü (ok). Uterus duvarına dayanmış. Mesane dolu.

Parankimal ve kistik organlar

Karaciğer, pankreas, dalak ve böbrek US ile çok iyi incelenir. Doğal su dolu yapılar (kistik) olan safra kesesi ve mesane de US incelemesi için çok uygun yapılardır. (Resim 88).



Resim 88. Parankimal ve kistik organların patolojilerinden örnekler. **A**. Karaciğerde hipoekoik metastazlar (oklar), **B**. Karaciğerde hidatid kist. Kistin germinatif membranı kist içine çökmüş (ok), **C**. Safra kesesi taşı ve kolesistit. Taşın arka kesiminde akustik gölge. Kese duvarı, iltihabi infiltrasyon nedeniyle kalınlaşmış (oklar), **D**. Böbrek taşları. Üst, orta ve alt kesimlerde arkasında yoğun akustik gölgesi bulunan ekojen taşlar.

Yüzeyel yapılar

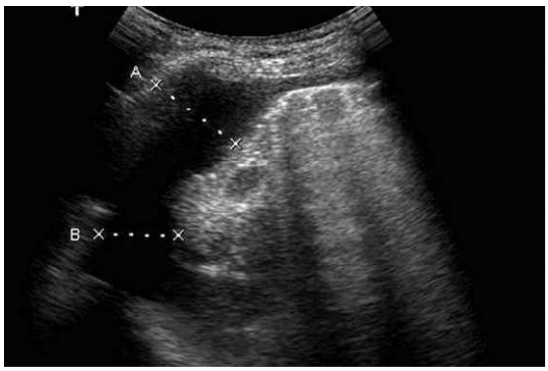
Yüksek frekanslı problarla incelenirler. Tiroid, paratiroid, tükrük bezleri, göz küresi, lenf bezesi büyümeleri, meme, omuz ekleminde rotator kılıf yırtıkları, gelişimsel kalça eklemi çıkıkları (femur başı ossifiye olmadan önce), yumuşak doku lezyonları ile testis ve skrotum ayrıntılı bir şekilde görüntülenebilir (Resim 89). Transrektal problarla prostat incelenir ve kanser şüphesinde biyopsi yapılır

A **B** **C**

Resim 89. Yüzeyel yapı patolojilerinden örnekler. A.Tiroid sağ lobundan yapılan aksiyal kesitte hipoekoik nodül görünümü (oklar), **B**. Kalça US; yandan koronal kesit. Henüz ossifiye olmamış femur başı (oklar). **C**. Skrotal US. Testiste tümöre ait hipoekoik kitle (oklar).Testisin parankimi ince granüler, homojen, ekojen yapıda.

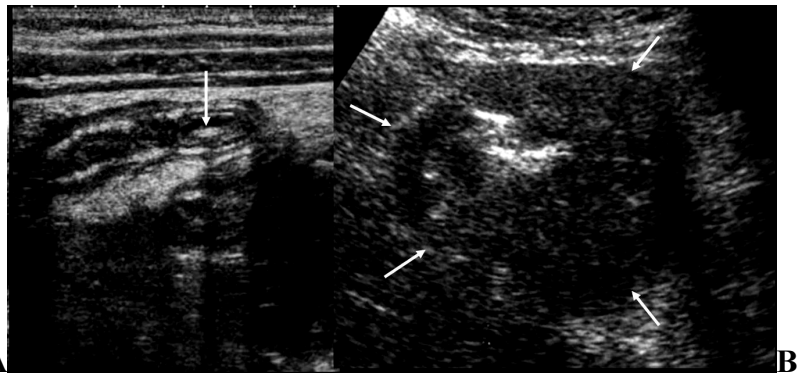
Gazlı organlar

Gaz varlığı US'nin akciğer ve sindirim borusundaki uygulamasını sınırlar. Buna karşın göğüs duvarına dayanan oluşumlar, arada gaz bulunmayacağı için US ile çok iyi incelenebilir. US plevral sıvıyı saptamada en duyarlı yöntemdir (Resim 90).



Resim 90. Plevral sıvı
(işaretler arasındaki anekoik bölge).

Gaz içermeyen bağırsak segmentleri de US ile görüntülenir. İlginç olan nokta, hastalık nedeniyle duvarı kalınlaşmış bağırsak kesimlerinin genellikle gaz içermemesidir. Bu nedenle sindirim borusu duvarının kalınlaşmasına neden olan tümöral veya iltihabi infiltrasyon US ile saptanabilir (Resim 91). Akut apandisit tanısında da yöntemin duyarlılığı çok yüksektir ve ilk kullanılacak tanı yöntemidir.

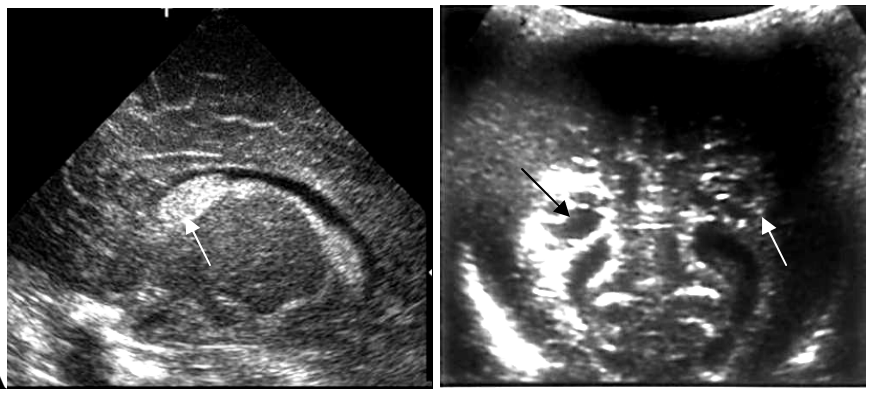


A **B**

Resim 91. Bağırsak patolojilerinden örnekler.
A. Akut apandisit: Uzunlamasına kesit. Duvarda kalınlaşma ve uç kesiminde appendikolit (appendiks taşı) ve akustik gölgesi (ok),
B. Bağırsak tümörüne ait kitle görünümü (oklar).

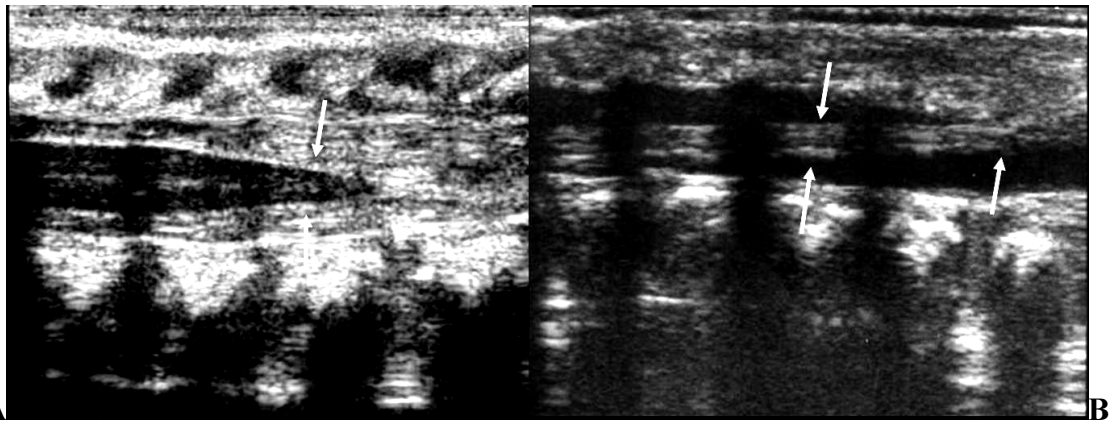
Yenidoğanda beyin ve omurilik

Kemik, US için bir engeldir. Bu nedenle erişkinde beyin dokusu US ile incelenemez. Buna karşılık fontaneli açık bebeklerde beyin çok iyi görüntülenebilir. Bu incelemeye transfontanel US adı verilir (Resim 92). Bir yaşına kadar olan bebeklerde, kemikleşmenin henüz çok az olması nedeniyle, omurilik de US ile incelenebilir (Resim 93).



A **B**

Resim 92. Transfontanel US örnekleri. **A**. Germinatif matriks kanaması (ok) (sagital kesit). Görüntü sektör probla alınmıştır. **B**. Periventriküler kistler (oklar) (aksiyal kesit). Hipoksik iskemik ensefalopati sekeli. Görüntü konveks probla alınmıştır.



A **B**

Resim 93. Medüller kanalın US incelemesi. **A**. Normal konus medüllaris (oklar), **B**. Bağlı kord sendromunda gergin bir şekilde bağlanmış medülla spinalis (oklar). Çevresinde artmış BOS'a ait hipoekoik sıvı birikimi.

Kardiyoloji

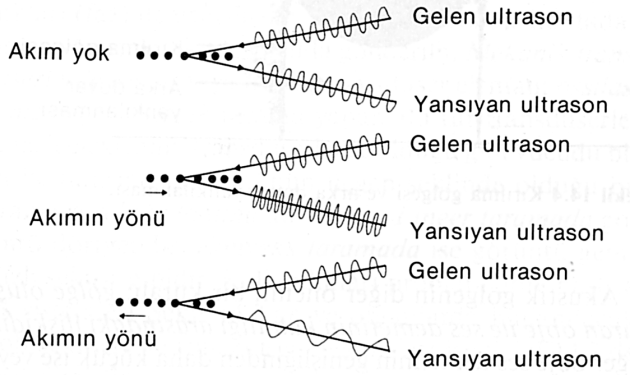
US kalbin temel inceleme yöntemidir. Ekokardiyografi adı verilen yöntem kalp ve büyük damarları ile ilgili morfolojik ve fonksiyonel bilgiler verir. Yöntem klinikte kardiyologlar tarafından uygulanır.

DOPPLER US

Sabit frekansla ses veren bir kaynak hareket ederse, hareket yönünde sesin frekansı artar, aksi yönde ise azalır. Böyle bir ses kaynağı bize yaklaştıkça daha tiz (artmış frekans, kulağa gelen sesin dalga sayısı artmıştır), uzaklaştıkça daha pes (azalmış frekans, kulağa gelen sesin dalga sayısı azalmıştır) işitilir. Bu şekilde harekete bağlı frekans kaymalarına, olayı tanımlayan Avusturyalı fizikçinin adından dolayı (J. C. Doppler, 1948) *Doppler kayması* adı verilir.

Gönderdiğimiz sesle yansıyan sesin arasındaki frekans farkı (Doppler kayması) saptanarak akımın hızı belirlenebilir. Yansıyan sesin frekansı gönderdiğimiz sesin frekansından yüksekse

akım transdusıra yaklaşıyor, düşükse akım transdusırdan uzaklaşıyordur; eşitse damarda akım yok demektir (Şekil 18).



Şekil 18. Doppler US'de akım bilgisi.

İNCELEME YÖNTEMİ

Doppler US ile akım incelenir. Damarda akan kandaki eritrositler gibi şekilli elemanlar, hareketli yapılardır; ses bu yapılardan yansır. Ses kısa pulslar şeklinde gönderilir ve ekoların frekansları kaydedilir. Gönderilen sesin frekansı ile ekonun frekansı arasındaki fark (Doppler kayması) akımın hızı ile doğru orantılıdır.

Doppler US ile damar incelemesinde amaç kan akımını bozan damar darlığının belirlenmesidir. Bunun için akımın oluşturduğu Doppler kayması renkle kodlanır ve/veya zamana karşı grafiklenir. Bu grafiklemeye spektral Doppler adı verilir.

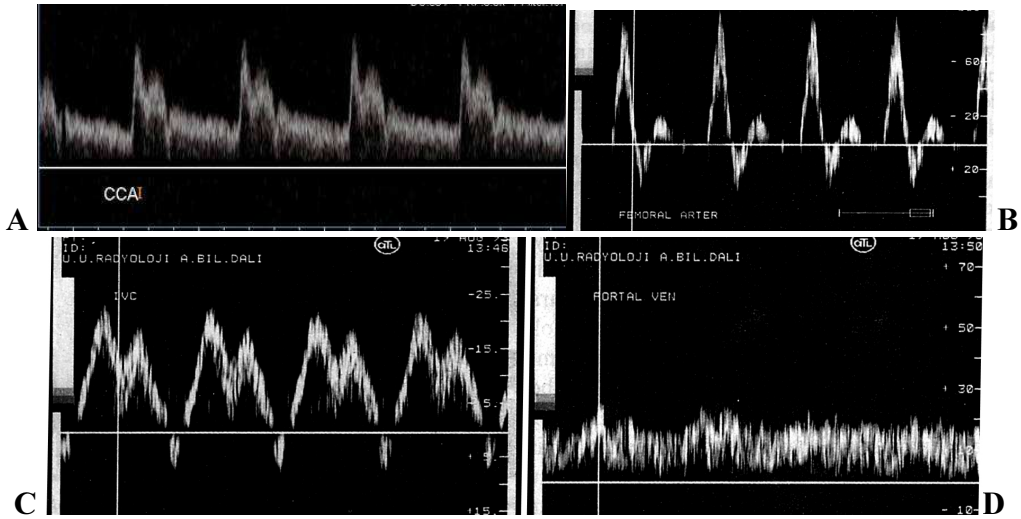
Spektral Doppler

Damar içerisinde küçük bir alan *(kapı-"gate")* seçilerek bu alandan geçen akımın bilgisi hız-zaman grafiği şeklinde yazdırılır. Grafiğin dikey koordinatı hızı, yatay koordinatı zamanı gösterir. Her damar sistemindeki akım farklıdır (Resim 94). Lümeni daralmış ve düzensizleşmiş arterlerdeki akımın normal grafiği de değişir (Şekil 19). Akım çizgisinin kalınlaşması ölçülen alandaki hızların farklılaşması demektir. Bu bulgu genellikle darlıklara eşlik eder. Çizginin en yüksek noktası akımın pik hızını verir. Çizginin karşı tarafa geçmesi tersine akımı gösterir.

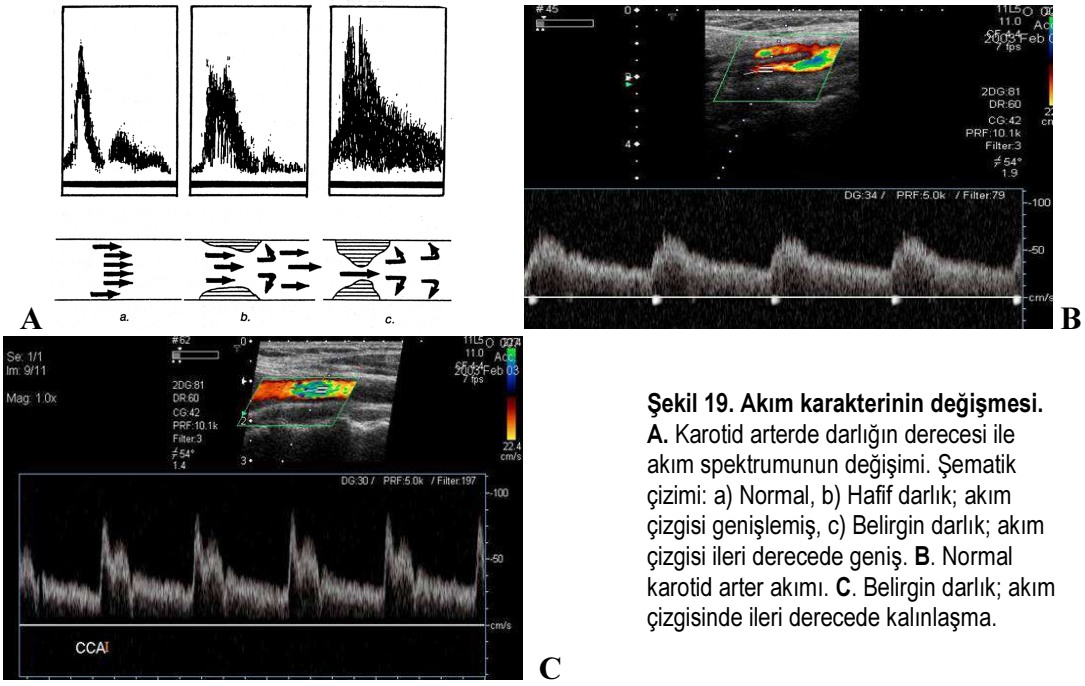
Doppler US incelemelerinde gönderilen ses pulsunun incelenen damarın aksı ile yaptığı açı gibi ölçütlerin ölçüm sonuçları üzerideki etkisi çok fazladır. Bu etkiyi en aza indirmek için akım profili kendi içerisinde birtakım oranlamalarla değerlendirilir. Arterlerde bir sistol ve diyastolden oluşan bir siklusun profili üzerinde yapılan ölçümlerden oranlamalar yapılarak indeksler (rezistiv indeks, pulsatilite indeksi gibi) belirlenir. Bu indekslerle akımın karakteristiği yarı kantitatif olarak değerlendirilir (Şekil 20). Böylece inceleme tekniğine bağlı uyumsuzluklar ve hata olasılığı en aza indirilmiş olur.

Renkli Doppler

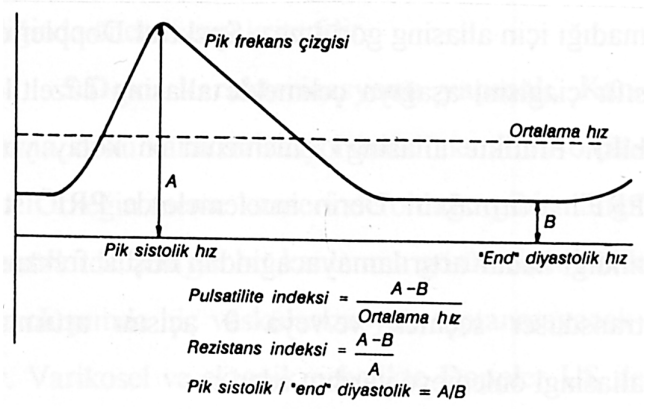
Spektral Dopplerdeki akım bilgisi damar içerisinde seçilen küçük bir kapıdaki akımın bilgisidir. Gelişen teknoloji sayesinde veri toplama ve işleme hızları artmıştır. Gri skala görüntüsü üzerinde bir bölge seçilerek, tüm damarlardaki akım, bu şekildeki küçük kapılarla aynı anda incelenebilir. Her kapıdaki Doppler kaymasının fazı ve ortalama frekansı belirlenip renkli bir cetvele göre kodlanırsa akımın renkli bir görüntüsü elde edilmiş olur.



Resim 94. Farklı damarlardaki normal akım spektrumları. A. Ortak karotid arter, **B**. Femoral arter (istirahatte). Çizginin altına geçen küçük kesim, akımın diyastol sonunda az miktarda ters yöne doğru olduğunu gösteriyor. **C**. İnferior vena kava, **D**. Portal ven.



Şekil 19. Akım karakterinin değişmesi. A. Karotid arterde darlığın derecesi ile akım spektrumunun değişimi. Şematik çizimi: a) Normal, b) Hafif darlık; akım çizgisi genişlemiş, c) Belirgin darlık; akım çizgisi ileri derecede geniş. **B**. Normal karotid arter akımı. **C**. Belirgin darlık; akım çizgisinde ileri derecede kalınlaşma.



Şekil 20. Akımın yarı kantitatif analizi

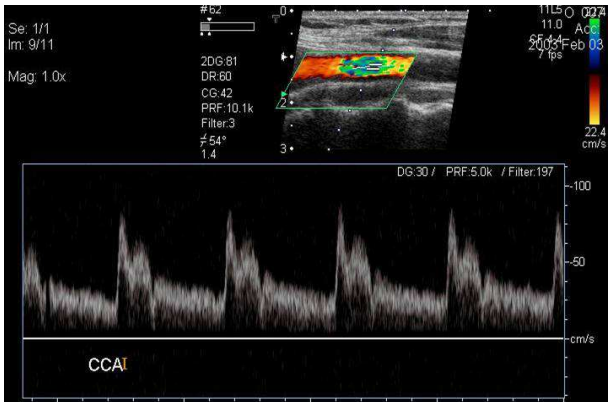
Kodlama birbirine ters yönlerdeki akımı gösteren mavi ve kırmızı gibi iki ana renkle yapılır. Akımın hızı ise renklerin tonu ile, yetmezse yardımcı renklerle belirtilir. Açık tonlar görece hızlı akımı gösterir; akım daha da hızlı ise mavi tarafta yeşil, kırmızı tarafta sarı tonlarla gösterilir. Bu nedenle bir renkli Doppler incelemesi, görüntünün yanındaki renkli cetvele bakarak yorumlanır. Renkli Doppler US, akımı değerlendirmede spektral Doppler kadar duyarlı değildir. Bunun nedeni, akımı kodlayan renklerin, kapılardaki akım hızlarının ortalamalarını göstermesidir.

DOPPLER İLE DAMAR NASIL İNCELENİR?

Bir damarın Doppler incelemesine US görüntüleme ile başlanır. Damar önce anatomik olarak incelenir; damarın iç yüzeyindeki düzensizlik, kolesterol plakları ve kalsifikasyon araştırılır. Daha sonra kan akımının niteliği ve niceliği incelenir. Akım renkle kodlanır, akımın yönü ve şekli belirlenir. Renklerin tonlamasına bakarak akımın hızı hakkında kabaca bir fikir sahibi olunabilir. Darlıklardan sonra, akımın girdap yaparak tersine döndüğü alanlar, karşı renkle kodlanır. Hızın çok arttığı belirgin darlıklarda *renk mozayiği* ortaya çıkar. Ülsere aterom plaklarında, ülsere alan içerisine renk dolarak daha iyi görülmesini sağlar.

Damar darlığının daha duyarlı saptanması için akım hızının ölçümü gerekir. Bunun için görüntülenen damar, spektral Doppler ile incelenir. Kapı damarın ortasına yerleştirilir. Akan kanın miktarının değişmemesi için, örneğin damar çapı yarıya inmişse akım hızı iki misli artmalıdır. Hız-darlık ilişkisi darlığın %50'yi geçtiği durumlarda anlamlı sonuç verir. Bu ilişki lümenin %95'den daha fazla daralarak akım hızının birden düştüğü kritik noktaya kadar geçerlidir. Grafik üzerinde ölçümler yapılarak hem darlığın derecesi saptanabilir, hem akımın niteliği akım indeksleri ile (rezistiv indeks, pulsatilite indeksi) sayısal olarak gösterilebilir.

US görüntüsü ile birlikte, akımın spektral Dopplerle grafiklenerek ölçülmesine ***dupleks Doppler,*** görüntüye renkli Doppler *eklenirse* ***renkli dupleks Doppler*** veya ***tripleks Doppler*** yöntemi adı verilir (Resim 95).



Resim 95. Karotid arterin renkli dupleks Doppler incelemesi.

Doppler US'de gönderilen ve dönen sesin frekansları arasındaki fark 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 günümüzdeki en gelişmiş Doppler aygıtlarında bile hoparlörler varlıklarını sürdürmektedir.

DİĞER DOPPLER YÖNTEMLERİ

"Power" Doppler

Akımın renkle kodlandığı diğer bir Doppler yöntemidir. Renkli Doppler görüntülerinde kullanılan veri, Doppler kaymasının frekansı ve fazı idi. Dolayısıyla akımın hızı ve yönü

belirleniyordu. Power Dopplerde ise veri kaynağı Doppler kaymasının genliğidir (amplitüdü); frekans bilgisi olmadığı için akımın hızı, faz bilgisi olmadığı için akımın yönü saptanamaz. Kodlanan sadece akımın miktarıdır; hangi renk kullanılıyorsa, o rengin parlak tonları akımın fazla, koyu tonları az olduğunu gösterir.

Yöntem renkli Dopplere göre daha az miktarlardaki akımları saptar. Akımı saptamadaki bu yüksek duyarlılığına rağmen, akımın yönü ve hızı hakkında bilgi vermemesi nedeniyle renkli Doppler yerine kullanılamaz. Harekete aşırı duyarlı olan bu yöntemin klinikteki kullanımı sınırlıdır.

Devamlı dalga Doppler

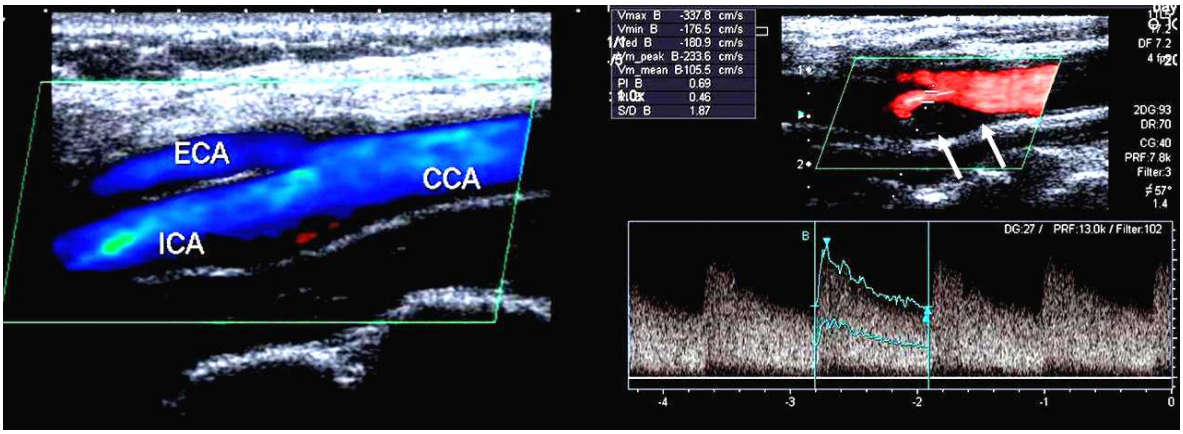
Şimdiye kadar anlatılan Doppler yöntemleri puls-eko sistemine dayanır. Sesin devamlı olarak gönderildiği, dönen ekoların ise devamlı işlenerek Doppler kaymasının hesaplandığı sistemler de vardır. Bu sistemlerde ayrı ayrı ekolar olmadığı için mesafe ölçmek, dolayısıyla görüntü elde etmek mümkün değildir. Ekolardan hesaplanan Doppler kayması, ses olarak üretilir. Devamlı dalga Doppler ("continious wave Doppler") adı verilen bu yöntemde görüntü veya grafik yoktur.

Devamlı dalga Doppler cihazları el radyosuna benzer küçük bir kutu şeklindedir. Cihaza kordonla bağlı küçük bir probu vardır. Probda sırt sırta monte edilmiş, biri sesi devamlı olarak gönderen, diğeri alan iki transdusır bulunur. Prob incelenecek damara en yakın cilde yerleştirilerek damara doğru yönlendirilir. Damardan akan kanın neden olduğu Doppler kaymasına ait ses dinlenerek akımın varlığı, hızı ve şekli hakkında bir fikir edinilir. Klinikte en sık damar cerrahları tarafından ekstremitelerdeki akımı değerlendirmek için kullanılır. Obstetrikte de çocuğun kalp seslerinin izlenmesi amacıyla kullanılmaktadır.

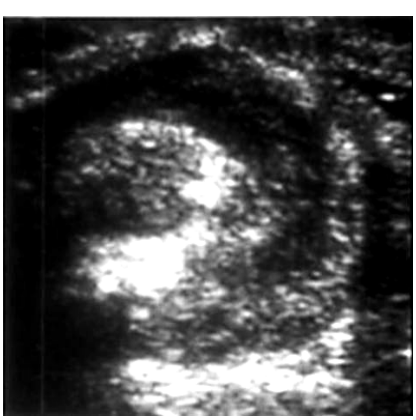
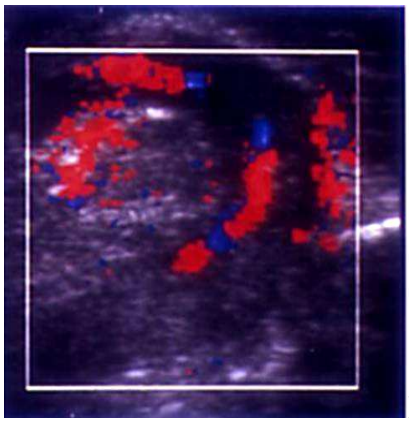
DOPPLER US'NİN KLİNİKTEKİ YERİ

Doppler US incelemelerinin temel endikasyonu şunlardır:

1. Damardaki kan akımının varlığını, yokluğunu ve yönünü saptamak (Resim 96)
2. Akımın şekline bakarak ve hızını ölçerek, damar darlığını ve derecesini saptamak
3. Spektrum üzerinden ölçümler yaparak, indekslerle akımı yarı-kantitatif bir şekilde analiz ederek incelenen bölgedeki damarlanmayı değerlendirmek
4. Bir lezyonu damarlanmasını inceleyerek karakterize etmeye çalışmak (Resim 97)



Resim 96. Doppler US şekilleri. **A**. Renkli Doppler: Normal ortak karotid arter (CCA), internal karotid arter (ICA) ve eksternal karotid arter (ECA), **B**. Renkli dupleks Doppler. ICA'da aterom plağına bağlı darlık (oklar). Spektral Dopplerde akım çizgisinin ileri derecede genişlediği ve altındaki pencereyi kapattığı görülüyor .

A   B

Resim 97. İnvajinasyonun (bağırsağın iç içe geçmesi) tedavi yönteminin seçiminde Doppler US'nin yeri. A. İnvajinasyonun US görünümü, **B**. Renkli Doppler ile barsak duvarının kanlanmasının olduğu gösterilmiş. Bu bulgu bağırsak duvarının canlı olduğu lehine yorumlanarak, iç içe geçen kesim geri basınçla açılmaya çalışılır. Kanlanma saptanamaması, bağırsağın nekroze olduğunu düşündürür ve perforasyon tehlikesi nedeniyle basınçla açma işlemi yapılmaz, tedavi doğrudan cerrahidir.

US YÖNTEMLERİNİN GÜÇLÜ VE ZAYIF YANLARI, ZARARLI ETKİLERİ

Güçlü yanları

1. İyonizan ışın kullanılmaz. Bilinen hiçbir zararlı etkisi yoktur. Bu nedenle hamilelerde ve çocuklarda ilk ve temel tanı yöntemidir.
2. US aygıtları taşınabilir olduğundan, yatak başı inceleme yapılabilir. Bu özelliği, özellikle erken doğan ve özel ortamlarda (küvözde) yaşatılan bebeklerde ve yoğun bakım ünitelerinde çok değerlidir.
3. US aygıtları ve inceleme görece ucuzdur ve inceleme basittir. İnceleme sırasında hastaya hiç rahatsızlık verilmez.

Zayıf yanları

1. Görüntü canlı olduğu için inceleme süreci tanıda en önemli evredir. Probun duruşu ile kesit düzleminin değişmesi, standart kesit almayı zorlaştırır. BT gibi standart açık görüntüleri olmadığı için tanı, incelemeyi yapan kişinin bilgi ve beceri düzeyine çok bağlıdır. Bu ilişki Doppler US'de daha sıkıdır ve Doppler US eğitiminin uzun olması da bir dezavantajdır.
2. Hava ile dolu olan normal akciğerler görüntülenemez. Bağırsak gazları da, eğer uygun bir pencere bulunamazsa, arkalarındaki yapıların incelenmesini engeller.
3. Ses kafa kemiklerini yeteri kadar geçemediği için yetişkinde kafa içi yapılar US ile görüntülenemez.

Zararlı etkileri

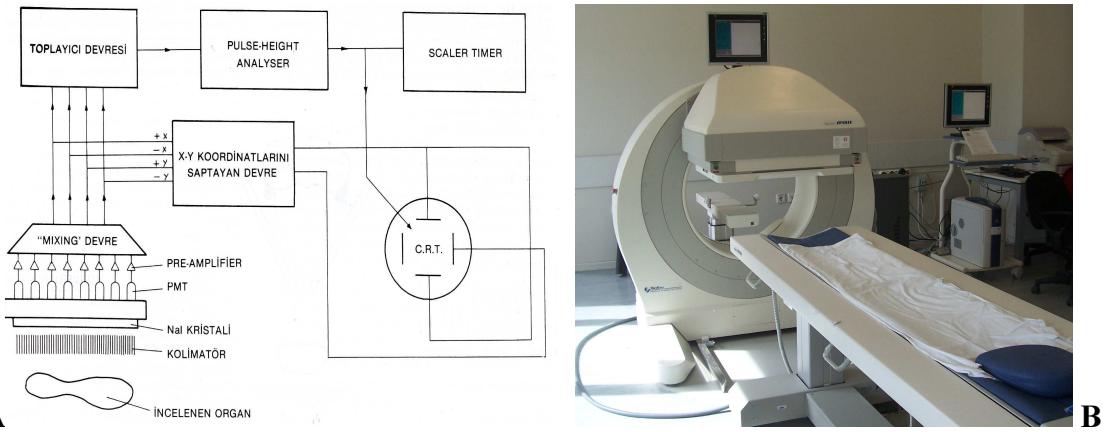
Diyagnostik amaçlı kullanılan yüksek frekanslı sesin hiçbir yan etkisi yoktur. Bununla birlikte renkli Doppler incelemelerinde kullanılan yüksek frekanslı sesin intensitesi yüksek olduğundan, ABD'de "food and drug" (FDA) komisyonunca obstetrik incelemede sesin gücü 94 mW/cm^2 ile sınırlandırılmıştır.

Radyonüklid Görüntüleme

Bir Nükleer Tıp yöntemi olan radyonüklid görüntüleme (RG), hekimlik uygulamalarında radyolojik yöntemler gibi kullanılır ve birçok gelişmiş ülkede radyolojinin bir alt dalı konumundadır. Ülkemizde ayrı bir uzmanlık dalı olması nedeniyle bu bölümde yöntem hakkında kısa bilgi verilecektir.

Radyonüklid görüntülemede kullanılan radyan enerji gamma (γ) ışınıdır. Gama ışını radyoaktivitenin ürünüdür ve çekirdek parçalanması sonucu ortaya çıkar. Gama ışın kaynağı olan radyoaktif maddeler vücuda, incelenecek organ tarafından tutulan bir maddeye bağlanarak verilir. Bu bileşiklere *radyofarmasötik* denir.

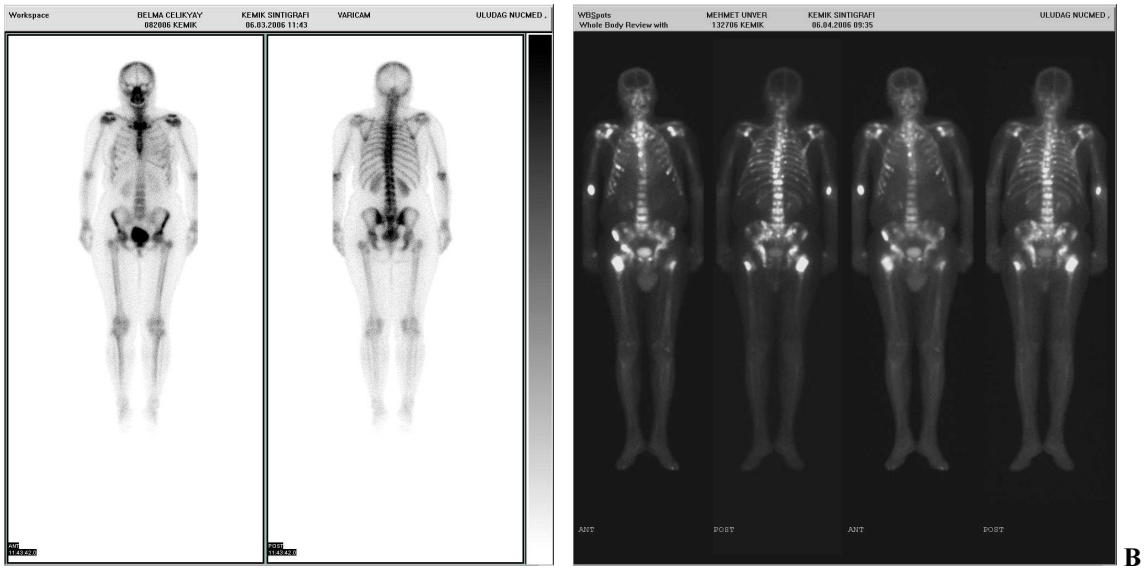
Yöntem, incelenecek organa uygun radyofarmasötiğin organdaki dağılımının detektörlerce saptanması temeline dayanır (Şekil 21). Saptanan her gamma ışınının dedektörde bir sintilasyon (parlama) şeklinde görülmesi nedeniyle bu yönteme ***sintigrafi*** adı da verilmiştir. Yöntemde incelenecek doku veya organın, sintilasyonların karşıtı olan noktalardan oluşan bir haritası çıkarılır (Resim 98, 99) veya radyoaktivite birikiminin zamana karşı bir grafiği çizdirilir.



Şekil 21. Gama kamera aygıtı. A. Şematik görünümü**.** İncelenen organ tarafından tutulan radyofarmasötikten yayılan gama ışınları, ışın saçılmasını önleyen kolimatörden geçtikten sonra sintilatöre (NaI kristali) çarparak ışık fotonları oluşturur. Bu fotonlar fotomultiplier tüpleri (PMT) ile elektrona çevrilerek yükseltilir. Elektronik bir düzenek, saptanan bu sintilasyonları lokalize eder. Sintigrafik görüntü bu sintilasyonların karşılığı olan parlak noktalardan oluşur. **B**. Dikdörtgen şeklindeki gama kamera hasta masasının çevresinde istenilen konuma gelebilir.

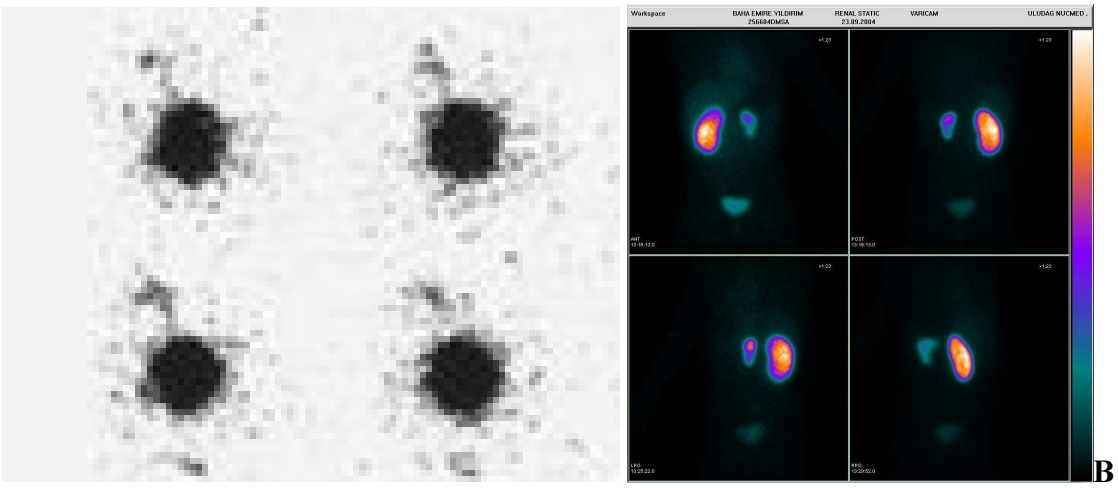
İncelenen organdan gelen gamma ışınları, organın noktalardan oluşan iki boyutlu bir resmini oluşturur; üçüncü boyuttaki radyoaktivite görüntüde üst üste düşer. Bu nedenle derinde yerleşen belirli boyuttan küçük lezyonlar sintigrafi ile saptanamayabilir. Üst üste düşmeyi ortadan kaldırmak için yönteme kesit alacak teknoloji (hasta etrafında dönebilen çift kamera ve güçlü bilgisayar sistemi) entegre edilmiştir. Bu yönteme ***Tek Foton Bilgisayarlı Emisyon Tomografisi*** *("Single Photon Emission Computed Tomography"*-**SPECT)** adı verilmiştir (Resim 100).

Pozitron kaynağı radyonüklidlerin kullanıldığı tomografik sintigrafi yönteminin adı da ***Pozitron Emisyon Tomografisi***dir **(PET)**. Bu yöntemle, pozitron kaynağı radyonüklidlerle işaretlenmiş glikozun hücreler tarafından tutulumu görüntülenir.



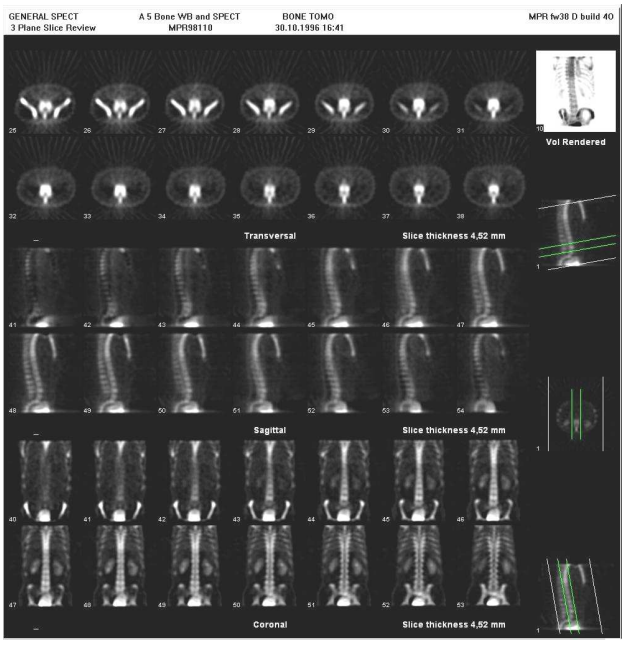
A B

Resim 98. İskelet sintigrafisi. A. Normal. Vücudun ön ve arka kesimlerindeki kemik yapıların daha iyi görülebilmesi için standart bir iskelet sintigrafisi, ön ve arka projeksiyonlarda çalışılır. Sintilasyonlar siyah noktalarla gösterilmiş. **B**. Prostat kanseri metastazı. Omurga, pelvis kemikleri, femur proksimal uçları ve kaburgalarda artmış aktivite alanları. Hastanın sağ kolunda enjeksiyon yerinde damar dışına kaçan radyoaktif maddenin oluşturduğu sıcak alan. Sintilasyonlar beyaz noktalarla gösterilmiş.



A B

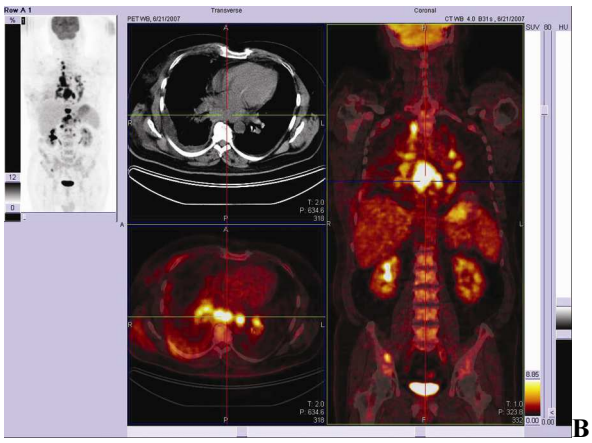
Resim 99. Üriner sistem uygulamaları. A. Nükleer VSÜG. Sağ tarafta IV. derecede reflü. İşlem röntgende yapılanın aynısıdır. Kontrast madde yerine radyoaktif madde, floroskopi yerine gama kamera kullanılır. Görüntünün çözümlemesi röntgene göre belirgin şekilde düşük, ancak alınan ışın röntgenden azdır. **B**. Böbrek sintigrafisi (sol atrofik, sağ normal). Sağ üstteki görüntü önden diğerleri arkadan alınmış. Aktivitenin derecesi renklerle kodlanmış.

A 

B

Resim 100. SPECT. **A**. SPECT aygıtı. Hastanın her iki yanında iki kamera görülüyor. İşlem sırasında kameralar birbirine bağlı olarak dönerek görüntü alır. **B**. İskelet SPECT. Sol üst köşede planar sintigrafi, altındaki sütunda tomografik kesitlerin geçtiği yerleri gösteren skenogramlar var. Diğer görüntüler ardışık tomografik kesitler.

PET görüntüleri günümüzde BT kesitlerinin üzerine yerleştirilerek üretilir. Bu şekilde görüntü oluşturan aygıtlara PET-BT adı verilir (Resim 101). Böylece BT'nin anatomik çözümlemesi mükemmel olan görüntüleri üzerine, PET'in fonksiyonel bilgileri oturtulmuş olur. Yöntemin temel kullanımı kanserin vücuttaki yayılımının araştırılmasıdır. Kanserli hücrelerin metabolizması normal hücrelerden yüksektir; glikozu daha fazla tutar. Yöntemin duyarlılığı çok yüksektir; ancak metabolizması yüksek enflamatuar olaylar benzer görünümler verebilirken bazı kanser türlerinin metabolizmaları da yüksek olmayabileceğinden özgüllüğü düşüktür.

A 

B

Resim 101. PET-BT. A. PET-BT cihazı. Gantri içerisinde hem gama ışınlarını saptayan detektör halkası, hem de x-ışını tüpü ve detektör zinciri mevcut. **B**. PET-BT görüntüsü. Hiler ve mediyastinal lenf nodu tutulumu. Aksiyal BT, aksiyal ve koronal PET-BT füzyon ve koronal reformasyon görüntüleri.

Radyonüklid görüntüleme, anatomik bilgiler vermekle birlikte, temelde fonksiyonel bilgilerle yüklü bir radyolojik tanı yöntemidir. Klinikte anatomik verilerinden daha çok, sağladığı fizyolojik bilgileri nedeniyle tercih edilir.

Radyolojik Tanı Yöntemleri Ne Yapabilir, Nasıl İstenir ve Klinikteki Yeri Nedir?

"*Primum non nocere*"
(Önce zarar vermeyeceksin!)

- Saptama
- Karakterize etme
- Radyolojik bir tetkik istenirken uyulması gereken temel kurallar,
- Hangi organ sisteminde hangi yöntem?.

Radyolojik yöntemlerle organ ve dokuların anatomisi ve varsa patolojik değişiklikleri genellikle gri bir ölçek aracılığı ile bir fotoğraf şeklinde gösterilir. 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 gri ton değişiklikleri vardır. Örneğin karaciğerde yağlanma, karaciğeri büyütebileceği gibi US'de ekojenite artışına, BT'de ise yoğunluk azalmasına neden olur. Lezyon dendiğinde ise daha çok yerleştiği organdan farklı görülen yerel anormallikler kastedilir. Lezyonun radyolojik olarak saptanmasını sağlayan temel özellikler gri ton farkı ve normal anatomik oluşumlardaki yer ve şekil değişiklikleridir.

Radyolojik yöntemlerin temel işlevi, varsa anormalliği saptama ve saptadığı anormalliğin yapısını söylemeye çalışma, yani karakterize etmedir; ancak saptama yetileri, karakterize etme yetilerinden çok yüksektir.

SAPTAMA
Bir yöntemin saptayabileceği en küçük boyut yöntemin kullandığı teknoloji ile belirlenir. Buna yöntemin ***çözümleme gücü (rezolüsyon)*** 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 çevresinden farklı olmasıdır; buna ***kontrast a***dı verilir. Bir lezyonun görülebilmesi için, çevresine göre x-ışınlarını farklı oranda zayıflatmalı (röntgen ve BT), sinyal genlik ve süreleri farklı olmalı (MR), sesi farklı oranlarda yansıtmalı (US), radyonüklidi farklı oranlarda tutmalı RG) dır.

Bir lezyonun kontrastı ne kadar yüksekse görülebilirliği o kadar artar. Örneğin aynı yapıdaki bir lezyon karaciğere göre akciğerde daha iyi görülür; çünkü akciğerdeki hava lezyonla daha büyük bir kontrast oluşturur. Akciğerdeki lezyon, kalsifikasyon gibi yüksek yoğunluklu yapılardan oluşuyor ise görebileceğimiz boyut daha da küçülür. Kontrast maddeler, lezyonun veya çevresinin kontrastını artırarak görülebilirliği artırır.

Saptama, lezyonların çevre ilişkilerini belirlemeyi de içerir. Saptanan lezyonun boyutları ve çevre ile olan ilişkisinin bilinmesi, tümör evrelemesi ve özellikle cerrahi açıdan önemlidir. Bu konuda en başarılı yöntemler BT, MR ve US gibi kesit görüntü yöntemleridir. MR, damarsal

yapıları kontrastsız ve kemiğe yakın yumuşak dokuları artefaktsız görüntüleyebilmesi açısından BT'den üstündür. En iyi tümör evrelemesi BT ve MR ile yapılır.

Radyolojik yöntemlerin saptama ile ilgili pratik kuralları şöyle özetlenebilir:
1. Yumuşak dokularda kontrast çözümleme gücü en yüksek olan yöntem MR'dir, onu BT izler.
2. Röntgen, geometrik çözümlemesi en yüksek olan yöntemdir; voksel kısıtlaması olmadığı için kontrast farkı yüksek olan daha küçük lezyonları saptayabilir. Meme kanseri taramasında mamografi ile mikrokalsifikasyon araştırması bunun iyi bir örneğidir.
3. Yöntemlerin içerisinde çözümleme gücü en düşük olan US'dir. Görüntüler karlı TV ekranlarına benzetilir. Buna karşılık US, pratikte en çok yararlandığımız yöntemlerden birisidir!

KARAKTERİZE ETME

Bir lezyon görüntülendiğinde yanıtlanması gereken soru, bu lezyonun yapısının ne olduğudur. Radyolojik yöntemlerle ayırabildiğimiz yapılar sınırlı sayıdadır (Tablo 9). Günümüzdeki kullanılan beş temel rayolojik yöntemde de doku karakterizasyonu beklendiği gibi başarılı değildir. Röntgen kemik-kalsifikasyon, yumuşak doku, yağ ve havayı birbirinden ayırabilirken, BT, kontrast çözümlemeyi çok artırarak daha fazla yoğunluk farkı saptayabilir. BT ile hematom, ödem gibi, röntgende yumuşak doku yoğunluğundan ayrılamayan patolojiler ayırt edilebilir. MR ise yumuşak dokunun incelenmesinde kontrast çözümleme bakımından BT'den üstündür. Ayrıca MR ile matür fibroz doku da ayırt edilebilir.

Lezyonların karakterizasyonunda önemli bir ölçüt kanlanmasının miktarı ve şeklidir. Bunun için kontrast maddenin zamana göre dağılımı incelenir. Lezyonda seçilen bir bölgedeki kontrast tutulumu miktar-zaman eğrisi olarak yazdırılır. Bu şekilde yapılan çalışmaya *perfüzyon* çalışması adı verilir. Pratikte bir lezyonun kanlanması hakkında, kontrast madde verildikten sonra arteriyel, kapiller, venöz ve geç fazlarda alınan kesitlerdeki boyanmasına bakarak karar verilir. Ulaşılabilir bir lezyonun vasküler olup olmadığını belirlemenin en kolay yolu Doppler US'dir.

Tablo 9. Doku Karakterizasyonunda Radyolojik Yöntemler.

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

Doku karakterizasyonundaki bu sınırlamaya rağmen, radyolojik olarak çoğunlukla tanı konur ya da ayırıcı tanı listesi birkaç seçeneğe indirilir. Bunun nedeni saptanan görünümün yorumlanmasıdır. Yorumlama değerlendiricinin anatomi ve patoloji bilgisine olduğu kadar hastanın klinik ve laboratuar verilerine de bağlıdır. Bu nedenle iyi bir yorumlama için sadece radyoloji bilmek yetmez; patoloji ve klinik de iyi bilinmelidir.

Perkütan iğne biyopsisi

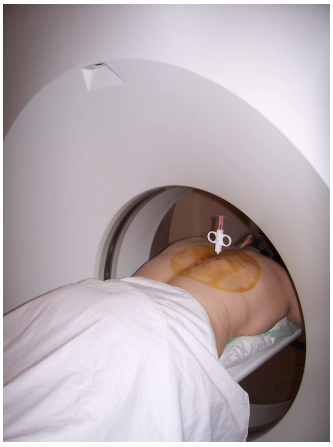
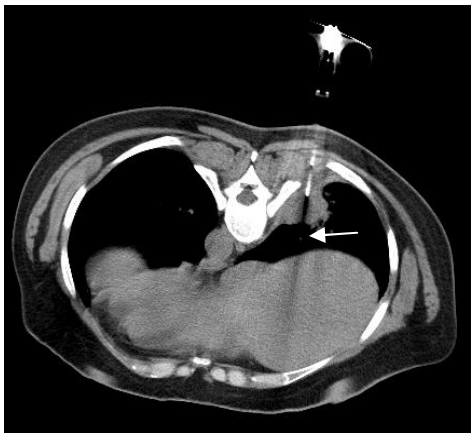
Radyolojik tanı yöntemleri mikroskopik bir yöntem değildir; benign/malign ayırımı yapmada her zaman başarılı olamadığı gibi, dokunun histopatolojik yapısını da söyleyemez. Bu bilgileri elde etmenin tek yolu lezyondan örnek alarak mikroskop altında incelemektir. Dokudan örnek almaya *biyopsi*, bu işlemin lezyona dışarıdan iğne ile girilerek (perkütan) yapılmasına *perkütan iğne biyopsisi* adı verilir. İnce iğneler kullanılarak dokudan çekilen hücreler incelenebileceği gibi (sitolojik inceleme), daha büyük iğnelerle doku parçaları da alınabilir. Histopatolojik tanının gerekli olduğu durumlarda lezyon, en zararsız ve en ekonomik yöntemle görüntülendikten sonra doğrudan biyopsi yapılmalı, çözümlemesi daha yüksek diğer yöntemlere başvurarak zaman kaybedilmemelidir.

İğne biyopsisi yeni bir tanı yöntemi değildir. İlk iğne biyopsisi 1883 yılında Leyden tarafından yapılmıştır. Son yıllardaki yaygınlaşması, lezyonların ve ona ulaşılabilecek emniyetli yolların US ve BT gibi kesit-görüntü yöntemleriyle açık bir şekilde görüntülenebilmesine bağlıdır. Gelişen teknoloji sayesinde iğnelerin incelmesi ve esnekleşmesi sonucu komplikasyonların azalması da yöntemin yaygınlaşmasını sağlayan diğer bir etkendir.

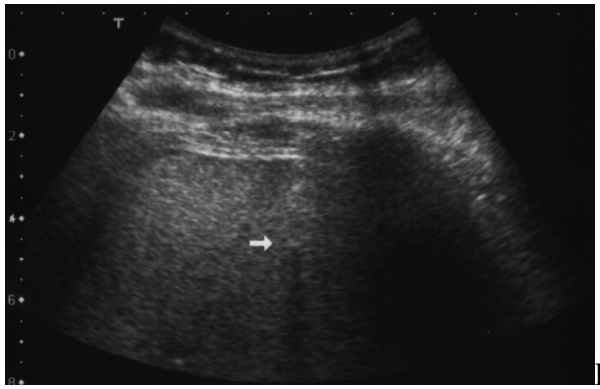
İğne biyopsisi, yapısı bilinmeyen, örneğin benign veya malign tümör, apse gibi kitle lezyonlarında kesin tanı koymak amacıyla yapılır. Cerrahinin uygulanmayacağı, kemoterapi ve/veya radyoterapi yapılması düşünülen şüpheli malignitelerde histopatolojik tanı olmadan tedaviye başlanmaz. Bu olgularda biyopsi şarttır. Buna karşılık malignite şüphesi olan bir lezyonda operasyon planlanıyorsa biyopsiye gerek yoktur. Akciğerin küçük hücreli kanserlerinde olduğu gibi, hücre tipinin tedaviyi tümüyle değiştireceği tümörlerde de, hücre tipini saptamak için biyopsi zorunludur. Paratiroid adenomunda olduğu gibi şüpheli benign kitlelerde cerrahiden önce tanıyı kesinleştirmek amacıyla da yapılır. Enfeksiyöz infiltratlardan ve sıvı koleksiyonlarından tanı ve kültür amacıyla örnek almak perkütan biyopsinin diğer bir endikasyonudur.

Perkütan iğne biyopsisine kılavuzluk eden radyolojik yöntemler floroskopi, BT ve US'dir. Kılavuz yöntem seçiminde birçok faktör etkilidir. Amaç en iyi sonucu en az komplikasyonla elde etmektir. Seçimde en önemli etken radyoloğun deneyimidir. Radyolog hangi yöntemde daha deneyimli ise onu tercih edecektir. Lezyonun daha iyi görülebilir olması, boyutu, yerleşim yeri yanında, hastanın vücut yapısı ve maliyet de bu seçimde göz önünde bulundurulması gerekli diğer faktörlerdir.

Genel bir kural olarak boyun kitlelerinin tümünde US; akciğer, pelvis, böbreküstü bezi ve retroperitoneal kitlelerin büyük çoğunluğunda BT tercih edilir (Resim 102). Akciğer lezyonlarında floroskopi de kullanılabilir. Karaciğer, pankreas ve böbrek biyopsilerinin çoğunluğunda ise kılavuz yöntem US'dir (Resim 103).

A   B

Resim 102. BT kılavuzluğunda akciğer biyopsisi. A. Biyopsi iğnesi yerleştirilmiş. İğnenin giriş yerinde cilde opak bir işaret konarak BT kesiti alınır. Alınan kesitte, cilde konan işaretin lezyona göre konumuna bakarak iğnenin gireceği yer, yön ve derinlik planlanır. Bu plana göre iğne sokulur ve iğnenin lezyon içerisindeki konumunu kontrol için bir kesit daha alınır. **B**. Kontrol kesitinde iğnenin kitlenin içerisinde olduğu ucundan uzanan hiperdansite artefaktından (siyah gölge) anlaşılıyor (ok).

A  B

Resim 103. US rehberliğinde karaciğer biyopsisi. A. Biyopsi iğnesi yerleştiriliyor, **B**. İğnenin karaciğer içerisindeki görünümü (ok).

RADYOLOJİK TETKİK İSTENİRKEN UYULMASI GEREKEN TEMEL KURALLAR

Şimdiye kadar radyolojik tanı yöntemlerinin fizik prensipleri ve klinik kullanımları ile ilgili bilgiler edindik. Bu bilgiler bize gösterdi ki, genelde birbirinin tamamlayıcısı olan radyolojik tanı yöntemleri, çoğu zaman da benzer bilgiler veriyor. Örneğin böbreği ve idrar yollarını, tüm tanı yöntemlerimizle de görüntüleyebiliriz. Bu durumda hangi radyolojik yöntemi önce seçmeliyiz ve gerektiğinde hangi yöntemi eklemeliyiz?

Radyolojik yöntemler tanıda, yapabilecekleri ve yapamayacakları temel alınarak, yararlılık ve zararsızlık ölçütlerine göre belirli bir disiplin içerisinde kullanılmalıdır. Bu seçime, ***radyolojik tanı algoritmi*** veya ***diyagnostik protokol*** adı verilir. Radyolojik tanı algoritmi sayesinde tanı en rasyonel yolla konur. Amaç en zararsız yoldan, en ekonomik şekilde ve en kısa sürede doğru tanı koyabilmektir. Dolayısıyla radyolojik tanı yöntemlerinin seçiminde 3 ölçüt vardır: Yararlılık, zararsızlık ve maliyet.

Yararlılık

Radyolojik bir tanı yönteminin yararlı olması demek, incelme sonucunun hastalığın tedavisinde ve/veya sonucunda değişiklik oluşturması demektir. Hastalık hakkında hekimin bilgilerini artıracak olması, tek başına, bir radyolojik tetkikin istenmesi için akılcı bir gerekçe değildir.

Herhangi bir testin tanısal etkinliğini değerlendirmek için test sonuçları gerçek değerlerle karşılaştırılır. Gerçeği en doğru olarak söyleyen yöntem histopatolojik incelemedir. Ancak tanı için her zaman histopatolojik sonuç gerekmez. Çoğu olguda inceleme sonuçları, gerçeği belirlediği varsayılan diğer bir test ile karşılaştırılır. Bu standart referans teste ***temel ("gold") standart*** adı verilir. Örneğin karotid Doppler US sonuçları, kateter anjiografi sonuçları ile doğrulanıyorsa, anjiografi temel standarttır.

Seçtiğimiz tanı yönteminin temel standarta göre gerçek ve yalancı sonuçlarının istatistiksel analizi, yöntemin tanısal performansını verir. Bir testin, uygulandığı grupta gerçek hastaları saptama oranına ***duyarlılık (sensitivite)***, o hastalığın olmadığını saptama oranına ise ***özgüllük (spesifisite)*** denir. İşe yarar bir radyolojik yöntemin duyarlılık ve özgüllük oranı %80'nin üzerinde olmalıdır.

Duyarlılık ve özgüllüklerine göre radyolojik yöntemlerin seçiminde temel kurallar şunlardır:

1. Tedavi edilmemesi ciddi sonuçlar doğuracak olan, ancak hasta olmayanlara yapılacak tedavinin zararlı olmadığı durumlarda, duyarlılığı yüksek bir tanı yöntemi seçilir. Özgüllük değerinin görece düşüklüğü önemli değildir. Bu duruma örnek hipotiroididir. Hipotiroidili bir çocuğun tedavi edilememesi ciddi sonuçlar doğurur, ancak hipotiroidisi olmayan bir çocuğa hipotiroidi tanısı koyarak tedavi etmek morbidite (hastalanma) oranını artırmaz.
2. Tedavisi ciddi sonuçlar doğuran olgularda ise özgüllüğü yüksek olan tanı yöntemleri tercih edilmelidir. Bu durumun tipik örneği akut karın nedeni olan akut apandisitdir. Yalancı pozitif bir sonuca dayanarak yapılan bir apendektomi morbiditeyi ciddi olarak artırır.
3. Tarama testlerinde kullanılacak yöntemlerin duyarlılığı yüksek olmalıdır. Yöntemin özgüllüğündeki yetersizlik, seçilecek olgulara uygulanacak özgüllüğü yüksek ek bir yöntemle giderilir. Bu durumun tipik örneği mamografiye ilave edilen MR görüntüleme ya da biyopsidir.

Zararsızlık ve maliyet

Yöntemlerin seçiminde yararlılık ilkesi ile birlikte değerlendirilmesi gereken ölçütler zararsızlık ve maliyetdir. En önemli zararlı etki iyonizan ışın varlığıdır. Bu konudaki akılcı yaklaşım, tüm radyasyon ekspojurlarının potansiyel olarak zararlı olduğunun bilinmesi ve tetkikin yapılıp yapılmamasına radyolojik incelemeden umulan yarar ile riskin karşılaştırılarak karar verilmesidir.

Kontrast maddelerin yan etkileri, anjiografi gibi işlemlerin invazivliği*, hareketsiz duramayan özellikle küçük çocuklar gibi bazı hastalara yapılmak zorunda olan sedasyon ve/veya anestezi diğer zararlı etkiler olarak sayılabilir. Özellikle MR incelemeleri gibi bazı tetkiklerin hastaya yüklediği stres de dikkate alınması gereken zararlı etkilerdendir.

Bundan sonra, seçilen yöntemin ekonomik olması istenir. Seçimde temel prensip eşit veriler sağlaması şartıyla maliyeti ve zararlı etkileri en düşük yöntemin seçilmesidir. Radyolojik incelemelerin yaklaşık bedelleri ve gonadların aldığı ışın dozu, bir karşılaştırma yapılabilmesi için, Tablo 10'da sunulmuştur. İnceleme bedellerinin ABD'den seçilmesinin nedeni, sağlığın herhangi bir subvansiyon olmadan tümüyle serbest piyasa koşullarına tabi olması nedeniyle, maliyet hesaplarının daha nesnel olarak yapılacağının varsayılmasıdır.

**İşgal, girme vb anlamlar taşıyan invaziv sözcüğünün buradaki kullanımı, vücuda müdahaleyi belirtir. Kavram görecelidir. Örneğin kontrast maddeyle yapılan BT-anjiografi, Doppler incelemesine göre invaziv, kateter anjiografisine göre ise daha az invazivdir (non-invaziv).*

Tablo 10. Radyolojik İncelemelerin Yaklaşık Bedeli (ABD'de) ve Gonadların Aldığı Yaklaşık Doz

Radyolojik tetkik	Bedeli* ($)	Gonad dozu (mrad)
RÖNTGEN		
Göğüs	75	10
Düz karın	75	250
İVP	200-300	1000-2000
Lumbosakral vertebra	75-150	500 (k)-2500 (e)
Ekstremite	50-75	5-10
Kraniyum	100-150	5
Pelvis	75-100	100 (k)-2500 (e)
Kolon	200-300	1000 (k)-1500 (e)
Mide-duodenum	200-300	1000 (k)-1500 (e)
Anjiografi	500-1500	Çok değişken
BT		
Kraniyum	500-700	5
Vücut	600-850	500 (e)-10.000 (k)
MR	1000-1200	0
US		
Abdomen	50-500	0
RG		
Karaciğer sintigrafisi	250-250	100

e: erkekte, k: kadında

*fiyat listesi eskidir ve yöntemlerin maliyetleri arasında bir karşılaştırma yapabilmeniz için verilmiştir. Günümüzdeki fiyatlar doğal olarak daha yüksek olabilir.

HANGİ ORGAN SİSTEMİNDE HANGİ YÖNTEM? (Tablo 11)

Tablo 11. Radyolojik tanı yöntemlerinin karşılaştırılması

Yöntemler	Enerjisi	Klinik Kullanımı	Güçlü Yanları	Zayıf Yanları
Röntgen	X-Işını	-Doğal kontrastla çevrili yapılar (Akciğerler, kemikler, meme) -Kontrast madde ile incelemeler (Sindirim borusu, idrar yolları, damarlar)	-Anatomik bütünlük -Aygıtlar her yerde bulunabilir -İşlem basit ve ucuz	-Görüntüleri ayrıntılı değil -X-ışınının 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	-Merkezi sinir sistemi -Eklemler (spor hekimliği) -Damarlar -Kanser evrelemesi (daha ayrıntılı görüntüler), özellikle kanserin çevre işgalinin değerlendirilmesinde	-Yumuşak dokuyu en ayrıntı gösteren yöntem -Her düzlemde kesit görüntü alabilmesi -Kemiğe yakın yumuşak doku çok iyi görüntülenir -Akım kontrastsız görüntülenir -İyonizan ışın yok	-Kalp pili vb aygıtı olanlar incelenemezler -Harekete duyarlı -Kalsifikasyon ve SAK iyi görüntülenemez -Akciğer parankimi incelenemez -Klostrofobi -En pahalı yöntem
US	Yüksek frekanslı ses	-Yumuşak dokular -Parankimal organlar -Kistik yapılar -Damar darlıkları ve damarlanma (Doppler)	-İşlem basit ve ucuz -İyonizan ışın yok -Hasta yatağı başında inceleme	-Gaz ve kemik incelemeye engel -Sonuçlar incelemeyi yapana aşırı derecede bağlı
RG (SPECT, PET)	γ-ışını	-Kemik metastazlarının araştırılması -Onkolojide evreleme -Demanslarda ayırıcı tanı	-Fonksiyonel bilgiler verir -Işın dozu genellikle röntgenden azdır	-Çözümleme gücü düşüktür

Merkezi sinir sistemi

Temel yöntem MR'dir. Kalsifikasyon araştırılmasında, akut subaraknoid kanamada ve travmada kontrastsız BT yapılır. Beyindeki küçük kanama ve hasarlanma odaklarının saptanmasında ve yaygın aksonal hasarlanmada MR daha duyarlıdır. Akut başlayan inme (strok) gibi merkezi sinir sistemi hastalıklarında önce BT yapılarak kanama olup olmadığı araştırılır. Transfontanel US, erken doğmuş bebeklerde germinal matriks kanamasını ve hipoksik ensafalopatiyi araştırmada tarama yöntemidir.

Omuriliğin temel inceleme yöntemi MR'dir. BT travmada, özellikle omurganın yaralanmalarında ayrıntılı bilgi verir.

İskelet ve yumuşak doku

Röntgen kemik lezyonlarının tanısında temel yöntemdir. Kanser yayılımı ve kemik lezyonlarının iskelet sisitemindeki yaygınlığı sintigrafi ile araştırılmalıdır. Stres kırıkları ve osteomiyelit de sintigrafi ile röntgenden daha erken saptanabilir. BT/MR çoğunlukla tanı için değil, kanser gibi kemik lezyonlarının ameliyattan önce çevre ilişkisini belirlemek amacıyla

kullanılır. Kortikal kemik ve kalsifikasyon BT ile incelenir. Omurga gibi karmaşık anatomisi olan kesimlerdeki lezyonların açık bir şekilde gösterilmesi için de BT gerekir.

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

Kasların, tendonların ve yumuşak doku kitlelerinin ya da damar anormalliklerinin incelemelerinde MR ile birlikte US de kullanılır. Doğumsal kalça displazisi, eklem sıvısı ve yumuşak dokuda opak olmayan ve dolayısıyla röntgende görülemeyen yabancı cisimlerin araştırılmasında US'nin tanı değeri yüksektir. Memenin temel tanı yöntemi mamografidir, özellikle kanser taramasında kullanılır. US yardımcı yöntemdir; ancak ele gelen bir kitlenin tanısı amacıyla kist olasılığı nedeniyle öncelikle US kullanılmalıdır. MR, şüpheli lezyonlarda benign/malign ayırımı yapmada yardımcıdır.

Göğüs

Akciğerlerin incelenmesinde röntgen ve BT temel yöntemlerdir. Göğüs röntgenogramları olmadan BT istenmemelidir. MR, tümörlerde, göğüs duvarı, mediyasten, diyafragma ve omurilik kanalı gibi çevre yapıların invazyonunu belirlemede, US ise akciğer çevresindeki sıvının değerlendirilmesinde kullanılır.

BT ve MR mediyastenin temel inceleme yöntemleridir. MR mediyastinal damarları kontrastsız görüntüler. Sintigrafi ise akciğer damarlarının uç dallarınının tıkanmasında değerlidir. Ana akciğer damarlarındaki pıhtılar kontrastlı BT ile görüntülenir.

Kalbin temel inceleme yöntemleri US ve sintigrafidir. Kalbin kanlanma yetersizliğinin (koroner yetmezliğinin) değerlendirilmesinde sintigrafi tarama yöntemidir; anjiyografi verisi en yüksek olan yöntemdir (temel standart). Semptomları tipik olmayan, anjiyografisinin normal çıkma olasılığı yüksek olgularda, hastayı kateter anjiyografisinin invazivliğinden kurtarmak amacıyla, koronerlerin BT-anjiyografisi yapılabilir. Anjiokardiyografi ise doğumsal kalp hastalıklarında, genellikle operasyondan önce uygulanır. MR, kardiyolojide anjiyokardiyografinin alternatifi olarak gelişmektedir.

Karın

Sindirim borusunun temel tanı yöntemi olan baryumlu çalışmalar, teknolojinin gelişmesine paralel olarak yerini gittikçe endoskopik incelemelere bırakmaktadır. Bununla birlikte, kapsül endoskopisi henüz pahalı olduğu için, ince bağırsakların baryumla incelenmesi güncelliğini korumaktadır. Sindirim borusunda duvar tutulumu ve çevre yayılımı BT ile araştırılır; US de değerli bilgiler verir. Akut apandisit tanısında BT'nin duyarlılığı %100, US'nin ki ise %96 civarındadır.

Karaciğer ve safra sistemi, dalak ve pankreasın incelenmesinde ilk yöntem US'dir. Ancak BT daha ayrıntılı ve nesnel görüntüler sağlar. Karaciğer lezyonlarının saptanmasında MR'nin de duyarlılığı çok yüksektir.

Böbreğin parankimi ve yer kaplayan lezyonların saptanması ve çevre ilişkilerinin belirlenmesinde US ve BT gibi kesit yöntemleri önceliklidir. İlaçlı böbrek filmi ve çocuklarda işerken yapılan mesane-idrar yolu tetkiki ("voiding" veya miksiyon sistoüretrografi), idrar yolları anormalliklerinin araştırılmasında kullanılır. Genellikle alınan ışın dozunun

röntgenden az olması nedeniyle sintigrafi, özellikle çocuk hastalarda üriner sistemin incelenmesinde sık kullanılan bir yöntemdir.

Kadın ve erkeğin genital organlarının ve hamilelerin incelenmesinde US tartışmasız ilk ve temel yöntemdir. Röntgenin tek kullanım alanı, kısırlıkta (infertilite) tüplerin açık olup olmadığını saptamak amacıyla yapılan histerosalpingografidir (HSG). Uterus kanserlerinin çevre yayılımını belirlemede MR kullanılır.

Damarlar

Damarların incelenmesinde Doppler US ilk ve temel yöntem konumundadır. Örneğin karotis arter darlıkları Doppler US ile incelenir. İnceleme sonuçlarının, incelemeyi yapanın bilgi ve becerisine çok bağlı olması bir dezavantajdır.

MR ve BT ile venöz yolla kontrast madde vererek reformasyon yöntemi ile anjiografik görüntüler elde edilebilir. MR'de akım kontrast madde verilmeden de görüntülenebilir. Reformasyon anjiografi görüntülerinin çözümleme güçleri, kateter anjiografisine göre düşüktür; küçük lezyonlar gösterilemez. Bu nedenle damarların incelenmesinde anjiyografi hâlâ temel standarttır.

Kontrast madde kullanılmaması nedeniyle MR anjiyografi belirli bir boyutun üstündeki serebral anevrizmaların (ör: >5mm) araştırılmasında kullanılabilir. Atipik semptomları olan, fakat normal çıkma olasılığı yüksek hastalarda koroner arterler BT anjiyografi ile incelenebilir.

Radyolojik tanı yöntemlerinin organ sistemlerindeki yeri Tablo 12'de özetlenmiştir.

Tablo 12. 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 → MR
Sindirim borusu	Baryumlu röntgen →BT/US
İdrar yolları	Ürografi → VSÜG
Yumuşak dokular	US → MR
Parankimal organlar	US → BT→ MR
Genital sistem	US → MR
Kalp	US → Sintigrafi → Anjiyografi → MR
Damarlar	Doppler US (MR/BT)→ Anjiyografi
Beyin/omurilik	MR → BT (yenidoğanda US)

Yukarıda anlatılanlar, algoritmik yaklaşımın genel çizgileridir. Klinik pratik içerisinde hangi hastalıkta hangi yöntemin daha değerli olduğu literatürdeki güvenilir çalışma sonuçlarına bakarak kararlaştırılmalıdır. Yöntem seçiminde konulan kurallar ideal şartları göz önüne alır. Pratikte algoritm zinciri içerisindeki bir yöntem bulunmayabilir ya da yöntemi uygulayacak hekim yeteri kadar deneyim sahibi olmayabilir. Bu nedenle radyolojik yöntemler istenirken bu genel kurallar ışığında, yerel şartlar da göz önünde bulundurulmalıdır.

Radyolojik Görüntüleme Kılavuzluğunda Perkütan Tedavi Girişimleri

- Damar girişimleri
- Üriner sistem girişimleri
- Safra sistemi girişimleri
- Apse drenajı
- Hidatid kist drenajı
- Perkütan tümör tedavisi

Şimdiye kadar öğrendiklerimizle, radyolojinin insan vücudunu adeta şeffaflaştırmış olduğunu gördük. Özellikle günümüzdeki teknoloji ile üretilen iğne, katater, vb gereçlerin de çok gelişmiş olduklarını biliyoruz. O zaman hemen şöyle bir soru akla geliyor: "Lezyonları ve ona ulaşılacak yolları açık bir şekilde görebiliyorum, görüntüleyebiliyorum; elimde de vücuda verebilecekleri muhtemel zararları en aza indirilmiş gelişmiş gereçlerim var, o halde neden bu lezyonlara görüntüleme kılavuzluğunda dışarıdan müdahale etmeyeyim?" Bu düşüncenin uygulanması ile tedavi amaçlı birçok girişim olanaklı hale gelmiş ve stent gibi yapay kanalların, koil veya tutkal gibi tıkayıcı materyallerin geliştirilmesiyle birlikte de bu girişimler gittikçe artmış, çeşitlenmiş ve ***girişimsel radyoloji*** adı altında radyolojinin önemli bir dalını oluşturmuştur.

Girişimsel radyoloji birçok olguda cerrahiye alternatiftir; birçok olguda ise hastanın durumunu düzelterek cerrahiyi kolaylaştırır. Bu alanda çalışan radyologlar radyolojik bilgilerinin yanısıra genel cerrahi ve hasta bakımına ait temel prensipleri çok iyi bilir ve uygularlar.

Girişimsel radyolojinin temel gereci anjiyografi üniteleridir. Günümüzde anjiyografi ünitelerinin iş yükünü, tanıdan daha çok girişimsel işlemler oluşturmaktadır. Modern girişimsel radyoloji birimlerinde anjiyografi üniteleri tümüyle dijital, iki düzlemde görüntü alabilen gelişmiş aygıtlardır. Yanında damar dışı girişimlerde kullanılmak üzere çözümleme gücü yüksek US aygıtı da bulunur. BT kılavuzluğu ile de birçok girişim yapılır. MR'de girişim yapılabilmesi için aygıtın ve gereçlerin amaca özel üretilmeleri gerekir.

Yapılacak işlemler, hastanın çok iyi bir şekilde izlenmesini gerektirir. Bu nedenle anjiyografi üniteleri gelişmiş hasta izlem aygıtları ile donatılmıştır. Birçok işlemde anestezi gerektiğinden birimde anestezi cihazları da bulunur. Girişimsel radyoloji departmanlarda, hastaların işlem sonu izlendiği yataklı gözlem odaları vardır.

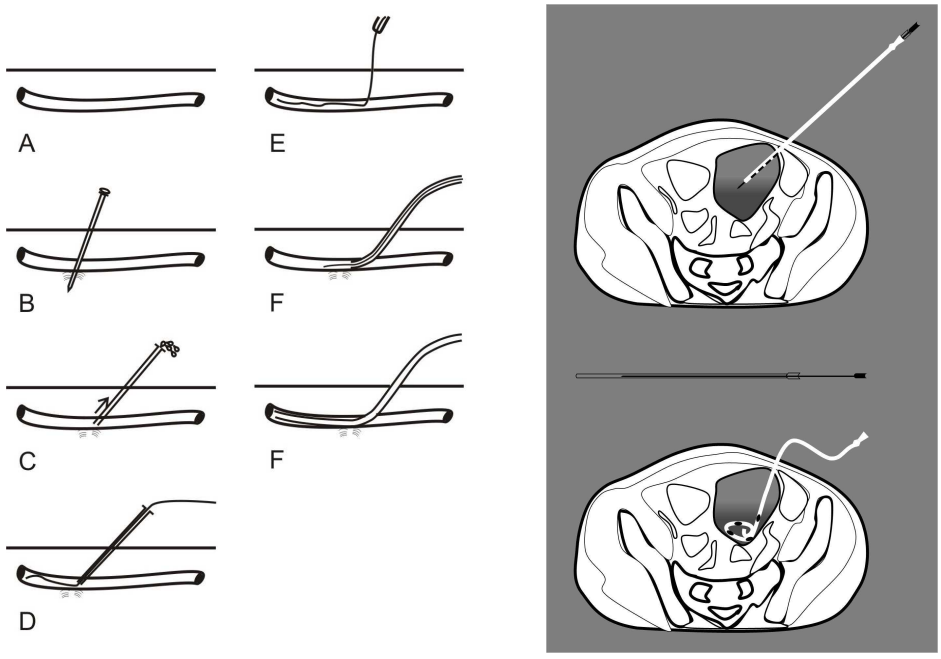
Radyolojik girişimler *damarsal* ve *damar-dışı* olmak üzere iki gruba ayrılır.

1. Damar girişimleri de temelde tıkayan ve açan olmak üzere ikiye ayrılır. Tıkama işleminin adı embolizasyon, açma işleminin adı ise anjiyoplastidir. Damar içerisinden hasta kesime ulaşılarak ilaçla tedavi de yapılabilir.
2. Damar-dışı girişimlerde tedavi edilecek kesime dışarıdan (perkütan) iğne ile girilir. Perkütan yapılan girişimlerde ya doğrudan lezyon içerisine girilerek tedavi edici maddeler verilir veya apse gibi birikimler boşaltılır, kanalların darlıkları genişletilir, taş çıkarılır.

Vücuda giriş yöntemleri (Şekil 22)

Damar girişimlerinin büyük çoğunluğunda arterlere girilir. Giriş Seldinger yöntemi ile yapılır. Bu yöntemde *Seldinger iğnesi* adı verilen mandrenli özel iğneler kullanılır. Damara girildikten sonra mandren çıkarılır ve iğne içerisinden kılavuz tel geçirilip iğne çıkarılır. Damar içerisinde kalan kılavuz telin üzerinden kateter sokularak tel çıkarılır, böylece işlem tamamlanmış olur. Bu yöntem, safra yolları veya böbreğin toplayıcı sistemine giriş gibi damar dışı girişimlerde de kullanılır.

Vücuda girişte kullanılan diğer yöntem *trokar yöntemi*dir. Trokar, vücut boşluklarındaki sıvıları boşaltmak için kullanılan delici kalın bir metal borunun adıdır. Lezyon içerisine sokulacak kateter trokarın üzerine kılıf şeklinde giydirilmiştir. Yöntem daha çok apse gibi sıvı birikintilerini boşaltmak amacıyla kullanılır. Giriş yerine lokal anestezi yapıldıktan sonra kateterli trokar ile doğrudan lezyon içerisine girilir; trokar çekilir, kateter içeride bırakılır



A **B**

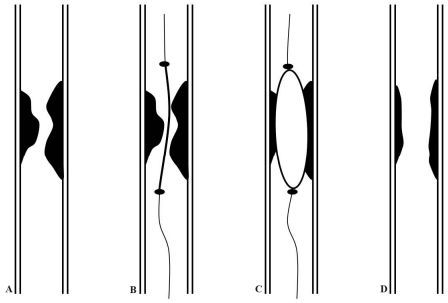
Şekil 22. Vücuda giriş yöntemleri. **A**. Seldinger yöntemi. İğne ile damara girilir (B,C), iğnenin içerisinden kılavuz tel sokulur ve iğne çekilir (D,E), kılavuz tel üzerinden kateter sokulup tel çekililir (F). **B**. Trokar yöntemi. Kateteri taşıyan iğne ve ortasındaki mandreni ile birlikte lezyona girilir. Mandren çekilerek sıvının geldiği görülür ve daha sonra iğne de çekilerek kateter kavite içerisinde bırakılır.

DAMAR GİRİŞİMLERİ

Perkütan translüminal anjiyoplasti

Damar darlıklarının genişletilmesine anjiyoplasti denir. Bu işlem, kateter aracılığı ile yapıldığı için perkütan translüminal anjiyoplasti (PTA) adını alır. PTA, daralmış segmentin floroskopik kontrol altında balonlu bir kateter ile genişletilmesidir. Daralan damarların büyük çoğunluğunda neden aterom plaklarıdır. İltihabi ve diğer nedenlerden oluşan darlıklar da PTA yöntemi ile genişletilebilir.

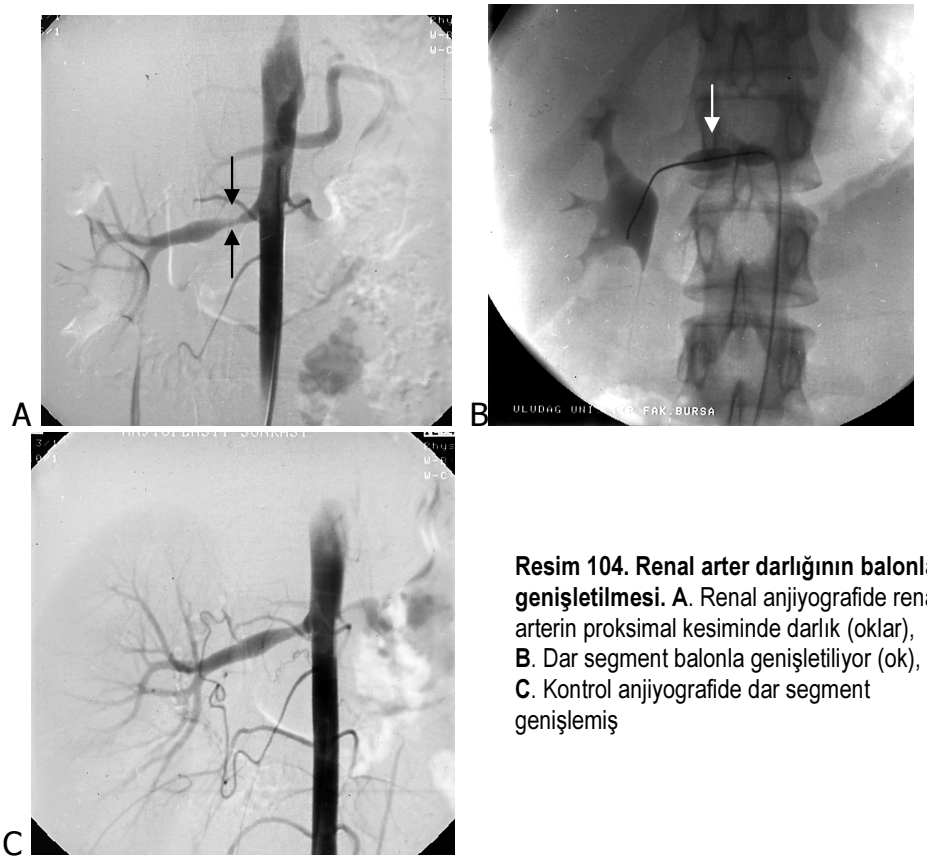
Daralmış damarların durumu önce anjiyografi yapılarak belirlenir. Anjiyografiden sonra kılavuz tel ile darlığın öte tarafına geçilir. Balonlu kateter, tel üzerinden ilerletilerek balonun merkezi, darlığın merkezine getirilir ve balon şişirilir (Şekil 23). Şişen balon bu kesimde 30 saniye veya daha fazla kalır. Şişirme ve söndürme tekrarlanabilir. Balon söndürüldükten sonra genişletilen damar anjiyografi ile kontrol edilir; genişleme yeterli ise işleme son verilir.



Şekil 23. PTA. A. Aterosklerotik plakların yaptığı darlık, **B**. Balonlu kateterin balonu dar segmentte, **C** ve **D**. Balon şişirilmiş, darlığı oluşturan plaklar ezilmiş ve damar lümeni genişlemiş.

PTA sonuçları, darlığın yerine ve nedenine göre değişir. Damar ne kadar proksimalde ve geniş, dar segment ne kadar kısa ise PTA o kadar başarılıdır. Tek lezyonlar daha iyi sonuç verir. İşlemin başarı oranı (başlangıç başarısı) ilyak ve renal arterlerde %95, femoral-popliteal arterlerde %90'dır.

PTA'nın en sık kullanıldığı yer kalpte koroner damar darlıklarıdır. Hipertansiyona neden olan renal arter darlıklarında da başarı ile kullanılır (Resim 104). Deneyimli ellerde sonuçlar cerrahiye eşittir. Nedbe (skar) dokusu cerrahiyi aşırı derecede zorlaştırdığından yöntem, transplante böbrekte gelişen arter darlıklarında çok değerlidir.



Resim 104. Renal arter darlığının balonla genişletilmesi. A. Renal anjiyografide renal arterin proksimal kesiminde darlık (oklar), **B**. Dar segment balonla genişletiliyor (ok), **C**. Kontrol anjiyografide dar segment genişlemiş

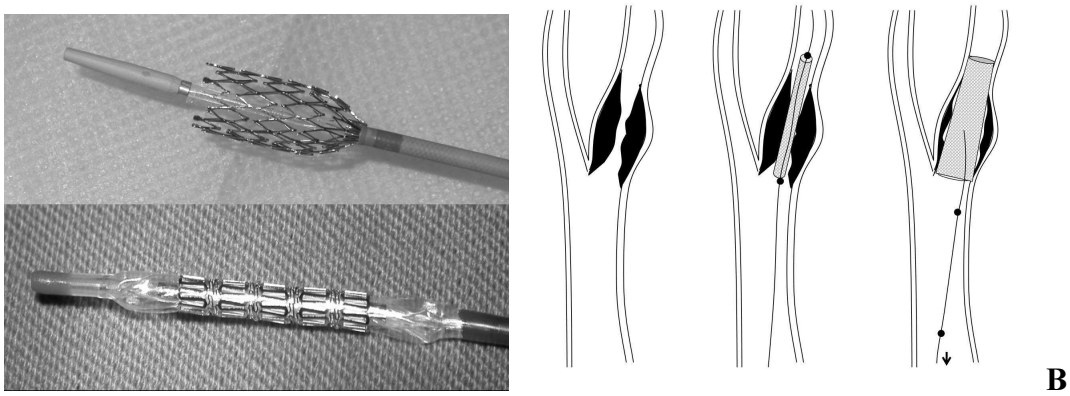
.

Intravasküler stent koyma

PTA işlemi sırasında intima yırtılması ve işlem sonrasında damarın elastik olarak geri kapanması sık görülen istenmeyen sonuçlardır. Bunları önlemek için genişletilen kesime damarı açık tutacak tel bir kafes (intravasküler stent) yerleştirilir (Resim 105).

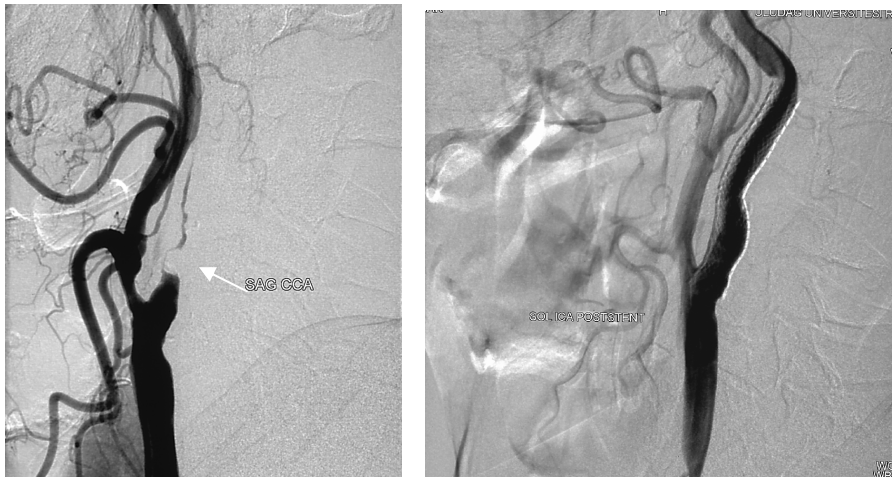
Stentler tel kafesten oluşan kısa borulardır. Kapalı şekilde, bir kateterin ucuna monte edilmiştir. Kendiliğinden genişleyen ve balonla genişletilen tipleri vardır. Yerleştirilecek kesime getirilerek serbest bırakılır veya balon şişirilerek stent açılır.

İntravasküler stentlerin en popüler olduğu alan koroner arterlerdir. İlyak ve renal arterlerde de başarı ile kullanılmaktadır. Femoro-popliteal arterlerdeki uygulamaların sonuçları cesaret vericidir. Renal arterlere konulan stentlerin, uzun sürede açık kalma oranının 2/3 olduğu bildirilmektedir. Karotis arter darlıklarında da stentleme, gittikçe daha çok kullanılmaktadır (Resim 106).



A **B**

Resim 105. Stent ve yerleştirilmesi. A.Üstte kendi açılan stent örneği. Üzerindeki kılıfı çekince stent distal ucundan başlayarak açılıyor. Altta balon üzerine yüklenmiş stent. Balon şişirildiğinde stent açılıyor. **B**. Stentleme işlemi. Aterosklerotik plak nedeniyle daralmış segment balonla dilate edildikten sonra stent yerleştirilir.



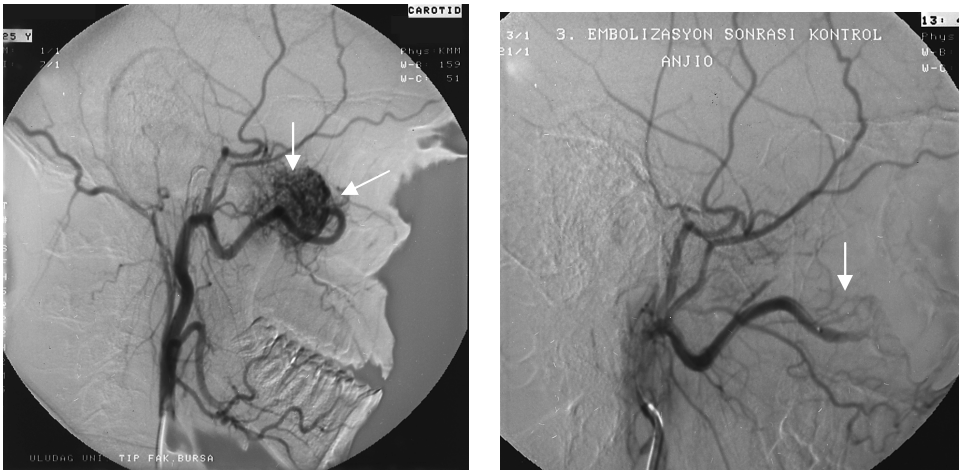
A **B**

Resim 106. Karotid arterde stent uygulaması. A. İnternal karotid arterde ileri derecede darlık (ok), **B**. Stent konduktan sonra yapılan kontrol anjiyografisi. Damar lümeni, normal genişliğine ulaşmış.

Embolizasyon

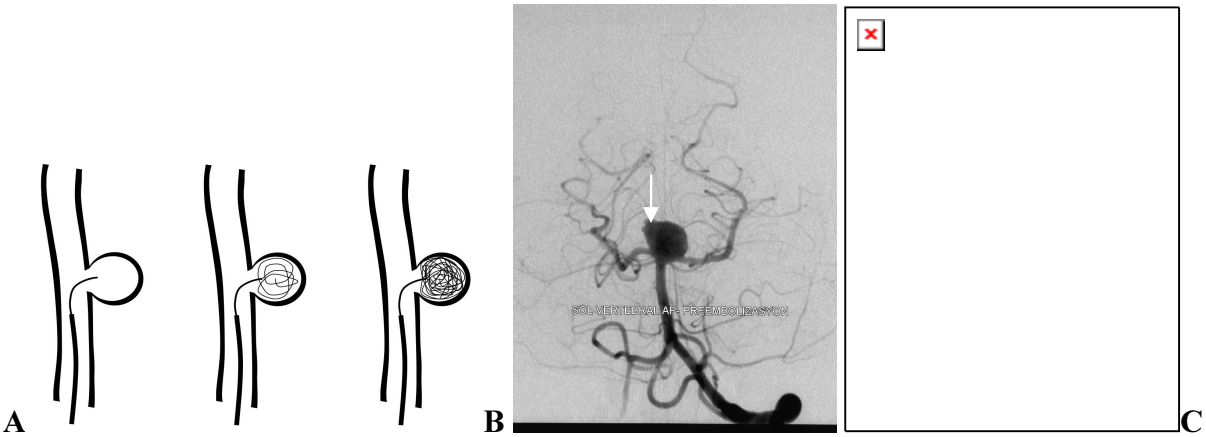
Damarın bazı maddelerle tıkanması işlemidir. Genel olarak arterler tıkanır, bazı durumlarda venöz sistem de tıkanabilir. Temel endikasyonları kanamaların durdurulması, arteriyo-venöz malformasyon (AVM) gibi vasküler anomalilerin hemodinamiklerinin ortadan kaldırılması, tümörlerin vaskülarizasyonlarının azaltılması (Resim 107) ve küçültülmesidir.

İntrakraniyal anevrizmaların küçük ince kıvrık tellerle (koil) doldurularak tedavi edilmesi de embolizasyonun özel bir şeklidir (Şekil 24). Cerrahisi riskli olan anevrizmaların tedavisinde çok değerli bir yöntemdir. İnternal karotid arterin kavernöz sinüs içerisindeki parçasından çıkan anevrizmalarda ve baziler arterin tepesindeki anevrizmalarda temel tedavi yöntemidir.



A B

Resim 107. Tümör embolizasyonu. Aşırı damarlanma nedeniyle kanayan ve ameliyatı çok kanlı olabilecek bir tümörün (nazofarenkste anjiyofibrom) embolize edilmesi. **A**. Embolizasyondan önce tümörün aşırı damarlı olduğu ve kontrast tuttuğu görülüyor (oklar). **B**. Embolizasyondan sonra kontrol anjiyografisinde damarlanma belirgin *şekilde* azalmış (ok). Damarlanmadaki bu azalma nedeniyle ameliyat daha kansız ve kolay yapılabilmiştir.



A B C

Şekil 24. Anevrizmanın koille embolize edilmesi. A. Şematik görünüm. Kateterle anevrizma içerisine koiller atılıyor. Koiller, serbest kaldığında daha önceden verilmiş kıvrımlı şeklini alan çok ince tellerdir. Anevrizmanın içerisinde trombüs oluşturması için yüzey sağlar. Anevrizmanın büyüklüğüne göre çok sayıda koil kullanılır. Sonuçta anevrizma boşluğu, betonarme yapılarda betonun içine konan demir kafesi sarmasına benzer şekilde, koillerin çevrelerini saran trombüsle kapanmış olur. **B**. Baziler arter tepesinde anevrizma (ok) **C**. Koille embolize edildikten sonra kontrol anjiografisinde anevrizma lümeninin kapandığı görülüyor.

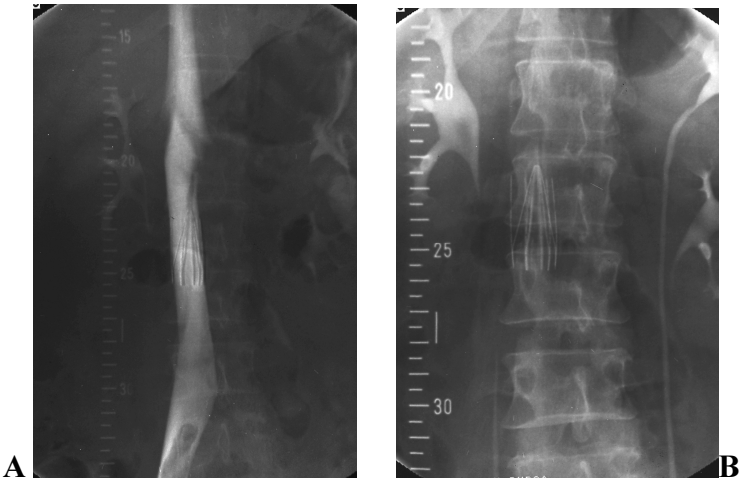
İlaç infüzyonu

Damara yerleştirilen bir kateterden damla damla veya aralıklı olarak uzun süre ilaç verilmesine ilaç infüzyonu adı verilir. Amaç kanamayı durdurmak veya damarın uzun süren spazmına veya pıhtı oluşumuna bağlı tıkanıklığını açmaktır. Kateter sorunlu damar kesimine mümkün olduğunca yakın yerleştirilmelidir.

Kanamalarında damar daraltıcı ilaçlar (vazokonstrüktörler), damarların daralmasında damar genişleticiler (vazodilatatörler) ve pıhtıların eritilmesi için pıhtı eritici (trombolitik) maddeler verilir. Sindirim borusu kanamalarında vazokonstrüktör olarak vazopressin (pitressin), mezenterik iskemide vazodilatatör olarak düz kas gevşeticisi olan papaverin verilir. Akut trombüsler, ürokinaz ve benzeri etkiye sahip farmasötik ajanlarla eritilmeye çalışılır.

IVC Filtreleri

Temel endikasyonu alt ekstremitenin derin venlerinden koparak akciğerlere gitme olasılığı bulunan pıhtının (tromboz) önlenmesidir. Trombozu eritmek için yapılan ilaçla tedavi yetersiz oluyor veya yapılamıyorsa ve IVC içerisinde yüzen pıhtılar görülüyorsa akciğer embolisini önlemek amacıyla İVC içerisine metal bir filtre yerleştirilir (Resim 108). Filtre, damar içerisinde açılmış şemsiyeye benzer tel bir yapıdır. Kopan pıhtı parçalarının yukarıya geçmesini önleyen bu tel bariyer, genellikle renal venlerin altına yerleştirilir.

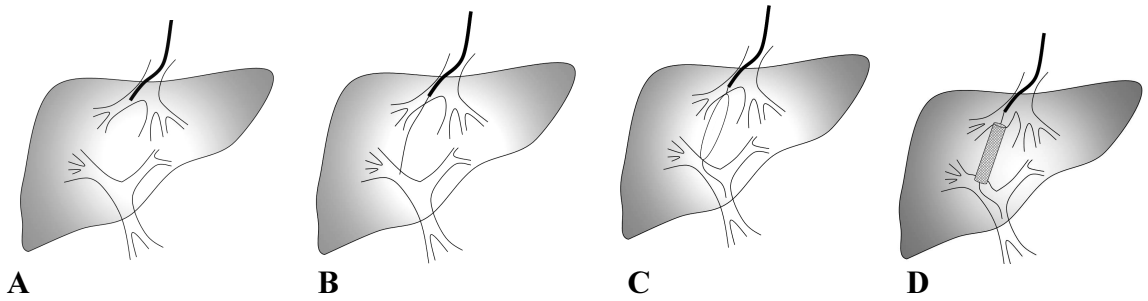


Resim 108. İVC filtresi. **A**. Venografide filtre İVC içerisinde görülüyor, **B**. Venografi sonrası kontrast madde böbreklerden süzülmüş. Ven içerisinde kontrast madde yok. Filtrenin bacakları, bir şemsiyenin telleri gibi, tepesi yukarında olmak üzere, açılmış

Transjuguler intrahepatik portosistemik şant (TIPS)

TIPS'in temel endikasyonu, endoskopik olarak durdurulamayan varis kanamaları ve tedaviye rağmen assiti (periton boşluğunda sıvı birikimi) düzelmeyen (refrakter assit) portal hipertansiyon olgularıdır; karaciğer transplantasyonu bekleyen olgularda zaman kazanmak amacıyla yapılır.

TIPS temelde yan yana ("side-to side") yapılmış bir portokaval şanttır (Şekil 25). İşlemden önce US, BT veya anjiyografi ile portal venin açık olduğu gösterilir. Giriş yolu olarak sağ internal jugular ven tercih edilir. Ucu sert ve keskin özel bir kateter ile juguler venden girilerek süperior vena kava-sağ atrium-inferior vena kava yoluyla hepatik venin ana dalına ulaşılır. Hepatik ven delinerek komşu portal vene geçilir. Hepatik ven ile portal ven arasında oluşturulan bu kanal, balonlu kateterle genişletilerek kapanmaması için uygun stent yerleştirilir. İşlemin amacı porto-sistemik basınç farkını 12 mm Hg'nın altına düşürmek ve varisleri söndürmektir (dekomprese etmektir).



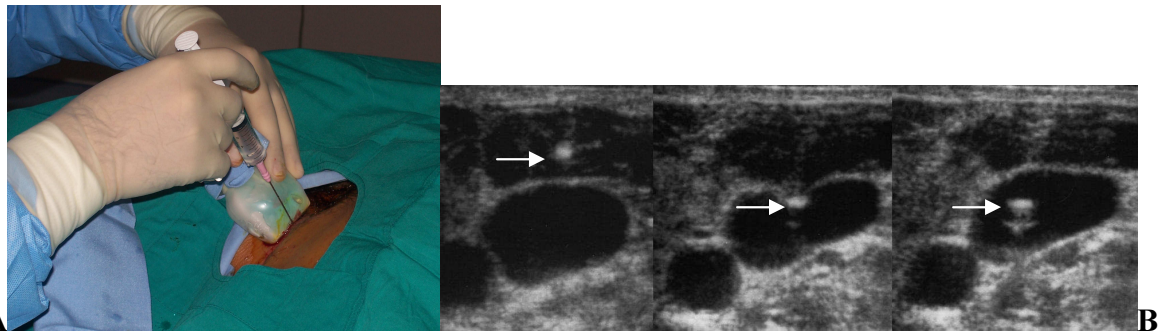
Şekil 25. TIPS. A. Sağ juguler venden girerek ana hepatik venlere ulaşılır, **B**. Hepatik ven duvarı delinerek komşu portal vene girilir. **C**. Kılavuz tel üzerinden balonlu kateter sokularak hepatik venle portal ven arasındaki şant genişletilip yapay bir kanal oluşturulur. **D**. Açılan kanal stentlenerek devamlı açık kalması sağlanır.

Santral venöz yol açma

Uzun süre damardan ilaç kullanma veya beslenme zorunluluğu varsa endikedir. Örneğin kanser ilaçları, bir müddet sonra periferik damarları tahrip ederek damarın kapanmasına neden olur. Bunun için devamlı açık kalan geniş ve emniyetli bir damar yolu şarttır.

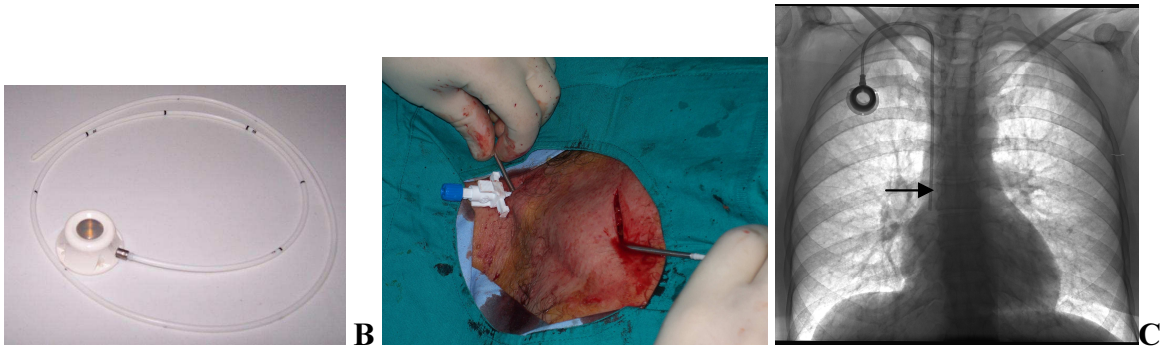
Santral venöz yol açma birçok malign, enfeksiyöz ve kronik hastalıkta, tedavinin sürdürülebilmesi için mutlak gerekli girişimlerden birisidir. Başlıca endikasyonları kanserin ilaçla tedavisi (kemoterapi), beslenmenin sadece damar yoluyla yapılması (total parenteral besleme), devamlı kan ürünlerinin verilmesi ve hemodiyalizdir.

Venöz kateter genellikle juguler venlerden girilerek yerleştirilir (Resim 109). Kateterin distal ucu süperior vena kava içerisindedir, proksimal ucu cilt altında bir tünelden ilerletilerek sabitlenir. Bazı türlerinde proksimal uç, yine cilt altına gömülen bir giriş haznesine (port) bağlanır (Resim 110).



A B

Resim 109. US klavuzluğunda juguler vene giriş. A. İğnenin yerleştirilişi, **B**. İğnenin doku içerisinde ilerleyişi. İğnenin ucu ekojen görülüyor (oklar).



A B C

Resim 110. Santral venöz yol açma. A. Ucunda portu bulunan santral ven kateteri, **B**. Kateterin yerleşeceği cilt altı tünelinin açılması, **C**. Santral venöz kateter yerleştirildikten sonra elde edilen göğüs röntgenogramında kateterin ve portunun görünümü. Kateterin ucu süperior vena kavanın sağ atriuma girdiği seviyede (ok). Dijital görüntüde gri tonlama tersine çevrilmiş.

Eskiden, görüntüleme kılavuzluğu olmadan, cerrahi kliniklerinde yapılan bu işlemlerde görülen komplikasyonlar, yöntemin radyoloji departmanlarında görüntüleme eşliğinde yapılmaya başlanmasıyla önemli ölçüde azalmıştır.

ÜRİNER SİSTEM GİRİŞİMLERİ

Renal kist tedavisi

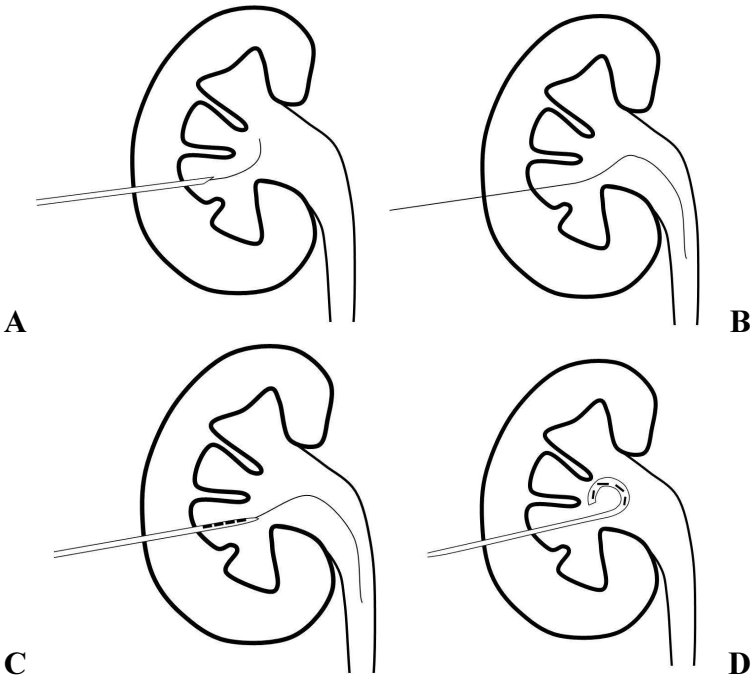
Önce kist aspire edilir ve biyokimyasal ve sitolojik olarak incelenir. Büyük boyutlu, septasız. basit kistlerde kisti ortadan kaldırmak amacıyla kistin iç duvarı kimyasal maddelerde yakılır (skleroze edilir). Bu işleme *kist ablasyonu* adı verilir. Bunun için önce kist içine kontrast madde verilerek kistografi yapılıp kistin toplayıcı sistemle bağlantısının olmadığı belirlenir. Daha sonra kist boşluğuna, kistin iç yüzeyini tahrip ederek kistin kapanmasını sağlamak amacıyla %99 absolü alkol gibi sklerozan bir ajan verilir.

Nefrostomi

Böbreğin toplayıcı sistemini doğrudan dışarıya ağızlaştırmaya nefrostomi denir. İdrarın normal akımının engellendiği durumlarda engelin üst seviyesinde biriken idrar, idrar yollarında basınç artımına ve genişlemeye neden olur. Bu durum böbrek dokusu üzerine basıç yaparak doku kaybına neden olabilir. Parankim kaybını önlemek için lümendeki basıncı düşürmek (dekompresyon) gerekir. İdrar yolu tıkanmalarında, tıkanmayla birlikte enfeksiyon varsa, tıkanma iki taraflı ise, böbrek tek veya transplante ise dekompresyon zorunludur. Yöntem, birlikte bulunan birçok patolojik olayın cerrahi girişime izin vermediği olgularda yapılır.

Yapılan işlem görüntüleme yöntemleri kılavuzluğunda toplayıcı sisteme girerek kateter yerleştirmektir. Bu işleme *perkütan kateter nefrostomisi* adı verilir. Toplayıcı sisteme US kılavuzluğunda doğrudan veya İV kontrast verildikten sonra anjiyografi ve/veya BT kılavuzluğunda girilebilir. 12. kaburganın altından, postero-lateralden orta veya alt arka kalikslerin içerisine girilmeye çalışılır.

İşlem Seldinger yöntemi ile yapılır. Giriş yerinde cilt ve cilt altı derin lokal lanestezi ile uyuşturulduktan sonra Seldinger iğnesi ile toplayıcı sisteme girilir. İğne içerisinden kılavuz tel sokulur. Tel üzerinden geçirilen dilatatörlerle giriş yolu genişletilerek yan delikleri olan, *"pigtail"* tipi (ucu domuz kuyruğu gibi kıvrılmış) bir kateter toplayıcı sistem içerisine yerleştirilir (Şekil 26, Resim 111). Kateter uzun süre kalacaksa genellikle her 3 ayda bir değiştirilir. Bu yöntemle toplayıcı sistem içerisindeki taşlar da çıkarılabilir.



Şekil 26. Nefrostomi. A. Seldinger iğnesi ile, genişlemiş kalisiyel sistem içerisine girilir, **B**. İğne içerisinden kılavuz tel sokulur, **C**. Kılavuz tel üzerinden kateter ilerletilir, **D**. Kılavuz tel çekilir ve kateter toplayıcı sistem içerisinde bırakılır.

Resim 111. Nefrostomi. İki taraflı nefrostomi yapılmış olguda kateterlerden kontrast madde verilerek yapılan kontrol. Her iki tarafta ileri derecede üreteropelvik darlık mevcut

Üreter stenti

Üreterin yaralanmalarında yerleştirilir. Bu sayede idrar akımı normal yolla devam eder. Bu sırada üroepitelyal doku çoğalarak deliği kapatır. Stent, nedbeye bağlı (sikatrisyel) daralmanın derecesini de azaltır.

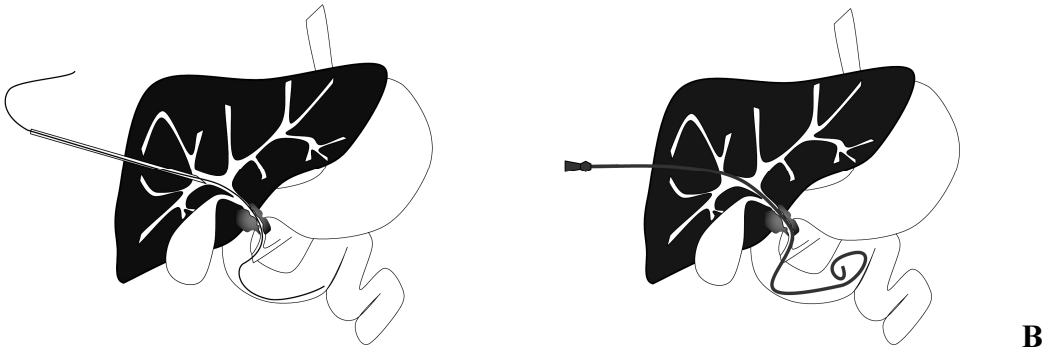
SAFRA SİSTEMİ GİRİŞİMLERİ

En sık yapılan perkütan safra işlemleri safra drenajı, stent yerleştirilmesi ve kolesistostomidir.

Safra kanal girişimleri

Safrayolunun daralması veya tıkanması sonucu, safra bağırsağa akamaz, sonuçta tıkanma sarılığı ortaya çıkar. Neden, çoğunlukla tümöral kitledir. Hastalık çok ilerlemişse cerrahi müdahale yapılamayabilir. Sarılığı gidermek için safra drenajını sağlamak gerekir. Genişlemiş safra kanallarına bir kateter sokarak safra dışarı drene edilebilir; fakat amaç safrayı bağırsağa akıtmaktır. Bunun için tıkanıklık seviyesi bir kateterle aşılarak safra akımı kateterin içerisinden sağlanır.

Tıkanma genellikle ana safra kanallarındadır. Tıkanmanın proksimalindeki safra kanalları genişlemiştir. Genişlemiş kanallardan birine US rehberliğinde Seldinger yöntemi ile girilir. İnce iğnenin içerisinden sokulan kılavuz tel ile tıkanma seviyesindeki darlık geçilerek onikiparmak bağırsağına ulaşılır. Daha sonra kılavuz tel üzerinden drenajı sağlayacak kateter yerleştirilerek kılavuz tel çekilir (Şekil 27). Eğer ilk denemede darlık geçilemezse, safranın dışarı drenajı için kateter birkaç gün darlığın berisinde (proksimalinde) bırakılır. Bu işlem genellikle darlığa eşlik eden ödemin çözülmesini ve daha sonraki denemelerde kateterin duodenuma geçirilmesini sağlar.



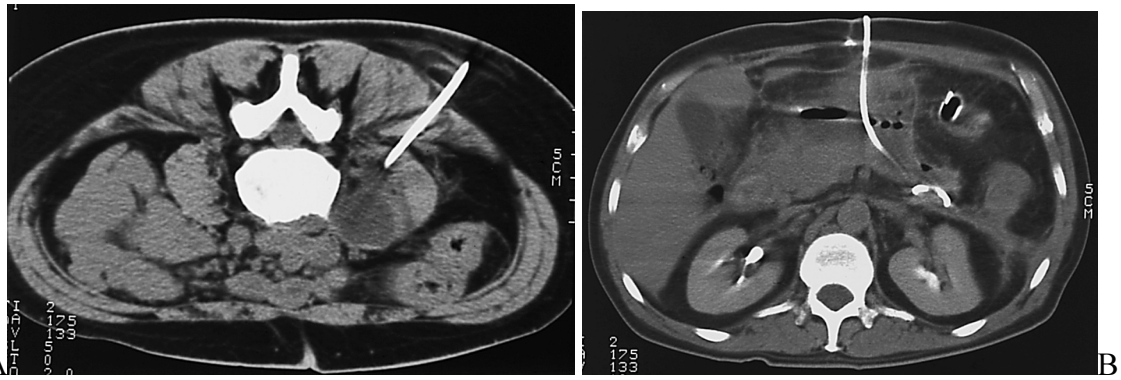
A **B**

Şekil 27. Perkütan safra drenajı. Koledok kanalını tıkayan tümöral kitlenin oluşturulduğu tıkanma sarılığında, internal drenaj. **A.** İğne içerisinden sokulan kılavuz tel ile darlık geçiliyor, **B**. Kılavuz tel üzerinden kateter yerleştiriliyor.

Darlık bir defa geçildikten sonra internal (bağırsağa) ve/veya eksternal (dışarıya) drenaj başlatılır. Önce üç-beş gün eksternal drenaj yapılır. Daha sonra kateterin proksimal ucu kapatılarak antegrad şekilde internal drenaj başlatılır. Başlangıçta kateter günde iki defa serum fizyolojikle yıkanır. Kateterin yan delikleri hepatik kanallarda ve koledokta olmalıdır. Üç-beş gün sonra karaciğer içerisinde yerleşik bir yol açılmış olur. Kateter periyodik olarak, hastaya rahatsızlık vermeden değiştirilebilir. Aktivitesi fazla olan hastalarda, dışarı uzanan kateterin yerine uzun bir plastik veya metalik stent konabilir

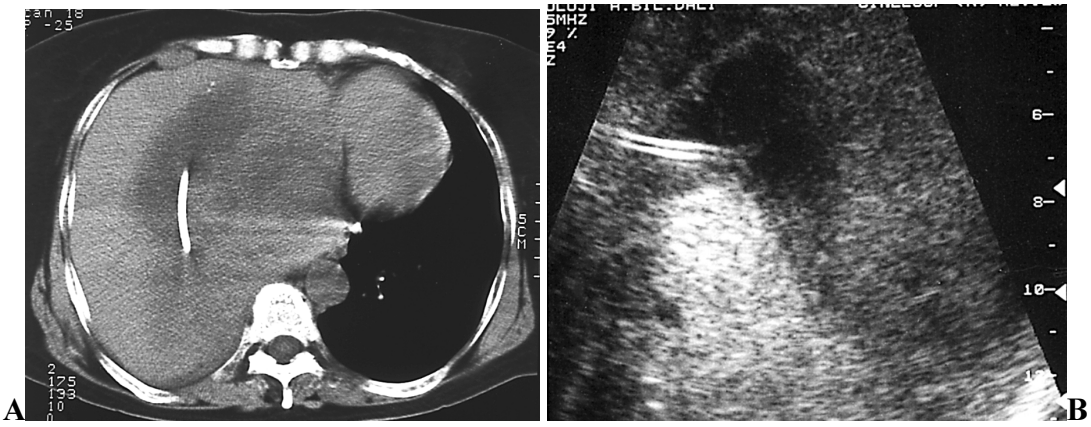
Kolesistostomi
Safrakesesine görüntü kılavuzluğunda girilerek, içeriğinin kateterle drene edilmesine kolesistostomi denir. Genel durumu ameliyat edilemeyecek kadar kötü olan yoğun bakım hastalarında yapılır. Neden, hastalarda akut gelişen safrakesesi iltihabıdır. Girişimde kılavuz yöntem olarak US kullanılır. Kateter ve tellerin çok iyi izlenmesi nedeniyle, floroskopi işleme büyük katkı sağlar.

APSE DRENAJI
Organlardaki obstrüksiyonları drene ve dekomprese etmekte kullanılan yöntemler aynı zamanda organizmanın birçok yerindeki kist ve apselerin drenajında da kullanılır. Abdominal apselerin boşaltılması için US veya BT kılavuzluğu gereklidir. Bazen floroskopi kullanılır. Hangi aygıtın kullanılacağı lezyonun yerine, boyutuna ve türüne bağlıdır. Abdomende mümkün olan her durumda, transperitoneal yol yerine ekstraperitoneal yol kullanılmalıdır (Resim 112). Uygun olgularda cerrahiyi ve dolayısıyla genel anesteziyi ortadan kaldırması, yöntemin önemli bir üstünlüğüdür.



Resim 112. Apse drenajları. A. Psoas kasındaki apsenin ekstraperitoneal yoldan drenajı. **B.** BT kılvuzluğunda pankreatik apse drenajı.

Tek odalı (üniloküler) apselerin perkütan drenajı ile genellikle tam bir iyileşme sağlanır. Komplike olgularda ise perkütan drenaj apse boyutlarını küçülterek ve hastanın genel durumunu düzelterek cerrahiyi kolaylaştırır. Komplike apselerin başında pankreatik apseler gelir. Nekrotik doku fazla olduğundan bu olgularda drenajı sağlamak için çok kalın (20-24F) kateter gerekebilir. Çift veya daha fazla kateter yerleştirilebilir. Karaciğer apseleri perkütan yolla başarı ile drene edilirler. Kılavuz yöntem olarak BT ve US kullanılır (Resim 113).



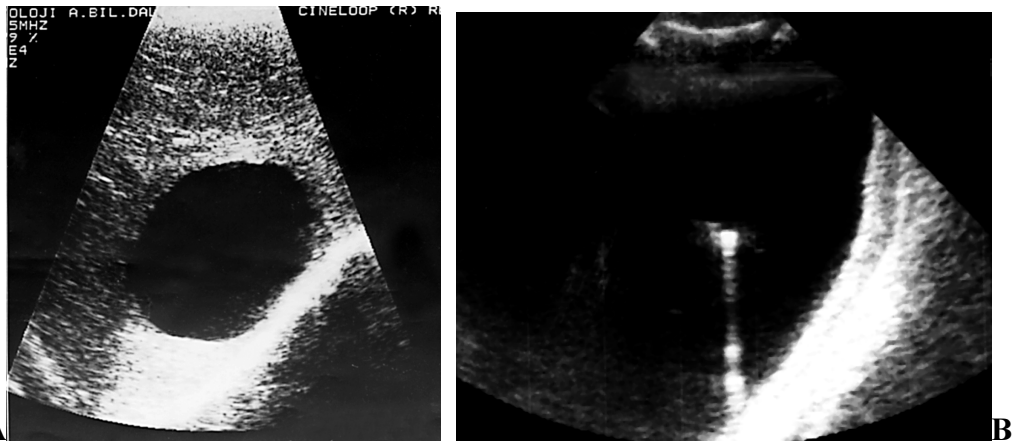
Resim 113. Karaciğer apsesinin perkütan drenajı. **A**. BT, **B**. US görünümü. US'de kateter hiperekojen görülüyor.

Enfekte olmayan sıvı birikimleri de (örneğin lenfosel) apsede olduğu gibi, perkütan yolla drene edilir. Olguların çoğunda yalnız başına drenaj yeterlidir. Drenajın bir haftadan sonra da devam ettiği olgularda tetrasiklin, alkol, sodyum tuzları ve Betadine gibi sklerozan ajanlar kullanıarak kavitenin iç duvarı skleroze edilir. Yöntemin başarı oranı %85-90'dır.

HİDATİD KİST DRENAJI

Hidatid kistler köpeklerden geçen bir parazit enfeksiyonudur (enfestasyon). Vücudun hemen her yerinde, değişik şekillerde içi sıvı dolu kistler oluşturur. Hidatid kistler, ya radyolojik olarak boşaltılır, ya cerrahi olarak çıkarılır ya da ilaçla (mebendazole) tedavi edilirler. Tedavi şeklini hidatid kistin morfolojisi belirler. Tümüyle kistik, içi sıvı dolu yapılar perkütan tedaviye en uygun olanlarıdır (Resim 114).

Kistin içerisine ince iğne ile girilerek hipertonik tuzlu su veya saf alkol verilir. Verilen kimyasallar içeride 20 dakika tutulur ve bu süreçte hasta döndürülerek kistin duvarları ile teması sağlanır. Amaç kistin germinatif membranının canlılığını yok etmektir. Daha sonra kist içeriği aspire edilir. Basıncın kalkmasına bağlı olarak germinatif membran çöker ve kist kollabe olur. Çapı 5 cm'i geçen kistlerde aynı işlem kateter yerleştirilerek yapılır.



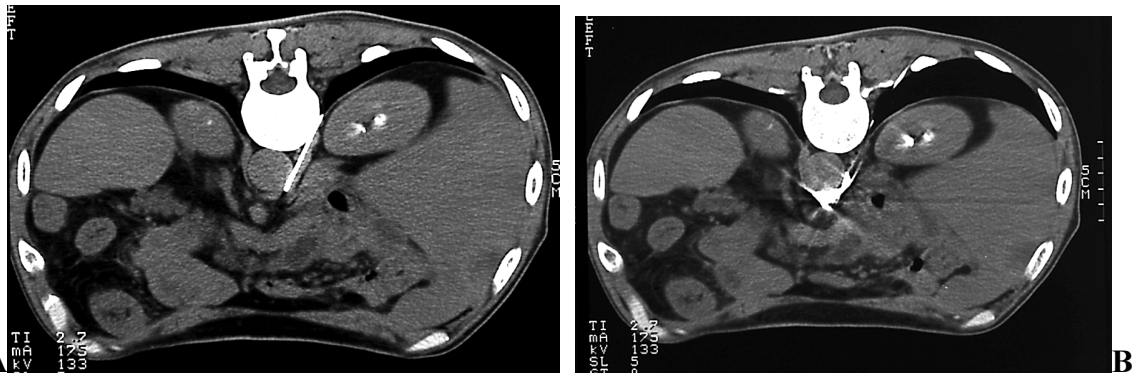
Resim 114. Karaciğerde hidatid kist ve drenajı. A. Karaciğer içerisinde düzgün kenarlı, arkasında yoğun akustik zenginleşmesi bulunan kist. **B**. Kistin drenaj işlemi. İğnenin US görünümü.

İşlemin önemli, ancak %1'den az görülen komplikasyonu, anaflaksi ve şoktur; nadiren dissemine intravasküler koagülasyon da görülebilir. Muhtemel hipersensitivite reaksiyonu için anestezi hazır olmalı ve işlemden hemen önce önleyici (profilaktik) olarak hidrokortizon ve

antihistaminik verilmelidir. Safra fistülü gelişimi ve uzun süren drenajlarda bakteriyel enfeksiyon eklenmesi yöntemin diğer komplikasyonlarıdır.

PERKÜTAN TÜMÖR TEDAVİSİ

Karaciğerdeki küçük hepatosellüler karsinom ve kolon kanserinin metastazları perkütan alkol enjeksiyonu ve/veya radyofrekans ablasyonu ile tedavi edilebilir. Pankreas kanserlerinde tümör içine US kılavuzluğunda perkütan yolla radyoaktif İyot-131 yerleştirilmesi, kolanjiokarsinomda aynı şekilde radyoaktif Iridyum-192 telleri implatasyonu ve tümör infiltrasyonuna bağlı dayanılmaz ağrılarda çöliak ganglionunun alkol injeksiyonu ile blokajı, perkütan tedavinin diğer örnekleridir (Resim 115).



Resim 115. Çöliyak ganglion blokajı. A. Retroperitoneal yolla çöliak trunkus civarına ince iğne ile giriliyor, **B**. Kontrast madde ile karıştırılmış alkol enjekte edilmiş

Alkol enjeksiyonu

Tedavi 3 cm'den küçük tek hepatosellüler karsinom olgularında başarılıdır; 4-5 cm boyutunda birden fazla lezyonda da enjeksiyon yapılabilir. Histolojik çalışmalar 3 cm'den küçük lezyonlarda tümörün hemen tümüyle nekroze olduğunu, daha büyüklerinde ise periferde canlı tümör dokusu kaldığını göstermiştir. Yöntem karsinoid, islet hücreli tümör gibi vasküler tümörlerin ve kolorektal karsinomların tek metastazlarında da uygulanır. Yöntemin zayıf yanı, peritümoral ablasyon alanının objektif olarak belirlenememesi ve büyük lezyonlarda enjekte edilen alkolün çevreye ve dolaşıma geçme olasılığıdır.

Kılavuz yöntem olarak US veya BT kullanılarak 20G çapındaki iğne tümörün merkezine yerleştirilir. Tümörün hacmine göre belirlenen miktarda (15-30 ml) alkol yavaşça verilir ve iğne çekilir. Genel olarak işlem 3 defa veya tümör kaybolana kadar tekrarlanır.

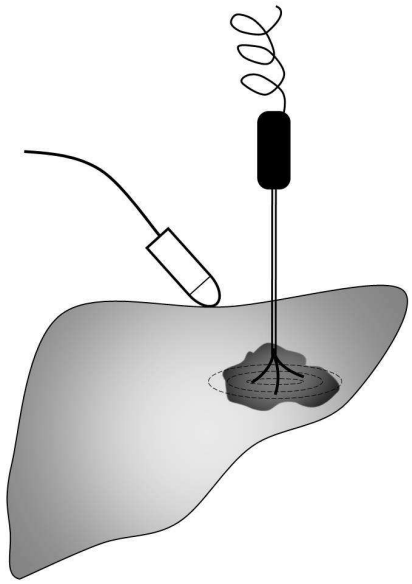
Sonuçlar cerrahideki gibidir. Lezyon ne kadar büyükse tedavi etmek o kadar zordur. Metastazların tedavisi, kapsülleri olmadığı için ve alkolün çok iyi difüzyon göstermemesi nedeniyle, daha güçtür. Küçük komplikasyon olarak hemen her hastada ağrı ve ateş görülür; kanama büyük komplikasyonudur.

Radyofrekans ablasyonu (RFA)

En sık karaciğer tümörlerinin tedavisinde kullanılır. İki temel endikasyonu vardır: Hepatosellüler karsinom ve kolon kanseri metastazları. Boyutu 4 cm'den küçük olan kitlelerde ve tümör sayısı üçü geçmeyen olgularda başarı şansı daha yüksektir (%90). Boyutu 4-5 cm arasında ve lezyon sayısı 5'e kadar olan olgularda başarı oranı % 70'lere düşer. Daha büyük lezyonlarda küratif ablasyon şansı çok daha düşüktür ve yöntem palyasyon amaçlı uygulanabilir. Yöntem bir seansta birden fazla kitleye uygulanabilir; cerrahi uygulanacak olgularda tümör sayısı azalır. Rekurrenslerde de uygulanabilir. Tedavi birden fazla seans

sürebilir. Primer kanser duruyorsa karaciğerdeki metastaza müdahale edilmez. Yöntem akciğer, meme, kemik ve böbrek tümörlerinde de kullanılır.

Isı ile ablasyon, düşük-orta frekanstaki elektromanyetik enerji kaynaklarının yarattığı ısı etkisi ile oluşan koagulasyon nekrozudur (Şekil 28). Radyofrekanstan başka, mikrodalga ve lazer fotokoagulasyonu ile de yapılabilir. RFA'da yaklaşık 500 kHz frekanstaki alternatif akımla çevredeki doku elektrolitlerinde hızlanma ve ardından dokuda ısı artışı meydana gelir. Sıcaklık 50-55 derece üzerine çıkınca protein denatürasyonu gerçekleşir. Derecenin 110-115 düzeyine yükselmesi durumunda dokuda kaynama ve sonunda kömürleşme olur.



Şekil 28. Karaciğer içerisindeki tümöral kitlenin US rehberliğinde RF ablasyonu ile tedavisi

Hastaya fazla rahatsızlık vermeyen bu yöntemde çoğunlukla genel anesteziye gerek duyulmaz ve yöntem poliklinik hastalarına uygulanabilir.

"En az zarar vererek ve en ekonomik yolla,
en kısa sürede tanı koyan hekim,
en iyi hekimdir."
E.Tuncel

Son Söz Yerine

Bir hekim olarak önünüzde, belki de ömür boyu sürdüreceğiniz uzun ve zorlu bir yolculuk var. Bu çetin yolculukta radyoloji bilimi size, yolculuğunuz süresince karşılaşacağınız engelleri hızla aşıp, istediğiniz yerlere zaman kaybetmeden ulaşabilmeniz için dört tane at sunuyor. Başarınız doğru yerde doğru atı seçebilmenize bağlı. Atlarınızın nerede nasıl davranacaklarını çok iyi bilmelisiniz ki seçiminiz doğru olsun. Atlarınızı iyi tanımıyorsanız eğer, 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 birçoğunu kendisinden sonra gelenler daha kolayca, daha hızlı ve daha iyi yapar. 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 ve doğal olarak da çok pahalıdır.

- US Anadolu atıdır*; gösterişsizdir, dayanıklıdır, kanaatkârdır, 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, ama binicisi acemi ise hiçbir yere varamaz!

Yolunuz açık olsun!

E.Tuncel

* "….Anadolu atları çok dayanıklı ve kanaatkârdırlar. Fakat bunlar küçük olup ancak hafif binek ve mekkâri işlerinde faydalı olarak kullanılmaktadırlar." *(Von Kress.* ***Son Haçlı Seferi-Kuma gömülen imparatorluk****, Yeditepe yayınevi, 2007, sayfa: 40.)*