

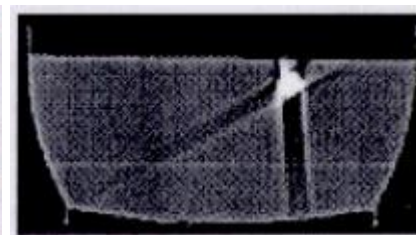
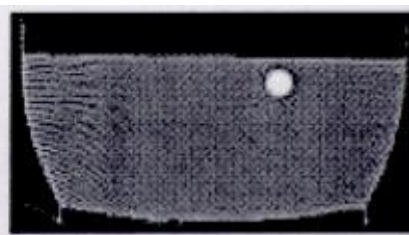
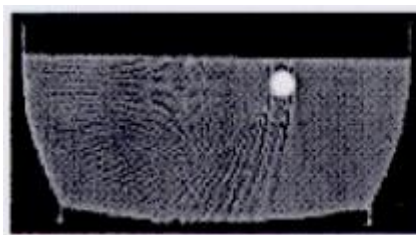
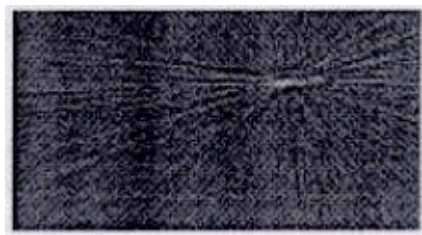
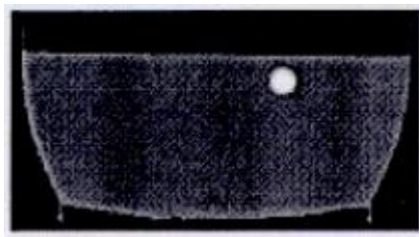
Képrekonstrukció 5. előadás



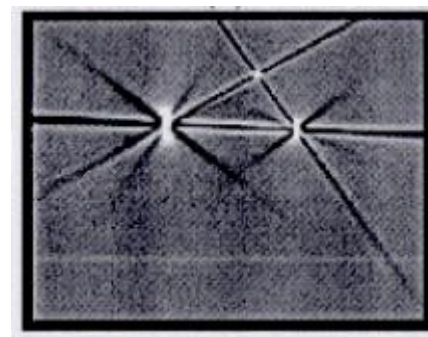
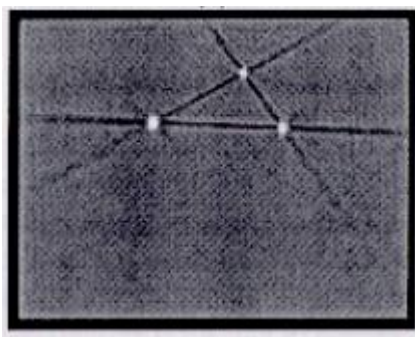
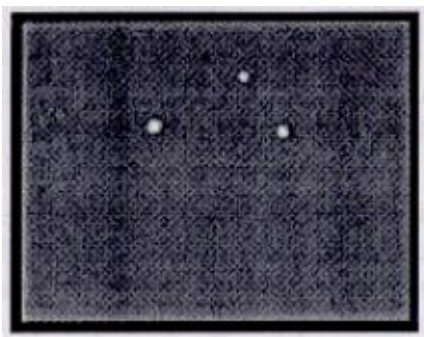
Balázs Péter

Képfeldolgozás és Számítógépes Grafika Tanszék
Szegedi Tudományegyetem

Képközelítési hibák



zaj, túl kevés detektor, túl kevés vetület, mozgás (balról jobbra)



nyalábkeményedés

szóródás

Mintavétel

- Nyquist-Shannon mintavételezési tétel:
A $0 \dots f_0$ frekvenciatartományba eső időfüggvény véges számú minta segítségével, információvesztés nélkül átvihető, ha a mintavételezési frekvencia az f_0 frekvenciának legalább kétszerese.

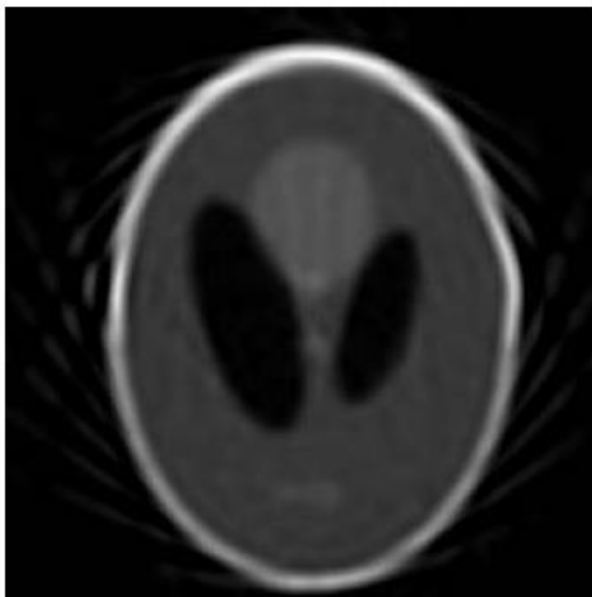
Detektorok száma

- Ha a pixelszélesség r , akkor a képi jel változásának frekvenciája legfeljebb $\frac{1}{r}$. Ekkor a mintavételezés frekvenciája legalább $\frac{2}{r}$ kell hogy legyen.
Feltételezhető, hogy $r = 1$.
- $N \times N$ -es képméret esetén az átló hossza $\sqrt{2}N$.
Mivel ezt is le kell fedni, így az átlóra merőleges vetületen legalább $2\sqrt{2}N$ vetítősugárnak kell lennie.
 $\rightarrow D = 2\sqrt{2}N$ detektora van szükség.

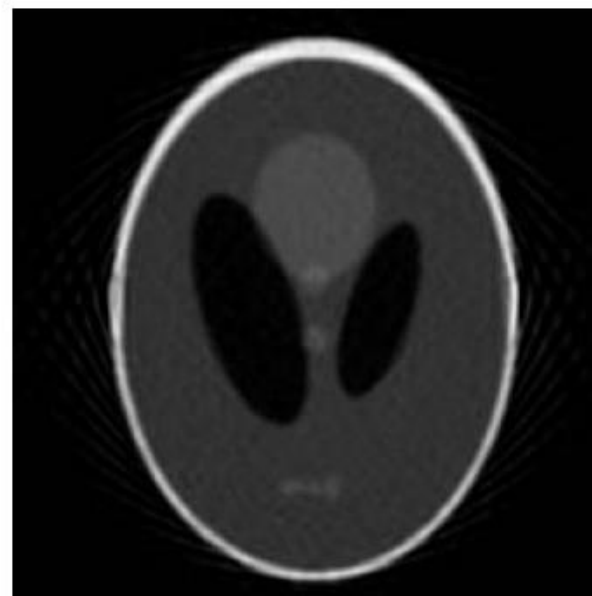
Vetületek száma

- A D darab vetítő sugárnak ugyanennyi egyenes felel meg a frekvenciatérben.
- A legmagasabb frekvencia $\frac{1}{r} = 1$. Az egyenesek hossza ezért 2 és mindegyiken $D = 2\sqrt{2}N$ mintavételezési pont van. A mintavételezési intervallum hossza $\frac{2}{2\sqrt{2}N} = \frac{1}{\sqrt{2}N}$. A legkülső (1 sugarú köríven) is ugyanilyen mintavételezés szükséges.
- Ha 0-tól 180 fokig vesszük a vetületeket, akkor a körív hossza $1 \cdot \pi$. Erre $\pi / \frac{1}{\sqrt{2}N}$ szer fér rá az adott hosszú intervallum. A vetületek száma legalább $\frac{N\pi}{\sqrt{2}}$.

Túl kevés vetítőszám



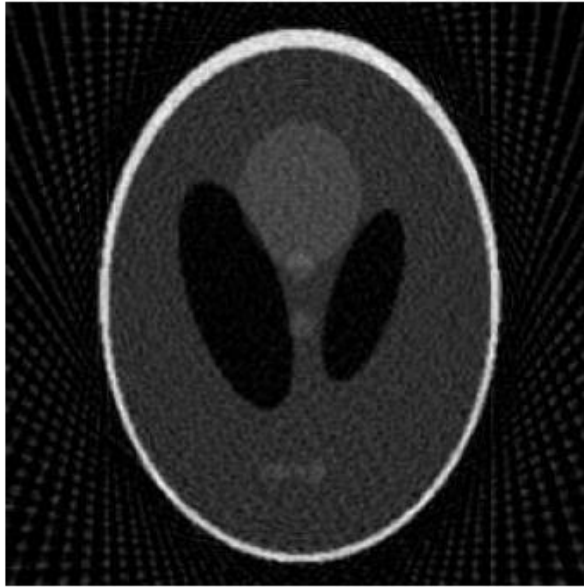
(a)



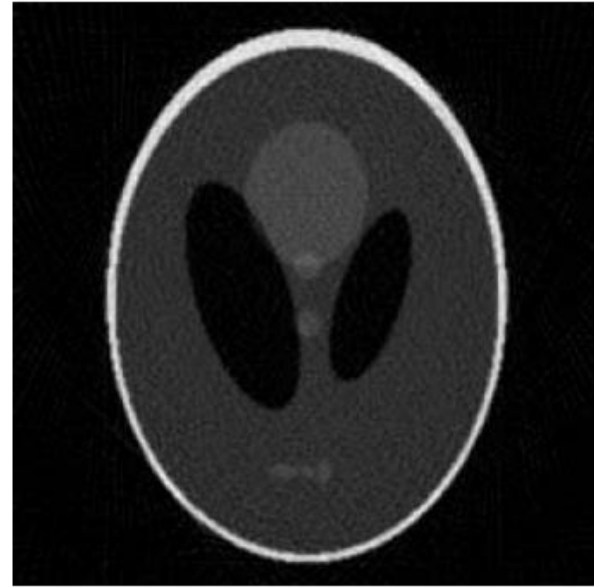
(b)

4.5. ábra. A Shepp-Logan fejfantom alulmintavételezett rekonstrukciói 64 (a) illetve 128 (b) vetítősugárral vetületenként.

Túl kevés vetület



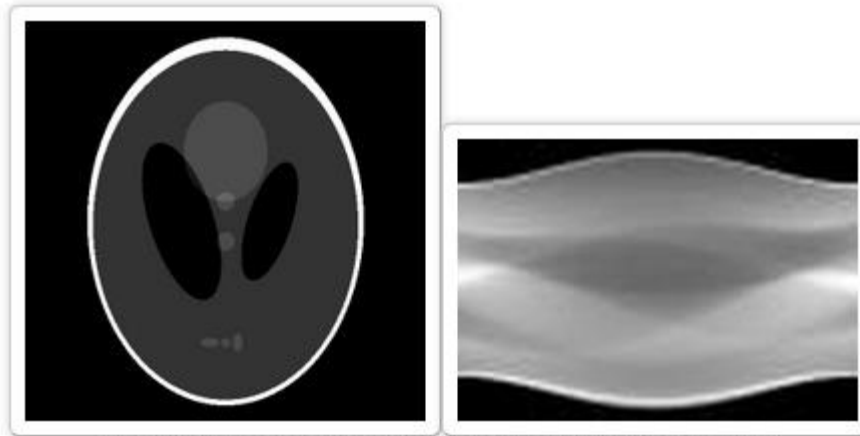
(a)



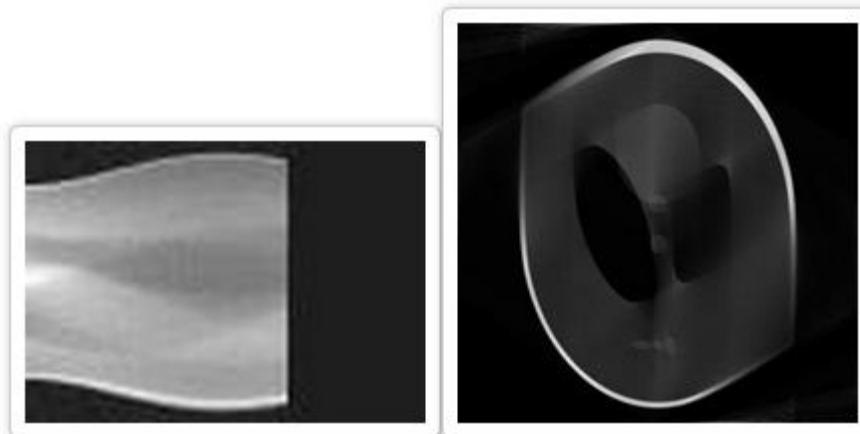
(b)

4.6. ábra. A Shepp-Logan fejfantom vetületben alulmintavételezett rekonstrukciói 45 (a) illetve 90 (b) vetület esetén.

Hiányzó szög (missing wedge)



Original image (on the left) and its acquisition (on the right)

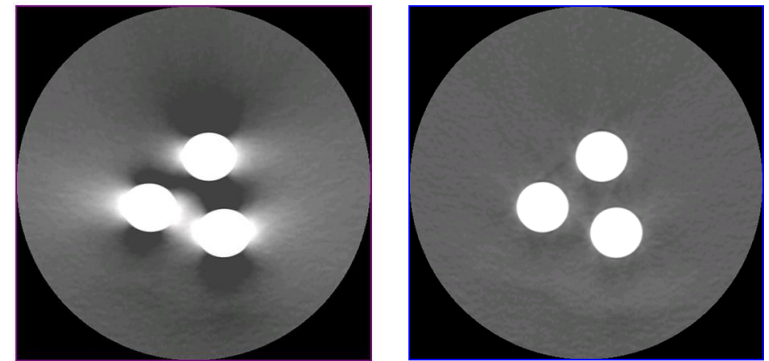
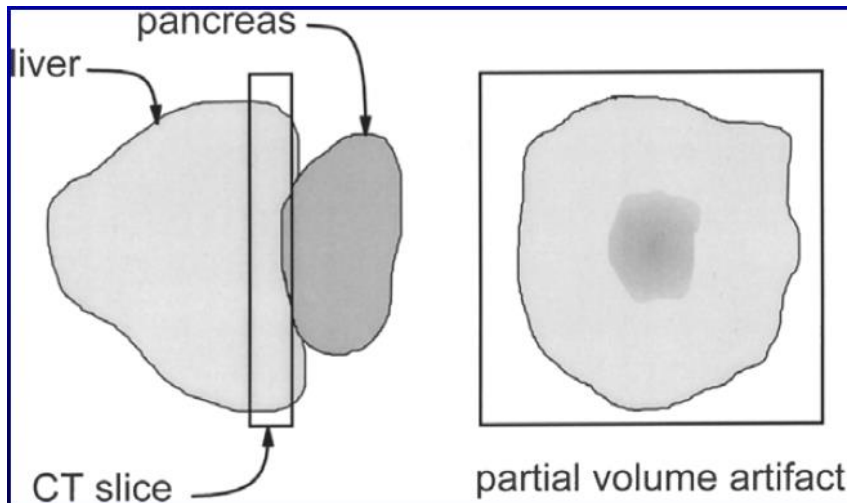


Missing projections (black columns on the sinogram on the right) and missing wedge effect on the reconstructed image (with SART method, on the right).

<https://sites.google.com/site/benoitrecur/research/tomography/missing-wedge-effect>

Parciális térfogat hatás

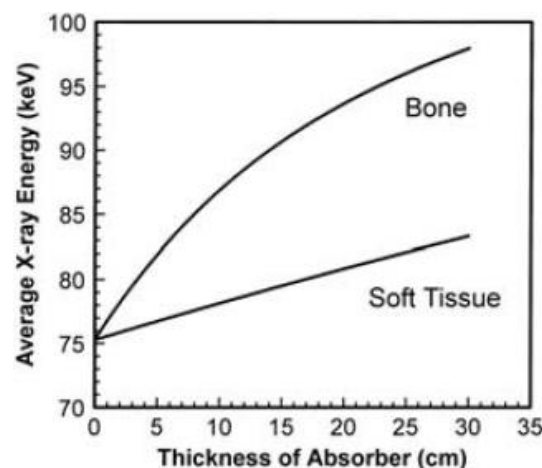
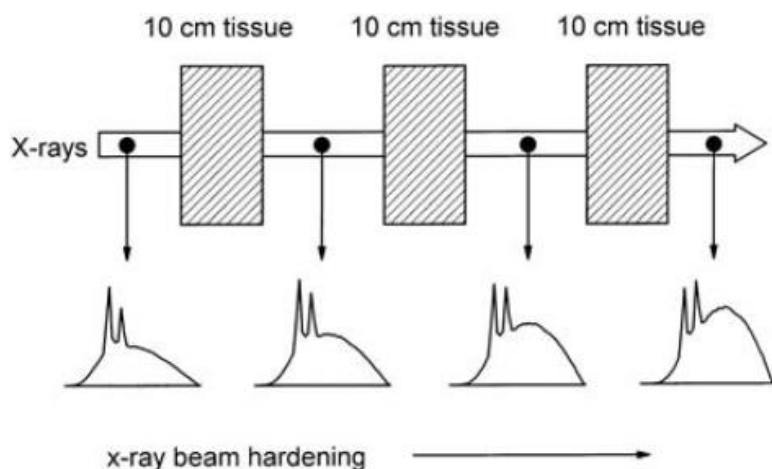
- Egy voxel több különböző szövetet tartalmazhat → az elnyelési együtthatók súlyozott átlaga lesz a pixel értéke → homályosodás
- Vékonyabb CT szeletekkel vagy helikális geometriával csökkenthető



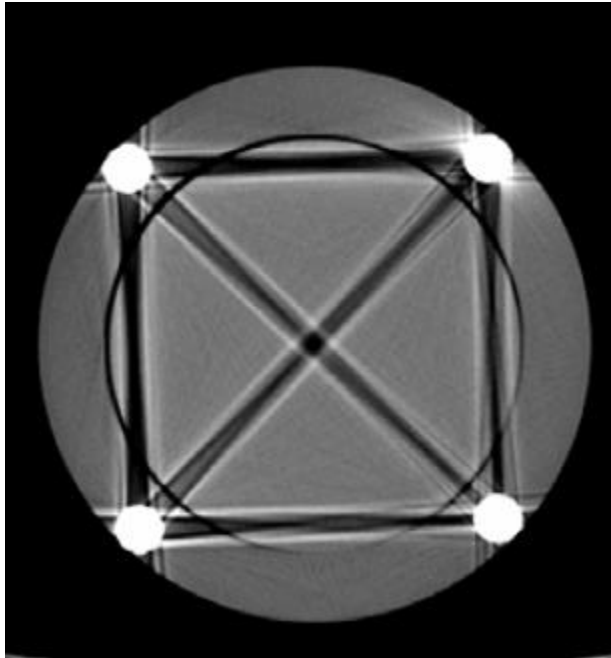
Három akril rúd levegővel körülvéve. A rudak részben (balra) majd teljesen (jobbra) belenyúlnak a vizsgált szelet vastagságába.

Nyalábkeményedés (Beam Hardening)

- A kisebb energiájú fotonok jobban elnyelődnek, ezért a polikromatikus röntgensugár spektruma a nagyobb energiák felé tolódik el (átlagos energiája növekszik).
- megoldás: előkeményítés (filtering), szoftveres vagy hardveres monokromatizálás

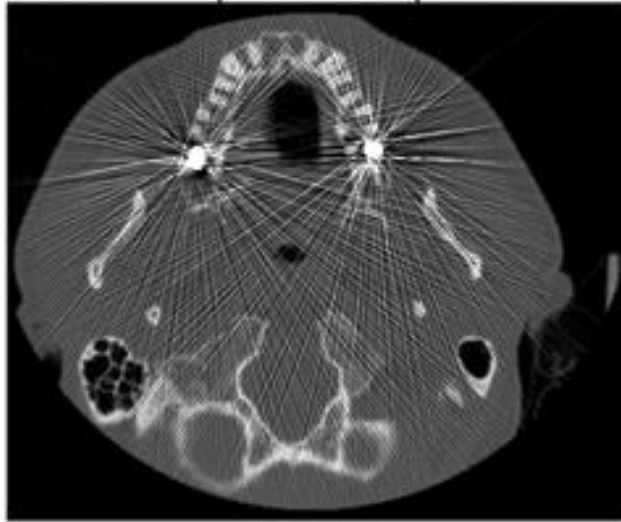


Beam hardening artifakt



Csíkhatás (Streak Artifact)

- Nagy elnyelési együtthatójú anyagok (pl. fém) → szóródás



Boas FE. (2007) "Method and apparatus for reducing artifacts in computed tomography images." U.S. Patent Application.

Atom struktúra

- Egyetemes **atommodell**:
- Atomszám Z :
(#protonok)
- Tömegszám A :
(#protonok + #neutronok)

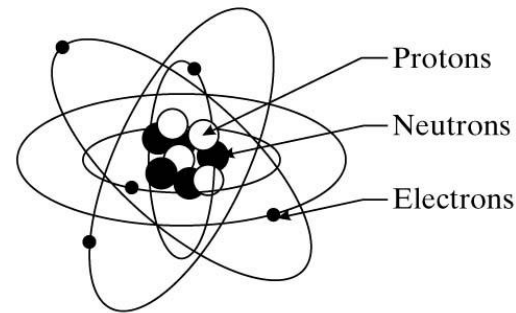


Figure 4.1

Medical Imaging Signals and Systems, by Jerry L. Prince and Jonathan Links.
ISBN 0-13-065353-5. © 2006 Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ. All rights reserved.

- Izotóp: Atom ugyanolyan Z -vel, de különböző A -val (pl. C-14), nuklidok lehetnek stabilak vagy *instabilak* (**radioaktív izotóp**)
- Radioaktív átalakulás: az atommag átrendeződése a stabilitás elérése érdekében

Radioaktív izotóp és ionizáló sugárzás

- Radioaktív átrendeződés (bomlás) → energia felszabadulás

- Négy fő mód:

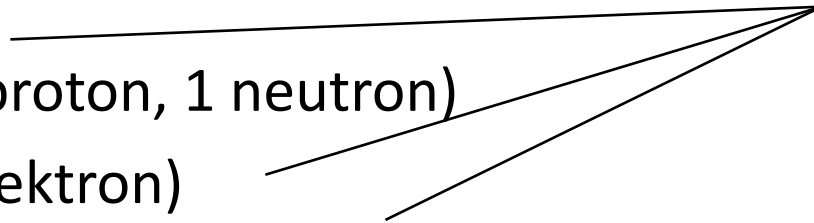
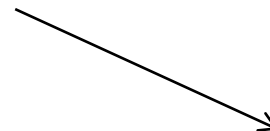
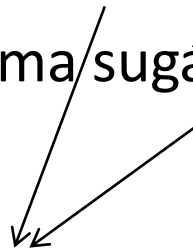
- Alfa bomlás (2 proton, 1 neutron)
- Béta bomlás (elektron)
- Pozitron bomlás (antianyag elektron)
- Gamma/sugár kibocsátása

Részecske
sugárzás

EM sugárzás

PET

SPECT



Nukleáris medicina

- Injektálással, lenyeléssel, inhalálással radioaktív izotópokat (nyomjelző) juttatnak a szervezetbe
- A test által kibocsátott sugárzást (fotonok vagy pozitronok) detektáljuk → Emissziós tomográfia
- A koncentráció folyamatos csökkenésével funkcionális jellemzők állapíthatók meg az adott szervről
- Anatómiai információt alig szolgáltatnak
- SPECT, PET

Két fő modalitás

- **Single-Photon Emission Computed Tomography (SPECT):** radioaktív atom bomlása egy szimpla gamma sugárzást eredményez
- **Positron Emission Tomography (PET):** két gamma foton nagyjából ellenkező irányban távozik

SPECT képkötása

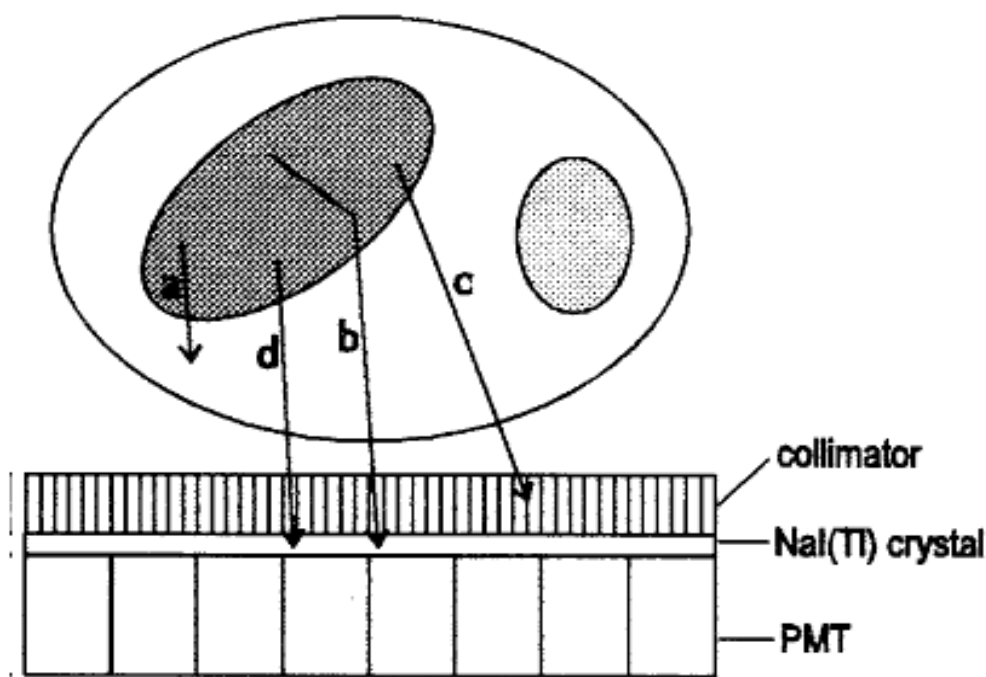


FIGURE 11.6 The conventional nuclear medicine imaging process. Gamma-ray photons emitted from the internally distributed radioactivity may experience photoelectric (a) or scatter (b) interactions. Photons that are not traveling in the direction within the acceptance angle of the collimator (c) will be intercepted by the lead collimator. Photons that experience no interaction and travel within the acceptance angle of the collimator will be detected (d).

Kamera-alapú SPECT rendszerek

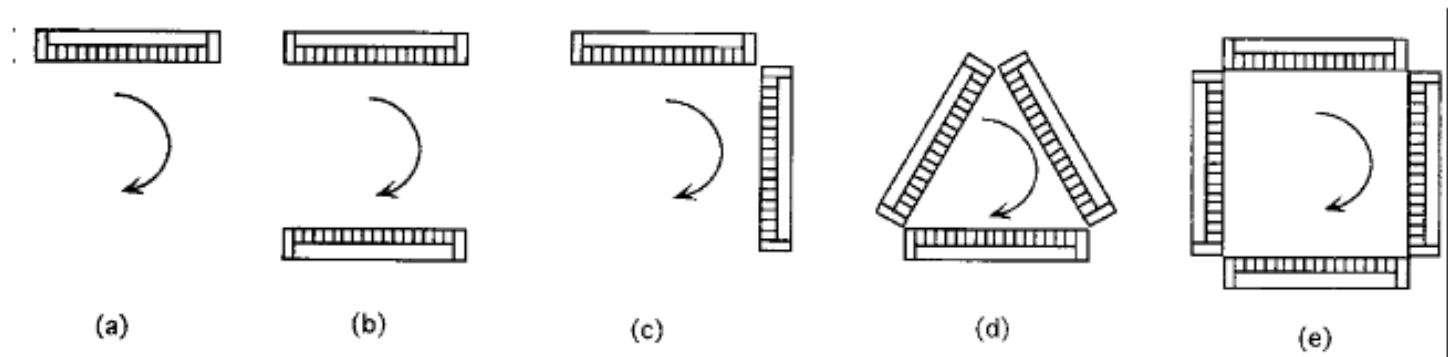
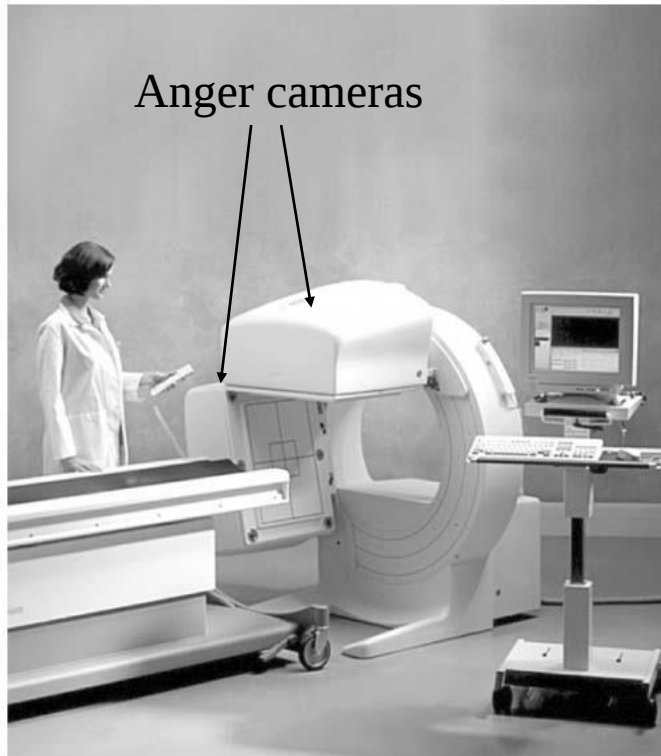


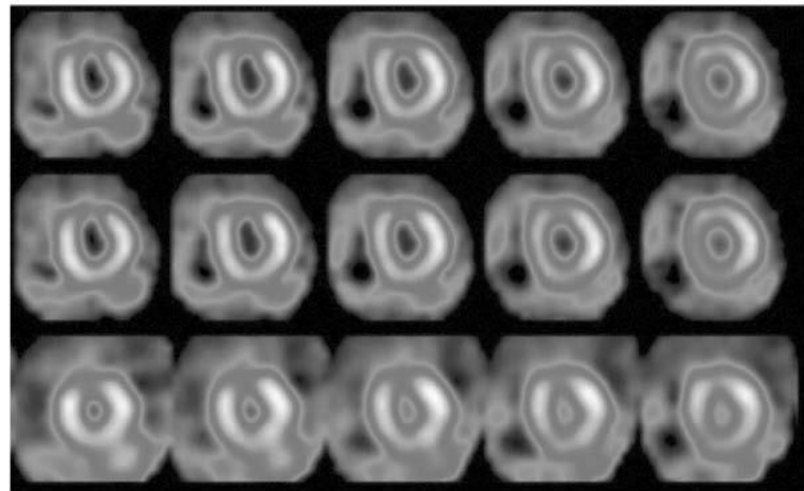
FIGURE 11.8 Examples of camera-based SPECT systems. (a) Single-camera system. (b) Dual-camera system with the two cameras placed at opposing sides of patient during rotation. (c) Dual-camera system with the two cameras placed at right angles. (d) Triple-camera system. (e) Quadruple-camera system.

SPECT példa



(a)

Szív SPECT



(b)

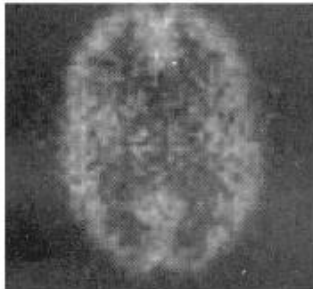
Figure 1.3

Képrekonstrukció

- Klasszikus eljárások (FBP, ART, stb.)
- Kompenzációs eljárásokkal csökkentik a szórás, gyengülés, és a kollimátor okozta hatásokat



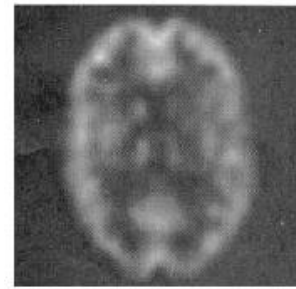
eredeti
fantom



FBP



FBP +
kompenzáció
(szórás,
gyengülés)



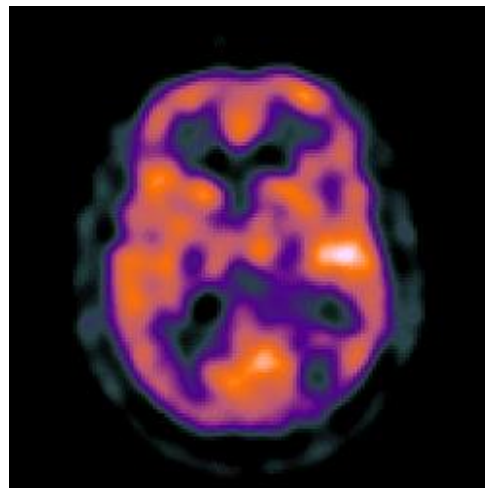
további
kompenzáció
(kollimátor)



iteratív
rekonstrukció

SPECT – További részletek

- Gyenge felbontás
- Leggyakrabban használt izotóp: Tc-99m (Molybdenum-99-ből, felezési idő: 67h, bioinkompatibilis)



PET (Positron Emission Tomography)

- F, O, N, C izotópok
- Bomlás során pozitron keletkezik, elektronnal találkozáva megsemmisül (annihiláció) → két (majdnem) ellentétes irányban távozó gamma fotont (511 keV) detektálunk



PET képképzés

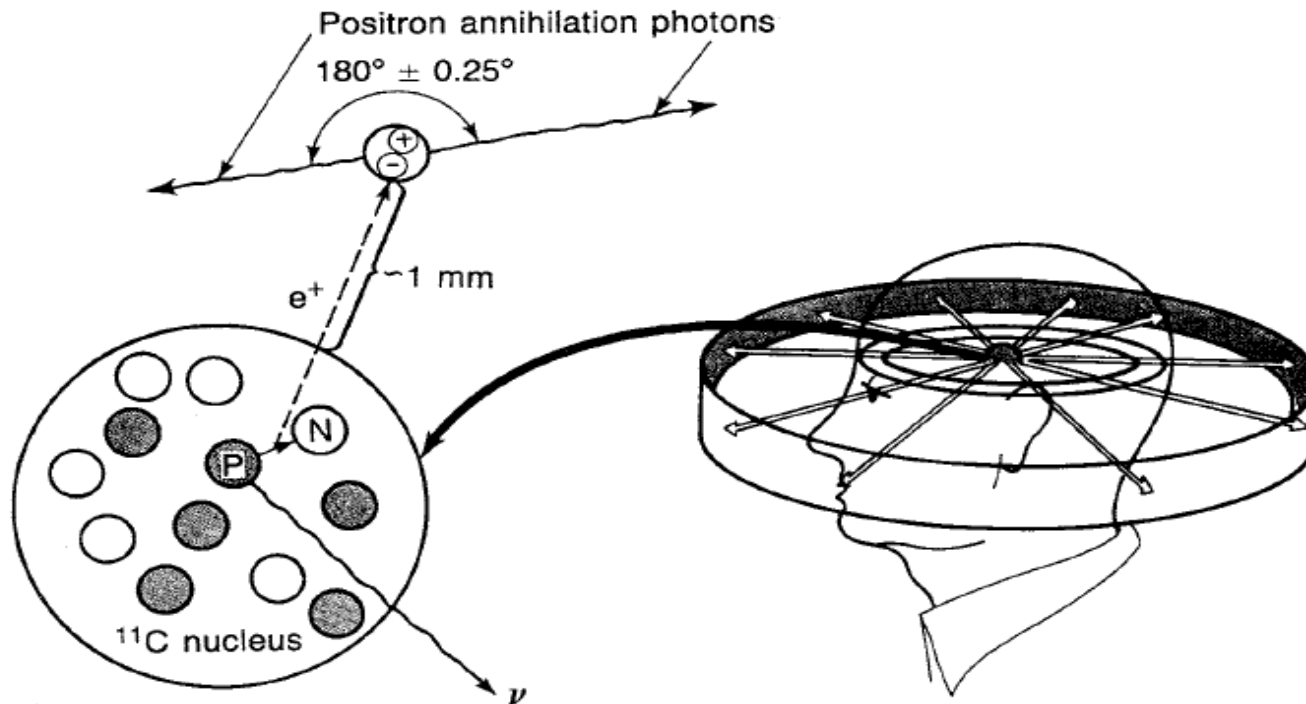
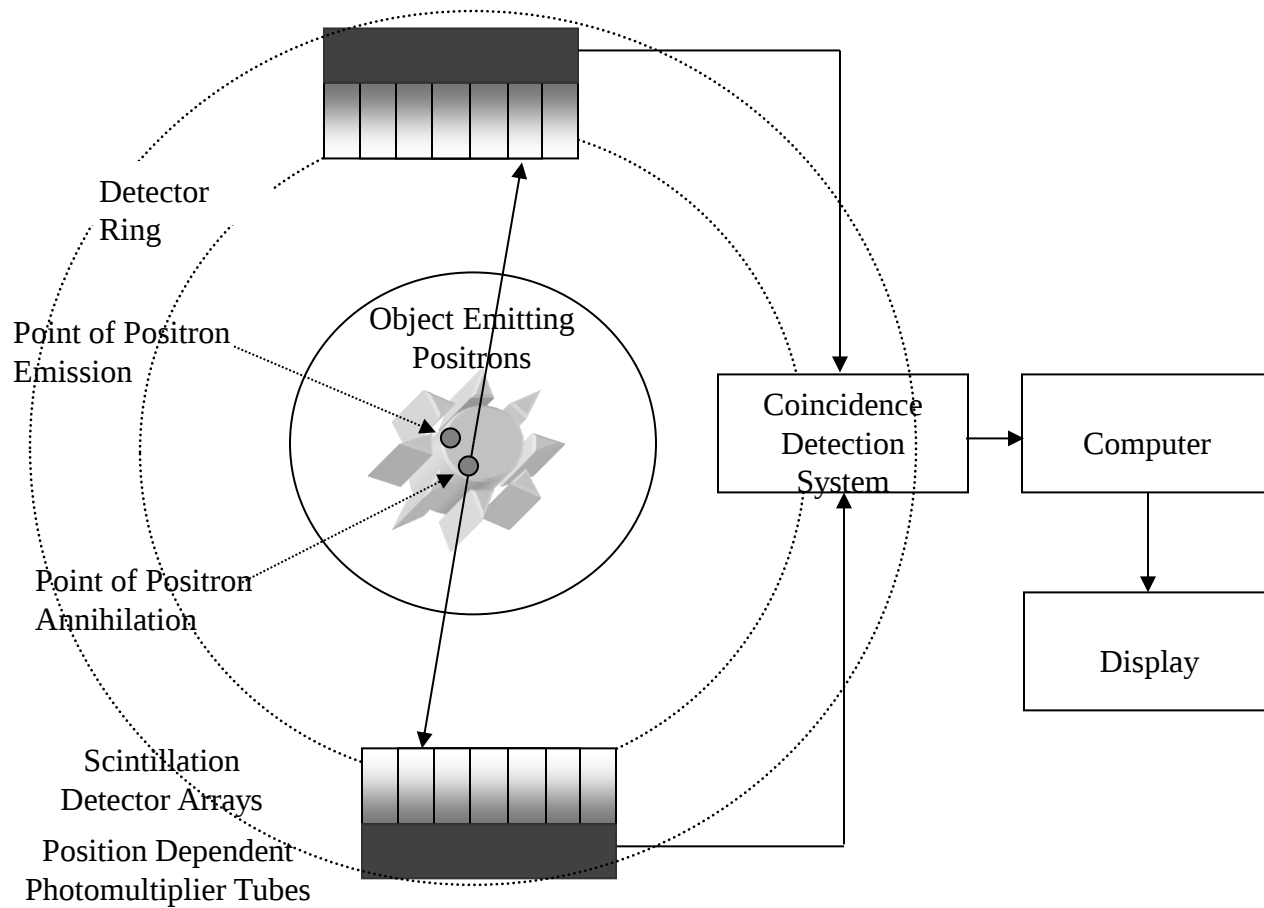


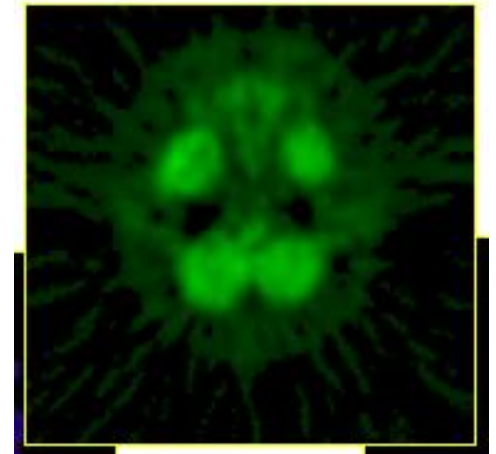
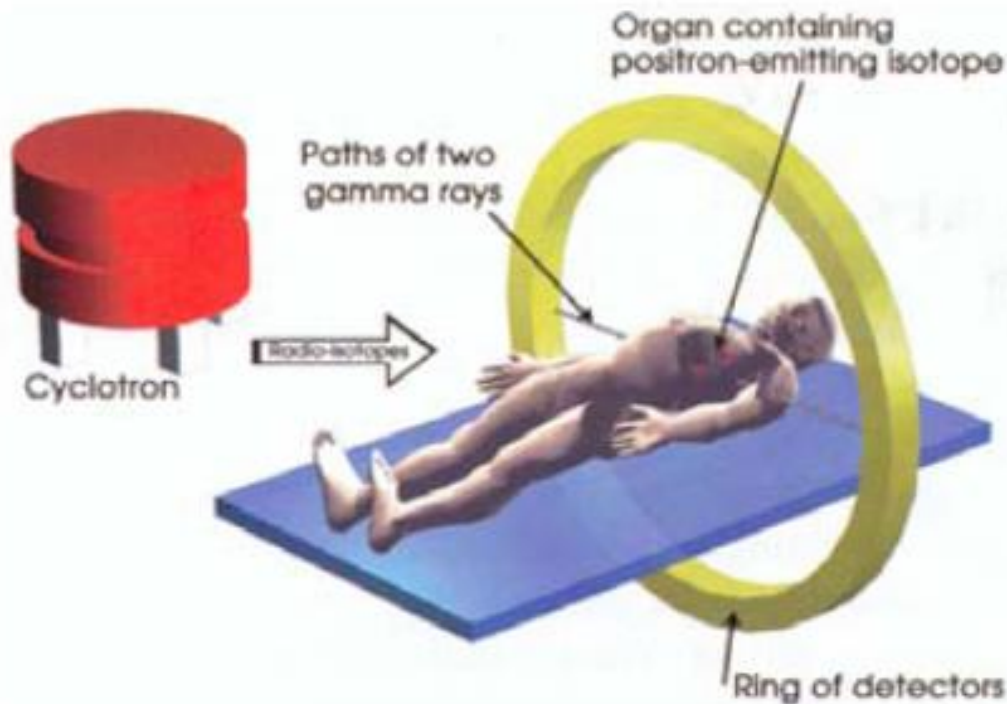
FIGURE 14.5 The physical basis of positron-emission tomography. Positrons emitted by “tagged” metabolically active molecules annihilate nearby electrons and give rise to a pair of high-energy photons. The photons fly off in nearly opposite directions and thus serve to pinpoint their source. The biologic activity of the tagged molecule can be used to investigate a number of physiologic functions, both normal and pathologic.

PET képalkotás

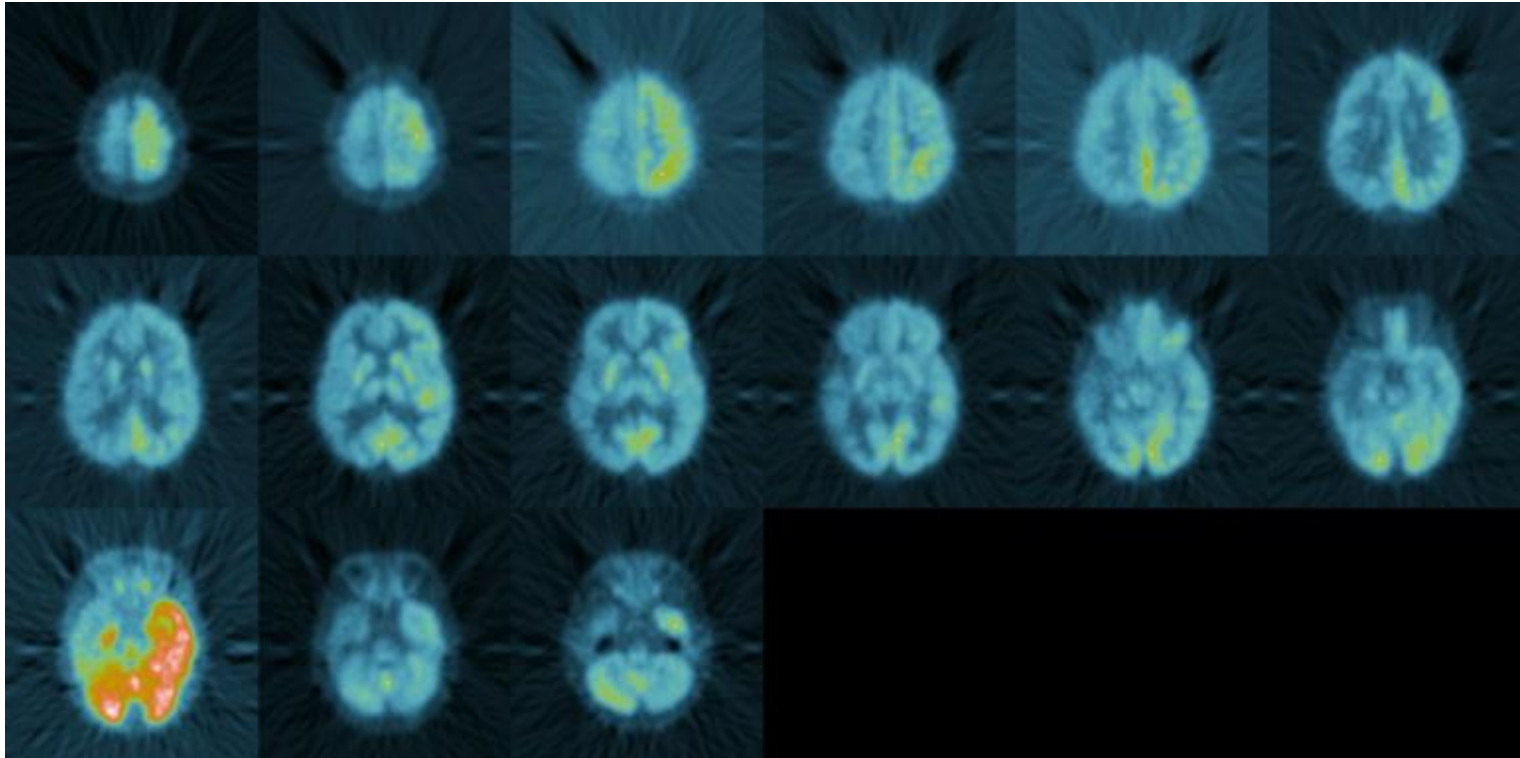


PET (Positron Emission Tomography)

- Radioizotópok: C-11 (hl: 20 m), N-13 (hl: 10 m), O-15 (hl: 2 m), F-18 (hl:110 m)
- Ciklotron (költséges)



FDG PET példa



Radiotracer: Fluorodeoxyglucose (FDG)

PET-SPECT összehasonlítás

- Mindkettő tomográfia képalkotó technika
- PET felbontása jobb, a két gamma sugár egyidejű észlelése miatt
- PET könnyebben előállítható izotópokat használ
- PET rövidebb felezési idejű izotópokat használ → költségesebb

Nukleáris medicina képalkotása

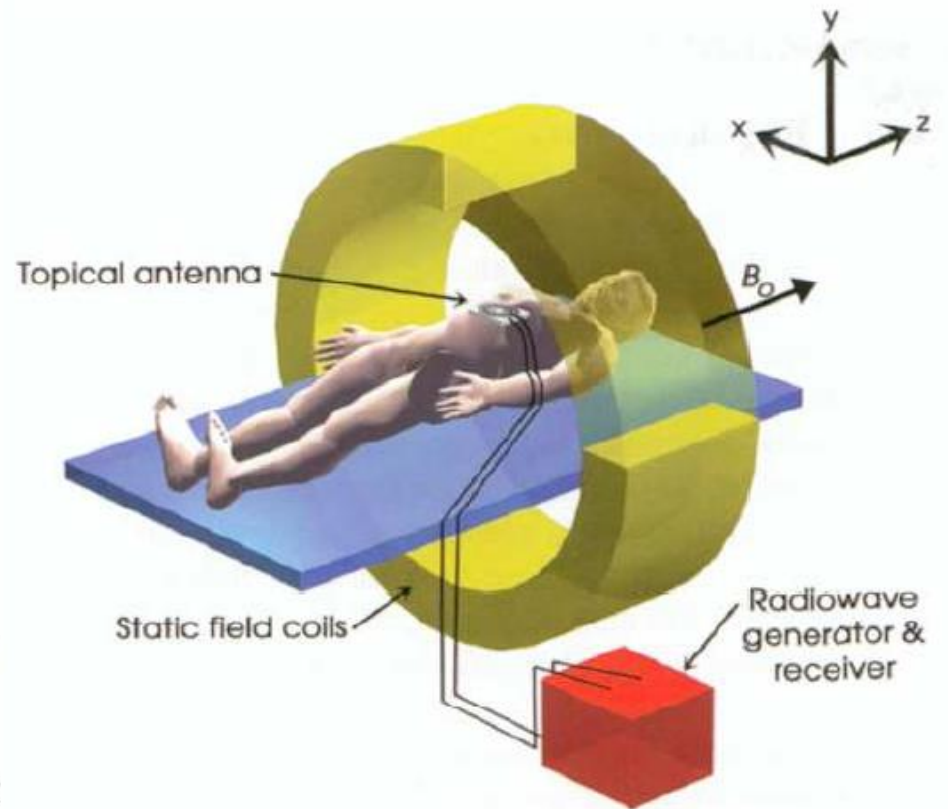
- Gyenge felbontás → anatómiai információ alig van
 - az emisszió forrása bizonytalan lehet
 - szóródás, abszorpció
- Foton energiája a test elhagyásához megfelelően nagy kell, hogy legyen (25 keV – 10 MeV)
- Radioaktív tracerek változatosan tervezhetők az adott szerv vizsgálatához
- Rövid kinyerési idő (30 min – pár óra)
 - Anatómiához nehezen köthető az eredmény (Mozgás hatása tovább rontja a kép minőségét)

MR képképzés

MR Imaging

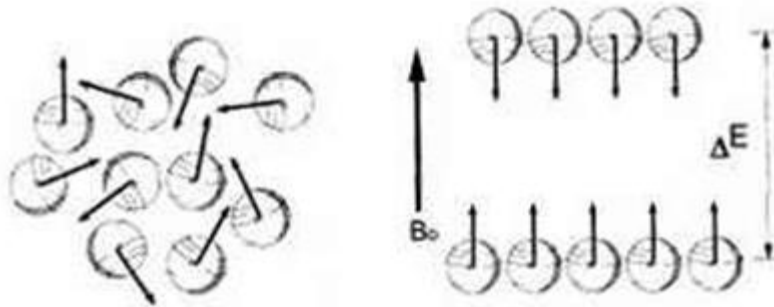
Basic Physical Principles

1. Radiofrequency pulse to perturb steady-state proton magnetization
2. Transient, small radio signal emitted
3. Spatial encoding with magnetic field gradients
4. Image map of MR signal strength



MRI elve

- Hidrogén atommag (proton) mágneses dipólusként, „iránytűként” viselkedik
- Külső mágneses tér hatására beáll a tér irányába



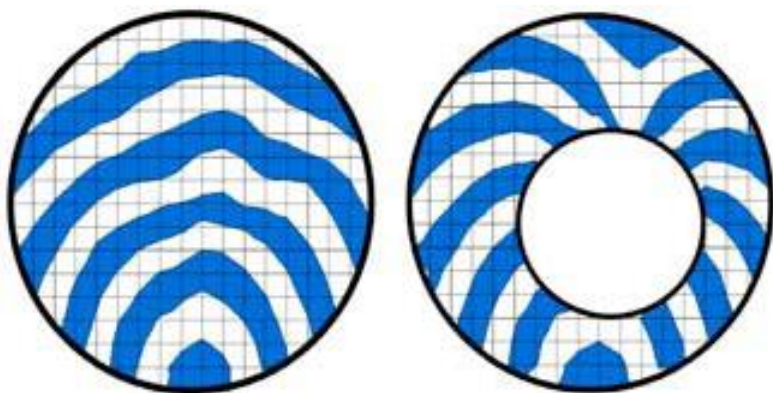
- Ebből kimozdítani csak energiaközléssel (rádióhullámokkal) lehet
- Rádióhullámok kikapcsolásakor visszarendeződés → rádióhullámok érzékelése

MR képek

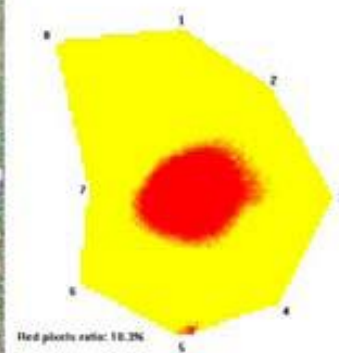
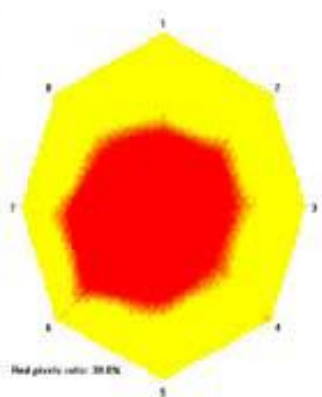
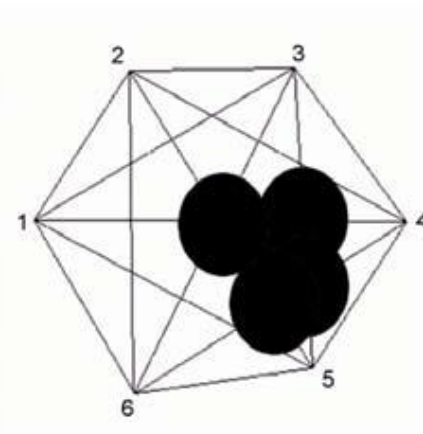


Ultrahang terjedése

- Fakorhadás vizsgálata (P. Divós, F. Divós)



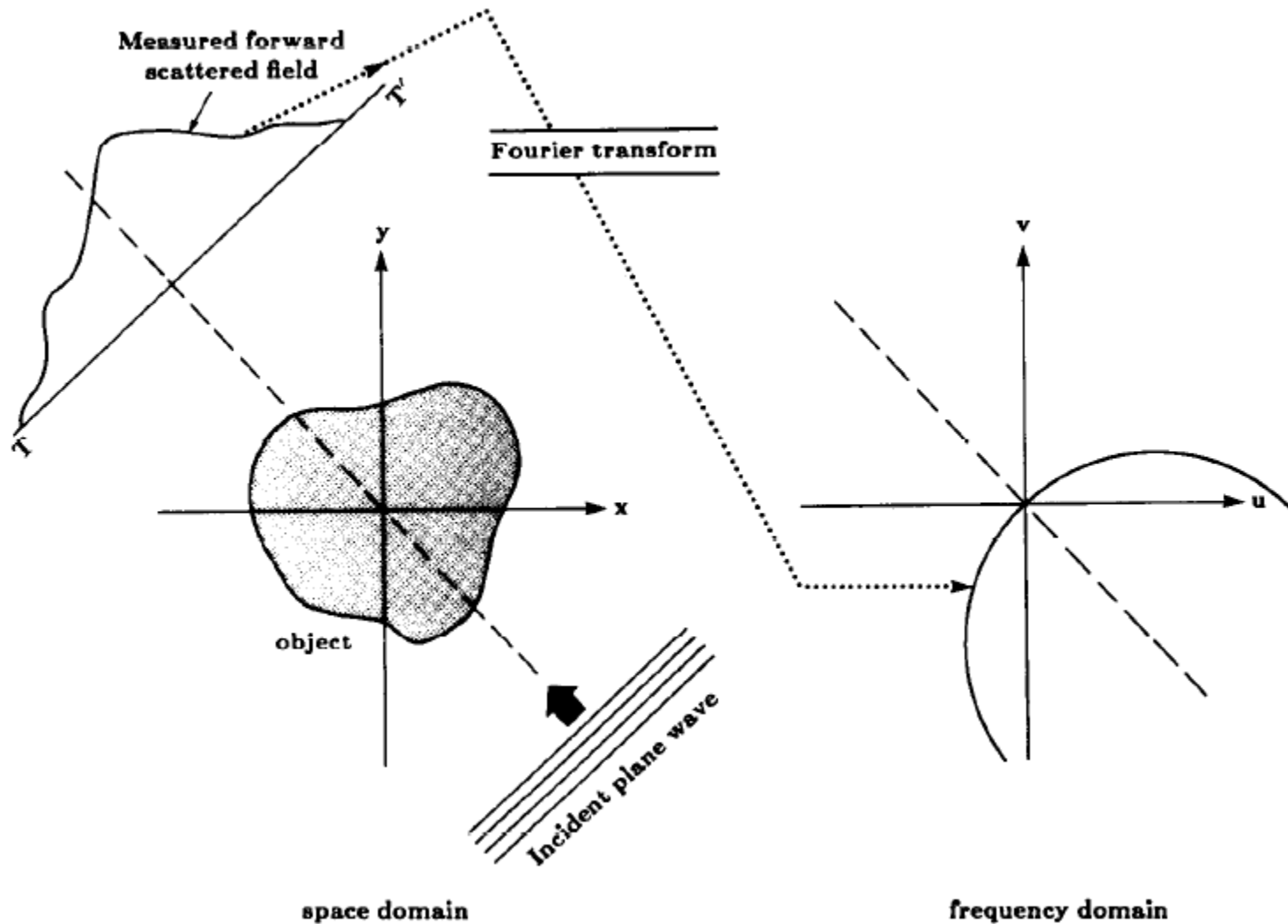
Hullámfront terjedése 20 μ s-onként



Diffrakciós tomográfia

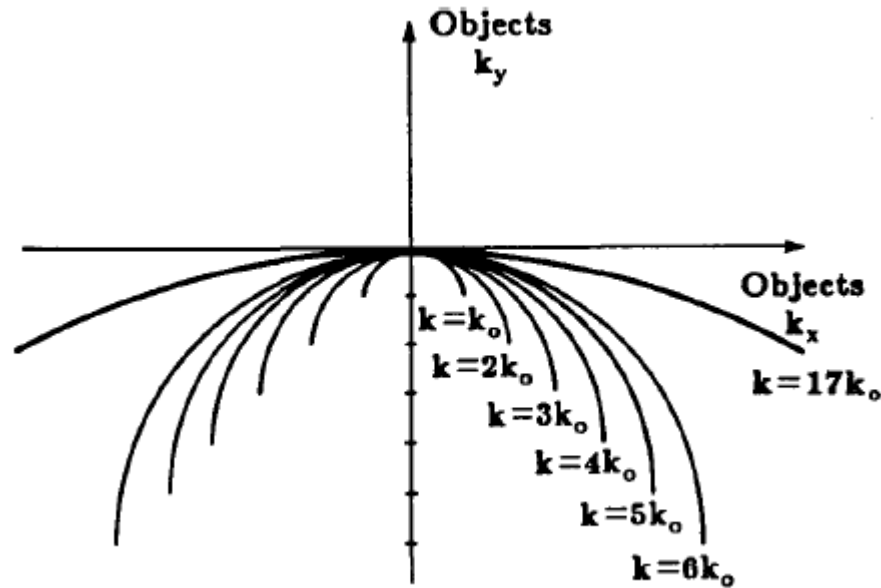
- Akusztikus, elektromágneses hullámok (ha a radioaktív, vagy röntgen sugárzás elfogadhatatlanul magas lenne)
- A hullámok nem egyenes irányban terjednek (diffrakció)
- Optikai tomográfia: fény eltérülése

Fourier diffrakciós tétel



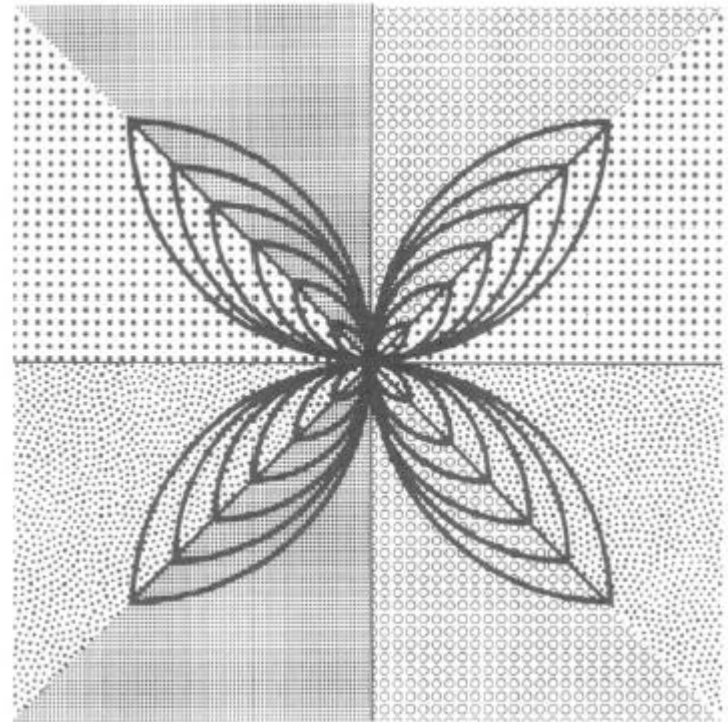
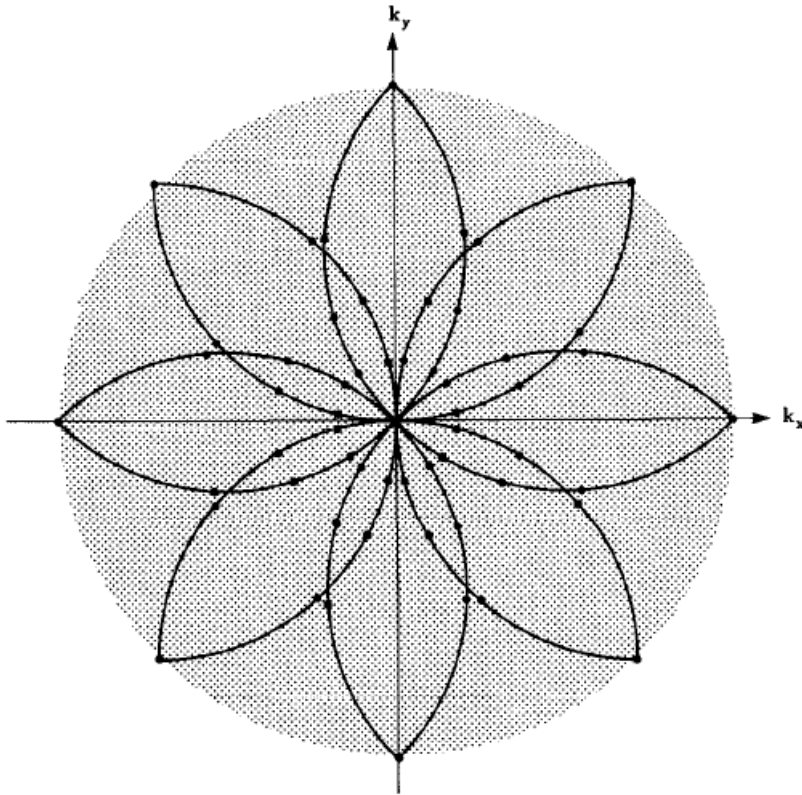
Kapcsolat a vetület-szelet tétellel

- Hullámhossz esetén: $k_0 = 2\pi/\lambda$

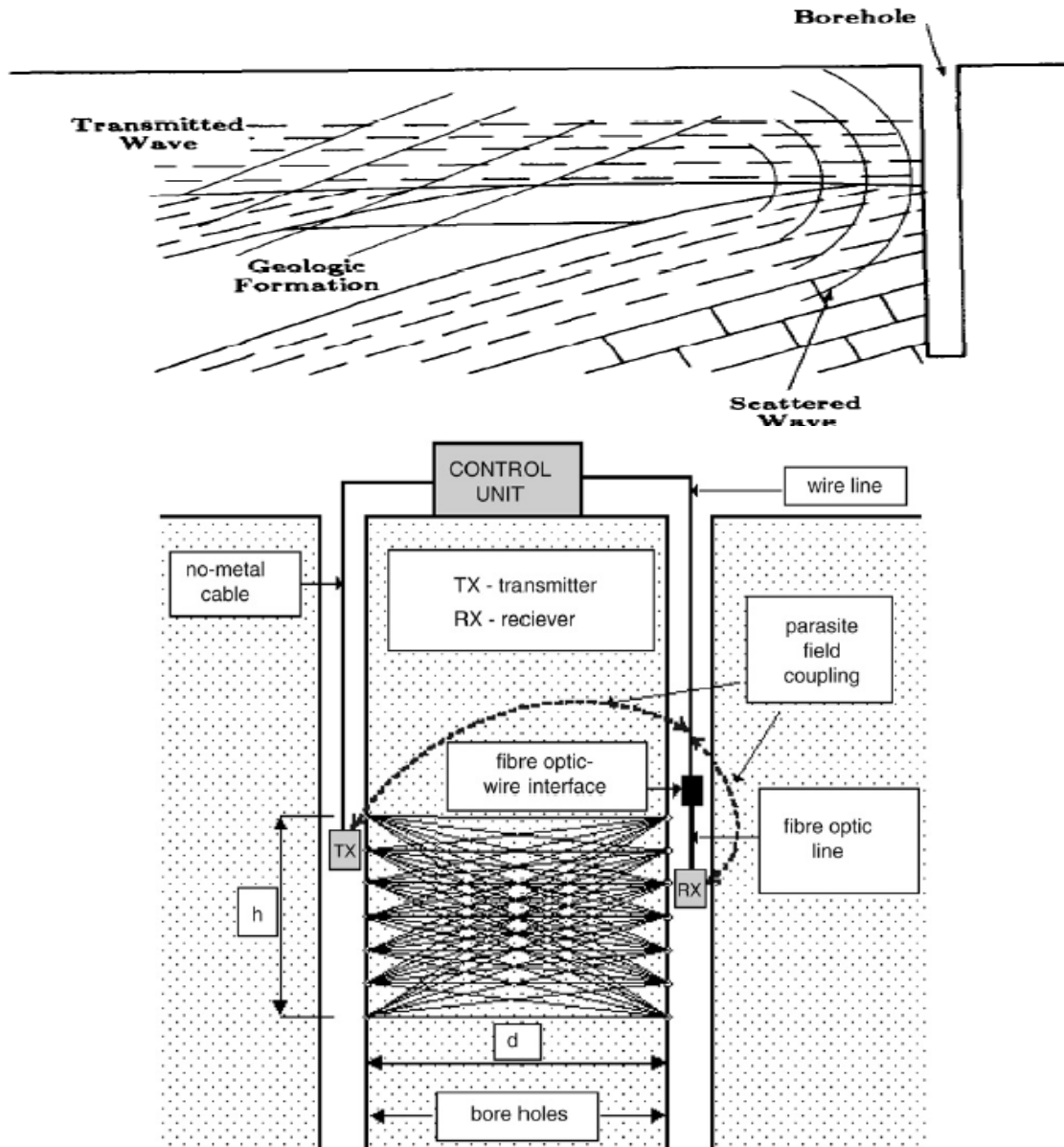


Adatgyűjtés

- Változtatható a frekvencia és az irány is



Geotomografia



Folytonos képrekonstrukció alkalmazásai

- Biztonságtechnikai vizsgálatok:
 - A repülőterek biztonsági csomagvizsgálatait végezhetik hagyományos Röntgen-átvilágítás helyett CT berendezéssel is, így pontosabb képet kapva a csomagok belsejéről. Az eljárás alkalmazható olyan esetben is, amikor felmerül a gyanú, hogy bizonyos személyek például kábítószeret tartalmazó csomagokat nyeltek le.
- Állattenyészteti alkalmazások:
 - A CT segítségével drasztikus beavatkozás nélkül lehetővé válik haszonállatok izom- és zsírszöveteiről információt nyerni, mely a takarmányozás megtervezésében lehet segítségünkre.
- Faipari, erdészeti alkalmazások:
 - Ultrahang, CT és MRI eszközök segítségével információt nyerhetünk az élő vagy kivágott fa belső szerkezetéről, feltérképezhetjük a fa esetleges belső korhadtságát vagy betegségeit. Az élő fa vizsgálata az erdőgazdálkodásban jut szerephez, segítségével eldönthető, hogy egy fát ki kell-e vágni vagy sem. Az élettelen fa vizsgálata pedig többek között az faiparban anyagminőség megállapítására és minőségellenőrzésre ad lehetőséget.

Folytonos képrekonstrukció alkalmazásai

- Régészeti, őslénytani vizsgálatok:
 - A CT segítségünkre lehet régészeti leletek nemroncsoló elemzésében is, például múmiák tanulmányozásában, szobrok falvastagságának megállapításában, vagy kőzeten belüli leletek vizsgálatában.
- Geológiai vizsgálatok:
 - Röntgen vagy hanghullámok segítségével kőzetrétegek összetétele is megállapítható, az eljárás alkalmas a különböző szerkezeti vagy anyagi összetételű kőzetek, ásványi anyagok elkülönítésére.
- Ipari nemroncsoló tesztelés:
 - Az ultrahangos és CT vizsgálatok segítségével műszaki létesítmények és szerkezetek (épületek, hidak, energiaszállító vezetékek, járművek, stb.) belsejének állapotát mérhetjük fel úgy, hogy közben magát az objektumot nem károsítjuk. A vizsgálat választ adhat arra, hogy kell-e és ha igen, akkor milyen beavatkozást kell végrehajtani az adott objektum élettartamának megnöveléséhez, vagy hogy éppenséggel az adott objektum alkalmas-e még egyáltalán funkciójának betöltésére.