

RÁDIÓSPEKTROSKÓPIÁK, NMR, ESR, MRI

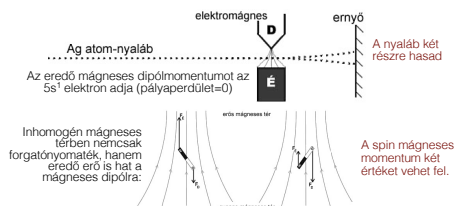
KELLERMAYER MIKLÓS

Atomi, molekuláris rendszerek elemi mágnesként viselkedhetnek

Stern-Gerlach kísérlet (1922)



Otto Stern (1888-1969) Walther Gerlach (1889-1979)



Mágneses magrezonancia ("nuclear magnetic resonance", NMR) Nobel-díj, 1952



Isidor Rabi (1898-1988)



Felix Bloch (1905-1983)

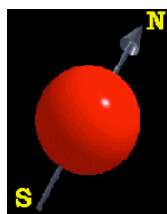


Edward Mills Purcell (1912-1997)

Mágneses rezonancia: Mágneses térbe helyezett minta általi, rezonancia-abszorpció jellegű elektromágneses energia elnyelés.

Eredő spinnel rendelkező rendszerek: elemi mágnesek

- Elemi részecskék (p, n, e) saját **spinnel** rendelkeznek.
- Elemi részecskék száma és bizonyos rendező elvek (pl. Pauli-elv) miatt **eredő spin** léphet fel.
- Atommag: páratlan tömegszám - feles magspin (^1H , ^{13}C , ^{15}N , ^{19}F , ^{31}P); páros tömegszám, páratlan rendszám - magspin egész; páros tömegszám és rendszám - magspin zérus.
- Elektron: eredő elektronspin stabil párosítatlan elektront tartalmazó rendszerekben (pl. szabad gyökök).
- **Töltés és eredő spin** miatt **mágneses momentum** lép fel.



Pörgettyűmodell

Magmágneses momentum:

$$M_N = \gamma_N L$$

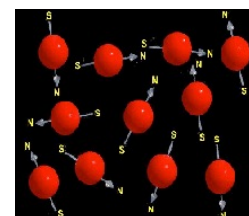
γ_N = atommag giromágneses hányadosa (mágneses momentum és perdület aránya)
 L = magspin ($L = \sqrt{l(l+1)}\hbar$), ahol l =eredő spinkvantumszám.

Elektronspin mágneses momentuma:

$$M_e = -g\mu_B \sqrt{S(S+1)}$$

g = elektron g-faktora (a mágneses momentum és giromágneses hányados kapcsolatát leíró dimenzió nélküli arányszám)
 μ_B = Bohr magneton (az elektron mágneses dipólmomentum egysége)
 S = spinkvantumszám

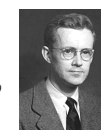
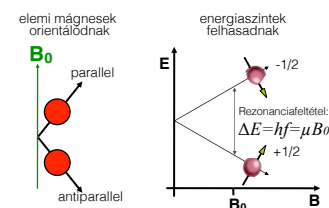
Mágneses térben a spinek orientálódnak



Mágneses tér hiányában: elemi mágnesek orientációja random

Paramágnesség: külső mágneses tér hatására fellépő mágnesezettség (mágneses dipólók orientációja).

Mágneses térben:

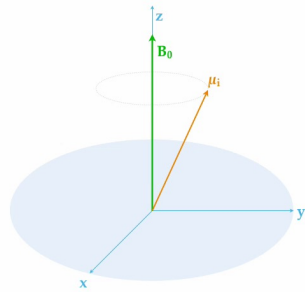


Edward Purcell, 1946

Az orientált spinek precessziós mozgást végeznek



Pörgettyű precessziós mozgása



Elemi mágneses momentum (μ) precessziós mozgása mágneses tér iránya körül (mágneses indukció: B_0) az xyz vonatkoztatási térben

Precessziós vagy Larmor frekvencia:

$$\omega_0 = \gamma B_0$$

$$f_{Larmor} = \frac{\gamma}{2\pi} B_0$$

Rezonanciafeltétel:

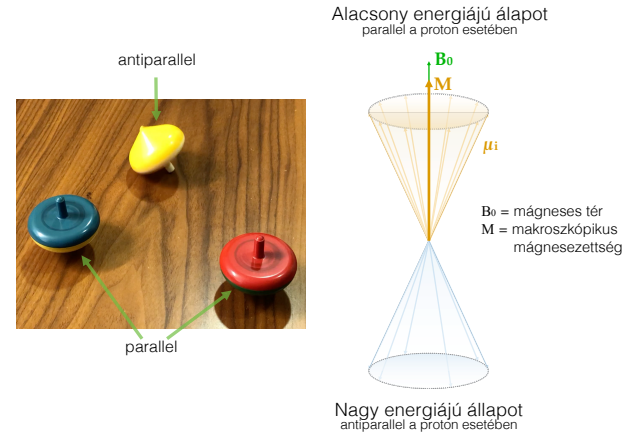
$$\Delta E = \frac{h\omega_0}{2\pi}$$



Felix Bloch, 1946

Makroszkópos mágnesezettség

Különböző energiaszinteken spintöbblet miatt



A nagy (parallel) ill. alacsony (antiparallel) energiájú spinállapotok aránya:

$$\frac{N_{antiparallel}}{N_{parallel}} = e^{-\frac{\Delta E}{k_B T}}$$

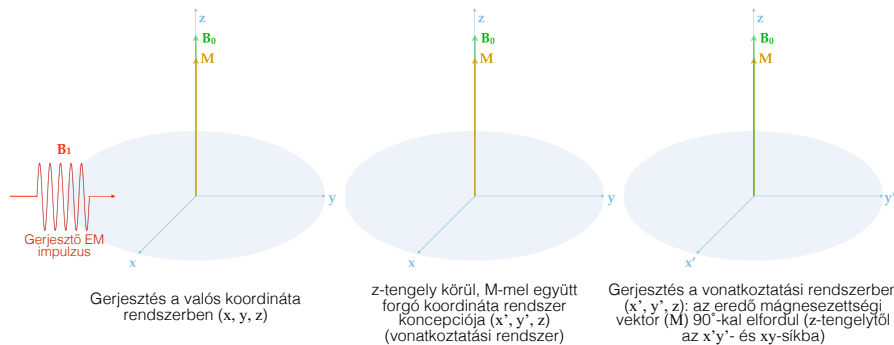
(Boltzmann-eloszlás)

MRI-ben alkalmazott mágneses térerő:
Föld mágneses térerejének 20-50 ezerszerese

Gerjesztés

Rezonancia feltétel: Larmor frekvencia

Alkalmazott elektromágneses sugárzás: rádióhullám (NMR, MRI), mikrohullám (ESR)

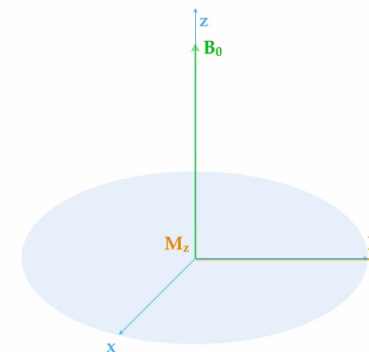


B_0 = mágneses tér
 M = makroszkópikus mágnesezettség
 B_1 = besugárzott elektromágneses tér

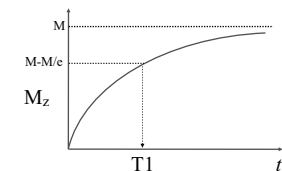
Spin-rács relaxáció

T1 vagy longitudinális relaxáció

Az eredő mágnesezettségi vektor (M) relaxation of the z -tengely menti vektoriális komponensének (M_z) visszatérése (relaxációja) a külső mágneses téri irányába



M_z : M z -tengely menti vektoriális komponense

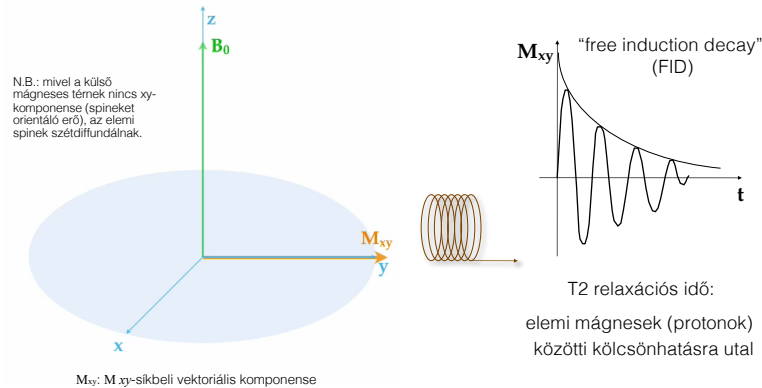


T1 relaxációs idő:
elemi mágnes (proton) és környezete közötti kölcsönhatásra utal

Spin-spin relaxáció

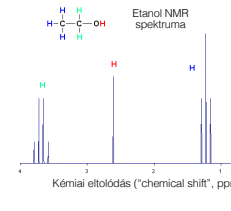
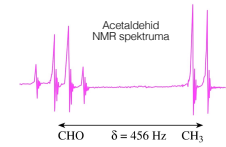
T2 vagy tranzverzális relaxáció

Az elemi mágneses momentumok (μ) szétterülése (diffúziója) a tranzverzális (xy) síkban, amely az eredő mágnesszetség (M) xy -síkbeli vektoriális komponensének (M_{xy}) lecsengéséhez (relaxációjához) vezet



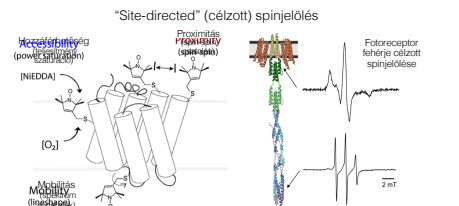
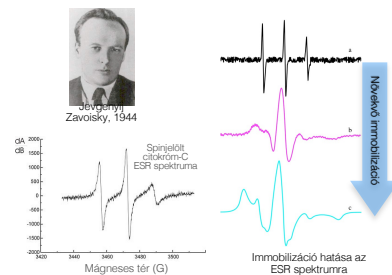
NMR spektroszkópia

- NMR spektroszkópia vagy Mágneses Rezonancia Spektroszkópia (MRS)
- Spektroszkópai módszer az atommagok körüli lokális mágneses tér mérésére. A mágneses térbe helyezett atommagok rezonanciafrekvenciáit mérjük meg.
- NMR spektrométer: Folyékony He által hűtött mágnes, nagy mágneses térrel (spektrális felbontás a térről egyenesen arányos)
- NMR spektrum: elnyelt elektromágneses sugárzás intenzitása frekvencia függvényében.
- "NMR-vonal" görbe alatti területe az abszorbeáló atommagok számával arányos.
- Elektronfelhő (i.e., annak szerkezete) befolyásolja a lokális mágneses teret: frekvenciafeltétel elhangolódik ("kémiai eltolódás"). Kémiai szerkezetmeghatározás lehetősége.
- Fehérje NMR: dinamika mérésének lehetősége, rendezetlen fehérje elemek detektálása

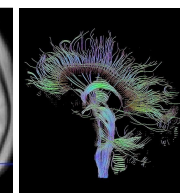
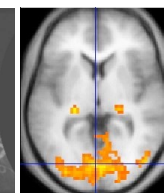
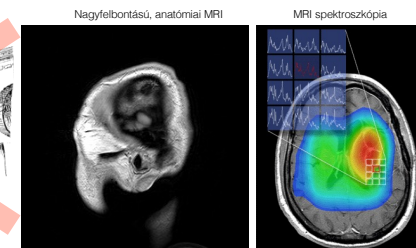
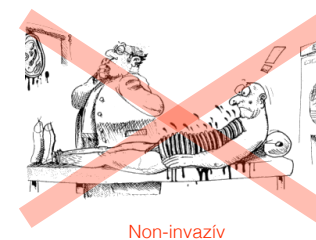


ESR spektroszkópia

- Elektronspin rezonancia (ESR) vagy elektron paramágneses rezonancia (EPR) spektroszkópia
- Spektroszkópai módszer a páratlan elektront tartalmazó anyagok vizsgálatára.
- ESR spektrum: elnyelt elektromágneses sugárzás intenzitása a mágneses tér függvényében.
- NMR-énél alacsonyabb mágneses tér, de nagyobb elektromágneses sugárzási frekvenciák (mikrohullám).
- Spin-jelölés:** stabil párosítatlan elektront tartalmazó vegyülettel való jelölés. "Site-directed" (célzott) spinjelölés: pontmutációval tervezetten bevitelt reaktív aminosav oldallánckok (-SH) spinjelölése.
- Mozgási (rotációs) sebességek mérési lehetősége a 10^{-4} - 10^{-2} s időtartományban.



MRI: orvosi diagnosztikát forradalmasító képalkotó módszer



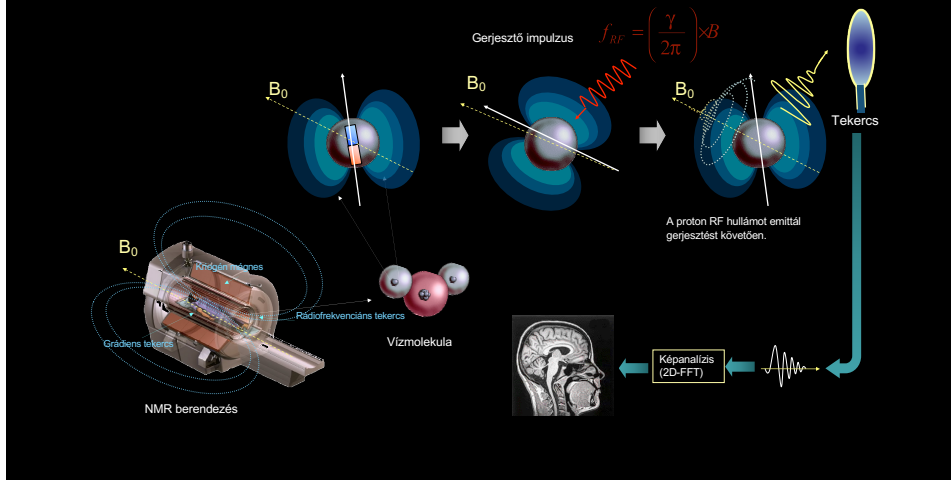
MRI angiográfia

Funkcionális MRI (fMRI)

Diffúziós MRI (tractography)

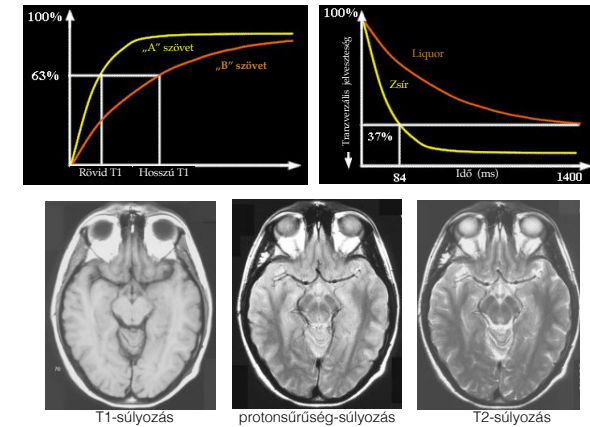
Musculoskeletal MRI

emberi test makroszkópikus mágneszettségét hoz



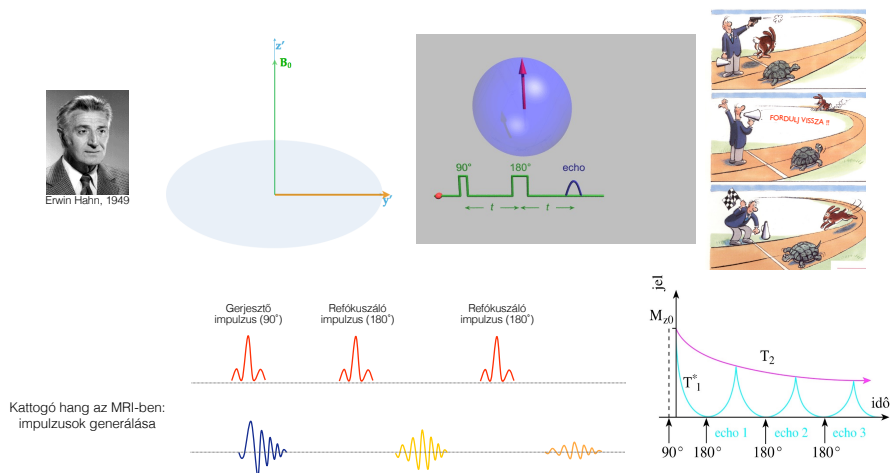
MRI 1: kontraszt

Színkontraszt a spinsűrűség (proton denzitás, PD) és relaxációs idők (T_1 , T_2) alapján

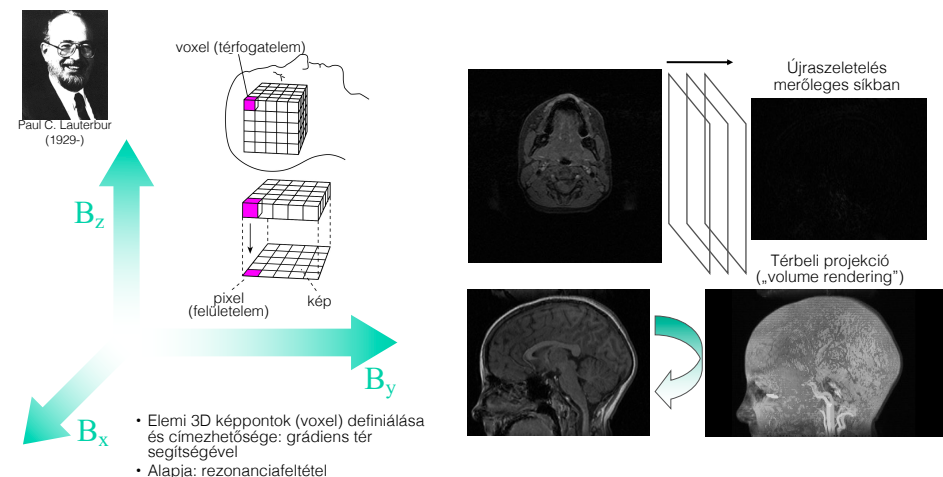


Relaxációs idő mérése: spin-echo kísérlet

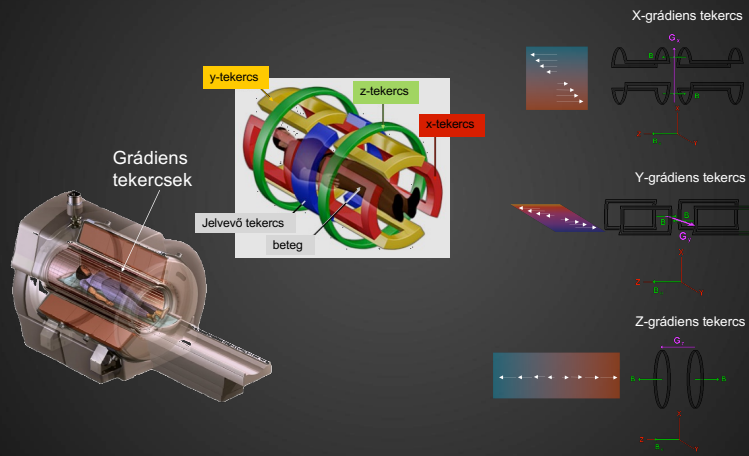
Ismétlődő gerjesztő, refókuszáló és "visszhang" impulzusok: spin-echo szekvencia



MRI 2: Térbeli kódolás



Térben változó mágneses tér létrehozása: "grádiens" tekercsekkel



MRI 3: képrekonstrukció

1. "Backprojection"

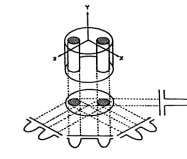
- „visszavetítés”
- mint a CT esetében



Paul Lauterbur,
1973, Illinois



Peter Mansfield,
1973, Nottingham



Visszavetítés elve



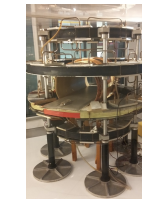
Rekonstruált kép (két
kémcső keresztmetszete)

2. 2D Fourier transzformáció

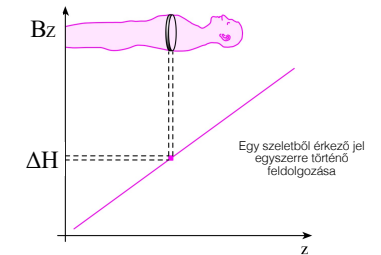
- jelenleg alkalmazott
módszer
- „NMR Fourier
Zeugmatography”



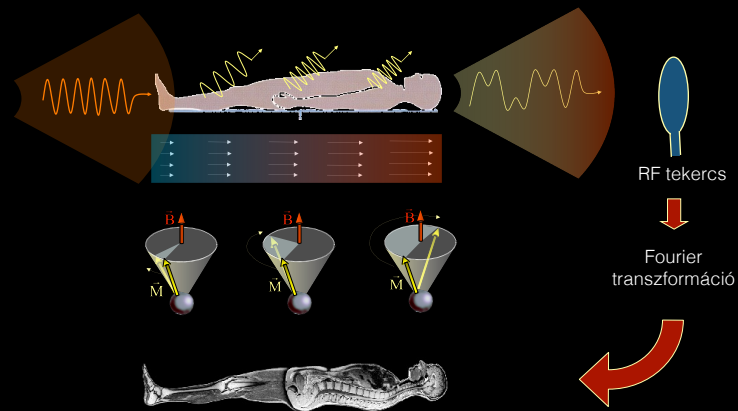
Richard Ernst,
1974, Zürich



„MRI Scanner Mark One”,
Aberdeen, Skócia

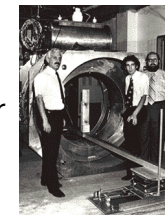


MRI: térbeli kódolás és képrekonstrukció a precesszió térfüggő frekvenciaváltozásán alapul

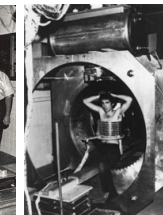


MRI 4: szkennerek

Hőskor



Indomitable (rettenthetetlen, Damadian)



MRI Scanner Mark One (Ernst)

Jelen



3T MRI



Nyitott MRI egység



Intervenció MRI egység

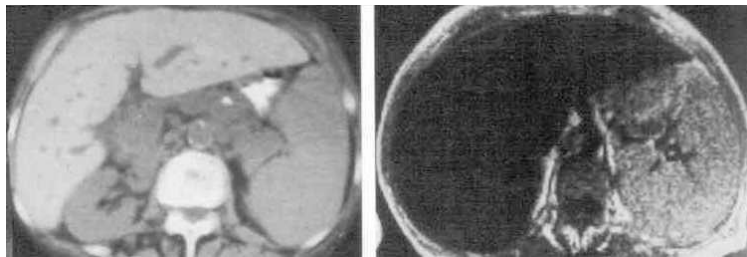


Mobil MRI

MRI 5: kontrasztanyagok

Pozitív: paramágneses elemek (T1 kontraszt): Gd, Mn

Negatív: szuperparamágneses, ferromágneses (T2 kontraszt): FeIII, MnII



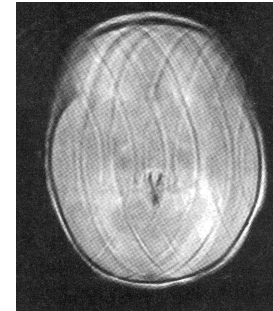
CT

MR T2

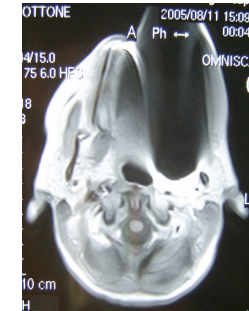
Haemochromatosis hepatis (vasfelhalmozódás a májszövetben)

MRI 6: műtermékek

- Mozgás
- Fémek (implantátum, sérülés)



Mozgási műtermék



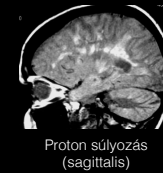
Fém az orbitában

MRI 7: veszélyek, kontraindikációk

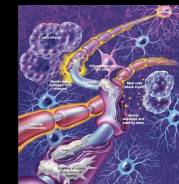
- Sztatikus mágneses tér - fémtárgyak
Kontraindikációk: beépített eszközök (pacemaker, defibrillátor, hallókészülék, csontnövekedést serkentő készülék, gyógyszeradagoló), neurostimulátorok, agyi aneurysma csatok, régi típusú szívbillentyűk
- Grádiens tér - áramindukció
- Rádiófrekvenciás tér - hőhatás (szemlencse, here)



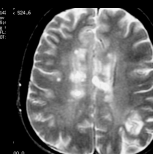
MRI alkalmazások: anatómiai képalkotás - sclerosis multiplex



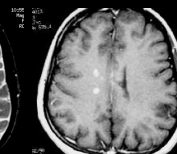
Proton súlyozás (sagittalis)



Proton súlyozás (transversalis)

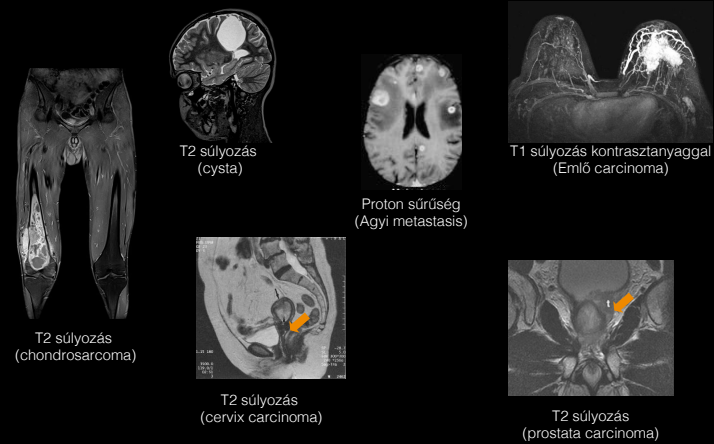


T2 súlyozás (transversalis)

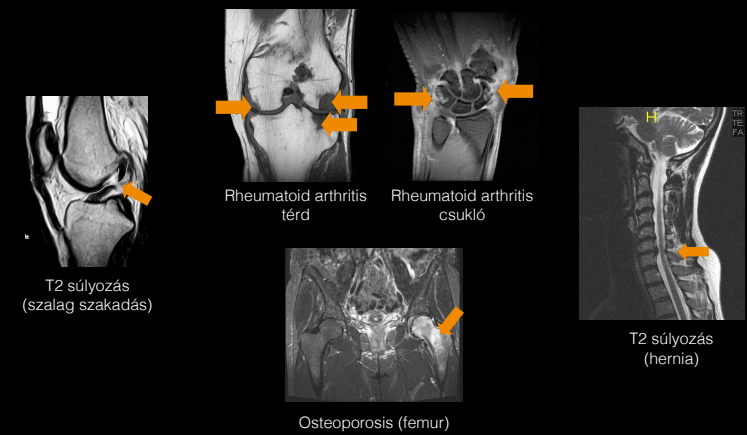


T1 súlyozás (kontrasztanyaggal)

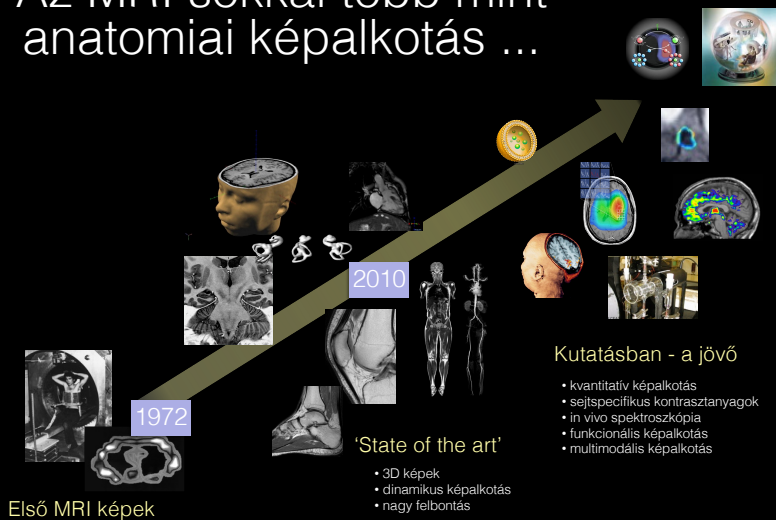
Anatomiai képalkotás: Onkológia



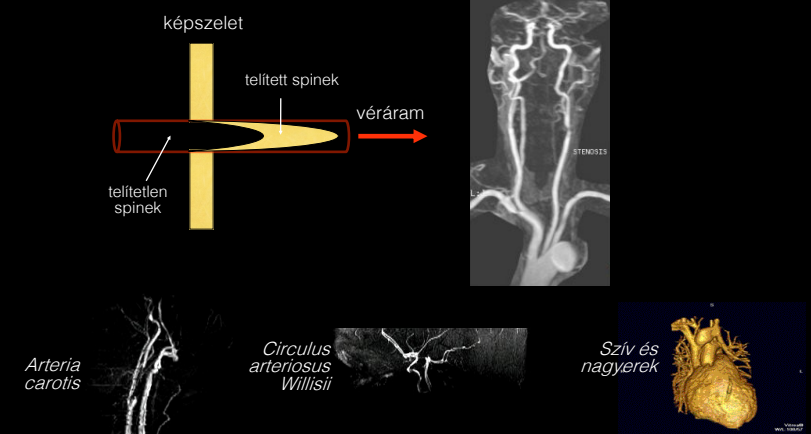
Anatomiai képalkotás csont és lágyrészek



Az MRI sokkal több mint anatomiai képalkotás ...

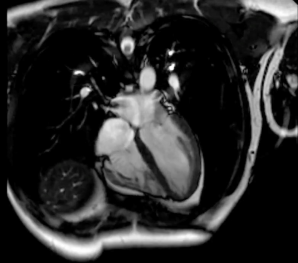


MRI: Non-invazív angiográfia

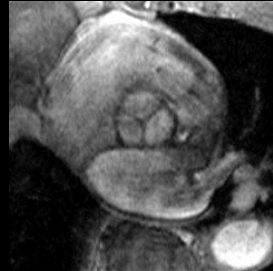


MRI mozgókép (valós idő)

Nagy időfelbontású felvételek alapján - EKG szinkronizáció



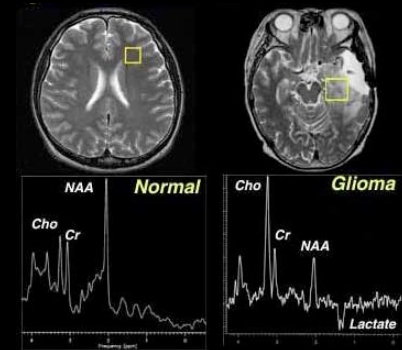
Véráramlás a szív üregeiben



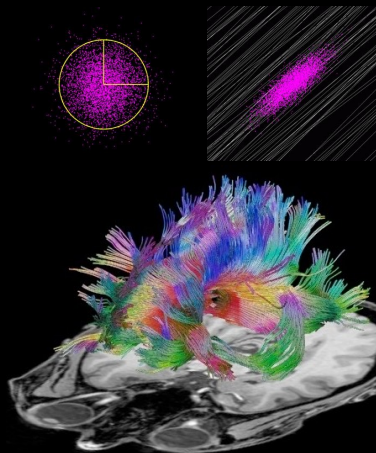
Aortabillentyű nyitódása - záródása

MR Spektroszkópia

- Kémiai eltolódás (chemical shift)
- Metabolitok azonosítása
- Tumordiagnosztika



Diffúziós képalkotás



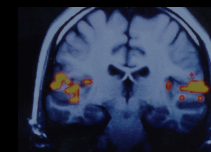
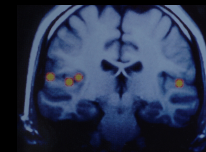
Anizotróp vízdiffúzió:
kontrasztkpződés

Idegpályák vizsgálata:
traktográfia

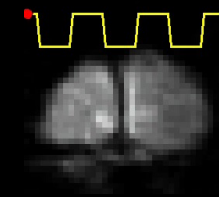
Corpus callosum

Funkcionális MRI (fMRI)

Élettani folyamattal szinkron felvett
Nagy időfelbontású képsorozat



Aktiváció az acusticus
cortexben

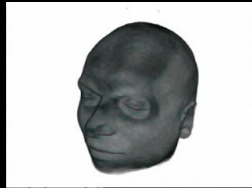


Villogó fény hatása a
látókéregre

MRI információ szuperponálása egyéb információval (PET)

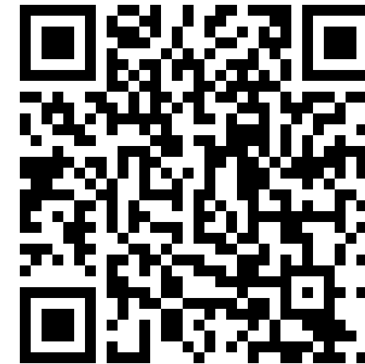


Intracranialis tumor



PET jel: szemmozgatás során aktivált
kortikális részek
Térbeli rekonstrukció

OMHV



ck.semmelweis.hu/feedback/pre-show-qr.php?type=feedback&qr=8SIN5P&