

**TIMES, 2003. OKTÓBER 9**

**This Year's  
Nobel Prize  
in Medicine**

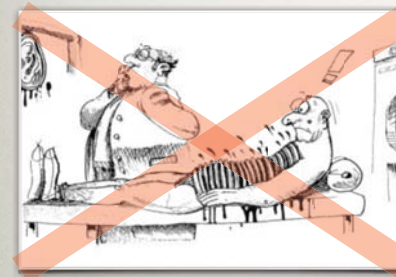


## The Shameful Wrong That Must Be Righted

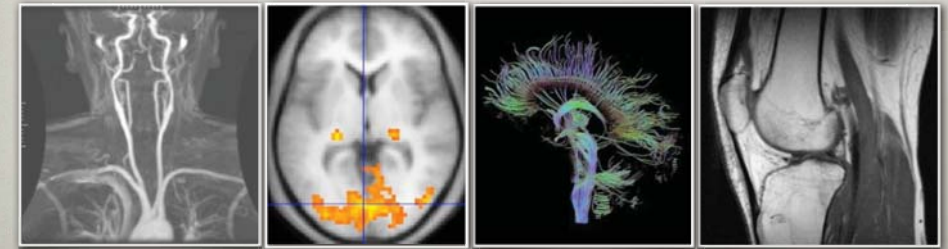
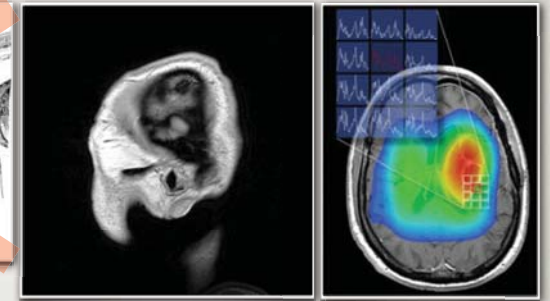
This year the committee that awards The Nobel Prize for Physiology or Medicine did the one thing it has no right to do: it ignored the truth. Eminent scientists, leading medical textbooks and the historical facts are in disagreement with the decision of the committee. So is the U. S. Patent Office. Even Alfred Nobel's will is in disagreement. The committee is attempting to rewrite history.

The Nobel Prize Committee to Physiology or Medicine chose to award the prize, not to the medical doctor/research scientist who made the breakthrough discovery on which all MRI technology is based, but to two scientists who later made technological improvements based on his discovery.

## MRI: ORVOSI DIAGNOSZTIKÁT FORRADALMASÍTÓ KÉPALKOTÓ MÓDSZER



Non-invazív



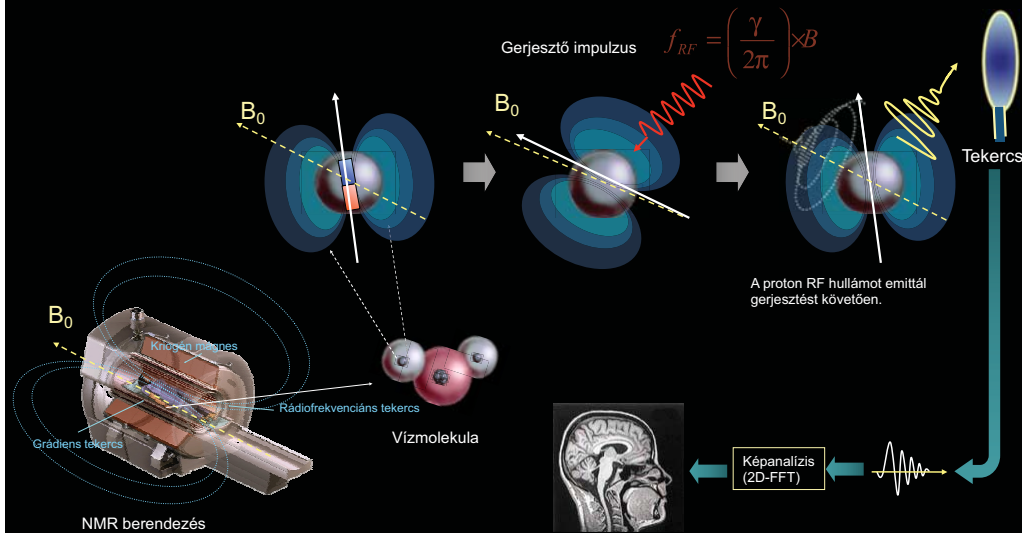
## MRI

- Történelem
- MRI alapok  
Magspin, precesszió, rezonancia, gerjesztés-relaxáció
- MRI képalkotás
  - I. Térkódolás
  - II. Képrekonstrukció
  - III. Színkontraszt
  - IV. Szkennerek
  - V. Kontrasztanyagok
  - VI. Műtermékek
  - VII. Veszélyek, kontraindikációk
- Alkalmazások, a jövő irányai

## MRI TÖRTÉNELEM

- 1970 - Raymond Damadian: rákos és normál szövetek T1 és T2 relaxációs idejei különböznek.
- 1972 - Raymond Damadian: US patent
- 1973 - Paul Lauterbur: 2D MR képalkotó módszer
- 1974 - Peter Mansfield: 3D MR képalkotó módszer
- 1977 - Raymond Damadian: az első MR szkennerek ("focused field" módszer)
- 2003 - Nobel-díj: Lauterbur, Mansfield
- NMR: Legtöbb Nobel-díjjal kitüntetett módszer (6)  
Otto Stern (1942), Isidor Rabi (1944), Felix Bloch, Edward Purcell (1952), Richard Ernst (1991), Kurt Wüthrich (2002)

# MRI MŰKÖDÉSE - RÖVID ÖSSZEFOGLALÁS



## MRI ALAPOK

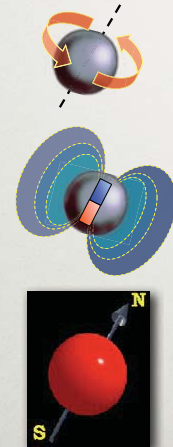
### I. AZ EREDŐ SPINNEL RENDELKEZŐ ATOMMAGOK ELEMİ MÁGNESEK



Otto Stern



W. Gerlach



Atommag tömege:  $m_{\text{proton}} = 1,67 \cdot 10^{-24} \text{ g}$

Atommag perdülete:  $L = \sqrt{l(l+1)}\hbar$   
 $l = \text{spin kvantum szám}$

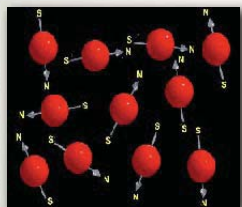
Atommag töltése:  $q_{\text{proton}} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Atommag eredő mágneses momentuma:  $\mu_i = \gamma L$   
 $\gamma = \text{giromágneses hányados}$   
 $L = \text{magspin}$

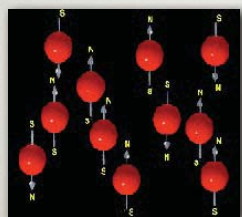
MRI-ben hasznos atommagok:  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{19}\text{F}$ ,  $^{23}\text{N}$ ,  $^{31}\text{P}$

## MRI ALAPOK

### II. MÁGNESES TÉRBEN A MAGSPINEK ORIENTÁLÓDNAK

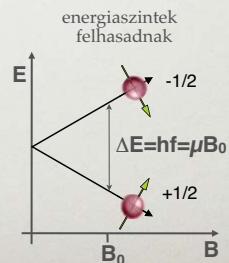


Mágneses tér hiányában:  
 elemi mágnesek orientációja random



Mágneses térben:

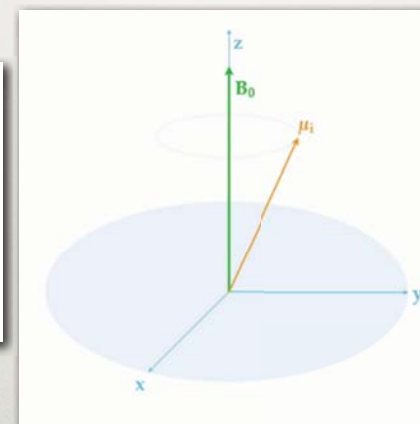
elemi mágnesek orientálódnak  
 $B_0$  parallel  
 $B_0$  antiparallel



Edward Purcell, 1946

## MRI ALAPOK

### AZ ORIENTÁLT MAGSPINEK PRECESSZIÓS MOZGÁST VÉGEZNEK



Precessziós vagy Larmor frekvencia:

$$\omega_0 = \gamma B_0$$

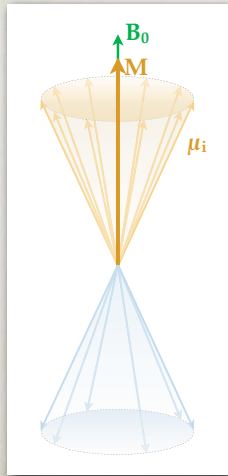
$$f_{\text{Larmor}} = \frac{\gamma}{2\pi} B_0$$



Felix Bloch, 1946

## MAKROSZKÓPOS MÁGNESEZETTSÉG KÜLÖNBÖZŐ ENERGIASZINTEKEN SPINTÖBBLET MIATT

Alacsony energiájú állapot  
parallel a proton esetében



$B_0$  = mágneses tér  
 $M$  = makroszkópikus  
mágneszettség

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

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

(Boltzmann-eloszlás)

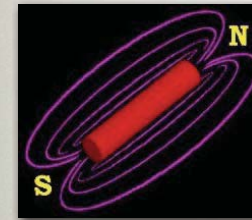
MRI-ben alkalmazott mágneses térerő:  
Föld mágneses téreérének 20-50 ezerszerese

Nagy energiájú állapot  
antiparallel a proton esetében

## MRI ALAPOK

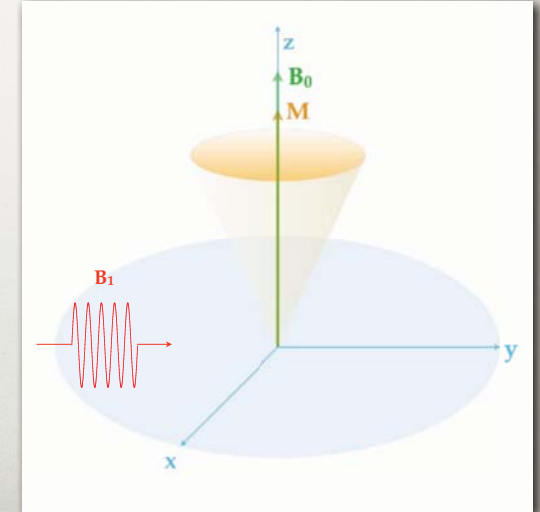
### III. RÁDÓFREKVENCIÁS SUGÁRZÁSSAL A RENDSZER GERJESZTHETŐ

Rezonancia feltétel: Larmor frekvencia

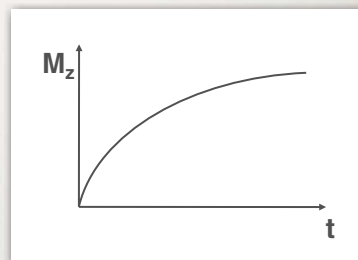
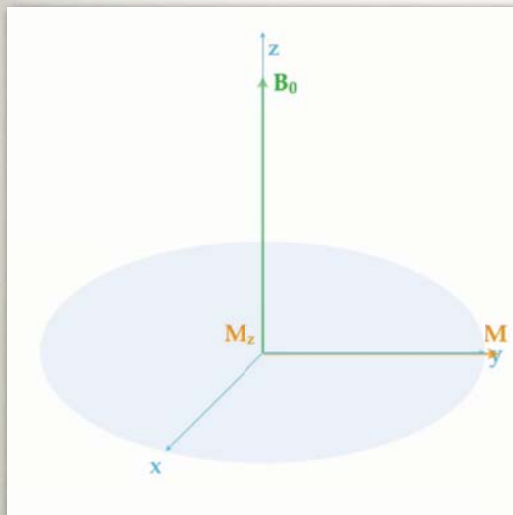


$B_0$  = mágneses tér  
 $M$  = makroszkópikus mágneszettség  
 $B_1$  = besugárzott elektromágneses tér

MRI-ben alkalmazott  
elektronágneses sugárzás:  
Rádiófrekvencia

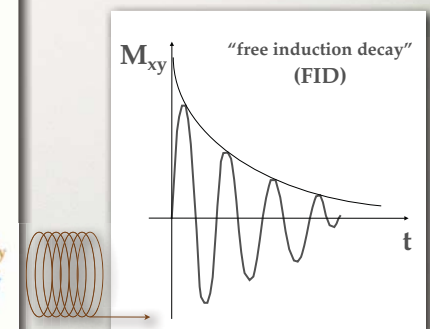
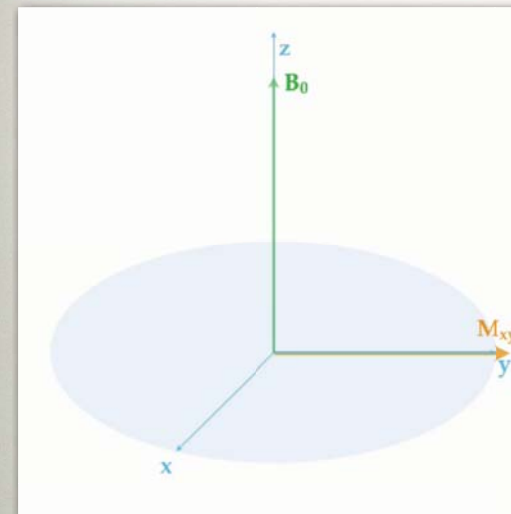


## SPIN-RÁCS RELAXÁCIÓ T1 VAGY LONGITUDINÁLIS RELAXÁCIÓ



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

## SPIN-SPIN RELAXÁCIÓ T2 VAGY TRANZVERZÁLIS RELAXÁCIÓ



T2 relaxációs idő:  
elemi mágnesek (protonok)  
közötti kölcsönhatásra utal



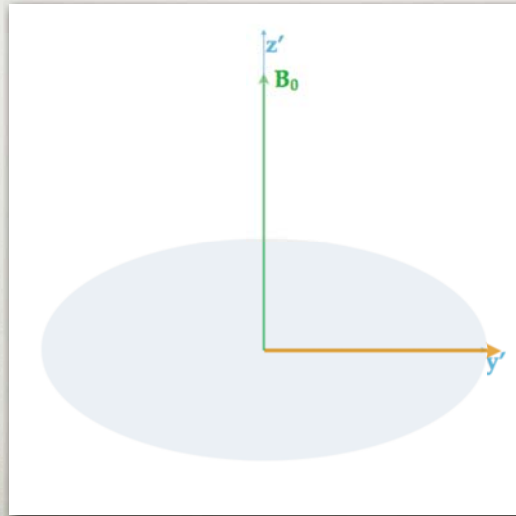
# SPIN-SPIN RELAXÁCIÓ

## T2 VAGY TRANZVERZÁLIS RELAXÁCIÓ

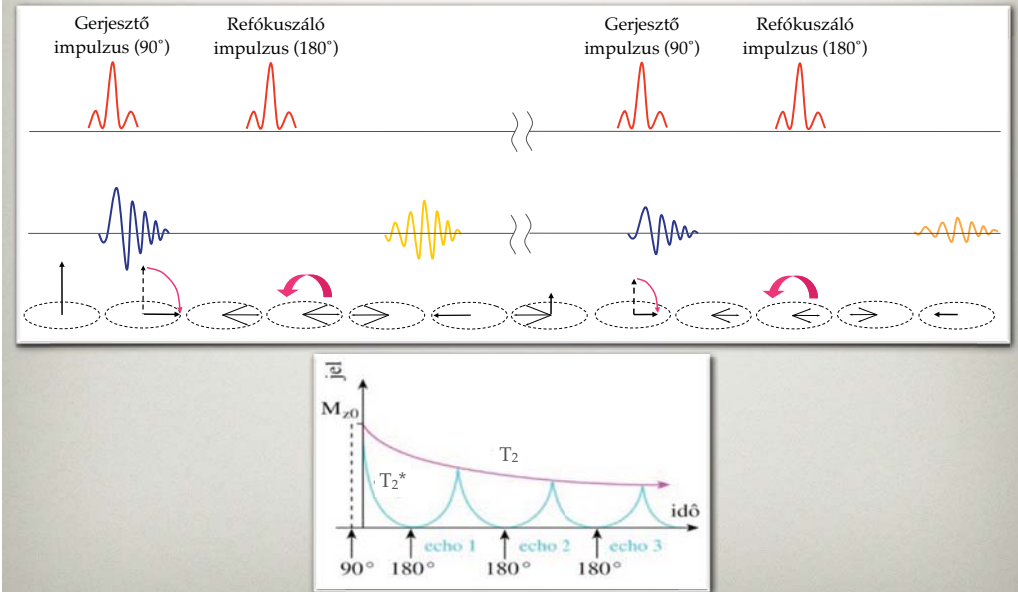
Ismétlődő gerjesztő és relaxációs impulzusok: spin-echo szekvencia



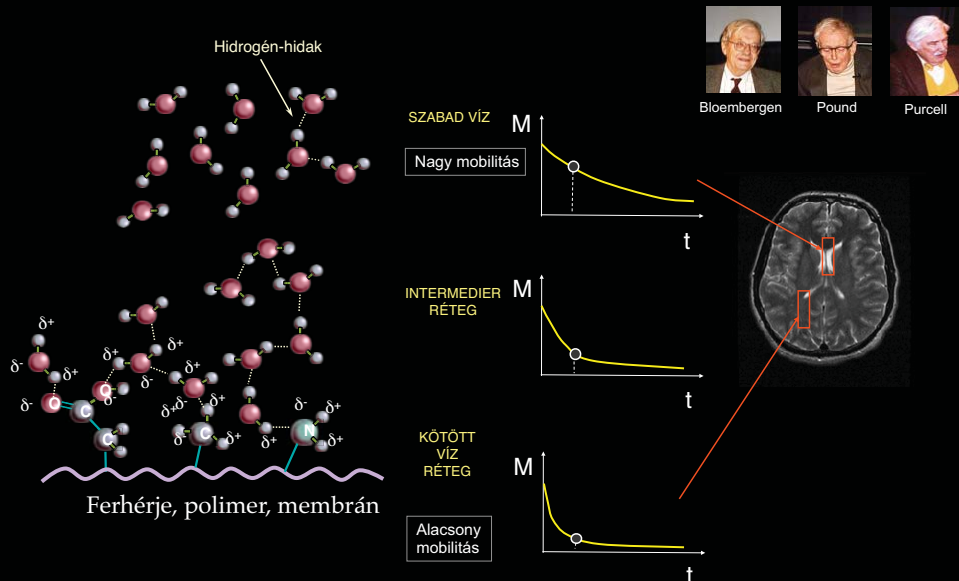
Erwin Hahn, 1949



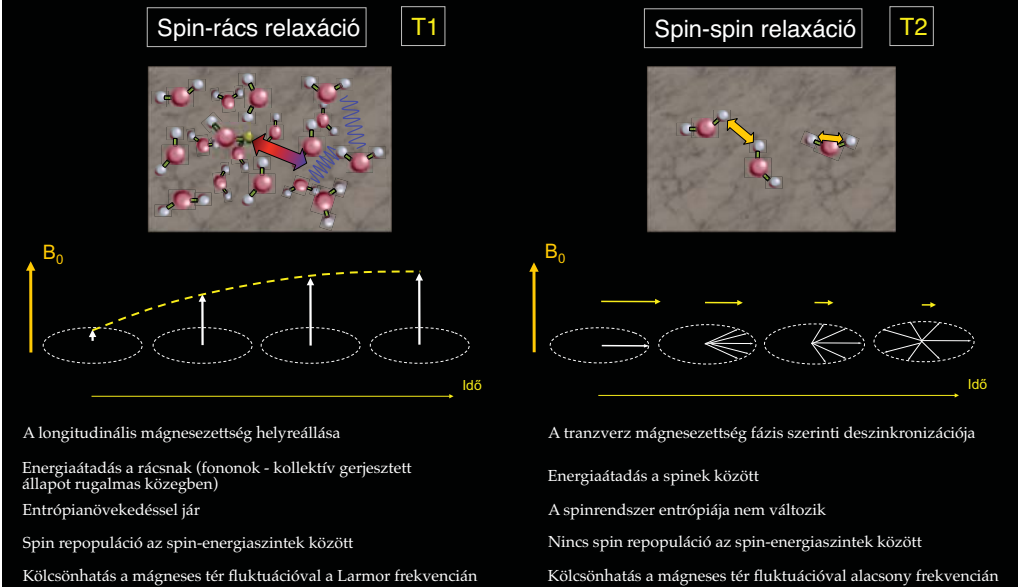
# A "SPIN-ECHO" KÍSÉRLET



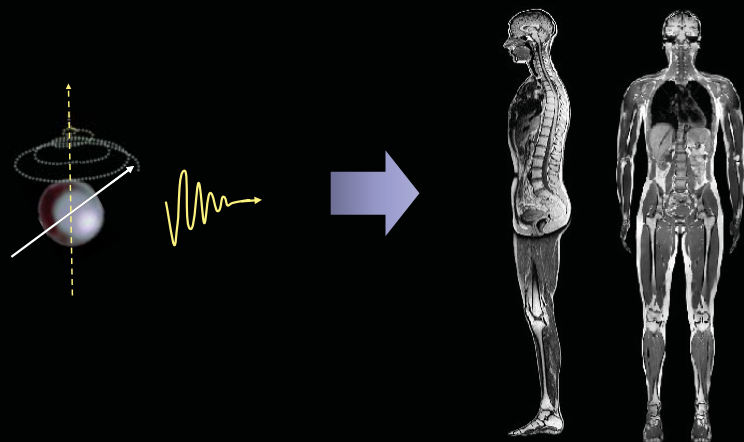
## KONTRASZT LEHETŐSÉG A SPIN RENDSZEREK KÖLCSÖNHATÁSAI ALAPJÁN



## KONTRASZTOT ADÓ RELAXÁCIÓS MECHANIZMUSOK



## AZ NMR-TŐL AZ MRI-IG

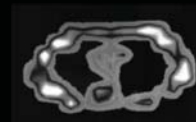


## MRI: AZ EMBERI TEST MAKROSZKÓPIKUS MÁGNESEZETTSÉGÉT HOZZA LÉTRE

Downstate Medical  
Center - Brooklyn, 1972



Raymond V. Damadian

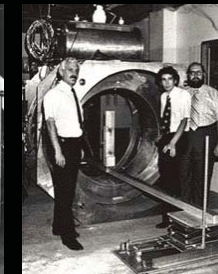
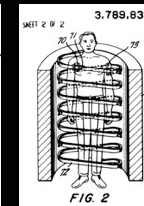


Az első MRI  
felvétel

**United States Patent** (19)  
**Damadian**

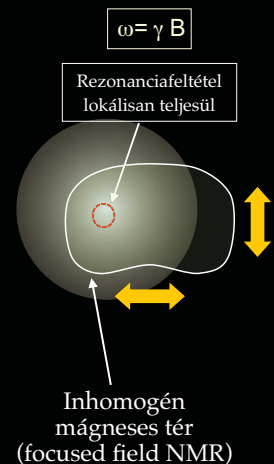
[54] APPARATUS AND METHOD FOR  
DETECTING CANCER IN TISSUE  
[76] Inventor: Raymond V. Damadian, 64 Short  
Hill Rd., Forest Hill, N.Y. 11375  
[22] Filed: Mar. 17, 1972  
[21] Appl. No.: 235,624

[52] U.S. CL. 128/2 R, 128/2 A, 324/5 R  
[51] Int. CL. A61b 5/05  
[56] Field of Search: 128/2 R, 2 A, 1.5; 324/5 A,  
324/5 B

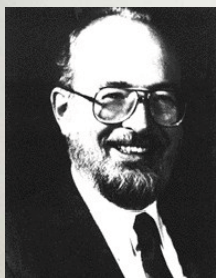


"Indomitable" - rettenthetetlen

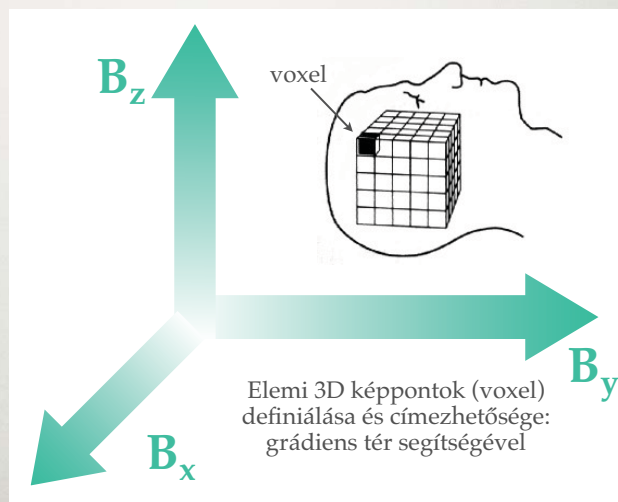
1970: megnövelt relaxációs idők rákos szövetben  
1972: humán invivo 3D NMR elvének kidolgozása  
1977: felső emberi MRI felvétel



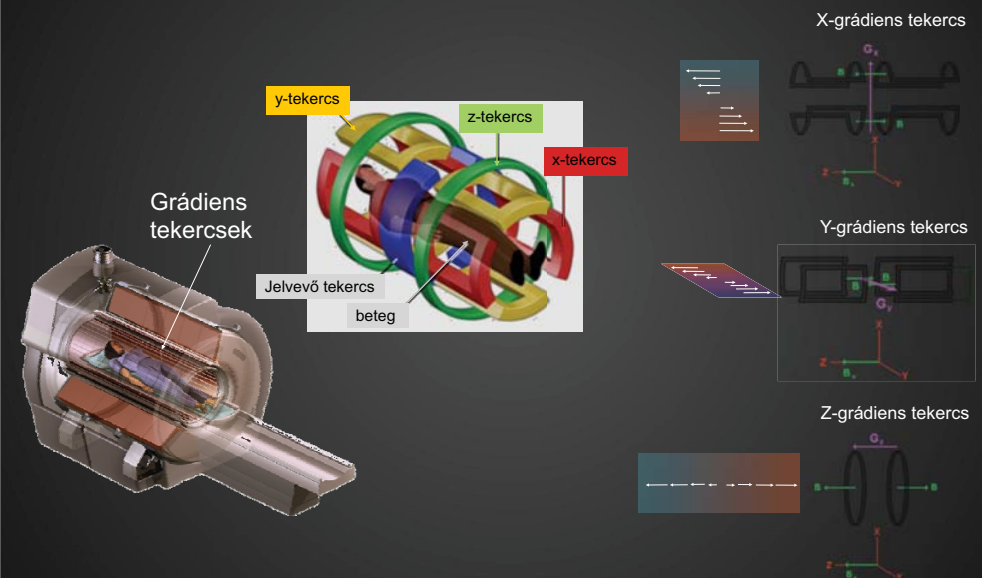
## MRI KÉPALKOTÁS I. TÉRBELI KÓDOLÁS



Paul C. Lauterbur (1929-)  
Térbeli felbontású NMR  
kidolgozása



## TÉRBEN VÁLTOZÓ MÁGNESES TÉR LÉTREHOZÁSA: "GRÁDIENS" TEKERCSEKKEL





# MRI KÉPALKOTÁS

## II. KÉPREKONSTRUKCIÓ

### 1. "Backprojection" ("visszavetítés")

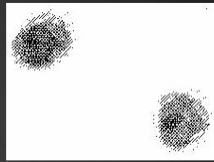
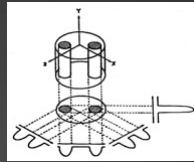


Paul Lauterbur,  
1973, Illinois



Peter Mansfield,  
1973, Nottingham

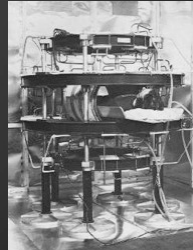
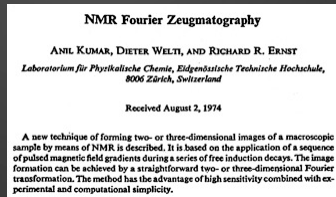
Nobel-díj (2003, Élettan és Orvostudomány)



### 2. 2D Fourier transzformáció

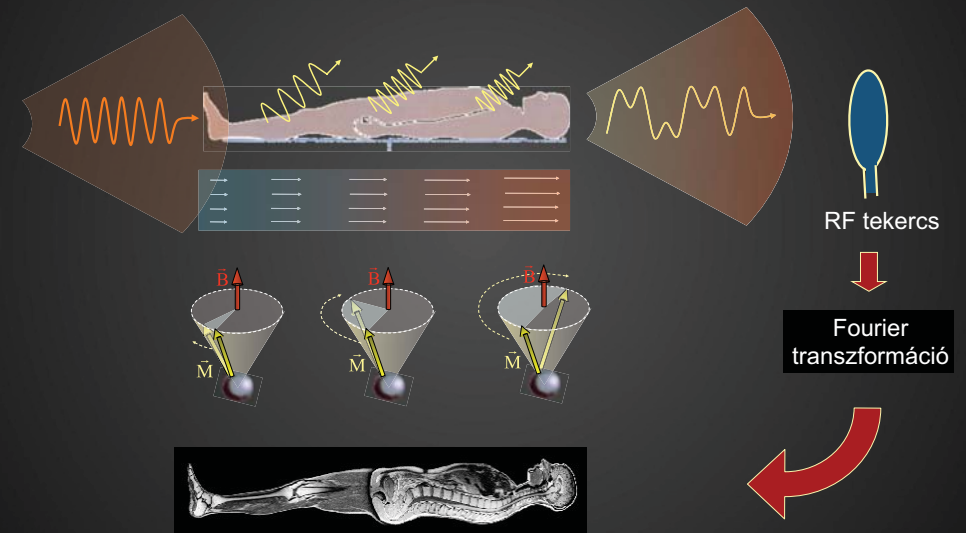


Richard Ernst,  
1974, Zürich  
Nobel-díj (1991, Kémia)



# MRI: TÉRBEI KÓDOLÁS ÉS KÉPREKONSTRUKCIÓ

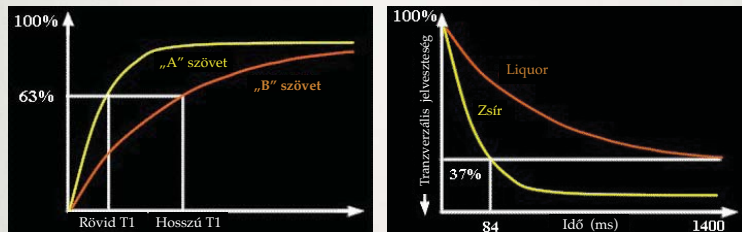
## A PRECESSZIÓ TÉRFÜGGŐ FREKVENCIAVÁLTOZÁSÁN ALAPUL



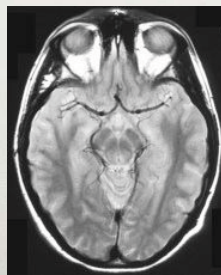
# MRI KÉPALKOTÁS

## III. SZÍNKONTRASZT FELBONTÁSA

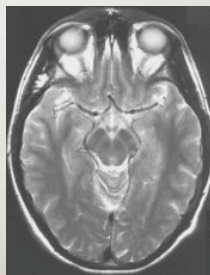
SPINSÚRÚSÉG ÉS RELAXÁCIÓS IDŐK ALAPJÁN



T1-súlyozás



protonsűrűség-súlyozás

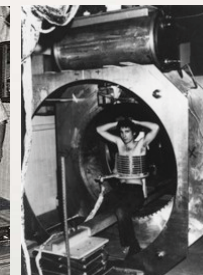


T2-súlyozás

# MRI KÉPALKOTÁS:

## IV. SZKENNEREK

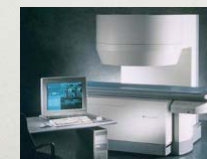
Hőskor



Jelen



Intervenciós MRI egység



Nyitott MRI egység



Mobil MRI

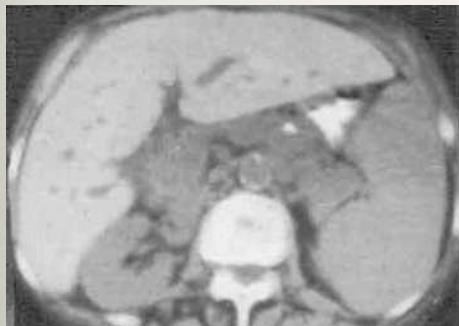


## MRI KÉPALKOTÁS:

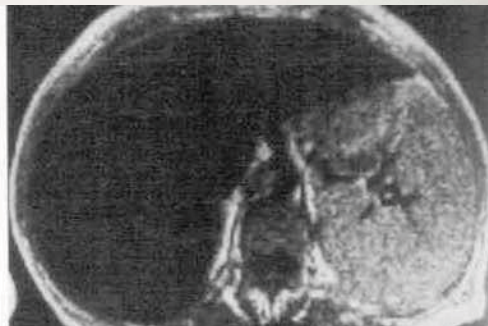
### V. KONTRASZTANYAGOK

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

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



CT



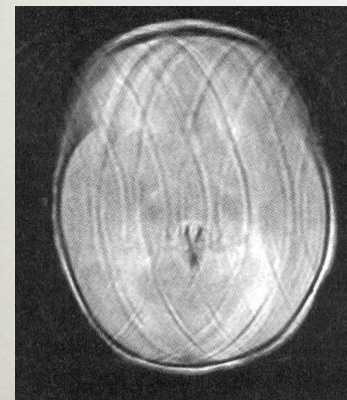
MR T2

*Haemochromatosis hepatis (vasfelhalmozódás a májszövetben)*

## MRI KÉPALKOTÁS:

### VI. MŰTERMÉKEK

- Mozgás
- Fémek (implantátum, sérülés)



*Mozgási műtermék*



*Fém az orbitában*

## MRI KÉPALKOTÁS:

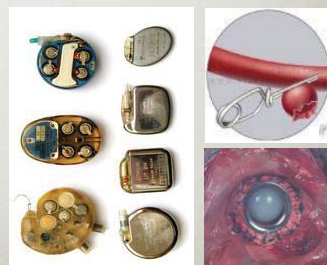
### VII. VESZÉLYEK, KONTRAINDIKÁCIÓK

- 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)

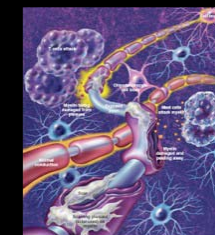


## ALKALMAZÁSOK: ANATOMIAI KÉPALKOTÁS

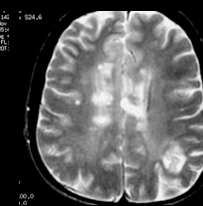
### SCLEROSIS MULTIPLEX



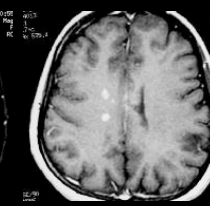
Proton súlyozás  
(sagittális)



Proton súlyozás  
(transversalis)



T2 súlyozás  
(transversalis)



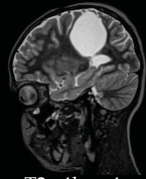
T1 súlyozás  
(kontrasztanyaggal)



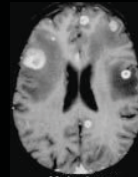
## ANATOMIAI KÉPALKOTÁS: ONKOLÓGIA



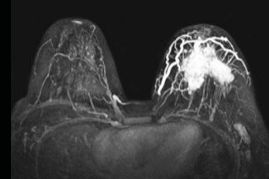
T2 súlyozás  
(chondrosarcoma)



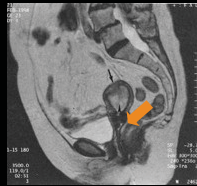
T2 súlyozás  
(cysta)



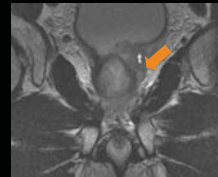
Proton sűrűség  
(Agyi metastasis)



T1 súlyozás kontrasztanyaggal  
(Emlő carcinoma)

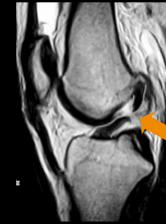


T2 súlyozás  
(cervix carcinoma)

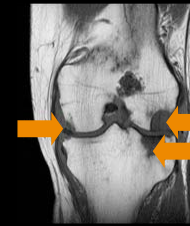


T2 súlyozás  
(prostata carcinoma)

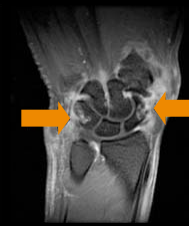
## ANATOMIAI KÉPALKOTÁS CSONT ÉS LÁGRÉSZEK



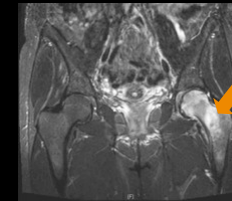
T2 súlyozás  
(szalag szakadás)



Rheumatoid arthritis  
térd



Rheumatoid arthritis  
csukló

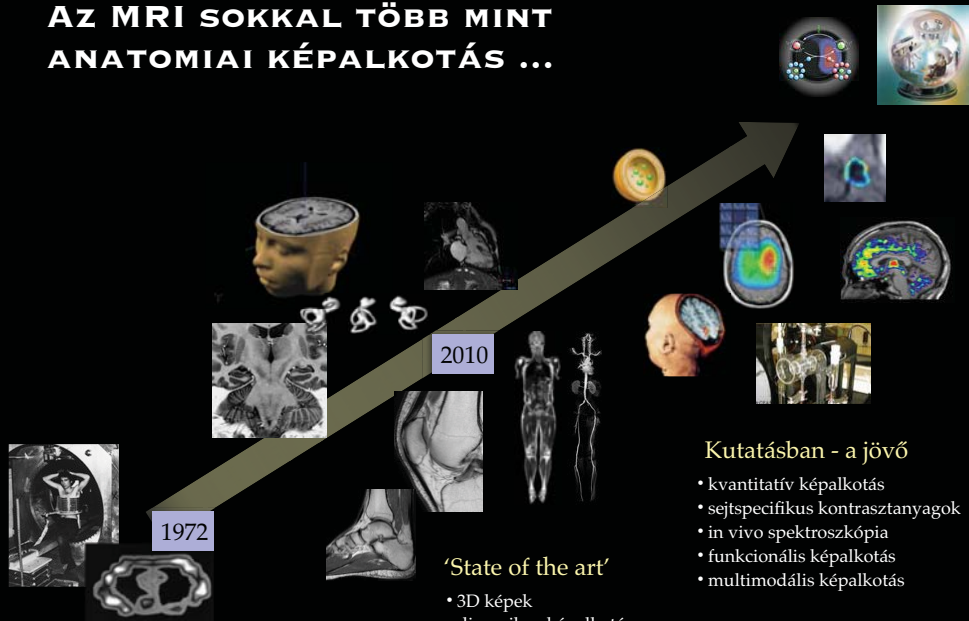


Osteoporosis (femur)



T2 súlyozás  
(hernia)

## AZ MRI SOKKAL TÖBB MINT ANATOMIAI KÉPALKOTÁS ...



1972

2010

'State of the art'

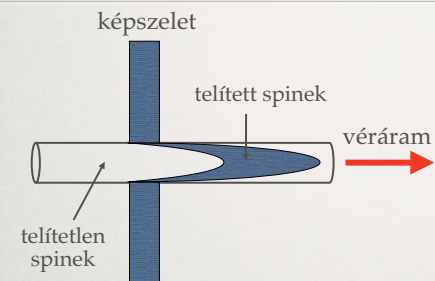
- 3D képek
- dinamikus képalkotás
- nagy felbontás

Kutatásban - a jövő

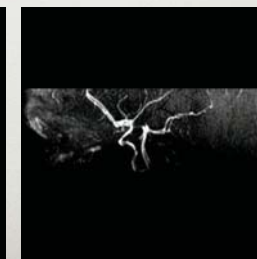
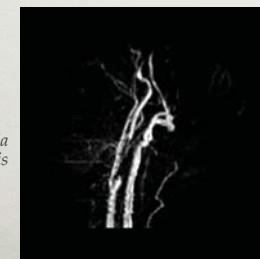
- kvantitatív képalkotás
- sejtspecifikus kontrasztanyagok
- in vivo spektroszkópia
- funkcionális képalkotás
- multimodális képalkotás

Első MRI képek

## MRI: NON-INVÁZÍV ANGIOGRÁFIA



Arteria  
carotis



Circulus  
arteriosus  
Willisii



# MRI MOZGÓKÉP

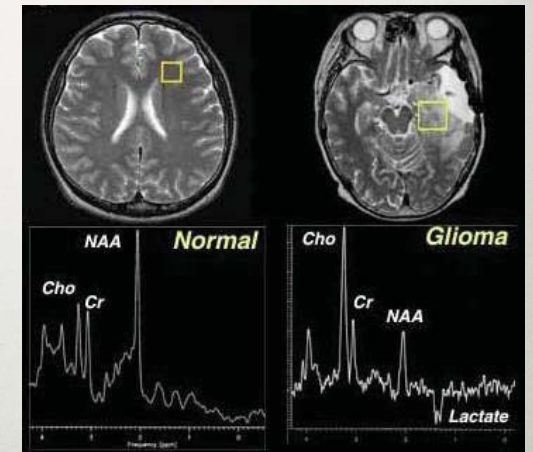
NAGY IDŐFELBONTÁSÚ FELVÉTELEK ALAPJÁN



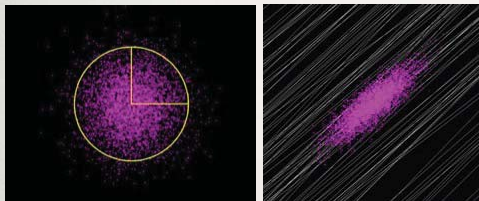
Aortabillentyű nyitódása - záródása

# MR SPEKTROSZKÓPIA

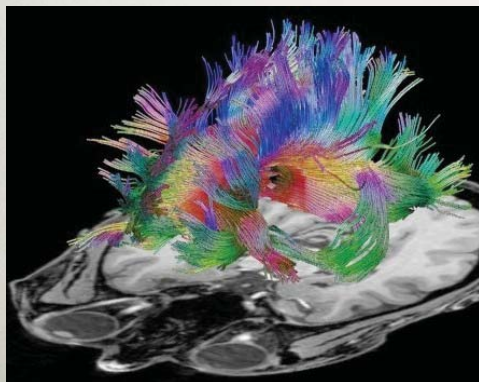
- Kémiai eltolódás (chemical shift)
- Metabolitok azonosítása
- Tumordiagnosztika



# DIFFÚZIÓS KÉPALKOTÁS



Anizotróp vízdiffúzió:  
kontrasztkpződés



Idegpályák vizsgálata:  
traktográfia

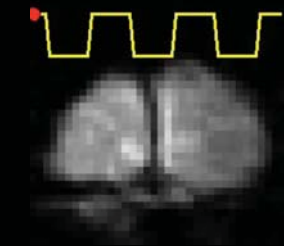
Corpus callosum

# 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)



## SZUPERPONÁLT MRI ÉS PET KÉPSOROZAT

---



PET aktivitás: szemmozgatás során  
Térbeli rekonstrukció