Prof.dr Simon Nikolić
opšta medicina

# Magnetna rezonancija

## - fizički principi -



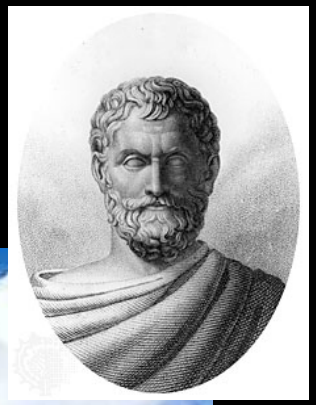
MMXV

# *Istorijat*

Grad Manise (Magnezij) Mala Azija nalazi ruda magnetit $Fe_3O_4$ osobina da privlači metalne predmete.

**600** g.pne Tales magična svojstva atoma i elektrona

**120** g.pne Kina igla zauzima položaj sever-jug








# *Istorijat*

**1600 g**. lekar Gilbert William (1540-1603), u Londonu, napisao prvu pravu naučnu studiju o magnetizmu pod naslovom "O magnetu, magnetnim telima i velikom magnetu u zemlji".

**1831** g. Michael Faraday otkrio je princip elektromagnetne indukcije.

**1907** g. Vest Franas je postavio teoriju o feromagnetizmu. Na osnovu tih istraživanja, magnetne supstancije su svrstane u kategorije: feromagnetika, paramagnetika i dijamagnetika.







**1943** Nobel prize in physics



Otto Stern

b. 1888 Sorau, (Germany) now Poland
d. 1969

Carnegie In. of Technology
Pittsburgh, PA, USA

1933 izmerio magnetni moment protona (atomskog jezgra vodonika)

"for his contribution to the development of the molecular ray method and his discovery of the magnetic moment of the proton"



**1944** Nobel prize in physics



Isidor Isaac Rabi

b. 1898 Rymanow, (Aust-Hungary) now Poland
d. 1988

Columbia University
New York, NY, USA

1938 izveo prve NMR experimente u molekulskim snopovima
(dakle, ne u kondenzovanoj materiji)

"for his resonance method for recording the magnetic properties of atomic nuclei"



**1945** Nobel prize in physics



Wolfgang Pauli

b. 1900 Vienna, Austria

d. 1958

Princeton University
Princeton, NY, USA

1924 je postulat postojanje nuklearnog spina da bi objasnio hiperfinu strukturu spektralnih linija.

"for the discovery of the Exclusion Principle, also called the Pauli Principle"



**1952** Nobel prize in physics





## Felix Bloch

b. 1905 Zurich, Switzerland
d. 1983
Stanford University, Stanford, CA, USA

## Edward Mills Purcell

b. 1912 Taylorville. IL, USA
d. 1997
Harvard University, Cambridge, MA, USA

1945 NMR spektroskopija kao experimentalna tehnika, 2 nezavisne grupe istraživača uspele da detektuju NMR signal u kondenzovanoj materiji.

Un.Stanford konstruiše prvi NMR aparat

Un.Harvard konstruiše homogeno magnetno polje

Bloch F., Hansen, W. W., and Packard, M. Nuclear Induction. Phys.Rev. 69, 127. 1946.
Purcell E.M., Torrey, H.C., and Pound, R.V. Resonance absorption by nuclear magnetic moments in solid. Phys.Rev. 69, 37-38. 1946.



**1991** Nobel prize in chemistry



Richard R. Ernst

b. 1933 Switzerland

d. ...

Eidgenössische Tech Hochschule,

(Swiss Federal Inst. of Technology)

Zurich, Switzerland

za razvoj Furijeve NMR metode

"for his contributions to the development of the methodology of high resolution nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy"



**2003** Nobel prize in physiology or medicine





**Paul C. Lauterbur**

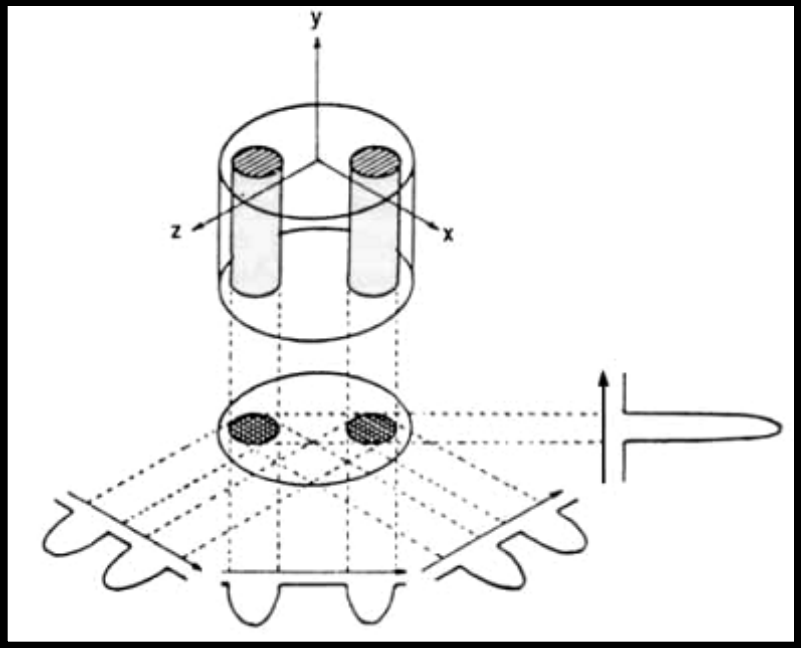
b. 1929
d. 2007
University of Illinois
Urbana, IL, USA

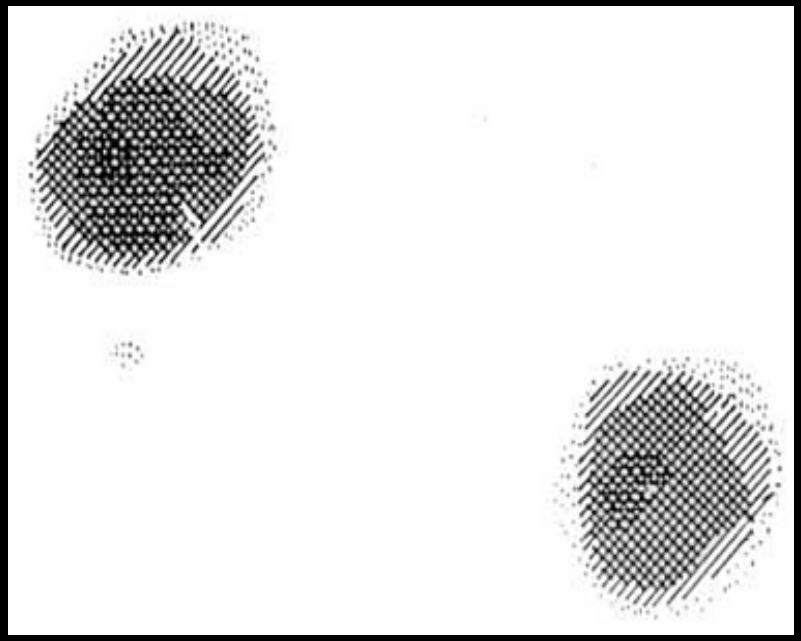
Sir **Peter Mansfield**

b. 1933
University of Nottingham,
School of Physics and Astronomy
Nottingham, United Kingdom

za otkrića u vezi sa slikanjem mekih tkiva pomoću NMR
"for their discoveries concerning magnetic resonance imaging"

**1972** P.Lauterbur (Nature) opisao fenomen dobijanja NMR slike i nazvao ga zeugmatography (zajednička primena)



**1974** snimci toraxa sa implantiranim TU

**<u>03.jul 1977</u>** prepodne, prvi pregled ljudskog tela na instalaciji za NMR, bilo je potrebno 5 sati da se dobije slika.

# Fizički princip MR

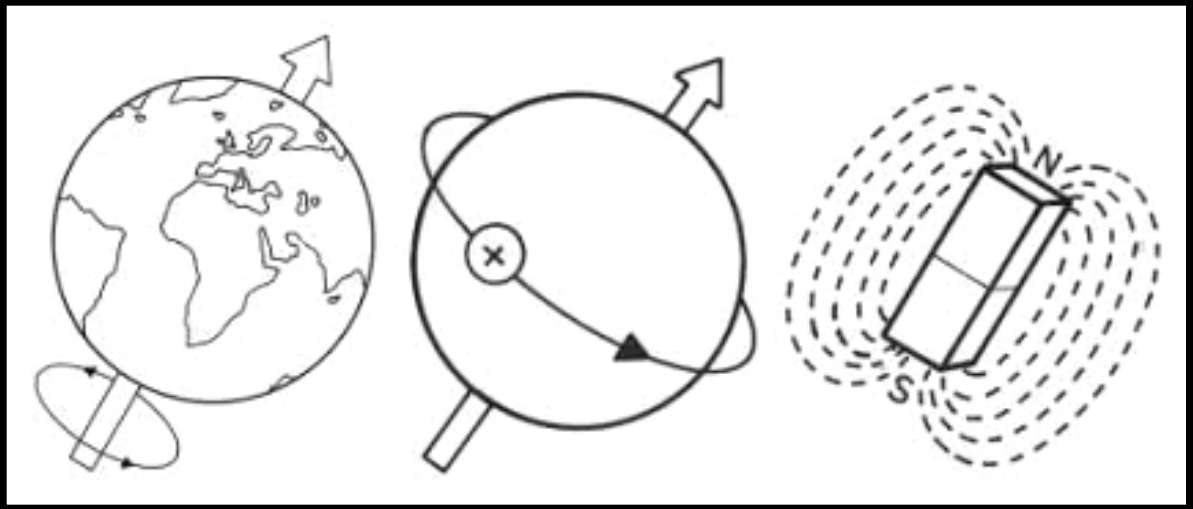
se zasniva na fenomenu da jezgra određenih atoma postavljena u magnetno polje, mogu apsorbovati i emitovati radiofrekventne talase karakteristične frekvencije.

Razmena energije između protona i fotona

je sinhrona vibracija - magnetna rezonancija



# Fundamentalni fizički principi protona.



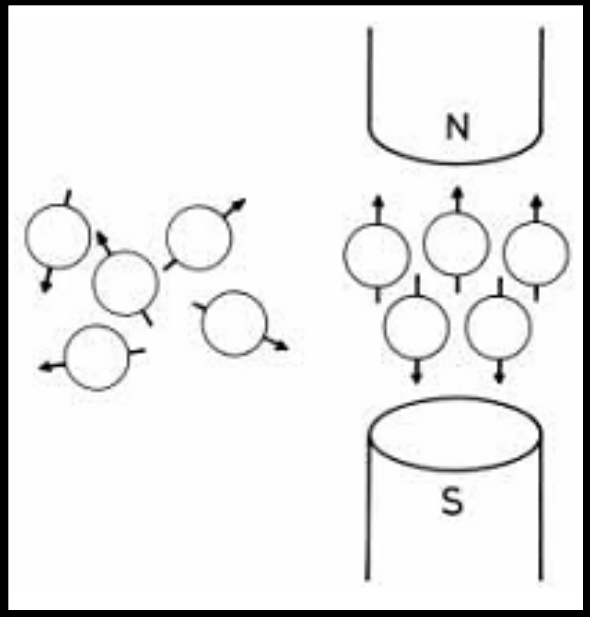

- **Masa**
- **Naelektrisanje**
- **Spin**

  Kretanje naelektrisanja predstavlja el.struju
- **Magnetni moment**

  El.struja indukuje magnetno polje

# Šta se dešava sa protonima kada ih stavimo u spoljašnje magnetno polje?








Kada se **P** nađu u jakom **homogenom magnetnom polju** (pr. 0,02T)

za nekoliko sec. postižu maximalnu longitudinalnu magnetizaciju tj. orijentišu se paralelno ili antiparalelno.

Prirodno, više **P** se orijentiše paralelno jer zahteva manje energije.

10 000 000 i 10 000 007 razlika **007**

- **Precesija**

Proton kao čigra rotira oko smera mag.polja.

Precesiona frekvencija – broj precesionih krugova u 1 sec.

Nije konstantna veličina, već zavisi od jačine spoljašnjeg mag.polja. Moguće je precizno matematički izračunati.

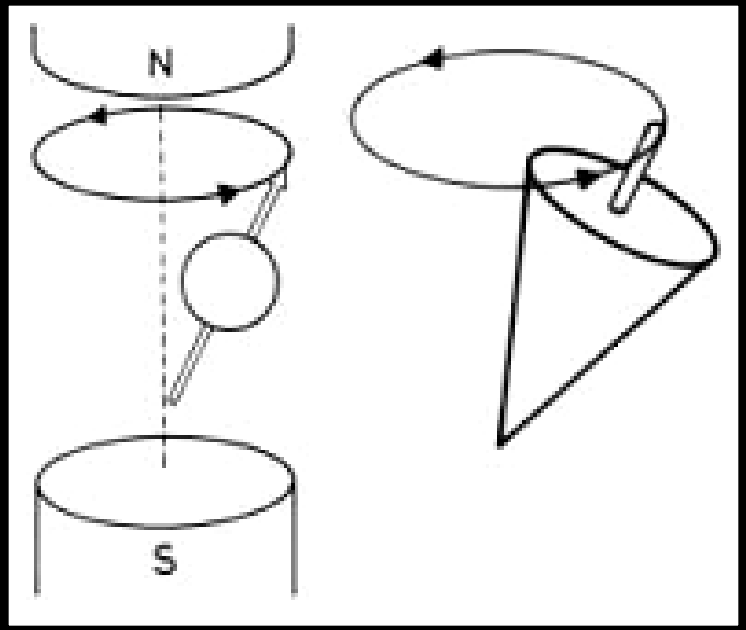
*Larmorova jednačina*: $\omega_0 = \gamma B_0$

$\omega_0$ - je precesiona frekvencija (MHz)

$B_0$ - jačina magnetnog polja (T)

$\gamma$ - žiromagnetno odnos

Što je jače mag.polje i precesija je veća.



Bilo koje jezgro sa neparnim brojem protona može da proizvede MR signal.

Skoro svaki element u periodnom sistemu ima bar jedan izotop sa spinom različitim od nule.

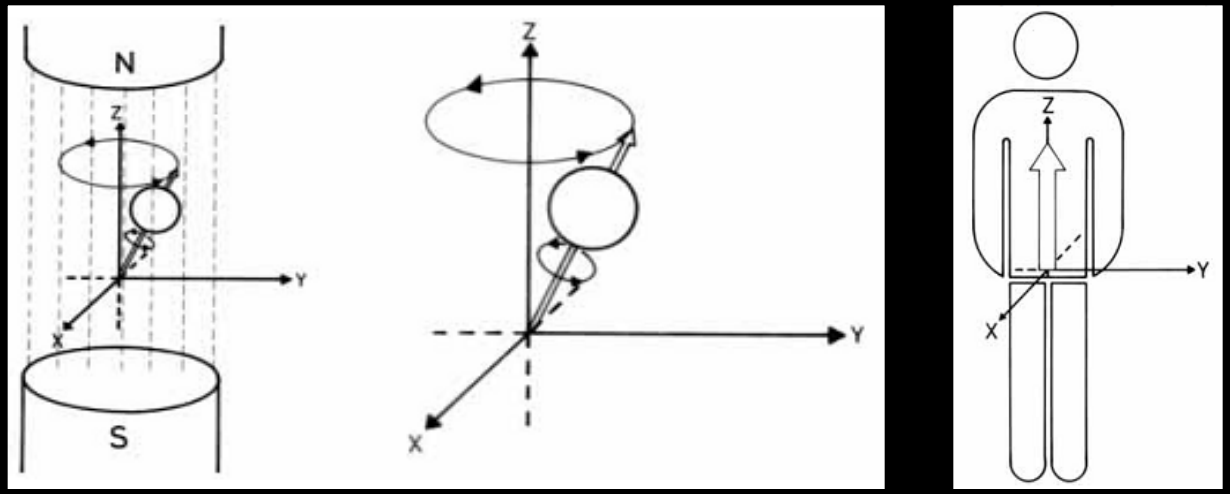
| Jezgro | Nespareni protoni | Nespareni neutroni | Ukupan spin | γ(MHz/T) |
|---|---|---|---|---|
| $^{1}H$ | 1 | 0 | 1/2 | 42.58 |
| $^{2}H$ | 1 | 1 | 1 | 6.54 |
| $^{31}P$ | 0 | 1 | 1/2 | 17.25 |
| $^{23}Na$ | 2 | 1 | 3/2 | 11.27 |
| $^{14}N$ | 1 | 1 | 1 | 3.08 |
| $^{13}C$ | 0 | 1 | 1/2 | 10.71 |
| $^{19}F$ | 0 | 1 | 1/2 | 40.08 |

**H** pri 1T = 42,58 MHz

- "izuzetak" jegro sadrži samo proton
- velika prirodna zastupljenost
- visoka osetljivost mr signala

# Koordinatni sistem.

**Vektor** predstavlja određenu silu koja deluje u određenom smeru.



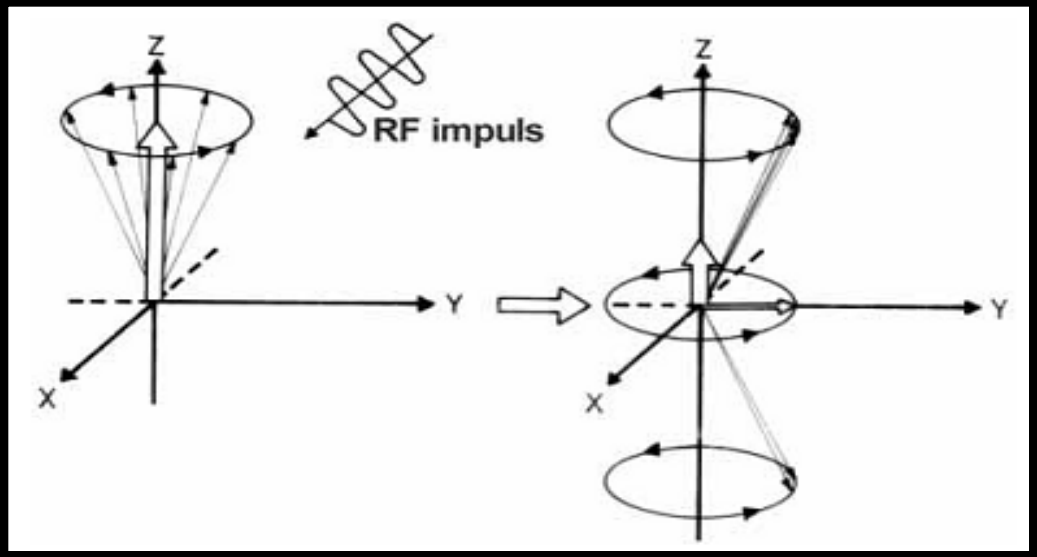




U jakom spoljašnjem mag.polju pacijent sam postaje magnet, stvara se novi magnetni vektor.

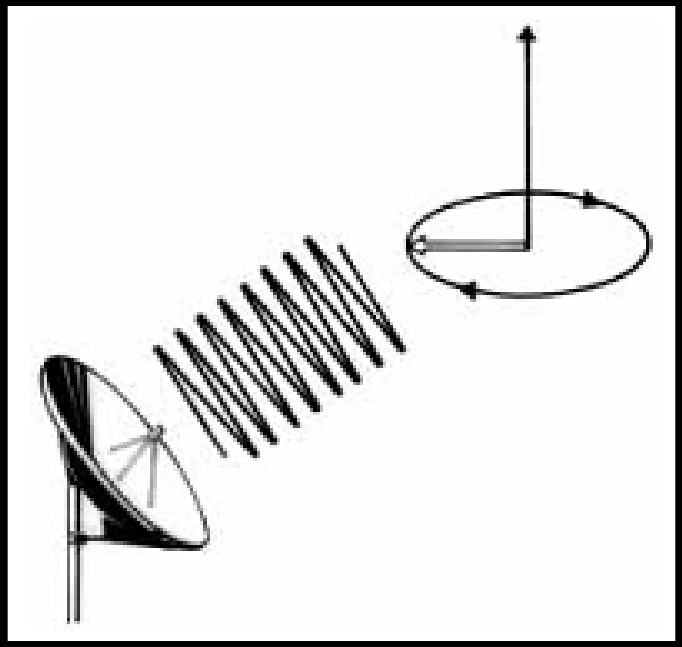
Nakon uvođenja pacijanta u magnet počinjemo da emitujemo radio-talase odgovarajuće frekvencije.

Samo kada RF impuls i protoni imaju istu frekvenciju, proton može uzeti nešto energije a ovaj fenomen se zove **rezonancija**.




Protoni će apsorbovati ovu energiju i biće izvedena iz pređašnjeg položaja, dobiće neku drugu orijentaciju u prostoru i promenu ugla orijentacije, (najčešće to bude za $90^0$) i tada long.magnetizacija pada na nulu, a uspostavlja se transverzalna magnetizacija, kao nestabilno ekscitirano stanje.

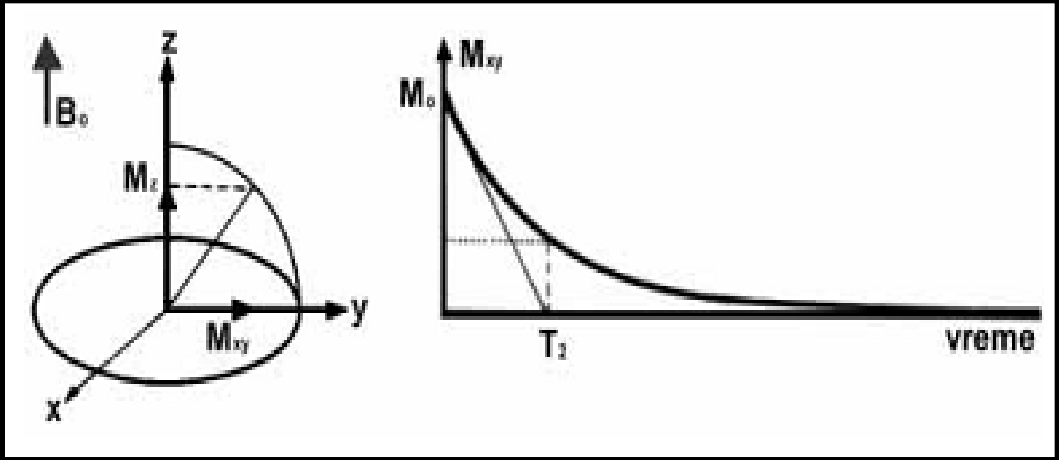
Novonastali transveralni magnetni vektor se kreće ukrug zajedno sa protonima koji precesiraju. Na taj način transverzalna magnetizacija stalno menja pravac u odnosu na posmatrača.



U toku kretanja magnetnog polja stvara se (indukuje) el.struja u prijemnom kalemu.

To je **merljiv signal**.

# **T2** relaksaciono vreme

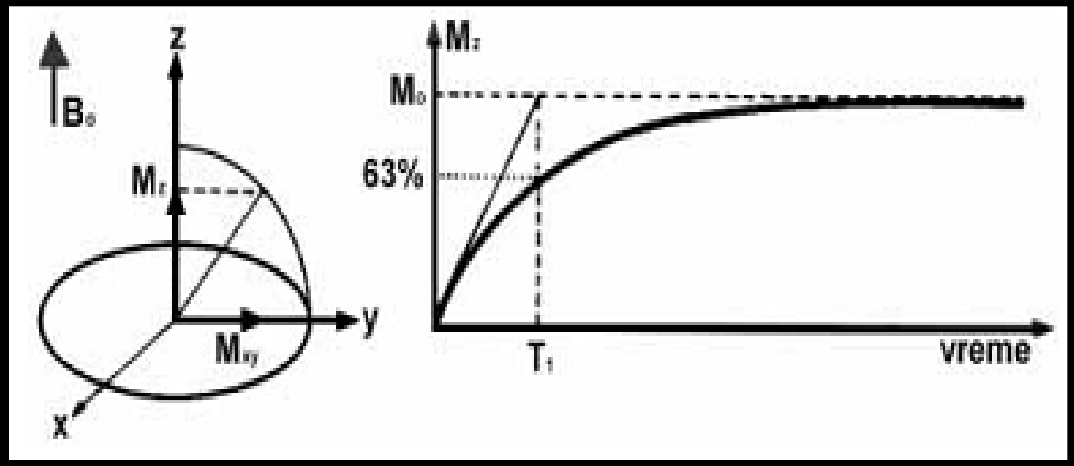



Po prestanku dejstva RF impulsa, protoni prestaju sinhrono da se kreću, izlaze iz faze, ceo sistem se vraća u stanje ravnoteže - T2 relaksacija.

Novonastala transverzalna magnetizacija počinje da nestaje s vremenom (30 – 150 msec.) spadne na 37% svoje prvobitne vrednosti.

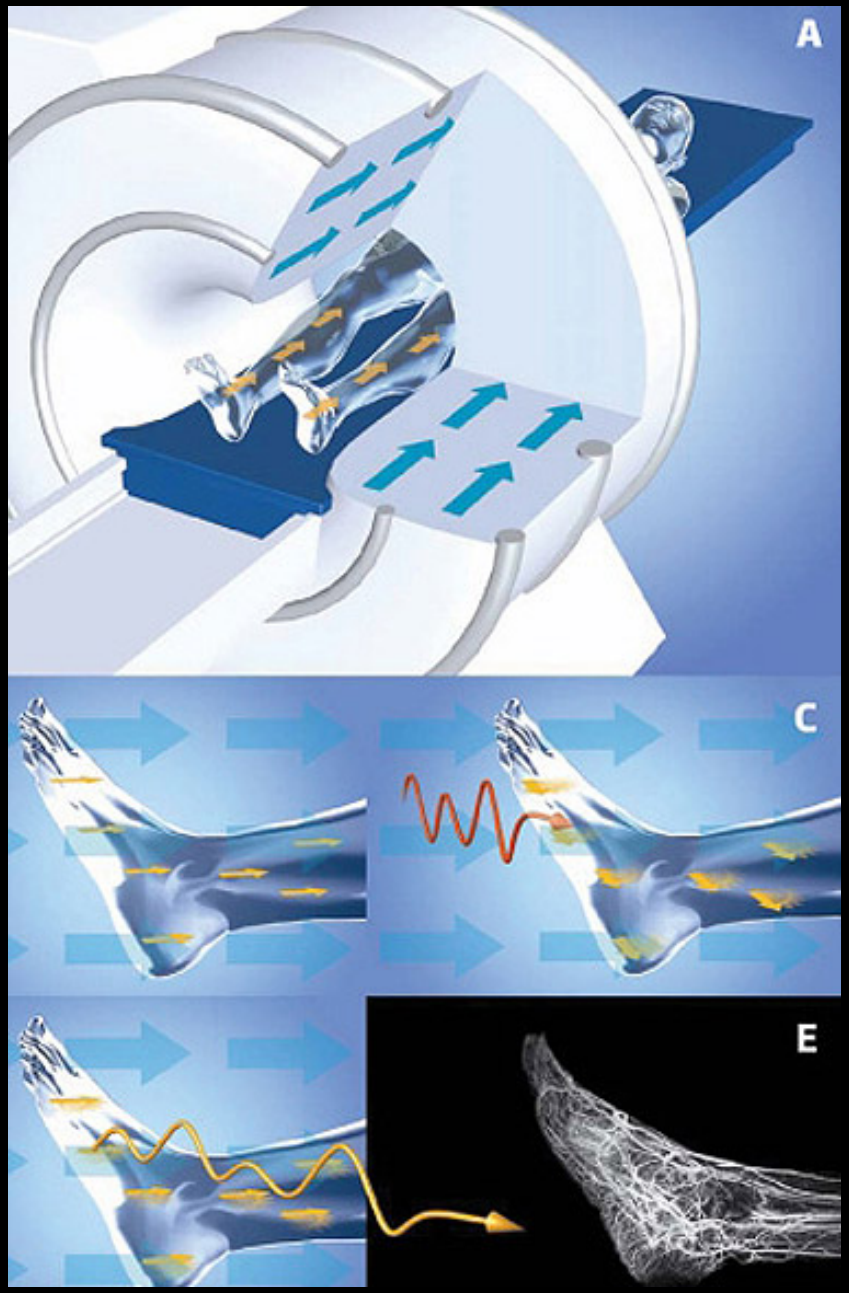
Na svaki proton deluje malo mag.polje susednih jezgara, zato se ova relaksacija zove i spin-spin relax.

# **T1** relaksaciono vreme




Longitudinalna relaksacija ide po eksponencijalnom zakonu, uzima se vreme (300 – 2000 msec.) potrebno da se obnovi 63% prvobitne long.magnetizacije.

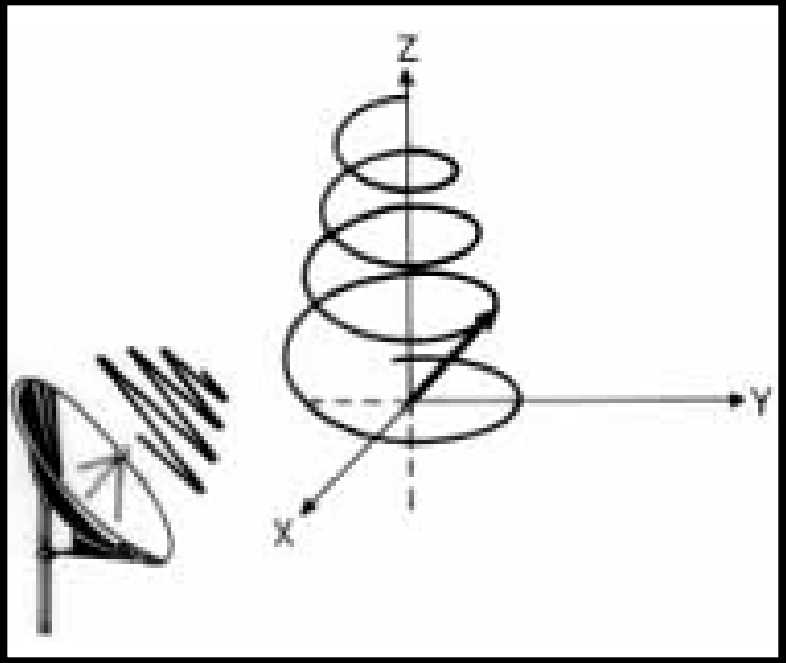
To ne rade svi protoni istovremeno, već je jedan kontinuirani proces. Svoju energiju protoni predaju svom okruženju (spin-strukturna relaksacija, spin-lattice)


A
C
E

S vremenom se trans. magnetizacija smanjuje a long. postepeno opravlja, sve do povratka sistema u početno stanje.

Ceo sistem vrši precesiono kretanje, ukupan vektor se kreće spiralno, menjajući pravac od trans. do long.

Ovaj signal se zove FID
(free induction decay)




Intenzitet signala je najači nakon gašenja RF impulsa, ali je frekvenca konstantna.

# Pulsne sekvence

Korišćenje više od jednog RF impulsa naziva se pulsna sekvenca.

Koriste se različiti pulsevi ($90^0$, $180^0$) pri čemu i vremenski intervali između njih mogu biti različiti.

**TR** (time to repeat) vreme ponavljanja. U tkivo prvo pošaljemo RF puls od $90^0$ sačekamo određeno vreme, posle toga šaljemo još jedan RF puls od $90^0$.

Intenzitet signala iz različitih tkiva će biti različit T1W (weighted) naglašena slika.

$TR_{short}$ - kraće od 500 msec., $TR_{long}$ – duže od 1500 msec.

**TE** (time to echo) vreme do eha. Najpre pošaljemo RF puls od $90^0$ a nakon određenog vremena TE/2 RF puls od $180^0$. Smanjiće se transverzalna magnetizacija, odnosno primićemo spin eho signal.

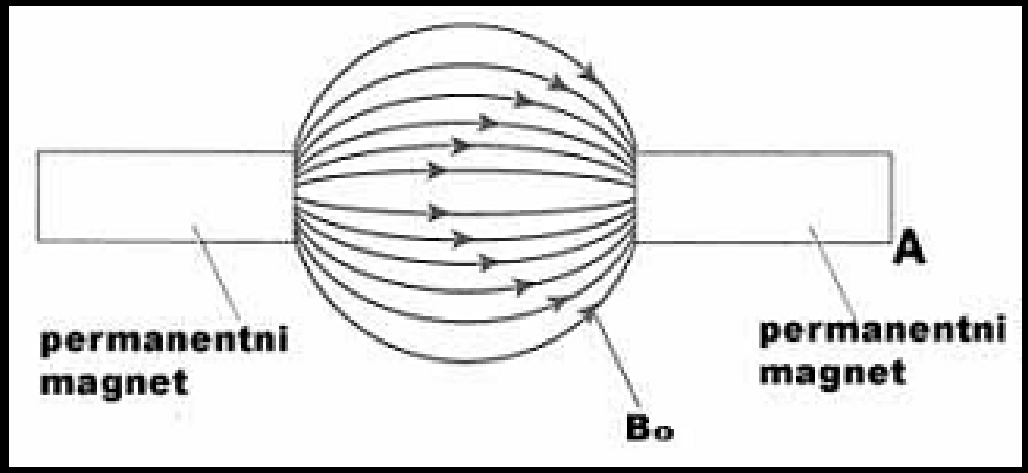
# Komponente uređaja

- Izvor homogenog mag.polja
- Radiofrekventni kalemovi
- Gradijentni podsistem
- Računar



# 1. Izvor homogenog mag.polja

- Permanentni magneti 0,3 T (u dg.0,5T)

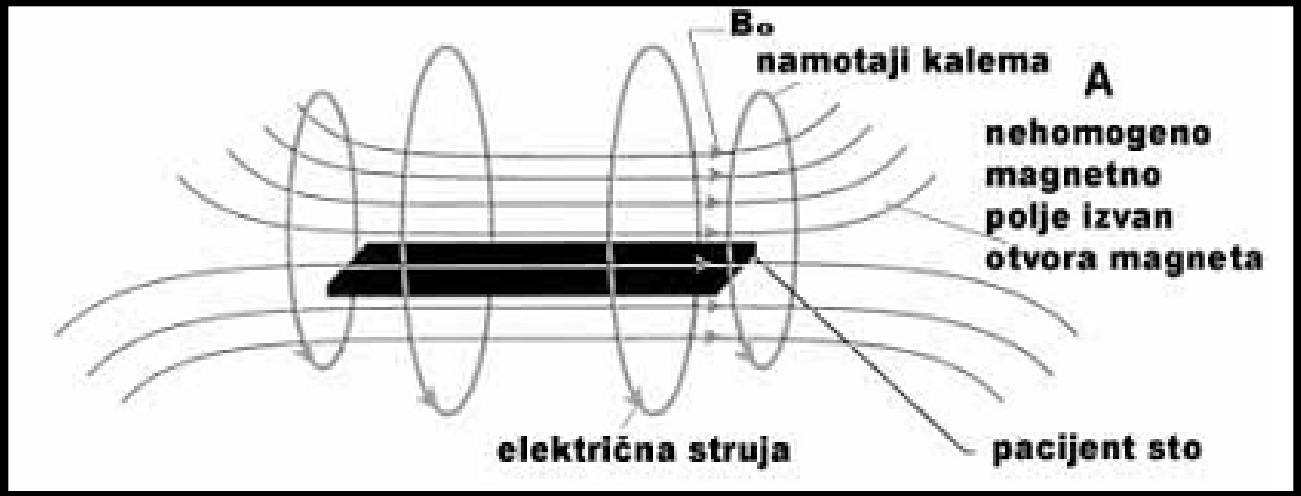



feromagnetni materijali sastoje iz mikrokristala koji ukoliko se izlože spoljašnjem mag. polju orijentišu N-S.

Prednosti: ne traže nikakvu energiju, vrlo su tihi

Nedostaci: osetljivi na varijacije u $T^0$, magnetno polje se ne može isključiti, težina i do 100 tona = 0,3T

- Otporni 0,4 T

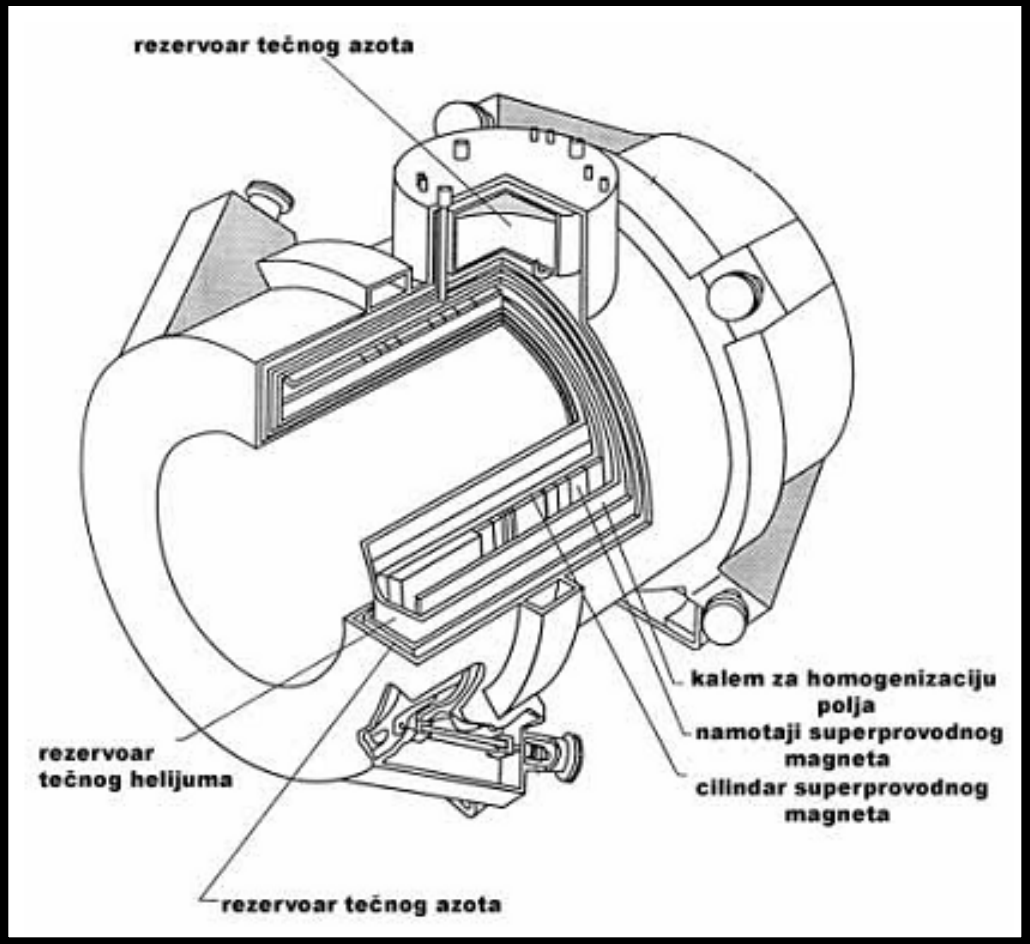



Generišu mag.polje prolaskom struje kroz namotaje

1,5 m - 1500 namotaja, 200 A, 50 000 W

Nedostaci: Oslobađaju veliku količinu toplote, moraju imati sistem za hlađenje (vodeno)

- Superprovodni
  0.5 – 4 T

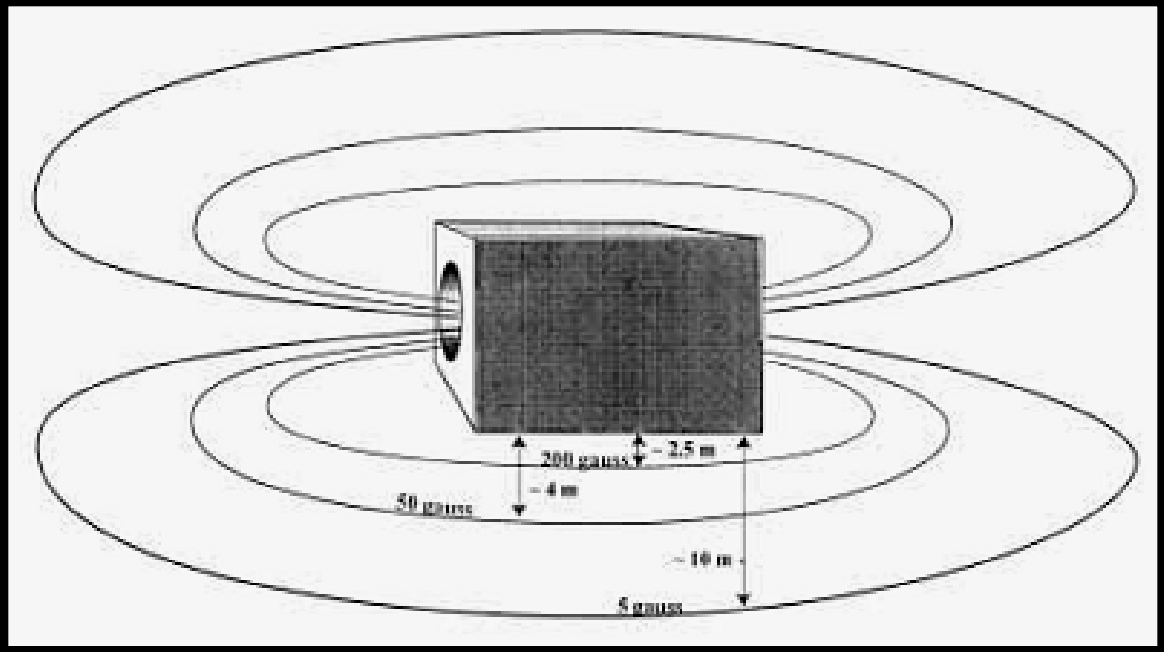



Namotaji žice, metali i legure (Ti-Niobium; V-Ga) koji gube otpornost na niskim temperaturama ($4K^0$ -269 $C^0$), hlade se slojem tečnog He ili N,

Prednosti: velika jačina mag.polja, odlična homogenost mag.polja.

Nedostaci: visoka cena, skupa kriogena sredstva

- **Shim** kalemovi za finu homogenizaciju mag.polja




Što je jače mag.polje veća je i površina dejstva kružnih mag.sila

- Pasivna zaštita - masivne čelične ploče po zidovima (8 tona)
- Aktivna zaštita - kalemovi sa obrnutim smerom struje potiru mag.polje ali povećavaju cenu uređaja

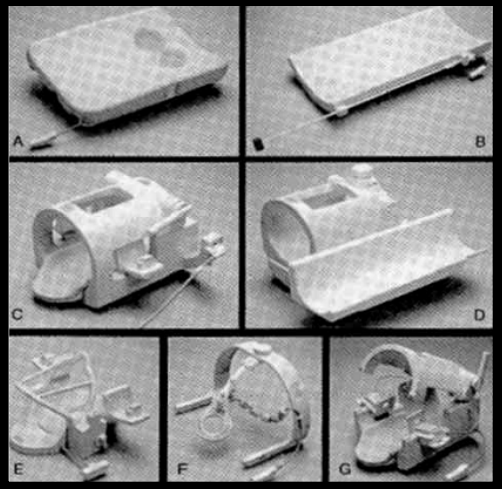
# 2. Radiofrekventni kalemovi

Za generisanje i detekciju RF impulsa (Emiteri i Rezonatori).

Postavljaju se u blizini tela (glavu, telo, površinski-koleno,...)

Može se koristiti jedan ili više manjih za fazni rad (višeslojno snimanje).





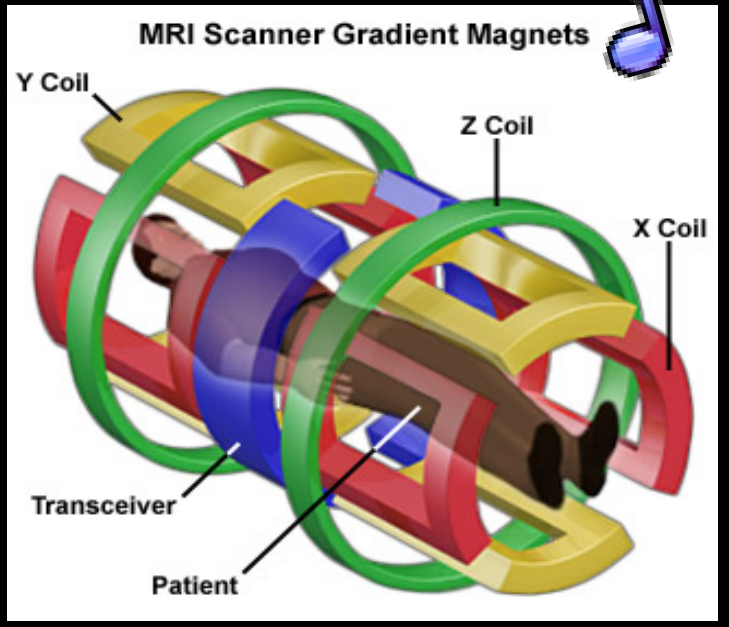

Snaga RF kalemova zavisi od jačine mag.polja (i raste sa kvadratom). Za polje od 1,5 T mora 9 puta jači RF signal nego za polje od 0,5 T.

# 3. Gradijentni podsistem

Služe za selekciju preseka.

Nalaze se u stativu zajedno sa osnovnim mag.poljem.

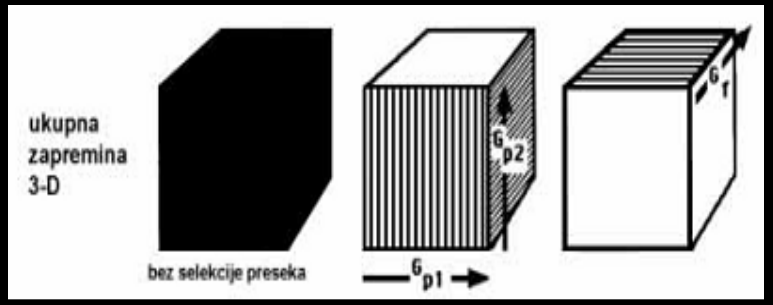
Tokom rada se uklj.-isklj. i prave buku (dB)




Jačina magnetnog polja se povećava u različitim slojevima tela idući od stopala ka glavi. Na protone u različitim slojevima tela deluju mag.polja različitog intenziteta pa oni imaju različite frefvencije. Da bi se pobudili protoni RF pulsevi moraju da imaju različite frekvencije.

Linearni poremećaj osnovnog mag.polja u 3 osnovna pravca (X-Y-Z).

- Rekonstrukcija slike




**2D** snima se svaki sloj posebno

Prvi gradijent za pobuđivanje spinova; Drugi za lokaciju u dimenziji; Treći za položaj elemenata u drugoj dimenziji.

Može se izvesti na dva načina:

- snimanje jednog sloja - prvo se primeni gradijentno polje, a onda se na željeni sloj tkiva deluje odgovarajućom frekvencijom radiotalasa
- višeslojno snimanje - prvo se primeni gradijent a onda se na različite slojeve tkiva deluje radiotalasima različitih frekvencija, ali ne baš istovremeno, nego sa malim kašnjenjem.

**3D** snima se cela zapremina, a slojevi se razdvajaju pri rekonstrukciji slike. Složeni proces koji pobuđuje **P** iz određene zapremine.

3-D proces daje najtanje slojeve, ali dugo traje.

- Debljina preseka

Gradijentno polje u koje uvodimo pacijenta nije iste jačine u čitavom prostoru.

Od stopala do vrha glave 60 - 68 MHz. Ako koristimo RF puls od 64 - 65 Mhz dobićemo neku debljinu sloja.

Ali kada koristimo strmije gradijentno polje 56 – 72 MHz sa istim RF pulsom dobijamo manju debljinu preseka.

- Body coil
- Gradient coils
- Shim coil
- Surface coils



Jako magn.polje proteže se daleko van magneta. Može da privuče teške metalne predmete.

Spoljni uticaji:

- Da bi se sprečila interferencija sa radio talasima čitav MR sistem se mora ograditi faradejevim kavezom.
- Veliki metalni objekti posebno ako se kreću (liftovi, pokretne stepenice, automobili, kamioni, ...) remete mag.polje, moraju se nalaziti dovoljno daleko.





# 4. Računar



Multiprocesorski

- Objedinjuje rad podsistema i veliki broj operacija koje moraju da budu sinhrone. Bira se odgovarajući protokol.

  Prikupljeni podaci obrađuju u više ciklusa.
- Rekonstrukcija i prikaz slike

  (Fourier transformacija - radi se o matematičkim operacijama)
- Memoriše podatke

# MR slika

Za dobijanje kontrasta na slici bitni su:

- PD (protonska gustina)
- T1 i T2 relaksaciona vremena

Opterećenje (weighting):

Manipulacijom pulsnih parametara omogućuje se predominacija jednog nad ostala dva kontrastna mehanizma.

- TR
- TE



# T1w

Slika na početku tamna, pa postaje sve svetlija

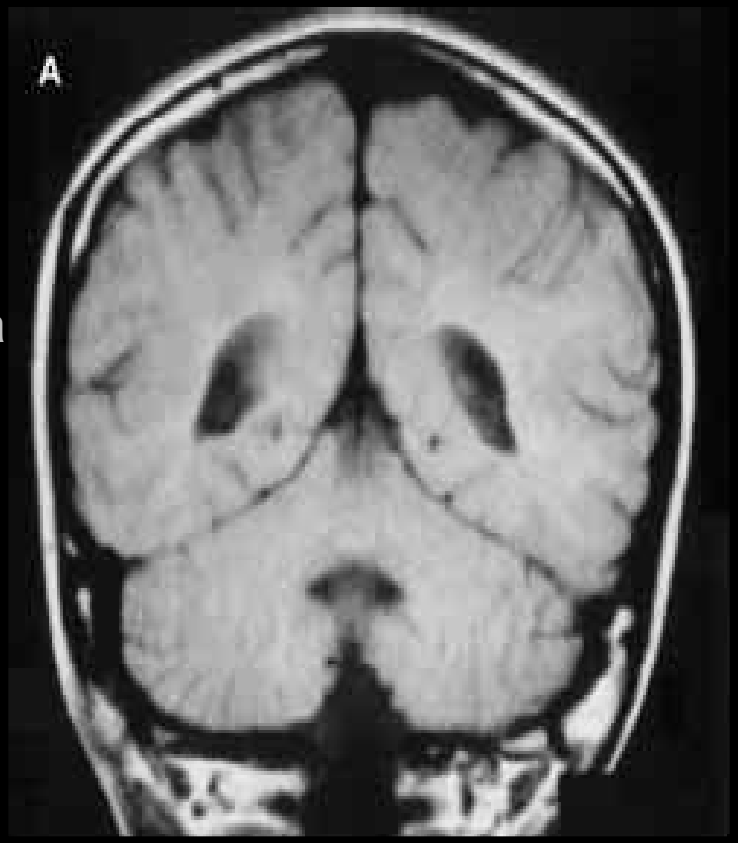
Siva masa je tamnija od bele.

CSF je taman.

Mast je svetla.

Čvrste strukture tamnije

(ne dozvoljavaju brzo vraćanje long.mag.)



# Protonska gustina

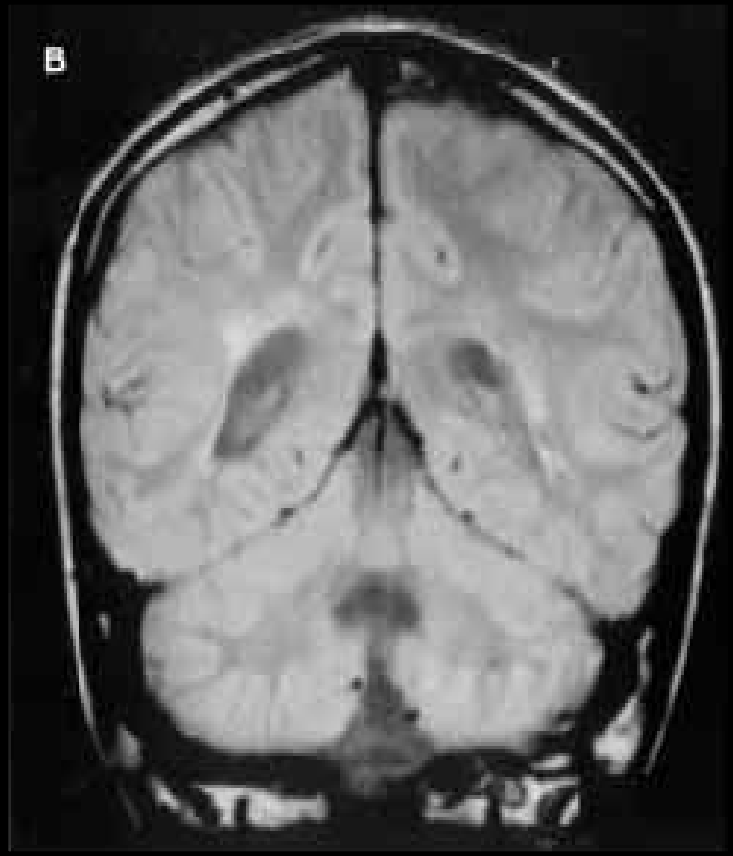
Tkiva koja imaju više protona u volumnoj jedinici (jači magnetizam), daće jači signal a slika će biti svetlija.

(analogna je gustini kod CT)

Visoke protonske gustine: parenhim mozga, mišićno tkivo, koštana srž, ...

Niska protonska gustina: kompakta kosti,...

Kontrast između sive i bele mase postaje obrnut



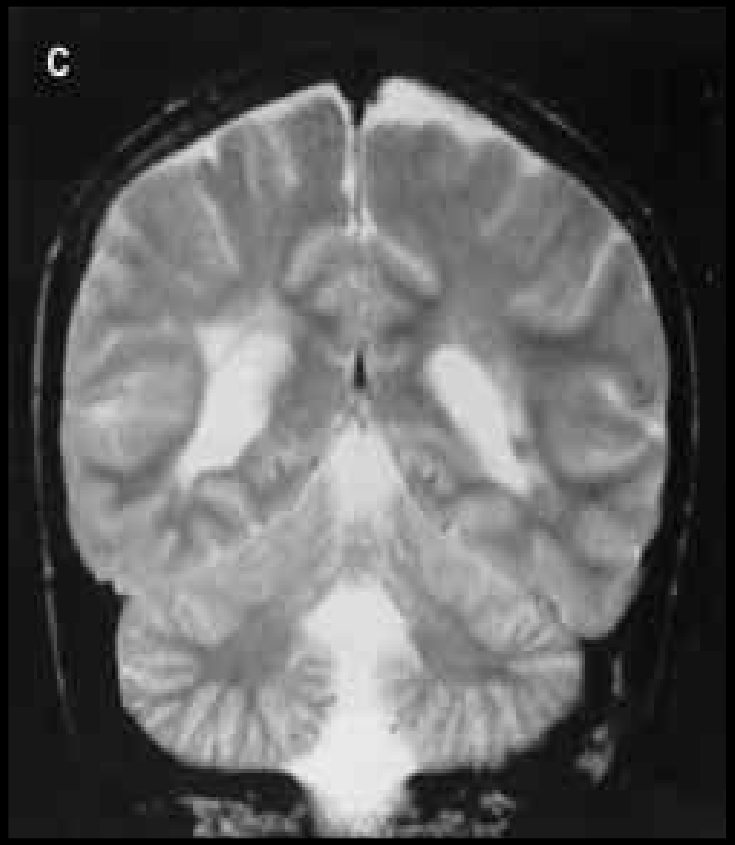
# T2w

Tkiva na slici postaju sve tamnija.

Slika dobijena registrovanjem T2 obrnuta je od slike dobijene T1. Tkiva sa kraćim vremenom T2 brže potamne.

CSF svetao

Mast tamna



# Relaksaciono vreme nije isto za sva jezgra

Neka tkiva odašilju signale većeg ili manjeg intenziteta od uobičajenih, normalnih vrednosti, što upućuje na mogućnost da su takva tkiva zahvaćena patološkim procesom.

- temperatura
- viskoznost
- količina vezane vode u tkivima
- protoka krvi
- količine masnog tkiva
- ...

# U medicini se koriste dve metode



**MR tomografija**

daje sliku složenih sistema ljudskog tela, slično kao CT, ali bez upotrebe rendgenskog zračenja

**MR spektroskopija**

ispituje strukturu raznih homogenih sistema (krvni serum, pleuralni izliv, zdravo tkivo, tumorsko tkivo)

# MR mozga

Jedan od najčešćih pregleda. Obavezan presek u 3 ravni.

Izostanak signala koštane strukture omogućuje izvrstan prikaz kore mozga, bazalnih struktura, zadnje lobanjske jame i produžene moždine.

MR signali sive i bele mase mozga su dovoljnog intenziteta da se međusobno diferenciraju.

Gadolinijev ks. ne prolazi hemato-encefalnu barijeru ukoliko je intaktna. (Da - upale, tu)



# MR kičmenog stuba

Najčešća indikacija za MR pregled, posebno lumbalnog dela kičme.

Revolucionarna promena imaginga.

Vrlo kontrastno prikazivanje sadržaja spinalnog kanala, iv diskusa, paravertebralnih mekih tkiva.

Gadolinijev ks. se ne koristi rutinski, već samo u strogim indikacijama spondilodiscitis ili tu u spinalnom kanalu.



# MR dojki



Potrebno je simultano skeniranje dojki.

Bolesnica leži na trbuhu, da bi se smanjili artefakti respiracijskih pokreta.

T1 sa supresijom masti.

Slojevi debljine oko 1 mm.



Izvrsna metoda u ranom otkrivanju raka.

Metoda otkriva područja pojačanog protoka krvi – angiogeneza; nije namenjena prvenstveno morfološkoj analizi.

Aplikacija ks. uzastopno (obično 5 x) da bi se procenila dinamika nakupljanja i ispiranja.

# MR abdomena

Standardni protokoli uključuju breth-hold sekvence (VIBE, LAVA) koje se mogu kompletirati unutar 25 sec.

STIR za procenu parenhimskih abd. organa.

trueFISP sekvence se koriste za prikaz tankog (MR enterolkiza) i debelog creva (MR kolonografija).

MRCP koristi predhodne sekvence sa pojačanim signalom za stacionarne tečnosti.

U koronalnim presecima moguće je proceniti elongaciju i tortuozitet aorte.



# MR koštano-zglobnog sistema

Korišćenje MR ograničavaju zglobne proteze i osteosinteze od feromagnetnih materijala koje nisu apsolutna kontraindikacija ali treba računati na artefakte.

Položaj pacijenta za optimalan prikaz regije od interesa. Zglobovi u neutralnom položaju.

Skeniranje u 3 ravni.

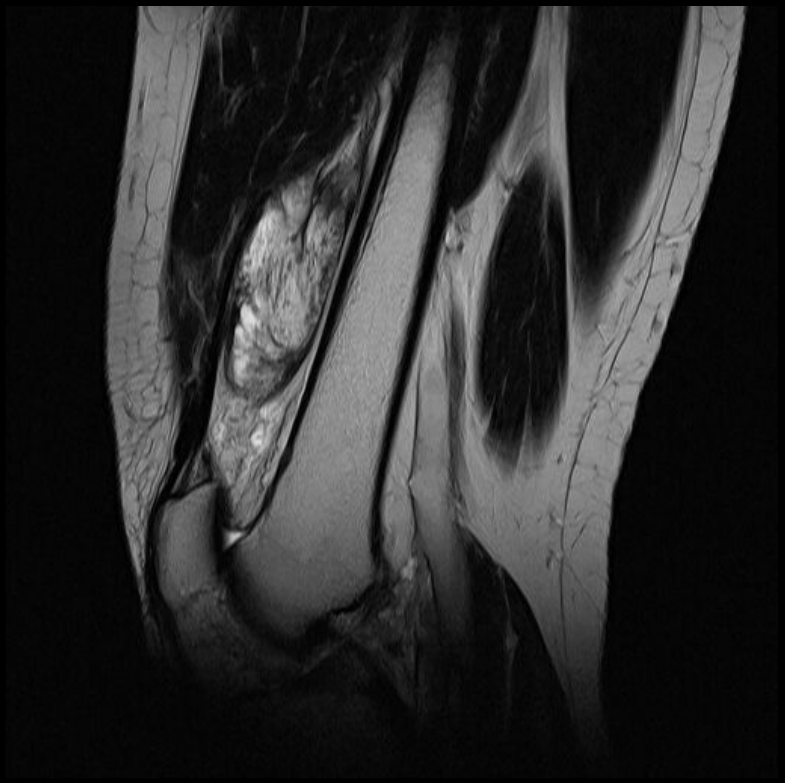
Sekvence:

PD zbog izvrsnog prikaza ligamenata i hrskavica.

T2 kod upala i tu.



- Kost (kompakta, kortikalis i gredice spongioze), ligamenti, tetive i vezivne hrskavice (meniskusi, triangularni disk) su niskog signala u svim pulsnim sekvencama
- Solidni kalcifikati, tu niski signal T1.
- Mišići su sličnog signala (niskog) u svim sekvencama.
- Mast visok signal T1.
- Hijaline hrskavice, koštana srž različitog signala u različitim pulsnim sekvencama.
- Zglobni izliv niskog signala T1; visokog T2.



# MR spektroskopija

Koristi se kao analitičko sredstvo za prepoznavanje različitih hemijskih stanja bez uništavanja uzoraka u kome se element nalazi.

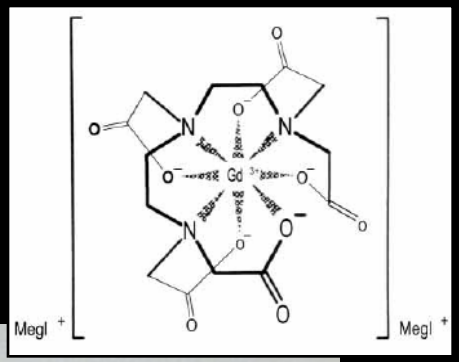
- Da dobijemo informacije o hemijskim i metaboličkim procesima u određenom delu tela in vivo (jetra, mozak, srce, ...)
- Praćenje ćelijske fiziologije
- Evaluacija toka bolesti i praćenje efekata terapije

# MR kontrastna sredstva

Paramagnetne supstance imaju malo lokalno magnetno polje koje dovodi do skraćenja vremena relaksacije. Sadrže atome metala sa jakim magnetnim momentom (Gd, Mn, Ni, Cr, Fe).

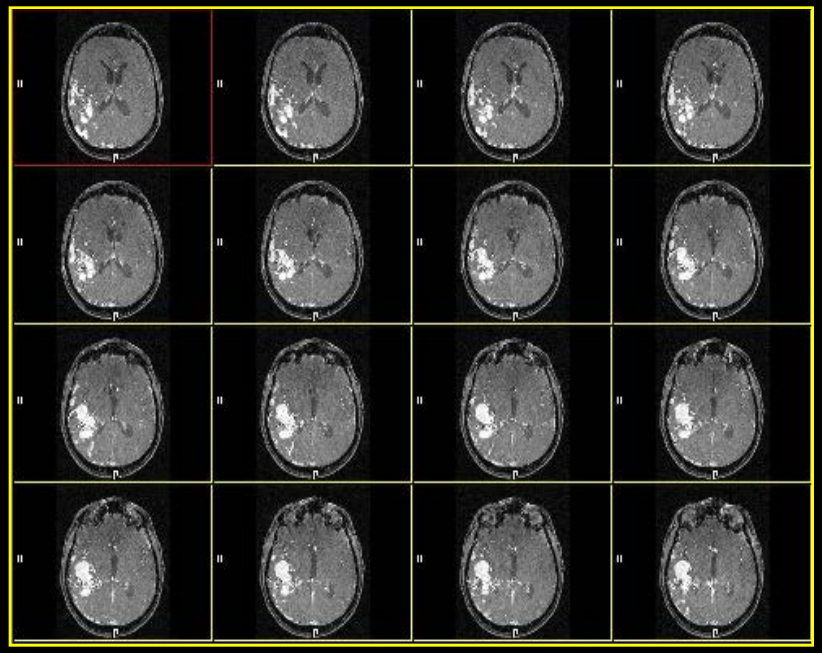
Najčešće primenjivan Ga-DTPA (Magnevist®, Gadovist®), retkozemni element, toksičan u slobodnom stanju.

Aplikuju se iv. u koncentraciji od 0,1 mmol/kg tt (dovoljno da smanji relaksaciono vreme bioloških tečnosti za 50%). Izlučivanje se preko bubrega






## ***Key Images***



- **Pacijent:** Petar Petrović
  **DOB:** 19.7.1948. **Pol:** M
  **Lokacija Pacijenta:** BEG
  **Status Pacijenta:** O
  **Dr:** X.X.
  **3437630 10.1.97 10:05**
  **Zahtev upućen od:** Dr XX

- **MR Mozga** sa iv. primenom kontrasta
  **Istorija:** Skorašnji napad oduzimanja i glavobolje
  **NALAZI** – Postoji velika arteriovenozna malformacija (AVM) na desnoj strani u temporo-parieto-okcipitalnom regionu. Popunjen je središnjom i posteriornom cerebralnom arterijom. Rizik hemoragije je značajan, pre odluke o terapiji preporučuje se dalje istraživanje CT-om, MR-om ili Angiografijom da bi se preciznije ocrtala anatomije ove malformacije.

- **ZAKLJUČAK** - *velika cerebralna AVM na desnoj strani.*

  Radiolog: Dr X.X.
  ispisano: 1-Okt-2004 u 10:08

# Vreme snimanja



**a.t. = TR x br.Linija x 2D**

1 sec/sekvenci x 128 Lin x 2 vreme ponavljanja = 256 sec

4,16 min *po preseku* x 10 preseka = **42 min**

Iz određenih razloga nije dovoljno izmeriti samo jedan signal, već sabrati signale nekoliko merenja da bi smo dobili nekoliko srednjih vrednosti, čime se dobija slika visokog kvaliteta. U stvari dobijamo sliku sa dobrim odnosom signal-šum (SNR).

pixel = 1024 x 768 redova

Dok čekamo ponavljanje TR sekvence pri snimanju jednog preseka, možemo izvršiti merenja u jednom ili više različitih preseka.

Istovremeno se vrši merenje na 32 tačke (jednokanalni aparati rade jednu po jednu tačku redom). Tako se pregled drastično ubrzava.

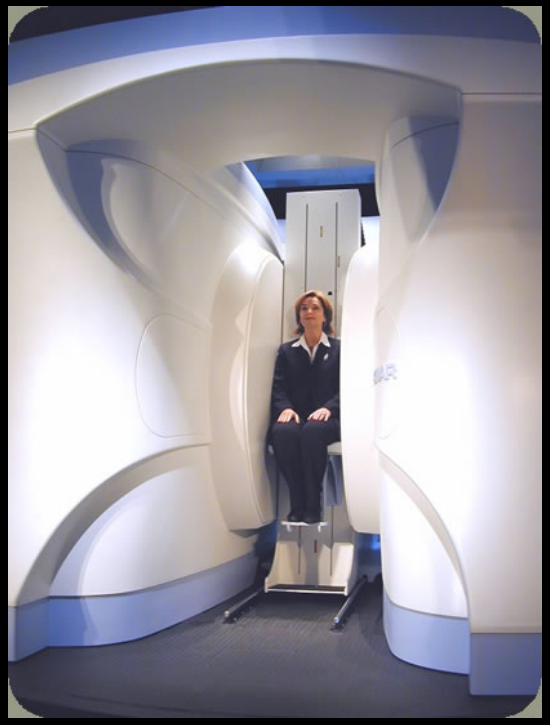
# Prema jačini polja magnetni uređaji se dele na

Low field < 0.5 T
otvoreni sistem za celo telo

Normal 0.5 – 1,5 T
za celo telo i kardiologiju

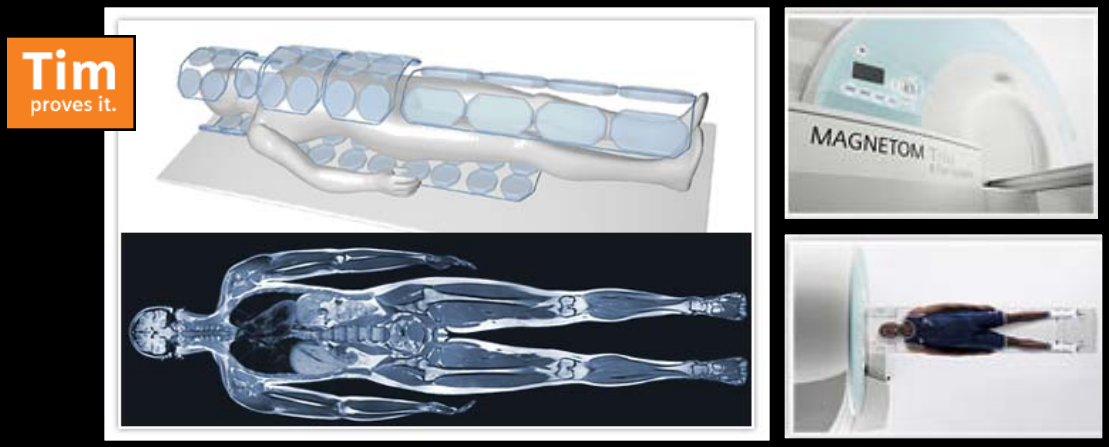
High field 3 T
za celo telo i glavu

Ultra-high field >3 T



1T = 10 000 G
Tesla otac naizmenične struje
Zemlja 0,3 – 0,7 G; magneti frižider 100 G;
Gaus – nemački matematičar koji je prvi izmerio zemljino magnetno polje

Dec. **2003** g. na sajmu rad.tehnologije RSNA predstavljen
Siemens MAGNETOM Avanto 1,5T




TIM (total image matrix) revolucionarna tehnologija za snimanje celog tela za 12 min.

- 76 coil elementa spojena u jednu kontinuiranu matricu
- najmanji i najtiši MR sistem (za 30dB niži nivo buke)
- gradijenta od 45mT/m pri 200T/m/s
- veličina vidnog polja od 50 cm

Siemens MAGNETOM Trio 3T (3Tim)

- 102 coil elementa u jednu kontinuiranu matricu.
- očitavanje signala pomoću 32 kanala.

RSNA® Radiological Society of North America

SIEMENS MEDICAL

# Biološki efekti

Na telo deluju

- **Statičko** mag.polje

  0,0015T glavobolja, vertigo, insomnija, malaksalost, bol u srednjogrudju, svrab,

  0,1T povećanje amplitude T talasa,

  1,5T ne izaziva promene u $T^0$, bioelektrične osobine

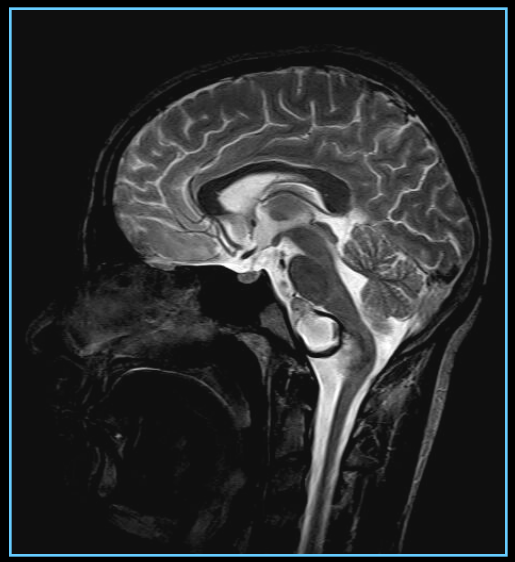
- **Gradijentno** mag.polje

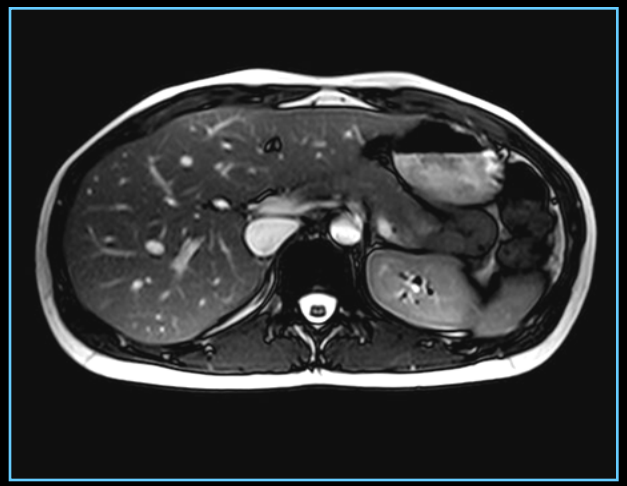
  ventik.fibrilaciju, aritmije, remeti rad pacemakera, epileptogeni potencijal, bol u kostima, vizuelne senzacije

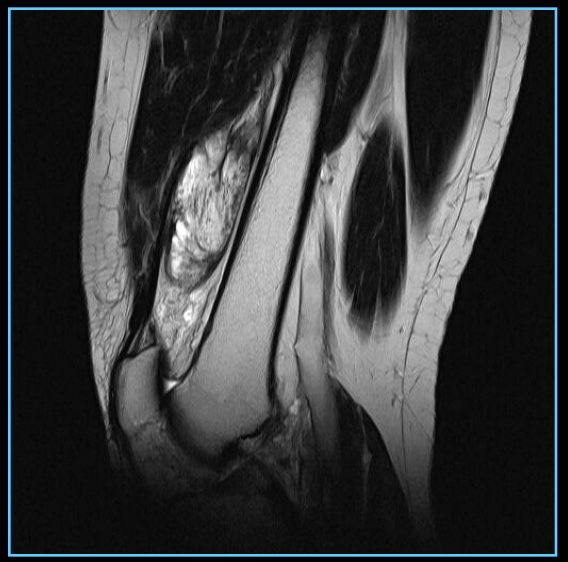
- **RF impulsi** $T^0$ rožnjače za 1,8$^0$C

# Prednosti

- Nema jonizujućeg zračenja
- Neinvanzivnost
- Promene kontrasta slike različitih tkiva
- Multiplanarna projekcija bez promene položaja bolesnika







# Nedostaci

- Dugo trajanje pregleda (preko 15 min)
- Klaustrofobija
- Kontraindikacije

- Cena uređaja
- Cena pregleda
- Dostupnost uređaja



# Apsolutne kontraindikacije

- Pacemakeri (otkazuju na 10 G)
  Diskete, mag.trake  - 50 G
- Metalni implanti
  (valvule, ortopedske i stomatološke proteze, ...)
- Aneurizmalni klipsevi
- Hirurški stapleri
- Inplantirani sistemi za inf.
  (insulinske pumpe, automatski injektori lekova, drenažni sistemi sa automatskim podešavanjem protoka,...)









# Apsolutne kontraindikacije

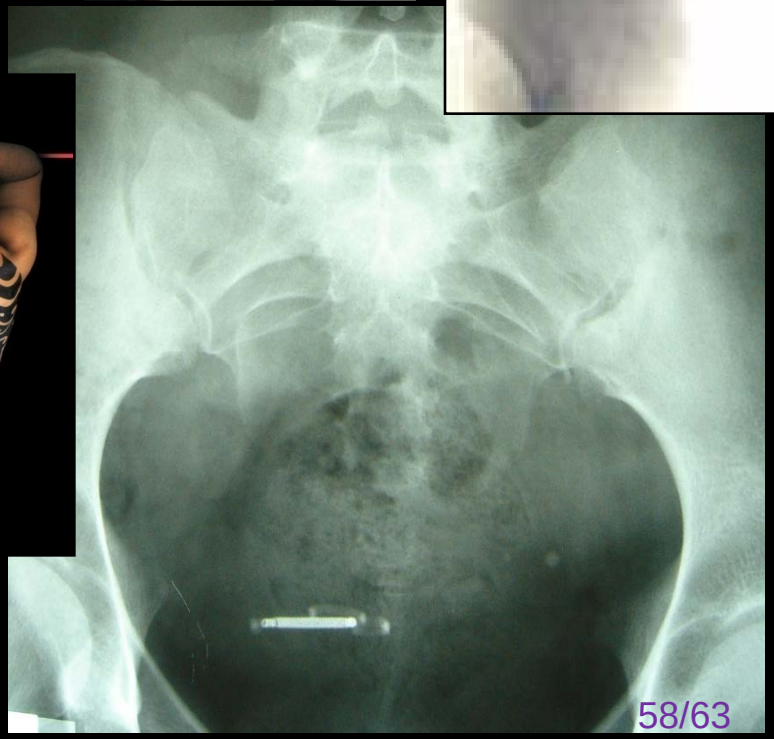
- Neurosimulatori (TENS units)
- Kohlearni implantati i slušni aparati
- IntUtContracepDevice (spitala)
- Šrapneli i strani metalni objekti
- Strana tela u oku

- Pirsing i obimne tetovaž
- Permanentni eyeliner











# Relativne kontraindikacije

- prvi trimestar trudnoće
- deca do 12 godina života (samo do 1.5T)
- ekstremna gojaznost
- bolnost
- nekooperativni pacijenti
- pacijenti sa nevoljnim pokretima
- anksioznost / klaustrofobija






# Vodič za MRI preglede
(FDA 1988)

- Jačina stat.polja do 2T
- Gradijent mag.polja u dB
- $T^0$ i zagrevanje tkiva

Mere opreza

- Ne u prva 3 mes. trudnoće
  Da u 2 i 3 mes. kada druge nejonizujuće metode nisu adekvatne
- KS prolazi placentu
- nakon KS Laktacija ne u 48h (izluči 99,2%)



# Razvojni put nauke
# i njen doprinos civilizaciji

MR nastla iz želje fizičara da saznaju nešto više o strukturi atomskog jezgra.

Razvoju metode doprineli hemičari u želji da razumeju strukture organskih molekula.

Metoda je doprinela biohemiji za određivanje strukture bioloških makromolekula.

U biologiji za ispitivanje bioloških procesa.

U medicini kao nezamenljiva dg. metoda za snimanje mekih tkiva.

RSNA® Radiological Society of North America

**1984** g. Am. udruženje radiologa
da bi uklonilo asocijaciju
na nuklearne rekcije i bombe

~~NMR~~ → **MRI**





1895 1995



- http:// www.med.pr.ac/katedra/interna-medicina.php