

Univerzitetni klinični center  
Univerzitetni Institut za rentgenologijo  
Ljubljana

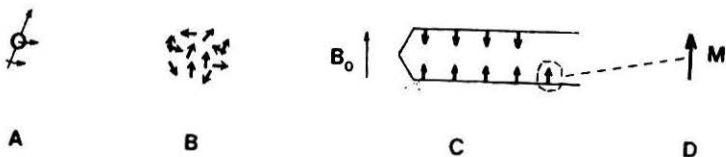
## SLIKANJE Z JEDRSKO MAGNETNO REZONANCO

Kristl V.

Jedrska magnetna resonanca (nuclear magnetic resonance, NMR) je spektroskopska metoda, ki se je v kratkem času razvila od osnovne teorije in grobega eksperimenta do nepogrešljive metode pri študiju molekularne strukture, dinamike in dragoocene analize metode. Zaradi svoje specifičnosti in nedestruktivnosti je NMR izrednega pomena za študij bioloških sistemov, kjer omogoča spremljanje kemičnih in strukturnih sprememb biomolekul v njihovem mikrookolju. Tako predstavlja NMR osnovo za novejšo metodo slikanja človeškega telesa v diagnostične namene.

Efekt jedrske magnetne resonance sta ločeno odkrila leta 1946 Purcell in Bloch. Za to odkritje in iz tega izvedene spektroskopske metode sta dobila 1952 Nobelovo nagrado za fiziko. NMR uporablja lastnost atomskih jeder, ki imajo magnetni moment, zaradi česar se v magnetnem polju obnašajo podobno kot magnetna igla. Magnetna igla se v zemeljskem magnetnem polju obrne vedno proti severu, magnetni momenti jeder s spinom  $1/2$  (jedra z lihimi masnimi številom, preglednica 1) pa se v močnem magnetnem polju lahko postavijo samo v smeri magnetnega polja ali pa v nasprotni smeri. Ti dve stanji imata različno energijo. Od "zunaj" lahko povzročimo prehajanje jeder iz enega stanja v drugo z uporabo šibkega radiofrekvenčnega magnetnega polja (slika). Toda kvanti energije, ki jih radiofrekvenčno polje dovaja vzorcu, morajo biti točno enaki energijski razliki med obema jedrskima stanjema. Kadar je ta pogoj izpolnjen pravimo, da smo v resonanci, t.j. jedra absorbira-

jo energijo radiofrekvenčnega polja. Pomembno je, da je ta frekvenca za vsako vrsto jeder drugačna. Resonančni signal jeder v odvisnosti od frekvence vzbujevalnega radiofrekvenčnega polja, pri konstantnem zunanjem magnetnem polju, imenujemo spekter jedrske magnetne resonance (1,2).



Slika

- A - jedro s spinom in magnetnim momentom (puščica skozi os)  
 B - v odsotnosti zunanjega magnetnega polja imajo magnetni momenti jeder naključno razporeditev  
 C - v prisotnosti magnetnega polja ( $B_0$ ) so magnetni momenti jeder usmerjeni v smeri magnetnega polja ali v nasprotni smeri. V ravnotežju je večje število jeder urejenih v smeri  $B_0$ , kjer je nižji energijski nivo  
 D - razlika v zasedenosti nivojev tvori magnetizacijo (t.j. vektorska vsota vseh magnetnih momentov v vzorcu).

Razvoj in instrumentarium za NMR je vse bolj zahteven in zapleten. V začetku se je izkazala kot pomembno sredstvo za raziskave v fizikalni kemiji in biokemiji. Po letu 1970 se je princip MR razširil na predlog Lauterburja na proučevanje nehomogenih vzorcev, kajti on je uvedel prostorsko kodirane signale (t.j. povedo, iz katerega dela vzorca izvira NMR signal). S pomočjo računalnika je iz lokaliziranih NMR signalov mogoče sestaviti sliko poljubnega vzorca. Ta čas

je rojstvo NMR tomografije. Razvoj slikanja z MR gre naprej, kar nadaljuje in pospešuje revolucijo v diagnostičnem slikanju, pri čem z ultrazvokom in kasneje rentgensko računalniško tomografijo. Kmalu so ugotovili, da lahko predstavijo nekatera mehka tkiva z boljšo ločljivostjo, kot so jo omogočale poznane diagnostične metode. Naslednji napredek v slikanju z MR je bil storjen leta 1983, ko so uspeli znatno skrajšati čas snemanja (namesto ene ure le nekaj minut). Istočasno so izboljšali prostorsko ločljivost, ki je bila do tedaj slabša od rentgenske računalniške tomografije, se pa pri negibljivih tkivih približuje in včasih že prekaša CT (pod 1 mm). Uporaba neionizirajočega sevanja - radiofrekvenčnih valov - ne povzroča kvarnega vpliva na biološka tkiva pod pogoji, v katerih je uporabljen v diagnostične namene.

NMR tomografija (v tuji literaturi magnetic resonance imaging - MRI, Magnetische Resonanz Tomographie) postaja v medicini čedalje pomembnejša neinvazivna diagnostična metoda. Ločevanje tkiv pri slikanju z MR je predvsem odvisno od lastnosti protonov, ki se v posameznih tkivih med seboj razlikujejo. To so:

- koncentracija (npr. vodika za protonsko MRI),
- spin-mrežni relaksacijski čas -  $T_1$ ,
- spin-spinski relaksacijski čas -  $T_2$  in
- hitrost pretoka protonov.

Odvisno od izbora radiofrekvenčnega pulznega zaporedja lahko izvedemo slikanje primarno na enem od omenjenih parametrov. Ena od osnovnih možnosti v MRI je ta, da imajo različni fizikalni parametri tkiva različno intenziteto signalov. Torej, dokler se razlikujejo fizikalni parametri med zdravim in bolezensko spremenjenim tkivom, je možno uporabiti slikanje z MR. Če bolezen modificira lastnosti tkiva, spremeni parametre,

jih meri MR tehnika, se pojavi kontrast med zdravim in bolnim tkivom.

Z MR lahko opazujemo snovi, ki imajo magnetni moment, to so jedra z lihim masnim številom ( $1_{\text{H}}$ ,  $13_{\text{C}}$ ,  $31_{\text{P}}$ ,  $14_{\text{N}}$ ,  $15_{\text{N}}$ ,  $33_{\text{S}}$ ,  $19_{\text{F}}$ ). V principu bi lahko opazovali vsak izotop s spinom jedra, ki je prisoten v telesu ali bi ga vanj uvedli. Uporabnost določenega izotopa za diagnostične namene je odvisna od naslednjih dejavnikov:

- pogostnosti v telesu,
- občutljivosti, t.j. relativna jakost signala, ki ga daje in
- giromagnetne konstante jedra samega (preglednica 1).

Najmanjše koncentracije jeder v preiskovanem vzorcu, pri katerih še lahko dobimo NMR signal, so v območju od 0.1 do 1 mM za jedra  $1_{\text{H}}$ ,  $19_{\text{F}}$ ,  $31_{\text{P}}$  in  $13_{\text{C}}$ . MRI je predvsem osredotočena na proton vodika, ki je izredno bogato zastopan v bioloških tkivih.

Preglednica 1: v tkivih sesalcev prisotni izotopi s spinom jedra, njihova naravna pogostnost, giromagnetni faktorji in občutljivost

izotopi	molarna koncentracija (mol. l <sup>-1</sup> )	giromagnetni faktor (MHzT <sup>-1</sup> )	občutljivost glede na $1_{\text{H}}$
$1_{\text{H}}$	99.0	42.58	1
$14_{\text{N}}$	1.6	3.08	0.001
$31_{\text{P}}$	0.35	17.24	0.066
$13_{\text{C}}$	0.10	10.71	0.016
$23_{\text{Na}}$	0.078	11.26	0.093
$39_{\text{K}}$	0.045	1.99	0.0005
$17_{\text{O}}$	0.031	5.77	0.029
$19_{\text{F}}$	0.0066	40.05	0.833

V letu 1988 je bila MRI sprejeta diagnostična metoda za bolezni možgan, hrbtencičnega kanala, medeničnih organov in mišično-skeletnega sistema (3). MRI je ekvivalentna ali boljša kot drugi načini za pregled vratu, mediastinuma, jeter in retroperitoneja. Tehnika slikanja je razvita tudi za diagnosticiranje vranice in trebušne slinavke. Metoda trenutno predstavlja največjo prednost pri določanju razširjenosti malignomov v področjih, ki niso v neposrednem stiku z respiratornimi gibi. MRI pregledovanje peritonealne votline in prebavnega sistema zaenkrat ni najbolj uspešno zaradi kombiniranih respiratornih in peristaltičnih gibov ter prenešenih srčnih utripov. Premikanje tkiv med zbiranjem NMR signala povzroča napake v lokalizaciji signala in s tem nejasno slikanje. Tehnike, ki sinhronizirajo snemanje NMR signala s srčnim utripom, torej v povezavi z EKG, omogočajo pregledovanje srčne mišice in srčnih votlin (3). Izboljšanje slike oz. zmanjšanje napak na posnetkih, ki nastanejo zaradi gibanja, poskušajo izločiti s posebnimi računalniškimi programi. Najobetavnejša strategija za eliminacijo napak zaradi gibanja pa je skrajšanje časa snemanja.

Najpomembnejše prednosti NMR tomografije pred drugimi slikovnimi diagnostičnimi metodami so: izvrstno razlikovanje med mehkiimi tkivi, zmožnost zaznavanja pretokov tekočin, potencial za biokemične študije in vivo, odsotnost ionizirajočega sevanja (1). Slikanje z MR ni popolnoma univerzalna metoda, ampak ima tudi nekatere pomanjkljivosti (ne prikaže kalcificiranih področij, čas snemanja je daljši kot pri CT, cena je večja, ne smemo preiskovati pacientov s pacemakerji in kovinskimi implantati).

Razvoj v prihodnosti narekuje potrebo po poenotenju in s tem izdelavo opreme v večjih serijah, kar bi prispevalo k poenitvi diagnostičnega postopka. Odstranitev specifičnih pomanjkljivosti metode predstavlja možnost za nadaljnje dramatično izboljšanje diagnostičnih postopkov.

Literatura:

1. Blinc A., Tomografija in spektroskopija z jedrsko magnetno resonanco v medicini, Medic. razgl. 25,1986,457.
2. Rosen B.R., Brady T.J., Principles of Nuclear Magnetic Resonance for Medical Application, Seminars in Nuclear Medicine 13,1983,308.
3. Budinger T.F., Margulis A.R. (ed.), Medical Magnetic Resonance, Society of Magnetic Resonance in Medicine, 1988.

Naslov avtorja: Vinko Kristl, dr.med., specialist radiolog,  
Univerzitetni klinični center, Institut za rentgenologijo,  
Zaloška 7, 61000 Ljubljana