

ПРИНЦИПИ НУКЛЕАРНЕ МАГНЕТНЕ РЕЗОНАНЦЕ

Вучковић Б.

Природно математички факултет - одсек физика, Универзитет у Приштини, Косовска Митровица

PRINCIPLES OF NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE

Вучковић Б.

Faculty of Natural Sciences and Mathematics, department of physics, University of Priština, Kosovska Mitrovica

SUMMARY

Nuclear magnetic resonance (NMR) or magnetic resonance imaging (MRI) today is the most powerful review method of a human body. Method is based on effect strong magnetic field and on demonstration of natural physical characteristics of nucleus. Hydrogen atom is a part of almost every compound in our body (water, lipids, proteins and nucleid acids). When we exposed body to strong magnetic field hydrogen nucleus orients in direction of field, which cause resonance and emission of radio signals. Resonance frequency for MRI is in range from 10^6 Hz to 5×10^8 Hz, which is equal to energies from 6×10^{-28} J to 3×10^{-25} J.

Key words: Strong magnetic field, Resonance, Radio signal.

САЖЕТАК

Нуклеарна магнетна резонанца (НМР) је данас најмоћнија метода прегледа унутрашњости људског тела. Заснована је на примени јаког спољашњег магнетног поља и на испољавању природних физичких особина одређених атомских језгара. Атоми водоника присутни су у организму у скоро сваком једињењу (вода, протеини, липиди и нуклеинске киселине). Када се тело изложи дејству магнетног поља језгра водоника се магнетишу у правцу поља, условљавајући појаву резонанце и емисиона радиофреквентних сигнала. Област резонантне фреквенце за НМР је од 10^6 Hz до 5×10^8 Hz, што одговара фреквенци радио таласа енергије кванта од 6×10^{-28} J до 3×10^{-25} J.

Кључне речи: Јако магнетно поље, Резонанца, Радио сигнал.

УВОД

Нуклеарна магнетна резонанца (НМР) развијена је још четрдесетих година, а први уређај овог типа произведен је 1972. године. Тек осамдесетих година добијени су задовољавајући резултати. Велика предност НМР-а је што не јонизује средину кроз коју пролази тако да не оставља никакве промене у структури (1). Снимање НМР заснива се на магнетним својствима неких атомских језгара позитивног наелектрисања, посебно најједноставнијег елемента водоника. Свака наелектрисана честица има при кретању свој магнетни момент и своје магнетно поље. Када се таква честица - атом изложи дејству јаког магнетног поља доћи ће до њене магнетизације која се испољава емисијом радио сигнала. Анализом амплитуде и фреквенце тих сигнала може се на најбољи начин упознати молекуларна структура узорка (2). Ова магнетна својства истраживали су меду првима физичар *Rabi* и његови сарадници, али су их *Purcell* и *Bloch* знатно касније уврстили у значајну аналитичку методу истраживања "in vitro" и "in vivo". Њихов међусобно независан рад награђен је Нобеловом наградом 1952. године.

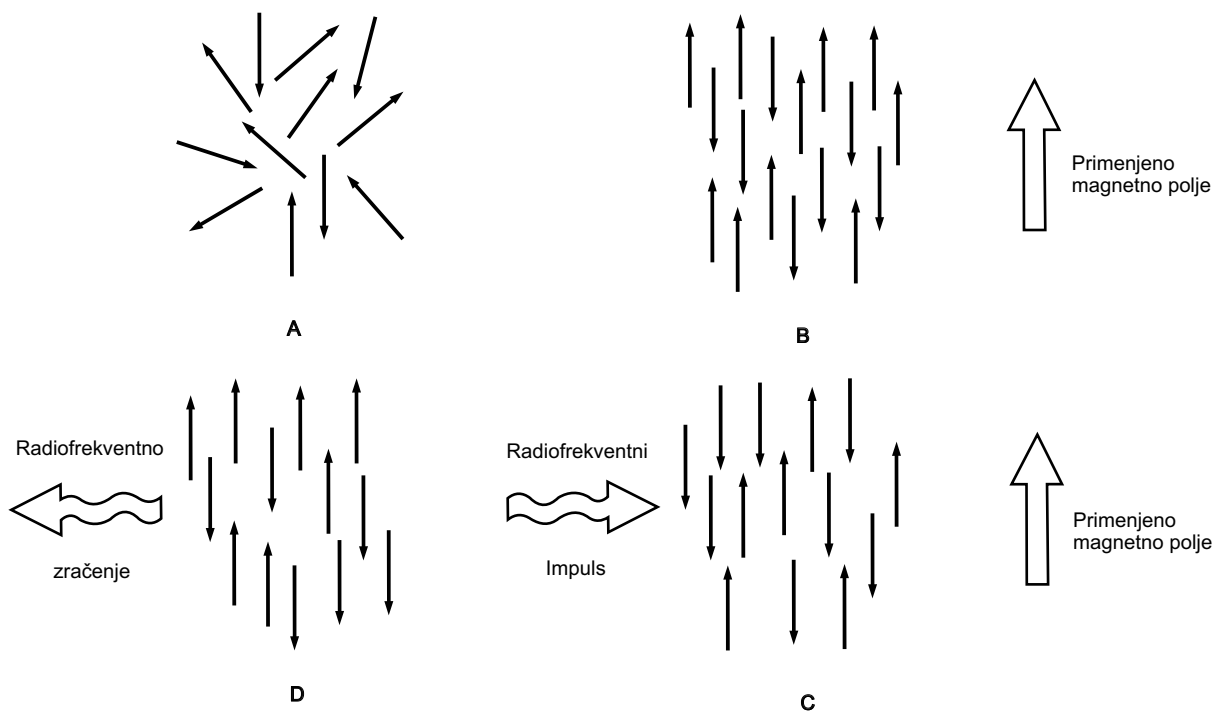
Физичка својства

Да би упознали основне принципе НМР посматраћемо шта се дешава са језгром водоника када се унесе у спољашње магнетно поље. Водоник је основни састојак великог броја једињења у нашем организму, па је зато и основ даљег истраживања (1,3). Језгра атома водоника се понашају као слаби магнети. У простору су не-

правилно распоређена (слика 1-А). Када се унесу у јако магнетно поље, језгра ће се оријентисати на два начина: у правцу поља или супротно (слика 1-В). Језгра код којих се паралелност изражава су нижих енергетских стања од оних антипаралелних, и присутни су у већем броју. За појаву магнетне резонанце одговорна су језгра са антипаралелним статусом. Појаву резонанце дефинише реоријентација језгара у правцу поља. Тада је присутна магнетизација максимална, језгро може да апсорбује резонантно зрачење и пређе на неки суседни ниво (3). Постројавање језгара у правцу поља може се постићи и када се узорак изложи дејству радиофреквентних импулса строго одређене енергије која одговара разлици паралелних и антипаралелних стања (4), коју они апсорбују (слика 1-С). Сада могу извршити прелаз на виши или нижи енергетски ниво, чиме се изједначава насељеност суседних нивоа. "Трзање" језгара између два енергетска нивоа познато је као кохерентна резонанција (3, 5). Након престанка дејства поља, прекида енергетских импулса, језгра се враћају у основно стање (слика 1-Д), емитирајући енергију у облику радиофреквентног сигнала ис-те фреквенце као и побудни сигнал.

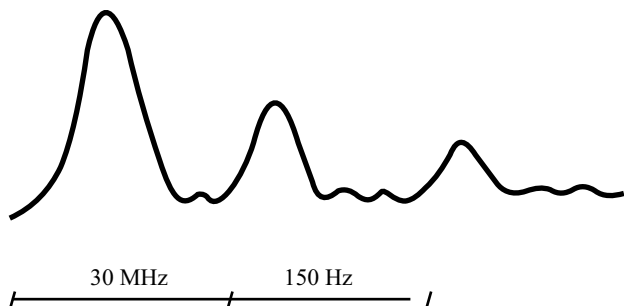
Тај сигнал ће указати на место настанка, односно на положај језгра-протона (2). Облик сигнала је представљен на слици 2, где максимуми одговарају положају протона.

Одмах после стимулације узорка RF сигналом највећи је број побуђених језгара и најјачи је НР сигнал.



Слика 1. - Принципи магнетичне резонанце. (4)

Потребно је да прође неко коначно време (време релаксације - T1) пре него што се почетна магнетизација поново успостави термалним контактом са нормалном температуром околине у којој се налазе језгра. Дакле, то је време које одражава способност језгара да изврше размену енергије са околином. Назива се јоши лонгитудинално или "spin-lattice" време релаксације (3). Оно је различито за различите узорке, због јединствености молекулске околине водоникових језгара. Тако да проучавање времена, T1, даје важне податке о структури материје. Уколико се интервали између побудних импулса продужују, излазни сигнали се појачавају. Што је време T1 краће, добиће се јачи сигнализмеђу два улазна радиофреквентна сигнала. На тај начин могу се разликовати контрасти међу узорцима различитог времена T1 (2). Контрасти се могу ублажити погодном изабраним интервалом времена између поновљених експитација, при чему се релаксација T1 јавља у већем степену.



Слика 2. - Сигнал нуклеарне резонанце. (2)

Велики утицај на интензитет сигнала НМР имају још и густина протона, време релаксације T2 - "spin-spin" или трансферзално (3) - које указује на брзину губљења сигнала услед међусобног деловања протона, као и масовно кретање, константа дифузије итд. Важност ових параметара огледа се у могућности избора метода које наглашавају утицаје појединих параметара и тиме указују на разлике међу њима (5). Тако рецимо, утицај T1 и T2 може да се појача применом другог RF импулса убрзо после првог. Мењањем њихове амплитуде, времена трајања и временског интервала између њих, као и кашњења другог импулса могу се појачати слике које указују на концентрацију водоника (4). Дакле, бирањем одговарајућих импулских секвенци и времена кашњења, могу се добити МР слике са јаким контрастом међу узорцима и богате детаљима.

Примена у дијагностичке сврхе

НМР је као метода заснована искључиво на природним физичким особинама атомских језгара нашла велику примену у дијагностици (5, 6). Радиофреквентни сигнали који се користе за добијање МР слике пресека тела потичу од свеprisутног водоника у телу. Резонантни сигнал првенствено потиче од водоника у нестабилним хемијским структурама. Уствари, присуство контраста у НМР слици између ткива са различитом концентрацијом воде, последица је различитог интензитета сигнала који се добија радиофреквентном побудом посматраног волумена (4,6). Почетни интензитет директно зависи од степена магнетизације језгара, као и концентрације оних протона који су расположиви за интеракцију са одређеном фреквенцом импулса. Избо-

ром исправне методе могуће је приказати нека оштећења, промене на ткивима, све док нормална и болесна ткива показују разлике у својим параметрима.

Осамдесетих година постала је клиничка метода која се најчешће употребљавала у свим оним подручјима тела где нема респираторног и другог кретања, где се органи распознају са мање детаља. Али ако би се параметри НМР ускладили са рецимо респираторним циклусом или радом срца онда би сезнатно побољшала детаљност и ових слика. Подручја са којих се добијају слике које обилују детаљима у просторној резолуцији су: централни нервни систем - мозак и кичмена мождина, пакети лимфних чворова, грудни кош и трбух, срце и крвни судови (4,6). Присуство коштане масе не утиче на добијање добрих НМР слика што методи даје још једну предност у односу на јонизујуће X-зраке или компјутерску томографију. Али, приликом доброг подешавања параметара врло снажним сигналом може се приказати и костна срж, односно шупљикаве кости и зглобови.

Код снимања ткива нервног система, мозак и кичмена мождина, највећи део интензитета сигнала узрокован је резонанцом језгара водоника спремних за побуду у молекулама воде. Познато је да сива и бела маса имају исту концентрацију воде, али је концентрација спинова 20% већа у сивој маси (6). За добијање одговарајућих слика издвајају се три параметра: густина спина, време релаксације T1 и T2. Ова метода се не користи само за приказ нормалне анатомије, већи за откривање малих промена које прате патолошке промене (7), услед промене садржаја воде у ткивима. НМР је постала најбоља метода за откривање почетних промена болести средишњег нервног система. Откривање упалних процеса, примарних и метастабилних малигнух тумора мозга и кичмене мождине, дегенеративних болести, крвављења.

Лимфни чворови, ако су већи од 15 мм, откривају се помоћу мултиплних секвенција. Суседни крвни судови се приказују са slabим сигналом (6).

НМР као метода се може применити и за откривање плућних обољења код деце и одраслих. Код испитивања абдомена НМР могу се уочити обољења јетре

и бубрега (4). Снажним сигналом види жучни мехур, при чему се каменци јављају као дефекти пуњења ако садрже холестерол (6).

Уз помоћ НМР се може одредити величина срчаних комора, функција и дебљина зида. Исто тако се могу доказати различите кардиоваскуларне болести и присуство инфаркта миокарда (8).

ЗАКЉУЧАК

Нуклеарна магнетна резонанца је веома важна савремена дијагностичка метода. Данас, скоро да нема гране клиничке медицине у којој се она није показала као успешна. Њене предности су: некористићење јонизујућег зрачења, могућност добијања слика у просторној резолуцији без промене положаја болесника, као и кратко време добијања слика. Њени недостаци се огледају у високим трошковима опслуживања, клаустрофобији болесника, деловању магнетног поља на металне предмета (нарочито на електростимулаторе срца).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ivanović M.D.M., Vučić V.M.: Atomska i nuklearna fizika, Naučna knjiga, Beograd, 1989.
2. Burcham WE: Nuklearna fizika-uvod, Naučna knjiga, Beograd, 1974.
3. Simonović, J. Vuković, D. Ristanović, R. Radovanović, D. Popov: Biofizika u medicini, Medicinska knjiga, 1997.
4. Savet za naučna istraživanja: Vizualizacija magnetnom rezonancijom, JAMA-YU, spec. broj, 5-8.
5. Školska enciklopedija - matematika fizika, Izdavačko preduzeće "Prosveta", Beograd, 1992.
6. Medicinska enciklopedija-drugi dopunski svezak, Jugoslovenski leksikografski zavod "M.Krleža", Zagreb, 1986.
7. Cammoun D, Hendee WR, Daviš KA: Clinical applications of magnetic resonance imaging in current status, West J Med, 1985 (143) 793-803.
8. Higinss CB: Magnetic resonance imaging of hart: A review of the experience in 172 subjects, Radiology, 1985 (155), 671-679.