

SLIKANJE Z MAGNETNO RESONANCO

Jure Derganc

Že dolgo je tega, kar me je prvič zgrabil išias. Bolečina v križu in nogi ni in ni hotela popustiti in na trenutke se zaradi nje nisem mogel niti premakniti. Osebna zdravnica, ki si je verjetno kot vzrok bolečine želela izključiti hipohondrijo, me je zato poslala na slikanje hrbtenice z magnetno resonanco. Pokazalo se je, da je čakalna doba za "magnet", kot zdravniki v žargonu imenujejo magnetno resonanco, precej dolga, kar je že dalo slutiti, da ta preiskava ni nekaj vsakdanjega. In zares, slikanje je potekalo kot v kakem starem ZF- filmu: stlačili so me v majhno valjasto komoro krem barve, v kateri sem moral pol ure negibno ležati, naprava pa je počasi slikala in pri tem spuščala čudne glasne zvoke. Ko sem kasneje preučeval slike svoje hrbtenice, sem se zavedel, da o slikanju z magnetno resonanco pravzaprav ne vem nič. Kako deluje? Je slikanje z njo varno za zdravje? Zakaj me niso poslali na rentgen? Sploh

ker so slike za nepoznavalce zelo podobne rentgenskim, le da je na eni sliki razporejenih več prerezov hrbtenice... Vsa ta vprašanja bodo sedaj, upam, končno dobila odgovor.

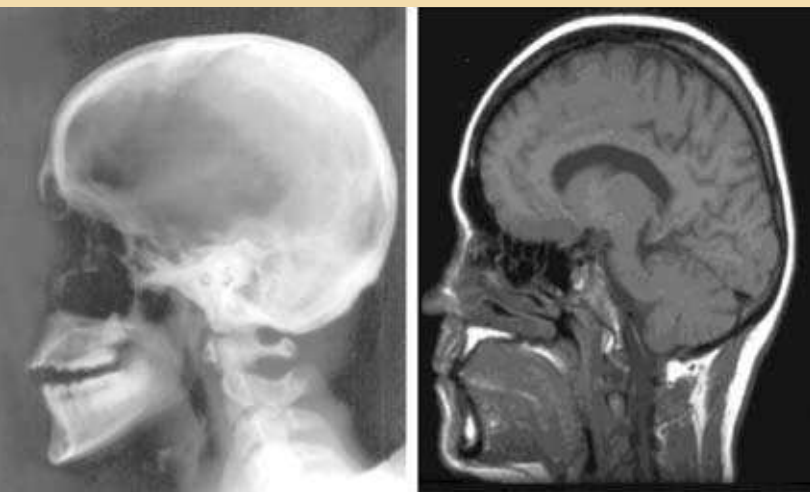
O resonanci v magnetnem polju

Jedra nekaterih atomov so v magnetnem polju lahko v dveh različ-

nih stanjih. Stanji imata različno energijo in jedra lahko iz enega v drugo stanje prehajajo z oddajanjem oz. absorbiranjem fotonov elektromagnetnega valovanja - pri prehodu v stanje z nižjo energijo jedro odda foton, v stanje z višjo energijo pa se jedro vzbudi z absorbiranjem fotona. Energija fotonov je pri tem natanko enaka razliki energij med obema stanjema. Ker pri elektromagnetnem valovanju energija fotonov določa



Slika 1. Naprava za slikanje z magnetno resonanco. Prostora za pacienta v njej ni ravno veliko. Vir: William Osler Health Centre, Kanada.



Slika 2. Stranski posnetek glave. Na rentgenski sliki (levo) so dobro vidna trdna tkiva (kosti, zobje), pri magnetni resonanci (desno) pa se dobro vidi tudi mehka tkiva (npr. možgani). Vir: Inet....

njegovo frekvenco, je torej jedra mogoče vzbujati le z natančno določeno frekvenco - pravimo ji resonančna frekvenca.

Razlika v energiji med obema stanjema jeder (in s tem njihova resonančna frekvenca) je določena neposredno z velikostjo magnetnega polja. V majhnih magnetnih poljih - npr. v običajnem magnetnem polju na Zemlji - je energijska razlika tako majhna, da obeh stanj skoraj ne ločimo med seboj in lahko jedra med stanjema neopazno prehajajo. Drugače pa je, če se jedra nahajajo v polju, ki je nekaj desetstičkrat večje. Takrat postane energijska razlika med obema stanjema jeder tako velika, da jedra med stanjema prehajajo z absorpiranjem oz. oddajanjem elektromagnetnega valovanja radijskih frekvenc, kar pa lahko zaznamo. Mimogrede: fiziki pojav pravzaprav imenujejo "jedrska magnetna resonanca", a so besedo "jedrska" zdravniki izpustili, saj je imela ta preveč negativnih pomenov.

Uporaba magnetne resonance pri slikanju človeškega telesa

Ideja, da je z magnetno resonanco jeder mogoče slikati tudi organe v človeškem telesu, se je prvič porodila v sedemdesetih letih 20. stoletja. Pri tem se največkrat uporabljajo jedra vodikovih atomov, saj je vodik (vode) v tkivih v človeškem telesu na pretek. Postopek slikanja z magnetno resonanco je predstavljen na sliki 3. Pacienta najprej namestijo v zelo veliko magnetno polje (slika 3A). Jedra atomov vodika v tkivih v pacientovem telesu nato s kratkim sunkom radijskih valov vzbudijo v višje energijsko stanje (slika 3B). Vzbujena jedra se nato v nekaj sto milisekundah povrnejo nazaj v nevzbujeno stanje in pri tem oddajajo radijske valove z resonančno frekvenco (slika 3C). Naprava za slikanje zazna signal, ki ga jedra oddajajo, in tako rekonstruira sliko tkiv v telesu.

Za doseganje lepih slik mora biti v napravah za slikanje jakost magnetnega polja vsaj približno 1 T.

(S T označujemo enoto za jakost magnetnega polja "tesla". Enota je dobila ime po Nikoli Tesli, zato se 1 T prebere kot "en tesla" in ne kot "eno teslo"...). Za primerjavo: magnetno polje Zemlje, ki proti severu obrača kompasne igle, ima jakost približno 0,00005 T oziroma več desetstičkrat manj. Vsakdanji trajni magneti, kakršne uporabljamo za pritrjevanje listkov na hladilnik, so za slikanje z magnetno resonanco torej veliko prešibki. Za to potrebujemo zelo močne magnetne, ki pa morajo biti tudi dovolj veliki, da lahko pacienta v njih kolikor toliko udobno namestimo.

Izdelava velikih in močnih magnetov je velik tehnološki izziv - trajni magnet, ki ustvarja dovolj veliko polje, hitro tehtaja nekaj deset ton! Pri napravah za slikanje z magnetno resonanco zato kot izvor magnetnega polja ponavadi ne uporabljajo klasičnih magnetov, ampak superprevodne magnetne, pri katerih se magnetno polje ustvarja z električnim tokom v superprevodniku. Slaba stran takih superprevodnih magnetov je, da mora biti superprevodna snov neprestano ohlajena na več kot -250°C , kar pa spet ni niti enostavno niti poceni. Težavnost izdelave velikih in močnih magnetov ima neprijetno posledico - zaradi velikih stroškov, povezanih z izdelavo velikih magnetov, naprave za slikanje ponavadi niso zelo prostorene in so pacienti v njih precej utesnjeni.

Kako nastane slika?

Videli smo, da je izvor signala pri slikanju z magnetno resonanco v jedrih atomov vodika v vodi. Voda pa je prisotna v vseh tkivih v telesu

in hitro se zastavi vprašanje, kako na slikah različna tkiva sploh ločijo med seboj? Tu zelo pomaga zanimiv pojav - vzbujena jedra se namreč v različnih tkivih vračajo v nevzbujeno stanje različno hitro

- pravimo, da se tkiva med seboj ločijo po relaksacijskem času. Na primer: relaksacijski čas je za tumorje drugačen od relaksacijskega časa zdravega tkiva. Tkiva z daljšim relaksacijskim časom bodo po vzbujanju signal oddajala dlje časa kot tkiva s krajšim relaksacijskim časom. Eden od načinov slikanja, ki izkorišča to lastnost, je prikazan na sliki

4. Predstavljajmo si na primer, da je relaksacijski čas v možganskem tumorju krajši od relaksacijskega časa ostalih tkiv v glavi. Kaj se dogaja potem, ko hkrati vzbudimo vodikova jedra v vseh tkivih v glavi? Takoj po vzbujanju bodo vsa tkiva enako vzbujena in bo signal iz vseh tkiv približno enako močan - na sliki, ki jo posnamemo takoj po vzbujanju, se zato vsa tkiva prikažejo svetlo (slika 4). Ker pa je relaksacijski čas za tumor krajši

kot pri ostalih tkivih, bo signal iz tumorja zamiral hitreje kot signal iz ostalih tkiv. Če slikamo v primernem trenutku, bo torej na sliki tumor dobro viden, saj bo precej temnejši kot zdravi možgani.

OPOZORILO!

Pisec rubrike ni zdravnik! Kot občasni pacient pa si zelo želi razumeti, kaj se dogaja na obisku pri zdravniku, zato se bo zakopal v literaturo ter v vsaki številki Proteusa skušal na enostaven način predstaviti kakšno od sodobnih medicinskih metod. Zanima kaj posebnega tudi vas? Pišite na prirodoslovno.drustvo@guest.arnes.si

Prikazan postopek slikanja je le eden izmed mnogih in proces zajema slike z magnetno resonanco je lahko tudi bolj zapleten (na primer: pokaže se, da se lahko vzbujena jedra vračajo v ravnovesje po dveh različnih poteh in da v resnici poznamo dva relaksacijska časa, t.i. T1 in T2 ...). Relaksacijski časi različnih tkiv so si lahko tudi zelo podobni, zato z magnetno resonanco žal ni mogoče posneti slike, na kateri bi bil hkrati viden dober

kontrast med vsemi različnimi tkivi! Pred slikanjem mora tako zdravnik postopek slikanja prilagoditi tkivom, ki si jih na sliki želi jasno videti. Slikanje z magnetno resonanco torej zahteva dobro iz-

obraženega zdravnika radiologa in nikakor ni tako preprosto kot slikanje s klasičnim fotoaparatom!

Do sedaj smo govorili le o izvoru signala in razlikovanju tkiv med seboj, ne pa tudi o tem, kako dobimo informacijo o položaju tkiv v telesu. V ta namen so poleg trajnega magneta v napravi za slikanje tudi posebne tuljave (strokovno se jim reče gradientne tuljave), s katerimi dosežemo, da jakost magnetnega polja ni povsod po telesu povsem enaka, ampak se od točke do točke malo spreminja. Zaradi različno močnega magnetnega polja so tudi resonančne frekvence v različnih točkah različne in tkiva, ki se nahajajo na različnih mestih, med relaksacijo oddajajo radijske valove različnih frekvenc. Ker je naprava za slikanje znan podatek, kakšna je resonančna frekvenca na določenem

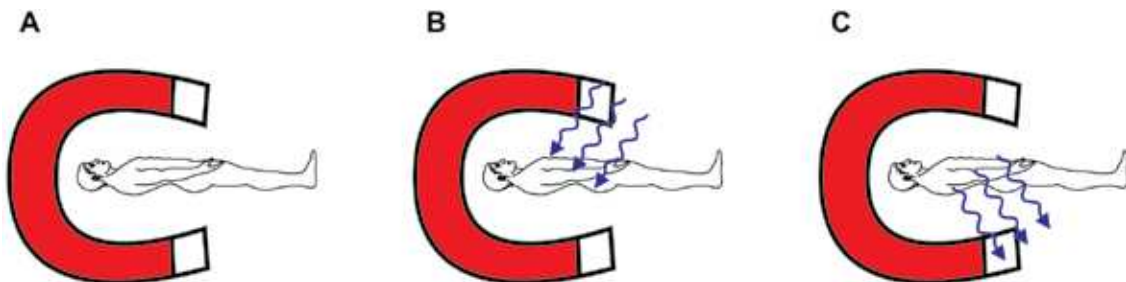
Slika 3.

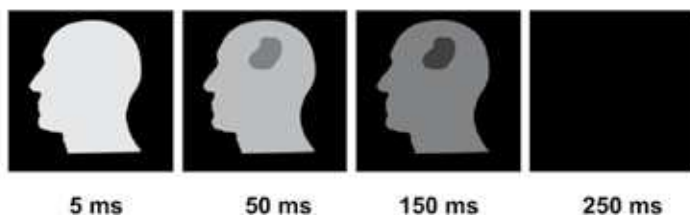
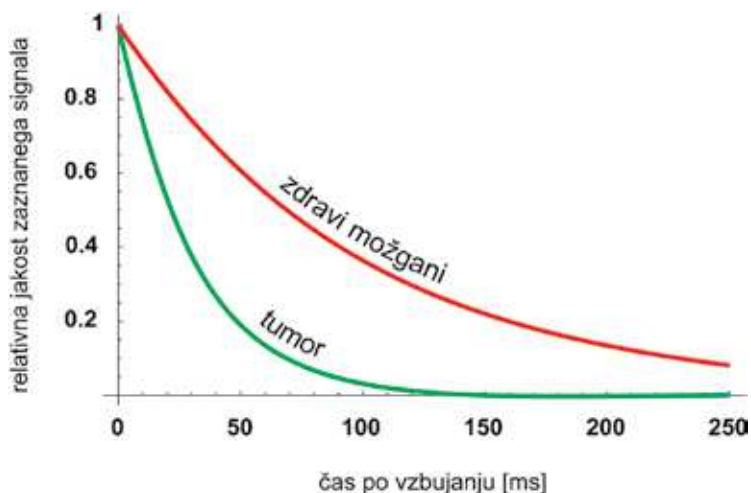
A. Pacienta namestijo v zelo močno magnetno polje.

B. Vzbujanje. Jedra atomov vodika v vodi, ki je vsepovsod v telesu, se z radijskimi valovi resonančne frekvence vzbudi v višje energijsko stanje.

C. Relaksacija. Vzbujena jedra se relaksirajo nazaj v nevzbujeno stanje in pri tem oddajajo radijski signal. Na osnovi tega signala je mogoče rekonstruirati sliko tkiv v telesu.

Vir: JD.





Slika 4. Shematski primer nastanka kontrasta med različnimi tkivi. Takoj po vzbujanju je iz vseh tkiv zaznati močan signal in slika je povsod svetla. Ker se nekatera tkiva relaksirajo hitreje kot druga (v navedenem primeru se tumor relaksira hitreje kot zdravi možgani), se na sliki prej pokažejo temno. Po 250 ms so popolnoma zrelaksirana že vsa tkiva in dobljena slika je povsod črna. Če se sliko posname v pravem času (npr. po 50 ms), je na njej lepo vidna razlika med tumorjem in zdravimi možgani. Vir: JD.

mestu, lahko z meritvijo zaznane frekvence torej natančno določimo, iz katerega dela telesa prihaja določen signal. Mimogrede: tisti precej glasni in neprijetni zvok, ki nastaja med slikanjem z magnetno resonanco, ustvarjajo ravno tuljave, ki se neprestano prižigajo in ugašajo.

Prednosti in slabosti

Poglejmo si še, kakšne so glavne prednosti in slabosti slikanja z magnetno resonanco v primerjavi z drugimi metodami, npr. z rentgenom. Prva dobra lastnost

slikanja z magnetno resonanco je, da omogoča dober kontrast tudi med nekaterimi tkivi, ki se na rentgenskih slikah ne ločijo dobro (tu gre predvsem za različna mehka tkiva). Druga dobra lastnost je, da v nasprotju z rentgenom za zdaj ni podatkov, da bi slikanje z magnetno resonanco škodilo zdravju. Človek se zato takoj vpraša, zakaj sploh še uporabljamo rentgen, če pa je slikanje z magnetno resonanco tako dobro? Odgovor je žal precej banalen – naprave za slikanje z magnetno resonanco so zelo drage in zato redke. V Sloveniji jih lahko preštejemo na prste ene roke, rentgen pa ima že

skoraj vsak zdravstveni dom. Z zlomljeno roko je tako le veliko bolje iti na rentgen (ki v resnici spet ni tako zelo nevaren), kot pa čakati tri mesece na slikanje z magnetom... Manjša slaba stran magnetne resonance je tudi, da je komora za pacienta zares majhna in da mora biti pacient med slikanjem ves čas na miru, hkrati pa je slikanje neprijetno glasno (menda ponekod za slikanje na magnetu priporočajo čepke za ušesa...). To pomeni, da je z magnetno resonanco težko slikati npr. majhne otroke. No, tehnologija napreduje in v literaturi že lahko beremo o novih aparatih za slikanje, pri katerih komora ni več tako majhna, po drugi strani pa cena bolj preprostih aparatov verjetno vedno bolj pada. Tako smo lahko prepričani, da bomo v prihodnje magnetno resonanco srečevali vedno bolj pogosto in da bo v bogatih državah morda nekoč celo bolj razširjena kot klasični rentgen.

Naj za konec povem, da mi hipohondrije k sreči niso dokazali in da naj bi bil vzrok mojega išiasa majhna poškodba medvretenčne ploščice. Operacija hvala bogu ni bila potrebna, zato pa je pomagalo več gibanja (plavanje) in boljša drža. Ja, točno to mi je že takoj na začetku še pred kakršnimkoli slikanjem na magnetu svetovala tudi moja babica...

Jure Derganc je leta 2003 doktoriral iz biofizike na Univerzi v Ljubljani. Zaposlen je na Medicinski Fakulteti v Ljubljani kot asistent za predmet Biofizika.