

1. Imagistica medicală

Când se vorbește de imagistică, în domeniul medical, gândul se duce, fără să aștepte, la ceea ce înseamnă imaginea obținută printr-o fotografiere, indiferent prin ce metodă. Într-o lume a materialului, a palpabilului direct, a realităților ingineresti, această ducere a gândului este plină de firesc. Și începutul imagisticii tocmai prin aceasta formă a fost marcat, radiografia deschizând poarta explorării și cercetării vizuale a interiorului corpului uman. Radiografia, bazată pe radiația Roentgen, ce impresionează un film fotografic, folosindu-se de principiul de absorbție, mai mare sau mai mic, al țesuturilor corpului uman, a fost, mult timp, baza investigațiilor medicale.

Nu era, în nici un fel, suficientă aceasta fotografie a transparenței, care, în decelarea unor amănunte, se dovedea fără folos. Și era și restrictivă, putând fi, chiar ea, declanșatoare și favorizatoare a altor probleme de sănătate, cu mult mai grave. Știința putea privi în interiorul unei celule cu un suficient grad de confort al detaliilor, însă în om, ca întreg, nu se putea privi mai atent.

Metodele ingineresti, cele ce căutau dezvoltarea unor aparate, pe principii deja cunoscute, nu au fost de nici un folos.

Descoperirile ulterioare realizate în domeniul bio-fizicii au dus la diversificarea metodelor de investigare medicală. S-a urmărit punerea la punct a unor metode de investigație mai puțin invazive în clinica medicală. Totodată, paraclinic, au fost concepute instrumente care realizează măsurători ale însușirilor fizico-chimice în preparatele biologice.

1.1. Istoria imagisticii medicale

Imagistica medicală a început, practic, odată cu descoperirea de către Conrad Roentgen, în 1895, a razelor X, pentru care a și primit, în 1901, premiul Nobel în medicină. De atunci, domeniul a evoluat spectaculos. Astfel în anii 1920, radiologii au început să poată diagnostica cancerul de esofag, stomac sau colon, precum și ulcerele sau apendicita, administrându-le pacienților bariu opac la razele X și observându-i apoi pe măsură ce bariul tranzita tractul gastro-intestinal.

Radiografia cu raze X, cunoscută și drept radiografie simplă, a rămas în uz peste 100 de ani, până în prezent, motivele principale fiind date de faptul că sunt nedureroase, rapid de efectuat. Acest procedeu a fost folosit și ca bază a mamografiei, un sistem special care înregistrează imagini de înaltă rezoluție ale sânului, în căutarea celulelor canceroase. În timp, doza de raze X emisă de mamograf s-a redus, făcând procedeul mult mai sigur.

Ultrasunetele au început să fie folosite în imagistica medicală începând cu 1957. Această metodă, funcționând pe principiul sonarului, folosește sunetele de frecvență înaltă (1-18 MHz) pentru a produce, o imagine. Pulsii sonore sunt emise spre corp, iar reflexiile acestora produse de structurile și țesuturile corpului sunt apoi captate și combinate pentru

a produce o imagine. Ultrasunetele pot ajuta la vizualizarea instantanee a mărimii, structurii și potențialei patologii a mușchilor, tendoanelor și organelor.

În comparație cu alte tehnici imagistice, ultrasunetele sunt mult mai puțin costisitoare și foarte puțin invazive. Deoarece sunt folosite sunete de frecvență înaltă, pacienții nu sunt expuși efectelor potențial nocive ale radiației ionizante. Ultrasunetele sunt potrivite, în mod special, pentru imagistica țesuturilor moi, putându-se vizualiza sistemele cardiac, renal, hepatic, musculo-scheletic, gastrointestinal, reproductiv și oftalmic. Limitările ultrasunetelor includ rezoluția relativ scăzută și profunzimea penetrării.

De asemenea, efectele secundare ale ultrasunetelor pot cauza anumite reacții inflamatorii acute. Mecanismul este declanșat de faptul că intrarea ultrasunetelor în corp duce la o creștere a temperaturii din cauza fricțiunii moleculare, astfel că se creează o undă de presiune mecanică prin țesutul moale, care poate duce la un proces numit cavitație (apariția unor “pungi”microscopice de aer în țesut, care se măresc și se strâng). Acest proces poate duce, la rândul lui, la dereglări în funcționarea membranelor celulare, dereglări legate de reacții inflamatorii acute.

După ultrasunete, următoarea mare etapă a imagisticii medicale a fost computerul tomograf (CT), dezvoltat în 1972, care a transformat radical domeniul, combinând aparate de raze X specializate cu computere sofisticate pentru a produce secțiuni transversale, tri-dimensionale ale organelor interne, oaselor, țesutului moale și vaselor de sânge, metoda având abilitatea de a ilustra un mare număr de patologii și disfuncționalități, precum carcinoamele (la plămâni, ficat, rinichi și pancreas), bolile vasculare, embolismul pulmonar, anomaliiile scheletului și condiții medicale specifice copiilor (malformații congenitale, cardiace sau ale rinichilor). Folosirea CT-ului poate evita nevoia folosirii unor proceduri mai invazive (de exemplu, angiografia, introducerea unui cateter și o colonografie, necesitatea unei colonoscopii).

O preocupare a specialiștilor din domeniu a fost (și încă, în anumite domenii, mai este) supra-recomandarea investigațiilor prin CT de către medici, în procesul de diagnosticare, mulți dintre aceștia subestimând doza de radiație emisă în timpul unui CT (conform unui studiu recent efectuat în SUA). Doza de radiație depinde de mai mulți factori, precum – volumul scanat, numărul și tipul secvențelor de scan, timpul de scanare, tipul de scanner și rezoluția dorită. Doza de radiație din timpul unui CT este de aproximativ 100 de ori mai puternică decât a unei ședințe singulare de raze X. Riscul relativ de apariție a cancerului după o singură ședință de CT este foarte scăzut, problema găsindu-se, de fapt, în efectuarea repetată a unor asemenea ședințe. Persoanele care sunt expuse în mod continuu unor doze de radiație, chiar dacă scăzută, cum este cea din timpul unui singur CT, sunt expuși unui risc crescut de cancer deoarece dozele de radiație se acumulează în organism, în timp.

La circa un an de la apariția CT-ului, în 1973, a fost dezvoltată o nouă tehnică imagistică numită PET scan (Positron Emission Tomography – Tomografie pe bază de emisie de pozitroni). Această tehnică folosește o substanță radioactivă combinată cu un element chimic natural (glucoză, apă, amoniac) care se degradează și eliberează pozitroni

(particule încărcate pozitiv) în organism. Aceste particule sunt detectate pe un monitor și folosite pentru a forma imagini bi-dimensionale sau tri-dimensionale cu niveluri diferite de luminozitate și culoare.

PET scan poate ajuta în diagnosticarea cancerului, ca, de exemplu, în cazul pacienților cu noduli singolari la plămâni, cărora nu li se poate face biopsie. O altă zonă în care PET scan se poate dovedi deosebit de util este în determinarea mărimii, formei, poziției și funcționării inimii. Acest test poate arăta blocaje în arterele coronariene, identifica zonele ischemice sau diferenția între mușchiul normal și mușchiul deteriorat al inimii. De asemenea, PET scan poate ajuta în cazul evaluării unui număr de tulburări ale sistemului nervos, care se manifestă întâi prin schimbări ale metabolismului glucozei, înainte de apariția unor leziuni anormale sau micșorări ale creierului. Astfel, această tehnică poate ajuta la diagnosticarea bolii Alzheimer, Parkinson, demenței, epilepsiei, atacului vascular cerebral și a bolii Huntington.

Unul din dezavantajele PET scan-ului ar fi rezoluția inadecvată, ceea ce face ca PET scanul să nu poată caracteriza mărimea leziunii și ca anomalii sub 1 cm în diametru, nedetectându-le. De asemenea, riscul de expunere la radiații, astfel încât precauții speciale trebuie luate în cazul gravidelor. Un dezavantaj, limitativ în diagnosticare este faptul că PET scan poate indica prezența cancerului în cazul în care celulele care au absorbit substanța radioactivă (izotopul radioactiv) combinată cu elementul chimic natural, dar la fel de bine acest lucru poate fi efectul unei leziuni traumatiche, infecții sau disfuncționalități recente a unui organ. La toate acestea se adaugă faptul că izotopul radioactiv are o doză de radiație care poate crea probleme pe termen lung în cazul folosirii repetate a PET scan, nerecomandându-se ca instrument de screening de rutină. Eficacitatea PET scan poate fi afectată de un nivel crescut de glucoză în sânge sau de insulină. În primul caz, puțină substanță radioactivă este absorbită de celule, în timp ce în al doilea intră prea multă, în ambele cazuri rezultatele fiind distorsionate.

Imagistica prin rezonanță magnetică (IRM sau RMN-ul, cum este cunoscut mai frecvent) este o tehnică ce folosește proprietăți magnetice pentru vizualizarea structurilor. Funcționează, într-o anumită măsură asemenea ultrasonografiei, prin măsurarea, în prezența unor câmpuri magnetice controlate, a răspunsului unei anumite părți a corpului la undele radio. RMN-ul este adecvat în special în cazul leziunilor țesutului moale și neuropatologiilor, dar nu și pentru țesuturile dense precum oasele. Având în vedere că RMN-ul poate fi executat în orice plan, permite localizarea deosebit de precisă a leziunii. De exemplu, poate cuantifica mărimea infarctului, a zonei afectate de hemoragie după un atac vascular cerebral sau diagnostica tumorile cerebrale.

Deși nu există expunere la radiație ionizantă în cazul RMN-ului, unii specialiști afirmă că pot apărea anumite efecte fiziologice pe termen lung, însă acestea nu au fost dovedite încă în mod concludent. RMN-ul nu se recomandă în cazul pacienților care au în organism corpuri magnetice străine, implanturi metalice sau dispozitive cardiace de genul pacemaker, pacienților care nu își pot ține respirația sau suferă de claustrofobie.

1.2. Imagistica prin Rezonanță Magnetică (IRM)

Imagistica prin rezonanță magnetică (**IRM**), cunoscută și sub numele de tomografie prin rezonanță magnetică (TRM) sau imagistică prin rezonanță magnetică nucleară (IRM), este o tehnică de imagistică medicală utilizată pentru a investiga anatomia și procesele fiziologice ale corpului uman, în ambele cazuri de sănătate sau boală. Scanerile IRM utilizează câmpuri magnetice puternice, unde radio și gradienti de câmp pentru a forma imagini ale corpului.

Imagistica prin rezonanță magnetică nu implică utilizarea radiațiilor X sau a celor radiațiilor ionizante (utilizate în de scanarea CT sau CAT), fiind o aplicație medicală a fenomenului de rezonanță magnetică nucleară (IRM), metodă ce poate fi utilizată și în alte aplicații imagistice, cum ar fi spectroscopia IRM.

Înlăturând pericolele cauzate de razele X, IRM poate fi văzută ca o alegere mai bună decât o scanarea CT, fiind utilizată pe scară largă în diagnosticare, stadializare a bolii și urmărirea fără expunerea corpului la radiații. Cu toate că în multe situații poate înlocui CT-ul, IRM-ul poate furniza informații de diagnostic diferite de CT. În comparație cu scanările CT, și scanările IRM au anumite riscuri și disconfort: examinările IRM durează de obicei mai mult și sunt mai puternice și de obicei au nevoie ca subiectul să intre într-un tub îngust. În plus, persoanele cu unele implantate medicale sau alte metale nedemontabile din interiorul corpului ar putea să nu poată fi supuse unei examinări IRM în siguranță.

Inițial denumită IRMN (NMRI - imagistica prin rezonanță magnetică nucleară), prin renunțarea la utilizarea “nucleului” în acronim, pentru a evita asocierea cu ceea ce reprezintă ideea de fizică nucleară, s-a ajuns la consacrarea denumirii actuale de IRM (Imagistica prin rezonanță magnetică).

Pe scurt, fenomenologia se bazează pe faptul că anumite nuclee atomice sunt capabile să absoarbă și să emită energie de frecvență radio atunci când sunt plasate într-un câmp magnetic extern. De altfel în IRM-ul clinic și de cercetare, atomii de hidrogen sunt cel mai adesea folosiți pentru a genera un semnal detectabil de frecvență radio care este recepționat de către antene situate în imediata apropiere a structurii anatomice examinate. Atomii de hidrogen sunt abundenți, în mod natural, în oameni și în alte organisme biologice, în special în apă și grăsimi. Din acest motiv, cele mai multe scanări IRM vizează, în esență, locația apei și a grăsimilor din organism. Impulsurile undelor radio excitează tranziția energiei nucleare de spin, iar gradientele câmpului magnetic localizează semnalul în spațiu. Prin modificarea parametrilor secvenței pulsului, se pot genera contraste diferite între țesuturi pe baza proprietăților de relaxare ale atomilor de hidrogen din acestea.

De la dezvoltarea sa în anii 1970 și 1980, tehnica IRM sa dovedit a fi o tehnică extrem de versatilă de imagistică. În timp ce aplicația IRM este cel mai vizibil utilizat în medicina de diagnostic și în cercetarea biomedicală, ea poate fi utilizată și pentru a forma imagini cu obiecte ne-vii. Scanările IRM sunt capabile să producă o varietate de date chimice și fizice, în plus față de imagini spațiale detaliate. Creșterea susținută a cererii de IRM în cadrul

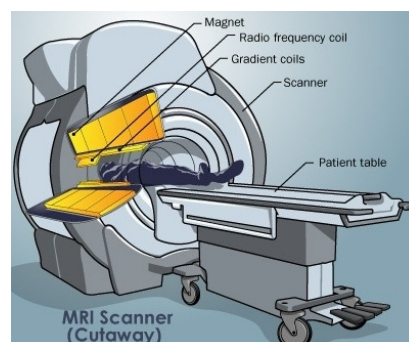
sistemelor de sănătate a condus la preocupări legate de eficacitatea costurilor și de diagnosticul excesiv [10].

La început un câmp magnetic puternic aliniază spinii fiecărui atom de hidrogen ai corpului uman, precesie într-o frecvență centrală care este dependentă de intensitatea câmpului magnetic. Pe măsură ce câmpul magnetic este îndreptat în jos de centrul mașinii de IRM, protonii hidrogenului se aliniază fie către capul sau picioarele pacientului, cu aproximație 50% mergând către fiecare, anulându-se reciproc în mod eficient. Un număr foarte mic de protoni sunt de neegalat și nu sunt anulați (circa 1-2 la un milion). Apoi, un puls (B1) de frecvență radio (FR), specific pentru hidrogen, este aplicat de către mașina de IRM către partea corpului ce trebuie examinat. Acest puls face ca protonii neegalați să se rotească într-o direcție diferită la o frecvență specifică, numită **frecvența Larmor**. Totodată, o serie de magneți de gradient, comandați a fi activi sau inactivi, creează un gradient magnetic, care schimbă principalul câmp magnetic la un nivel specific, permițând imaginilor transversale să fie achiziționate. Atunci când pulsul FR încetează, ionii de hidrogen se întorc la starea lor nativă și eliberează energia absorbită de la impulsuri. Această emisie cu putere redusă (în intervalul pW) este detectată de bobinele receptoare în IRM și sunt trimise la un calculator, unde o transformare Fourier inversată (TFI) convertește semnalul de la protoni în date matematice (k-spațiu), apoi într-o imagine care poate fi interpretată de către clinician.

1.2.1. Instalația de Imagistică prin Rezonanță magnetică

Pentru a efectua o investigație, persoana este poziționată într-un scanner IRM care formează un câmp magnetic puternic în jurul zonei ce va fi înregistrată. În majoritatea aplicațiilor medicale, protonii (atomii de hidrogen) din țesuturile care conțin molecule de apă creează un semnal care este procesat pentru a forma o imagine a corpului. În primul rând, energia dintr-un câmp magnetic oscilant este temporar aplicată pacientului la frecvența de rezonanță corespunzătoare. Atomii de hidrogen excitați emit un semnal de frecvență radio, care este măsurat printr-o bobină de recepție. Semnalul radio poate fi făcut pentru a codifica informațiile de poziție prin modificarea câmpului magnetic principal utilizând bobine de gradient. Pe măsură ce aceste bobine sunt activate și deconectate rapid, ele produc zgomotul repetitiv caracteristic unei scanări IRM. Contrastul dintre diferitele țesuturi este determinat de viteza la care atomii excitați revin la starea de echilibru. Agenții de contrast exogeni pot fi dați persoanei pentru a face imaginea mai clară.

Componentele majore ale unui scanner IRM sunt magnetul principal care polarizează eșantionul, bobinele de ștanțare pentru corectarea schimbărilor în omogenitatea câmpului magnetic principal, sistemul de gradient care este utilizat pentru a localiza semnalul MR și sistemul RF, care excită proba și detectează semnalul IRM rezultat. Întregul sistem este controlat de unul sau mai multe computere.



IRM necesită un câmp magnetic care este atât puternic, cât și uniform. Forța de câmp a magnetului este măsurată în tesla - și în timp ce majoritatea sistemelor funcționează la 1,5 T, sistemele comerciale sunt disponibile între 0,2 și 7T. Majoritatea magneților clinici sunt magneți superconductori, care necesită heliu lichid. Pozițiile inferioare ale câmpului pot fi atinse cu magneți permanenți, care sunt adesea utilizați în scanere IRM "deschise" pentru pacienții claustrofobi [11]. Recent, IRM a fost demonstrată și în domenii ultra-joase, adică în gama μT -mT, unde o calitate suficientă a semnalului este posibilă prin prepolarizare (de ordinul a 10-100 mT) și prin măsurarea câmpurilor de precesie Larmor la aproximativ 100 μT cu dispozitive de interferență superconductoare superconductoare (SQUID) [12][13][14].

Fiecare țesut revine la starea sa de echilibru după excitație prin procesele de relaxare independente ale T1 (*spin-lattice*, adică magnetizarea în aceeași direcție cu câmpul magnetic static) și T2 (*spin-spin*, transversal la câmpul magnetic static). Pentru a crea o imagine ponderată T1, magnetizarea este permisă pentru a se recupera înainte de a măsura semnalul MR modificând timpul de repetare (TR). Această ponderare a imaginii este utilă pentru evaluarea cortexului cerebral, identificarea țesutului gras, caracterizarea leziunilor hepatice focale și, în general, pentru obținerea informațiilor morfologice, precum și pentru imagistica post-contrast. Pentru a crea o imagine ponderată T2, magnetizarea este permisă să se descompună înainte de a măsura semnalul MR modificând timpul de ecou (TE). Această ponderare a imaginii este utilă pentru detectarea edemelor și inflamațiilor, care dezvăluie leziuni ale materiei albe și evaluarea anatomiei zonale în prostată și uter.

Afișajul standard al imaginilor IRM reprezintă caracteristicile lichidului în imagini alb-negru.

1.2.2. IRM în diagnosticul medical

IRM-ul are un impact asupra diagnosticului și tratamentului în mai multe specialități, deși efectul asupra rezultatelor de sănătate îmbunătățite este incert [15]. Din moment ce IRM-ul nu utilizează radiații ionizante, utilizarea sa este, în general, favorizată în defavoarea CT-ului, chiar dacă ambele modalități ar putea aduce aceeași informație. (În anumite cazuri, IRM-ul nu este preferat deoarece poate fi mai scump, s-ar pierde mai mult timp, și s-ar produce exacerbarea claustrofobiei).

IRM-ul este, în general, o tehnică sigură, dar numărul de incidente care provoacă daune pacientului a crescut. Contraindicațiile IRM-ului includ majoritatea implanturilor cohleare și stimulatoare cardiace, schije și corpuri metalice străine în ochi. Siguranța IRM-ului în timpul primului trimestru de sarcină este incert, dar ar putea fi de preferat în locul altor opțiuni [16].

1.2.2.1. Neuroimagistica

IRM-ul este instrumentul de investigare ales pentru cancere neurologice, deoarece are o rezoluție mai bună decât CT-ul și oferă o vizualizare mai bună a fosei posterioare. Contrastul dintre substanța cenușie și substanța albă face ca IRM-ul să fie cea mai bună

alegere pentru multe condiții ale sistemului nervos central, cum ar fi bolile demielinizante, demența, boli cerebrovasculare, boli infecțioase și epilepsie [17]. Deoarece multe imagini sunt luate la intervale de milisecunde între ele, se arată cum creierul răspunde la diferiți stimuli; cercetătorii pot studia apoi ambele anomalii ale creierului (funcționale și structurale) din tulburările psihologice [18]. IRM-ul este, de asemenea, utilizat în chirurgia IRM-ghidata stereotactic și chirurgia radio pentru tratamentul tumorilor intracraniene, marformații arterio-venoase și alte condiții chirurgicale tratabile utilizând un dispozitiv cunoscut ca N-localizer [19].

1.2.2.2. IRM Neuro-funcțional

IRM funcțional (fIRM) este folosit pentru a înțelege cum diferite părți ale creierului răspund la stimuli exteriori sau la activități pasive într-o stare de repaus. Nivelul dependent de oxigenare a sângelui (BOLD) - IRM măsoară răspunsul hemodinamic la activitatea neuronală tranzitorie care rezultă dintr-o schimbare a raportului dintre oxihemoglobină și deoxihemoglobină. Metodele statistice sunt utilizate pentru a construi o hartă parametrică 3D a creierului indicând regiunile cortexului care demonstrează o schimbare semnificativă a activității, ca răspuns la sarcină. fIRM are aplicații în domeniul cercetării comportamentului uman și în cel cognitiv, precum și în planificarea neurochirurgiei din zone elocvente ale creierului [20].

1.2.2.3. Imagistica cardiovasculară

IRM-ul cardiac este complementar altor tehnici imagistice, cum ar fi ecocardiografia, CT-ul cardiac și medicina nucleară. Aplicațiile sale includ evaluarea ischemiei miocardice și viabilitatea, cardiomiopatii, miocardite, supraîncărcarea/supradozarea cu fier, boli vasculare și boli cardiace congenitale [21].

1.2.2.4. Angiografie

Rezonantele magnetice (MRA) generează imagini ale arterelor pentru a le evalua pentru stenoză (îngustare anormală) sau anevrisme (dilatări ale peretelui vascular, expuse riscului ruperii). MRA este adesea folosit pentru a evalua arterele gâtului și creierului, aorta toracică și abdominală, arterele renale și picioarele (numită "run-off"). O varietate de tehnici pot fi utilizate pentru generarea imaginilor, cum ar fi administrarea unui agent de contrast paramagnetic (gadolinu) sau folosind o tehnică cunoscută sub denumirea de "îmbunătățire în legătură cu fluxul" (de exemplu, secvențe 2D și 3D de timp de zbor) cea mai mare parte a semnalului de pe o imagine se datorează sângelui care sa mutat recent în acel avion (vezi, de asemenea, IRM FLASH). Tehnicile care implică acumularea de faze (cunoscute sub numele de angiografie cu contrast de fază) pot fi, de asemenea, folosite pentru a genera hărți ale vitezei de curgere cu ușurință și cu precizie. Rezonanța cu rezonanță magnetică (MRV) este o procedură similară utilizată pentru a imagina vene. În această metodă, țesutul este acum excitat inferior, în timp ce semnalul este adunat în planul imediat superior celui de excitație - imaginând astfel sângele venos care sa mutat recent de pe planul excitat.

1.2.2.5. Aparatul Musculo-scheletal

Aplicațiile din sistemul musculo-scheletic includ imagistica măduvei spinării, evaluarea bolilor articulare și tumori ale țesuturilor moi.

1.2.2.6. IRM hepato-gastro-intestinal

IRM-ul hepatobiliar este folosit pentru a detecta și caracteriza leziuni ale canalelor hepatice, pancreatice și biliare. Tulburările focale sau difuze pot fi evaluate utilizând difuzia-ponderată, imagistica fazelor-opuse și secvențele dinamice cu contrast îmbunătățit. Agenții de contrast extracelulari sunt utilizați pe scară largă în IRM-ul ficatului și agenții hepatobiliari de contrast mai noi de asemenea dau posibilitatea de a efectua imagistica biliară funcțională. Imagistica anatomică a canalelor hepatobiliare este realizată utilizând o secvență T2-concentrată semnificativ în rezonanța magnetică colangiopancreatografică (MRCP). Imagistica funcțională a pancreasului este realizată urmărind administrarea secretinei. Enterografia-IRM oferă o evaluare non-invazivă a bolilor inflamatorii intestinale și a tumorilor intestinului subțire. Colonografia-IRM poate juca un rol în detectarea de polipi mari la pacienții cu risc crescut de cancer colorectal [22].

1.3. Alte tipuri și tipuri combinate de imagistică medicală

1.3.1. Spectroscopia cu rezonanță magnetică

Spectroscopia cu rezonanță magnetică (MRS) este utilizată pentru a măsura nivelurile diferitelor metaboliți în țesuturile corpului. Semnalul MRS produce un spectru de rezonanțe care corespunde aranjamentelor moleculare diferite ale izotopului, acesta fiind "excitat". Această semnătură este utilizată pentru a diagnostica anumite tulburări metabolice, în special cele care afectează creierul și pentru a furniza informații despre metabolismul tumoral.

Imagistica spectroscopică prin rezonanță magnetică (MRSI) combină atât metode spectroscopice, cât și metode imagistice pentru a produce spectre localizate spațial din interiorul eșantionului sau pacientului. Rezoluția spațială este mult mai mică (limitată de raportul Semnal/Zgomot disponibil), dar spectrele din fiecare voxel conțin informații despre mulți metaboliți. Deoarece semnalul disponibil este folosit pentru a codifica informații spațiale și spectrale, MRSI necesită un raportul Semnal/Zgomot mare, realizabil doar la intensități mai mari ale câmpului (3T și peste).

1.3.2. IRM în timp real

IRM în timp real se referă la monitorizarea continuă ("filmare") a obiectelor în mișcare în timp real. Deși multe strategii diferite au fost dezvoltate de la începutul anilor 2000, o evoluție recentă a raportat o tehnică în timp real a RMN bazată pe FLASH radial și reconstrucție iterativă, care oferă o rezoluție temporală de 20 până la 30 de milisecunde pentru imagini cu o rezoluție în plan de 1,5 2,0 mm. Noua metodă promite să adauge

informații importante despre afecțiunile articulațiilor și inimii. În multe cazuri, examinările IRM pot deveni mai ușoare și mai confortabile pentru pacienți.

1.3.3. MRI interventional

Lipsa de efecte dăunătoare asupra pacientului și a operatorului fac IRM bine adaptate pentru radiologia intervențională, în cazul în care imaginile produse de un scanner IRM ghidează proceduri minim invazive. Astfel de proceduri trebuie să se facă fără instrumentele feromagnetice.

Un subgrup specializat de creștere a IRM-ului intervențional este IRM intraoperator, în care medicii folosesc un IRM în chirurgie. Unele sisteme IRM specializate permit imagistica concomitentă cu procedura chirurgicală. Mai tipic, totuși, este că procedura chirurgicală este întreruptă temporar, astfel încât IRM poate verifica succesul procedurii sau poate ghida operația chirurgicală ulterioară.

1.3.4. Rezonanța magnetică ghidată cu ultrasunete

În terapia cu MRgFUS, fasciculele cu ultrasunete sunt focalizate pe un ghid țesut și controlat utilizând imagistica termică MR și datorită depunerii semnificative a energiei la foc, temperatura în țesut crește până la 65°C, distrugându-l complet. Această tehnologie poate realiza o ablație precisă a țesutului bolnav. Imagistica MR oferă o vedere tridimensională a țesutului țintă, permițând o focalizare precisă a energiei cu ultrasunete. Imagistica MR oferă imagini termice cantitative, în timp real, ale zonei tratate. Acest lucru permite medicului să se asigure că temperatura generată în timpul fiecărui ciclu de energie cu ultrasunete este suficientă pentru a provoca ablația termică în țesutul dorit și, dacă nu, pentru a adapta parametrii pentru a asigura un tratament eficient.

1.3.5. Imagistica multinucleară

Hidrogenul este cel mai frecvent imaginat nucleu în IRM, deoarece este prezent în țesuturile biologice în mare abundență și datorită raportului ridicat giromagnetic, care dă un semnal puternic. Cu toate acestea, orice nucleu cu spin net nuclear ar putea fi imaginat cu IRM. Astfel de nuclee includ ^3He , ^7Li , ^{13}C , ^{19}F , ^{17}O , ^{23}Na , ^{31}P și ^{129}Xe . ^{23}Na și ^{31}P sunt în mod natural abundente în organism, astfel încât pot fi imaginate direct. Izotopii gazoși cum ar fi ^3He sau ^{129}Xe trebuie hiperpolarizați și apoi inhalați, deoarece densitatea lor nucleară este prea mică pentru a obține un semnal util în condiții normale. ^{17}O și ^{19}F pot fi administrate în cantități suficiente în formă lichidă (de ex. ^{17}O -apă) că hiperpolarizarea nu este o necesitate. Utilizarea heliului sau a xenonului are avantajul unui zgomot de fond redus și, prin urmare, deoarece aceste elemente nu sunt prezente în mod normal în țesuturile biologice.

Mai mult decât atât, nucleul oricărui atom care are o rotație nucleară netă și care este legat la un atom de hidrogen ar putea fi imaginat prin IRM de transfer de magnetizare

heteronucleară care ar imagina nucleul hidrogen cu raport ridicat de giromagnetică în locul nucleului cu raport scăzut giromagnetic care este legat de atomul de hidrogen. În principiu, IRM-ul de transfer de magnezie hetero-nucleară ar putea fi utilizat pentru a detecta prezența sau absența legăturilor chimice specifice.

Imagistica multi-nucleară este în prezent o tehnică de cercetare. Cu toate acestea, aplicațiile potențiale includ imagistică funcțională și imagistică a organelor văzute prost pe IRM $1H$ (de exemplu, plămâni și oase) sau ca agenți alternativi de contrast. Inhalatia hipopolarizată 3He poate fi utilizată pentru a imagina distribuția spațiilor de aer în plămâni. Soluțiile injectabile conținând ^{13}C sau bulele stabilizate de ^{129}Xe hiperpolarizate au fost studiate ca agenți de contrast pentru angiografie și perfuzie. ^{31}P poate furniza informații despre densitatea și structura osoasă, precum și despre imagistica funcțională a creierului. Imagistica multilucleară deține potențialul de a schimba distribuția de litiu în creierul uman, găsind acest element ca un medicament important pentru cei cu afecțiuni cum ar fi tulburarea bipolară.

1.3.6. Imagistica moleculară prin IRM

IRM are avantajul de a avea o rezoluție spațială foarte mare și este foarte apt la imagistica morfologică și imagistică funcțională. IRM are însă mai multe dezavantaje. În primul rând, IRM are o sensibilitate de aproximativ 10^{-3} mol/l... 10^{-5} mol/l, care, în comparație cu alte tipuri de imagini, poate fi foarte limitator. Această problemă rezultă din faptul că diferența de populație dintre stările de spin nucleare este foarte mică la temperatura camerei. De exemplu, la 1,5T, o intensitate tipică a câmpului pentru IRM clinic, diferența dintre stările de energie ridicată și cea redusă este de aproximativ 9 molecule la 2 milioane. Îmbunătățirile pentru creșterea sensibilității la MR includ creșterea intensității câmpului magnetic și hiperpolarizarea prin pompare optică sau polarizare nucleară dinamică. Există, de asemenea, o varietate de scheme de amplificare a semnalului bazate pe schimbul chimic care măresc sensibilitatea.

Pentru a realiza imagistica moleculară a biomarkerilor de boală utilizând IRM, sunt necesare agenți de contrast orientați IRM cu specificitate ridicată și relaxivitate ridicată (sensibilitate). Până în prezent, multe studii au fost dedicate dezvoltării de agenți de contrast orientați-IRM pentru a realiza imagistica moleculară prin IRM. În mod obișnuit, au fost aplicate peptide, anticorpi sau liganzi mici și domenii de proteină mică, cum ar fi agenți HER-2, pentru a realiza țintirea. Pentru a spori sensibilitatea agenților de contrast, aceste fragmente de țintire sunt, de obicei, legate de agenți de contrast MRI cu încărcături utile sau agenți de contrast MRI cu relaxivități ridicate. O nouă clasă de agenți de contrast MR (MR) care au fost vizate de gene a fost introdusă pentru a arăta acțiunea genetică a proteinelor mRNA unice și a factorilor de transcripție genetică. Acest CA nou poate urmări celulele cu ARNm unic, microRNA și virus; răspunsul țesutului la inflamația creierului viu. Rapoartele MR schimbă expresia genică cu corelație pozitivă cu analiza TaqMan, microscopia optică și electronică.

1.4. Agenți de contrast

IRM-ul pentru imagistica structurilor anatomice sau a fluxului sanguin nu necesită agenți de contrast deoarece diferitele proprietăți ale țesuturilor sau sângelui asigură contraste naturale. Cu toate acestea, pentru tipurile mai specifice de imagistică, agenții de contrast exogeni pot fi administrați intravenos, oral sau intraarticular. Cele mai frecvent utilizate agenți de contrast intravenos se bazează pe chelați ai gadoliniumului. În general, acești agenți s-au dovedit mai siguri decât agenții de contrast iodați utilizați în radiografia cu raze X sau CT. Reacțiile anafilactoide sunt rare, aparând în aproximativ 0,03-0,1%. Un interes deosebit îl reprezintă incidența mai mică a nefrotoxicității, comparativ cu medicamentele iodate, atunci când este administrată în doze uzuale - acest lucru a făcut ca IRM-ul să mărească contrastul cu o opțiune pentru pacienții cu insuficiență renală, care altfel nu ar putea suferi CT cu contrast crescut.

Deși agenții gadolinici s-au dovedit utili la pacienții cu insuficiență renală, la pacienții cu insuficiență renală severă care necesită dializă există riscul unei boli rare, dar grave, fibrozei sistemice nefrogenice, care poate fi legată de utilizarea anumitor agenți care conțin gadoliniu. Cel mai frecvent legat este gadodiamida, dar și alți agenți au fost legați. [30] Deși nu a fost stabilită definitiv o legătură de cauzalitate, orientările actuale din Statele Unite sunt că pacienții dializați ar trebui să primească numai agenți gadolinici acolo unde este esențial și că dializa trebuie efectuată cât mai curând posibil după scanare pentru a îndepărta prompt agentul din organism. În Europa, unde sunt disponibili mai mulți agenți care conțin gadoliniu, a fost eliberată o clasificare a agenților în funcție de riscurile potențiale. Recent, un nou agent de contrast numit gadoxetate, denumirea comercială Eovist (SUA) sau Primovist (UE), a fost aprobat pentru utilizare de diagnostic: acesta are avantajul teoretic al unei căi duale de excreție.

Medicina modernă deși folosește metode de investigare bazate pe efecte cuantice, în abordarea bolii ea este încă tributară principiilor fizicii newtoniene, motiv pentru care și imagistica medicală, ca ramură medicală paraclinică, exceptând Imagistica prin Rezonanță Magnetică, se bazează pe metode de investigare ce nu depășesc pragul fizicii clasice. Prezentarea mai detaliată a acestei metode, IRM, nu este făcută doar cu un motiv informativ, necesitatea dovedindu-se ulterior, în momentul tratării subiecților de imagistică propriu-zisă.