

Anestezia în imagistica prin rezonanță magnetică

Recomandări Societatea Română de ATI (SRATI) 2009

Ioana Grigoraș¹, Dorel Săndesc², Ioana Grințescu³,
Mihai Grigoraș⁴, Bogdan Țuțuiianu⁵, Dan Corneci^{6*}

1

Introducere

Imagistica prin rezonanță magnetică (IRM) este o modalitate neinvazivă de formare a imaginilor secționale (tomografice) prin corpului uman, bazată pe proprietățile magnetice ale țesuturilor.

Pacienții examinați IRM necesită din ce în ce mai frecvent asistența de anestezie-terapie intensivă, fie pentru asigurarea imobilității pacientului, necesară achiziționării unor imagini de calitate, fie pentru managementul pacientului cu risc înalt sau a pacientului critic. Inițial utilizată doar în diagnosticul morfologic, IRM și-a largit aplicațiile în domeniul diagnosticului funcțional, al radiologiei intervenționale, precum și în chirurgia ghidată imagistic, toate acestea de neconceput fără o anestezie corespunzătoare (1).

Mediul IRM are numeroase particularități fizice, care supun pacientul și personalul medical la numeroase riscuri (1,2,3). Particularitățile și riscurile trebuie cunoscute de către personalul de anestezie, pentru siguranța proprie și a pacientului. Uzul în cursul examinării IRM anestezistul este prezent fie în proximitatea pacientului, în sala de examinare (4), fie la distanță, urmărind pacientul și monitoarele prin fereastra ce separă sala de examinare de cea a consolei (1,3). O camera TV urmărește pacientul, iar imaginile sunt

1 Universitatea de Medicină și Farmacie „Gr. T. Popa”, Iași

2 Universitatea de Medicină și Farmacie, Timișoara

3 Universitatea de Medicină și Farmacie “Carol Davila”, București

4 Universitatea de Medicină și Farmacie „Gr. T. Popa”, Iași

5 Spitalul Universitar de Urgență „Sf. Spiridon”, Iași

6 Universitatea de Medicină și Farmacie “Carol Davila”, București

redate pe monitoare aflate lângă magnet sau în camera consolei. Atunci când se află în sala de examinare, anestezistul lucrează într-un spațiu închis, cu lumină puțină și temperatură scăzută, cu nivel ridicat de zgomot, la distanță de pacient și cu acces dificil la pacient atât timp cât acesta este introdus în tunel. Monitorizarea pacientului este mai solicitantă decât în practica obișnuită fiind și supusă erorilor de funcționare a aparaturii în acest mediu particular. Accesul dificil la pacient poate influența calitatea îngrijirilor acordate pacientului mai ales în perioadele cele mai dificile, în cursul agravării stării pacientului sau a incidentelor tehnice generate de funcționarea defectuoasă a aparaturii imagistice. Interventia în caz de urgență este dificilă și atipică (acțiunea câmpului magnetic nu încetează chiar dacă s-a oprit examinarea!), iar locația este de cele mai multe ori îndepărtată de secțiile spitalului unde se realizează obisnuit asistența de anestezie-terapie intensivă (bloc operator, unitatea de terapie intensivă (1,2,4-15).

De aceea, specificitatea mediului de examinare IRM impune particularități organizatorice, tehnice și de management privind asistența anestezică și de terapie intensivă, particularități ce trebuie cunoscute și aplicate.

Scopurile recomandărilor privind anestezia în IRM:

- cunoașterea principiilor generale de funcționare și a particularităților unităților IRM, particularități extrem de speciale față de alte sectoare ale spitalului și care sunt încă puțin cunoscute în afara specialității de Radiologie;
- organizarea asistenței de anestezie și terapie intensivă conform acestor particularități;
- dotarea cu aparatura și echipamentele necesare "compatibile IRM" pentru siguranța pacientului, a personalului și pentru o asistare de calitate;
- uniformizarea practicii la nivel național în domeniul asistenței anestezice în IRM.

Metodologia de lucru

Recomandările au fost elaborate de un grup de lucru alcătuit din 6 membri, 5 medici primari Anestezie-Terapie Intensivă (ATI), cadre universitare și un medic primar Radiologie și Imagistică Medicală după următoarea metodologie:

- căutare pe internet în bazele de date cu următoarele perechi de cuvinte cheie: "*MRI anesthesia recommendations*", "*monitoring MRI*", "*MRI anesthesia machine*", "*anesthesia outside OR*";
- articolele au fost selectate după relevanță și după anul publicării, în special, după anul 2000;

- în momentul de față nu există la nivel internațional ghiduri de practică elaborate de societățile de profil;
- la baza elaborării acestui text au stat, în principal, recomandările elaborate de societățile de profil americane și europene: *Practice Advisory on Anesthetic Care for Magnetic Resonance Imaging (A Report by the American Society of Anesthesiologists Taskforce on Anesthetic Care for Magnetic Resonance Imaging)(2009)(3)* și *Provision of Anaesthetic Services in Magnetic Resonance Units (The Association of Anaesthetists of Great Britain and Ireland (2002)(1)*).
- pe baza recomandărilor societăților de profil și a articolelor selectate a fost elaborat un text, care a fost supus analizei membrilor grupului până la obținerea consensului.

De precizat că recomandările de practică mai sus menționate nu fac gradarea recomandărilor, de aceea, aceasta nu se regăsește nici în aceste recomandări.

Structura recomandărilor

I. Date generale despre investigația prin rezonanță magnetică

- Principiul formării imaginilor în IRM
- Particularități ale mediului IRM. Riscuri asociate.
 - Arhitectura scannerul IRM
 - Câmpul magnetic static
 - Undele de radiofrecvență
 - Câmpurile magnetice variabile
 - Zgomotul
 - Riscurile asociate "quenching-ului"
 - Riscul administrării substanțelor de contrast specifice IRM
 - Riscuri nemedicale asociate examinării IRM
 - Riscul teratogen

II. Date despre asistența de anestezie în IRM

- Dotarea pentru asistența anestezică în IRM
 - Planificare
 - Echipamentele pentru anestezie
 - Echipamentele de resuscitare
 - Personalul
- Indicațiile asistenței ATI în IRM
- Evaluarea pacientului
- Asistența ATI în IRM
- Particularitățile asistenței ATI la copil în cursul IRM

III. Recomandări privind anestezia în IRM

I. Date generale despre investigația prin rezonanță magnetică

Principiul formării imaginilor în IRM (1,5,12,13)

Nucleul atomilor este format din protoni și neutroni. Doar hidrogenul are nucleul format dintr-un singur proton. Plasați într-un câmp magnetic unii nuclei au proprietăți speciale: se aliniiază pe direcția liniilor de forță ale câmpului magnetic („magnetizare”), pot absorbi și apoi reiradia energia primită („rezonanță”). Proprietățile magnetice intrinseci ale nucleilor diferă foarte mult de la un element chimic la altul, ceea ce face ca doar o mică parte dintre elementele chimice care intră în compoziția corpului uman să poată fi utile diagnosticului prin IRM. Dintre acestea, la baza majorității aplicațiilor medicale din IRM stă nucleul de hidrogen („protonul”), aflat abundant în corpul uman (apă, lipide) și care posedă aceste proprietăți speciale.

În cursul examinării pacientul este introdus într-o încălț de examinare aflată în centrul scannerului IRM. Componenta principală a scannerului, numită magnet, generează câmpul magnetic static, intens și permanent. Sub influența câmpului static protonii se aliniază după direcția liniilor de forță. Un emițător radio supune protonii la acțiunea unor pulsuri de unde de radiofrecvență (RF). Undele transmit energie care modifică alinierea protonilor („excitație”). Odată cu încetarea acțiunii undelor de RF protonii cedează energia acumulată („relaxare”) și revin la alinierea inițială, cea impusă de câmpul magnetic static. Energia emisă, tot sub formă de RF, este recepționată de antenele scannerului sub forma unor semnale foarte slabe. Semnalul cules trebuie amplificat prin repetarea de mai multe ori a secvenței de excitație-relaxare. Acesta este motivul pentru care pacientul trebuie să păstreze cu strictețe poziția imobilă în cursul examinării, pentru a se realiza o suprapunere perfectă a semnalelor culese din același punct. Formarea imaginii, pe lângă culegerea semnalului, implică și localizarea sursei acestuia, astfel ca pentru fiecare punct-obiect al corpului să se formeze un singur punct-imagine pe imaginile secționale IRM. Pentru aceasta se aplică corpului uman examinat, pentru perioade scurte de timp, câmpuri magnetice suplimentare, dirijate în cele trei direcții ale spațiului. Aceste câmpuri suprapuse acțiunii câmpului static variază liniar în intensitate („gradienti de câmp magnetic”) după o distribuție spațială dictată de protocolul de examinare (grosimea și distanța dintre secțiuni). Deschiderea și închiderea „gradientilor de câmp magnetic”, precum și suprapunerea acțiunii gradientilor peste cea a câmpului static generează zgomotul caracteristic examinării IRM.

Particularități ale mediului IRM. Riscuri asociate

• *Arhitectura scannerului IRM* (7,8,16)

Scannerul IRM poate avea două variante constructive pentru incinta de examinare a pacientului: *scanner „închis”*, în forma de tunel („*gantry*”) sau *scanner „deschis”*.

a) *Gantry*-ul este o incintă cilindrică, îngustă, mai lungă decât în CT, care cuprinde aproape în întregime corpul pacientului. Pacientul este așezat în decubit dorsal, cu mâinile pe lângă corp, imobil și respiră liniștit sau controlat, pe durata examinării. Tunelul este ventilat și supravegheat video. Temperatura în tunel și în camera de examinare este controlată, în general scăzută, sub nivelul de confort chiar și pentru un om sănătos.

Riscuri asociate arhitecturii scannerului:

- risc de claustrofobie, cu cât scannerul este mai îngust;
- acces dificil pentru personalul ATI (supraveghere dificilă, adeseori de la distanță, cu vizualizare limitată a pacientului, acces imposibil în cursul examinării, monitorizare cu restricții dictate de îngustimea și lungimea tunelului);
- risc de accident generat de prezența în *gantry*, în contact cu pacientul, a conductorilor electrici ai antenelor de examinare și ai aparaturii de monitorizare;
- risc de hipotermie pentru pacientul imobilizat pentru un timp relativ lung (examinarea durează de obicei între 30 și 60 de minute).

O variantă constructivă este cea a *gantry*-ului deschis parțial doar pe o latură, pentru accesul chirurgului. Pentru pacient și anestezișt prezintă aceleași inconveniente ca și *gantry*-ul clasic.

b) Scannerele deschise, încă puțin răspândite în prezent, asigură accesul larg la pacient și sunt utile în examinarea claustrofobilor, a copiilor în general precum și în radiologia intervențională, chirurgia ghidată IRM.

• *Câmpul magnetic static* (5,8,16,17)

Magnetul *scanner*-ului IRM generează un câmp magnetic static, puternic și permanent. Aplicațiile medicale cele mai obișnuite se desfășoară în scannere cu câmpuri de la 0,5T până la 4T (1T = 10.000 gauss), iar aplicațiile din spectroscopie în câmpuri de până la 9T. Prin comparație, intensitatea magnetismului terestru nu depășește 0,5 gauss.

Prezența permanentă a câmpului magnetic static și intensitatea sa impun restricții de acces în serviciul de IRM pentru pacienți, precum și pentru personalul medical, diferențiat pe zone, în funcție de apropierea de camera magnetului, respectiv în funcție de descreșterea proporțională a intensității câmpului cu distanța.

Riscurile asociate prezenței câmpului magnetic static constau în:

- atracția magnetică a corpurilor ferometalice implantate în corp incidental sau în scop medical sau a obiecte admise în incinta de examinare odată cu pacientul sau cu personalul medical. Corpii străini (de ex. intraoculari sau subcutanați), clipurile vasculare feromagnetice se vor deplasa de la locul lor, putând rupe vasele sau deveni veritabile proiectile. Obiectele feromagnetice confecționate din fier, nichel, cobalt pot fi rotate sau translate în câmp, deplasate de la locul lor („efect de proiectil”). Acest inconvenient se referă și la funcționarea aparatului, care poate conține astfel de piese metalice (supape, regulatoare de debit) care pot funcționa defectuos sau deloc.
- efectul negativ asupra funcționării unor dispozitive medicale implantate în corp (pacemaker, stimulator neural, implant cohlear, pompe implantate, defibrilatoare automate interne) sau folosite la monitorizarea pacientului (baterii, ceasuri, dispozitive metalice de dozare sau direcționare a gazelor și anestezicelor, memorii magnetice).

Toate situațiile enumerate mai sus constituie contraindicații absolute pentru admiterea pacientului și a instrumentarului/echipamentelor neconforme IRM în camera de examinare. Personalul se va supune acelorași restricții ca și pacientul.

Dispozitivele medicale metalice, folosite în camera magnetului, trebuie să fie confecționate din materiale non-feromagnetice (oțel inoxidabil, titan, tantal). Orice obiect metalic, instrument sau echipament medical destinat a fi admis în camera de examinare trebuie construit special și etichetat relativ la siguranța folosirii lui în câmp („compatibil IRM”). Se mai admite folosirea instrumentelor care nu sunt construite special, dar au fost testate și etichetate corespunzător. Toate celelalte instrumente care nu sunt construite special sau nu trec testul de conformitate nu vor fi admise în camera de examinare.

Recomandarea generală este de a obține informații exacte de la pacient cu privire la situația sa particulară și de a consulta listele de compatibilitate IRM pentru fiecare dispozitiv implantabil (vezi www.MRIsafety.com).

Multe din dispozitivele implantate sunt contraindicații pentru examinarea IRM pentru că nu există studii care să ateste securitatea pacientului. Unele din contraindicații sunt în curs de reevaluare (M).

Descreșterea la distanță a intensității câmpului determină constituirea în interiorul serviciului IRM a unor zone de securitate. Agenția americană *Food and Drug Administration* impune accesul controlat dincolo de curba de 5 gauss. În practică aceste zone sunt desemnate prin măsurarea intensității și studiul distribuției câmpului sau de la început, prin proiectarea clădirii

în funcție de geometria câmpului magnetic generat de *scanner*-ul care urmează să fie instalat. Această ultimă situație, presupune ca anesteziștii să participe la proiectarea spațiilor serviciului de IRM, oferind soluția optimă pentru configurarea zonelor din punctul lor de vedere (1,2).

Zona I - acces fără restricții.

Zona II - zona de tranziție: spațiul de recepție. Pacienții rămân sub strictă supraveghere a personalului IRM. Activități permise: anamneză, completarea chestionarelor.

Zona III - zona strict controlată. Accesul este permis doar pentru pacienții, personalul medical și obiectele medicale care au trecut inspecția de siguranță și conformitate IRM. Corespunde periferiei câmpului magnetic.

Zona IV - camera de examinare care conține magnetul. Este zona cu mediul fizic cel mai neprielnic, cu riscurile cele mai mari asociate prezenței câmpului static, gradientilor de câmp magnetic, undelor de radiofrecvență și condițiilor speciale de desfășurare a manevrelor de examinare, sedare/anestezie și monitorizare.

• Undele de radiofrecvență (RF) (6,8)

Sunt emise și recepționate de către o antenă plasată în peretele tunelului. În prezent cele mai multe aplicații clinice utilizează antene aplicate în contact cu corpul pacientului, conectate la scanner prin fire conductoare. Pulsurile de unde RF transmit energie corpului întreg sau regiunii examinate, iar absorbția acestei energii poate determina încălzirea țesuturilor sau chiar dezechilibru termic, în cazul pacienților cu probleme de termoreglare (prematuri, copii, bolnavi critici) (18). Transferul de energie este definit ca rată de absorbție specifică și se măsoară în wați per kilogram (W/kg corp). Cantitățile maxime de energie care pot fi transmise corpului uman sunt limitate de normele de protecție ale pacientului. Tehnicianul imagist este responsabil de configurarea protocolului de examinare, care trebuie să realizeze un raport optim între calitatea imaginii și cantitatea energiei transmise („cea mai bună imagine obținută cu cea mai scăzută energie transmisă”). (19). Rezultă importanța cântăririi exacte a pacientului înainte de examinare, urmând ca softul aparatului și tehnicianul IRM să configureze programul de examinare în limitele de siguranță. Orice abatere de la regulă poate fi acceptată numai în niște limite, apropierea de aceste limite fiind comunicată anesteziștului, pentru măsuri corespunzătoare.

Riscuri asociate acțiunii undelor de RF:

- transferul de energie, cu risc de supraîncălzire a țesuturilor/corpului, risc de dezechilibru termic;
- risc de arsură cutanată acolo unde firele conductoare ale antenelor sau

- echipamentului de monitorizare ating pielea, mai ales dacă realizează bucle, care acționează ele însele, suplimentar, ca niște antene;
- prin extensie, riscul de arsură cutanată poate fi prezent în cazul oricărui obiect metalic aflat în contact cu pielea, ascuns în haine sau aflat în materialele de protecție termică ale pacientului (de exemplu, agrafa care fixează un tub de dren).
 - risc de arsură internă generat de dispozitivele implantate sau introduse în cord, vase, trahee, etc. și care nu sunt conforme IRM.
 - risc de funcționare deficitară a aparatului de monitorizare sau tratament, care se utilizează în cursul examinării (debite generate sau măsurate incorect, semnale culese incorect, etc.)
 - risc interferență a undelor RF emise de aparatura de monitorizare și tratament cu procesul de emiterie și recepție a undelor de RF specific formării imaginii. Ecranarea aparatelor și conductorilor cu cupru poate elimina acest tip de interferență.

• *Câmpurile magnetice variabile* (8,16,18)

Gradienții de câmp magnetic pot induce curenți electrici în țesuturile corpului, rezultând stimularea nervoasă și musculară periferică, durere sau, în condiții extreme, chiar stimularea cardiacă (20). Deși nu poate fi ignorat, acest risc este mai mult teoretic pentru că aplicațiile clinice IRM sunt proiectate să se desfășoare în limitele de siguranță, iar măsurarea exactă a greutății pacientului asigură eliminarea riscurilor (19).

• *Zgomotul* (1,8,16,18,21)

Este produs de prezența gradienților de câmp și interacțiunea acestora cu câmpul magnetic static. Riscurile generate de zgomot privesc atât pacientul cât și pe cei ce sunt nevoiți să asiste de aproape pacientul examinat. Toți cei ce staționează în camera de examinare în cursul secvențelor imagistice vor purta antifoane. În aceste condiții comunicarea este imposibilă chiar și în cazul examinării pacienților conștienți. Singura posibilitate este comunicarea prin căștile purtate de pacient peste antifoane, microfonul fiind plasat în consola de examinare.

Nivelul de zgomot este particular fiecărei secvențe imagistice, situându-se în general până la 93 dB, cu valori extreme de 110 dB doar în unele aplicații. Nivelul maxim de expunere acceptat, evaluat în condițiile utilizării antifoanelor, este de 99dB (18). Protecția împotriva zgomotului este cu atât mai importantă cu cât nu se poate preciza cu siguranță cine este susceptibil la efectul zgomotului, cei aflați în această situație putând ajunge la pierderea definitivă a auzului (21).

- *Riscurile asociate "quenching-ului"* (1,3,16)

Scannerele moderne generează câmpul magnetic cu ajutorul unei bobine electrice confecționată din metale speciale, care devin superconductoare atunci când sunt plasate într-un mediu cu temperatură apropiată de zero absolut (-273,15 ° C). Temperatura redusă este obținută prin plasarea bobinei într-un cryogen, de obicei heliu lichid, ansamblul bobină-cryogen fiind conținut într-un "termos" de oțel. Evaporarea rapidă a criogenului, care poate interveni în anumite situații, se numește "quenching". Volumul imens de gaz rezultat prin evaporare trebuie preluat de un sistem de evacuare și dirijat către exteriorul clădirii. Nu este exclus ca tubulatura sistemului de evacuare să cedeze, iar gazele să fie evacuate în camera de examinare, realizând hiperpresiune, înlocuirea aerului din încăperea sau răcirea extremă a metalelor, la care se adaugă efectele fizico-biologice directe asupra pacientului sau personalului.

Riscuri asociate eliminării criogenului în camera de examinare:

- criogenul lichid sau vaporii săi reci pot determina leziuni similare arsurilor termice sau degerăturilor;
- gazele reci respirate pot leza plămânii, iar în condițiile în care în camera magnetului nu există aer sau oxigen suficient pot provoca asfixia și chiar moartea pacientului;
- pielea neprotejată aderă la metalele răcite prin eliberarea heliului, rezultând plagi prin detașarea țesuturilor aderente la metal.
- risc de leziuni prin hiperpresiune, dacă ușa camerei de examinare nu se deschide.

Fiecare serviciu IRM trebuie să aibă implementată o procedură de evacuare a celor din camera magnetului.

- *Riscul administrării substanțelor de contrast specifice IRM* (1,16,22-25)

Categoria de substanțe de contrast cea mai utilizată în administrare i.v. în diagnosticul IRM este reprezentată de compușii gadolinium-ului. Administrarea lor se însoțește de simptome (greață, vărsături, alterarea gustului, transpirații, senzație de căldură, anxietate), care sunt considerate ca răspuns fiziologic la administrarea substanței de contrast. Reacțiile adverse acute la aceste substanțe pot fi asemănătoare reacțiilor alergice și sunt rare (0,07%)(22). Ele pot fi clasificate în:

- reacții ușoare: prurit, rush cutanat, urticarie, tuse, nas înfundat, strănut, ușor edem al pleoapelor și feței.
- reacții medii: dispnee, bronhospasm, edem laringian ușor, tahicardie sau bradicardie simptomatică, hipertensiune sau hipotensiune.

- reacții severe: angioedem progresiv, insuficiență respiratorie severă, pierderea stării de conștiență, convulsii, aritmii, stop cardio-respirator.

Reacțiile ușoare, obiceii, nu necesită intervenție terapeutică, cele medii trebuie tratate, iar în cazul celor severe este necesară intervenția personalului de anestezie-terapie intensivă. Este necesară doar în ~7% dintre cazurile injectate, atunci când apar reacții severe.

Reacțiile la gadolinium sunt mai rare decât cele la substanțele de contrast iodate. Factorii de risc pentru acestea sunt istoric de reacții la administrarea substanțelor de contrast (fie gadolinium, fie iodate) sau istoric de alte manifestări alergice.

Un alt risc asociat administrării de gadolinium este fibroza sistemică nefrogenică, o afecțiune nou descrisă, foarte rară, care apare la distanță de la administrare, eventual după administrări repetate. Apare mai ales la bolnavii cu afectare renală preexistentă și are un pronostic rezervat (22-25).

- *Riscuri nemedicale asociate examinării IRM (16)*

Privesc deteriorarea dispozitivelor care stochează date folosind tehnologie magnetică. Nu vor fi admise în zona de acțiune a câmpului magnetic cârțile de credit, cartele magnetice, prin extensie orice dispozitiv cu memorie magnetică. Dacă ceasurile mecanice pot fi distruse prin magnetizare, cele cu quartz se pot opri din funcționare în cursul staționării în câmp.

- *Riscul teratogen (1)*

IRM nu folosește radiații ionizante și din acest motiv este metoda imagistică alternativă pentru examinarea femeilor însărcinate. Deși nu există date sigure care să dovedească existența unui astfel de risc este prudent ca pacientele însărcinate să nu fie examinate IRM în primul trimestru de sarcină.

II. Date despre asistența de anestezie în IRM

Dotarea pentru asistența anestezică în IRM

- Planificare

Dacă până acum în literatura de specialitate s-a vorbit de management anestezic „compatibil IRM”, acum începe să se discute despre IRM „compatibil cu anestezia”. Aceasta înseamnă că nu numai anestezistul trebuie să îndeplinească cerințele specifice IRM, ci și serviciile IRM trebuie concepute a fi „compatibile cu anestezia”, adică să ofere condiții pentru managementul optim și în condiții de siguranță a pacientului (17,26,27).

De aceea, când se planifică instalarea unui aparat de IRM este necesară consilierea în specialitatea Anestezie-Terapie Intensivă pentru proiectarea

spațiului astfel încât acesta să corespundă cerințelor de securitate și management impuse de asistarea anestezică a pacienților (1). Din proiect trebuie prevăzut spații cu amplasare, dimensiuni, dotări și acces adecvate pentru desfășurarea activității ATI – spațiu de preanestezie și resuscitare. Această încăpere este un spațiu de preluare a bolnavului, de inducție a sedării sau anesteziei și de management al urgențelor și resuscitare (1). Acest spațiu trebuie să fie aproape de camera magnetului, cu acces larg și direct la aceasta pentru a permite mutarea imediată a pacientului din camera magnetului în caz de urgență majoră (1). Într-o altă spațiu se va asigura supravegherea postanestezică a pacientului. În funcție de tipul de pacienți deserviți, de tipurile de asistare anestezică și de numărul mediu de proceduri cu anestezie în acea unitate, aceste două spații pot fi într-o singură încăpere sau în camere diferite.

Proiectarea să ia în considerare de la început circuitul de alimentare cu energie electrică și sistemele de transport și livrare a fluidelor medicale, ca și locurile și modalitățile de pasaj a conductelor, cablurilor, firelor electrice, tuburilor înspre și dinspre camera magnetului. Tuburile de fluide medicale trebuie să fie confecționate din aluminiu.

Alimentarea cu fluide medicinale (oxigen, aer comprimat, protoxid de azot) trebuie să fie disponibilă în camera magnetului și în spațiul de pre/postanestezie și resuscitare. De asemenea, trebuie să existe un sistem de evacuare a anestezicelor inhalatorii. Trebuie să existe un sistem de alarmă pentru cazuri de urgență și o procedură bine definită pentru acțiune în acest caz.

În planificarea inițială a bugetului pentru instalarea și funcționarea unui aparat IRM este necesară includerea echipamentelor „compatibile IRM” pentru anestezie, a echipamentelor de urgență și resuscitare, a personalului, dispozabilelor și medicamentelor necesare asistenței de anestezie aferente noii unități(1).

Up-gradarea aparaturii IRM (de exemplu, trecerea de la un aparat de 1,5T la unul de 3T) nu presupune automat că echipamentele compatibile cu primul vor fi compatibile și cu al doilea. Compatibilitatea IRM trebuie evaluată în concordanță cu caracteristicile fiecărui aparat (1).

- *Echipamentele pentru anestezie (5,8,28)*

Toate materialele care intră în componența circuitelor pentru fluide medicale (oxigen, aer comprimat, protoxid de azot), a echipamentelor folosite pentru realizarea procedurii anestezice, precum și cele pentru monitorizare trebuie să fie în acord cu standardul de siguranță elaborat de *American Society for Testing and Materials (2006)* și acceptat de *US Food and Drug Administration*. Standardele de siguranță clasifică materialele în trei cate-

gorii. În cursul utilizării materialele și instrumentele trebuie să fie etichetate corespunzător:

- "sigur în utilizarea la IRM" ("*MR-Safe*") – echipamente, instrumente sau implanturi complet neferomagnetice, neconductoare electric și indifereente la efectul undelor de radiofrecvență. Acestea nu prezintă nici un pericol în timpul procedurii MRI.
- "compatibil IRM" ("*MR-Compatible*") – echipamente, instrumente sau implanturi care conțin materiale slab magnetice, conductoare electric sau reactive la radiofrecvență. Acestea pot fi folosite în siguranță în vecinătatea magnetului, cu condiția să existe și să fie respectate anumite reguli de operare (29).
- "incompatibil IRM" ("*MR-Unsafe*") – echipamente, instrumente sau implanturi care datorită proprietăților feromagnetice reprezintă un pericol evident pentru persoanele și echipamentele din camera magnetului.

Toate echipamentele pentru asistarea anestezică, care vor fi utilizate în camera magnetului, trebuie să corespundă standardului "sigur în utilizarea la IRM" sau "compatibil IRM". Responsabilitatea pentru această compatibilitate revine tehnicianului IRM, care trebuie să avizeze orice persoană sau echipament, ce intră în camera de examinare IRM.

APARATUL DE ANESTEZIE (5,8,28)

Trebuie să fie « sigur în utilizarea la IRM » sau « compatibil IRM », adică să funcționeze corect în câmp magnetic și să nu afecteze calitatea imaginii prin apropierea de *gantry*, prin tubulatură, conectori sau alte componente.

În prezent există aparate de anestezie "compatibile IRM" confecționate din materiale neferomagnetice (oțel inoxidabil, alamă, aluminiu și plastic). Ele pot fi utilizate cu condiția să fie cunoscută intensitatea maximă a câmpului magnetic până la care acestea operează în siguranță. Locul aparatului de anestezie în sala de examinare trebuie să fie stabilit de un bioinginer împreună cu un anestezist. În funcție de specificul unității IRM, aparatul de anestezie trebuie să fie performant, având în vedere că pacienți investigați pot fi de la nou-născuți la adulți sau bolnavi în stare critică, cu necesități de ventilație speciale. Vaporizoarele și cilindrii de gaz de pe aparatul de anestezie trebuie să fie "compatibile IM" și nu vor fi schimbate cu altele standard. Vaporizoarele sunt puțin afectate de câmpul magnetic și funcționează corespunzător.

O caracteristică a acestor aparate este lungimea circuitului (6-10 m) pentru a se acomoda cu distanța mare dintre pacientul situat în *gantry* și aparatul de anestezie, care stă la distanță de pacient în camera magnetului. Aceasta poate afecta securitatea anesteziei la copil.

APARATURA DE MONITORIZARE (5,8,28)

Toată aparatura de monitorizare trebuie să fie "compatibilă IRM". Monitorizarea pacientului investigat MRI trebuie beneficieze de aceeași dotare și să se desfășoare după aceleași standarde ca și în sala de operație. Responsabilitatea amplasării corecte a dispozitivelor și cablurilor de monitorizare trebuie stabilită explicit (medic sau asistentă de anestezie sau tehnician IRM).

Toate monitoarele trebuie să beneficieze de modalități clare de alarmare vizuală, având în vedere că alarmele auditive pot să nu fie auzite pentru că personalul din camera magnetului trebuie să poarte antifoane în cursul examinării.

Pulsoximetria

Deși multe tipuri de pulsoximetre pot funcționa în timpul IRM, au avut loc accidente (arsuri ale extremităților) datorită inducerii unui curent electric într-o buclă a firului. Pentru evitarea acestor incidente se indică utilizarea pulsoximetrelor cu fibre optice (care nu se încălzesc), senzorul se plasează pe extremitatea aflată distal de magnet, păstrând cablurile întinse și protejând degetul cu o folie transparentă de plastic.

Monitorul ECG

Caracteristicile monitorului pot afecta calitatea imaginii, cablurile funcționând ca antene, dar și calitatea ECG și siguranța pacientului, care poate fi supus arsurilor sau unor șocuri electrice.

Sângele este un fluid bun conductor și la trecerea sa prin cord interacționează cu câmpul magnetic. Rezultatul poate fi reprezentat de semnale electrice care să distorsioneze unda ECG. Cel mai modificat este segmentul ST, ischemia fiind astfel dificil de identificat, dar și amplitudinea undei T crește, interferând cu detectarea de către monitor a complexelor QRS, ca alternativă existând citirea valorii frecvenței cardiace prin pulsoximetrie. Alte artefacte care pot apare sunt legate de impedanța crescută a cablurilor ECG, pentru a diminua riscul de arsuri. Electrozii recomandați sunt din grafit. Aceștia au rezistență scăzută, sunt neferomagnetici și nu interferează cu undele de radiofrecvență.

Tensiunea arterială

Manșeta, tuburile și conectoarele trebuie să fie neferomagnetice, iar monitorul trebuie să stea cât mai departe de magnet. Măsurarea noninvasivă a TA se face prin metoda oscilometrică, evitându-se astfel interferențele electromagnetice. Măsurarea invazivă a presiunii arteriale poate fi utilizată cu celule de presiune conventionale, dar dispunerea transductorului de presiune trebuie stabilită de către un bioinginer.

Monitorizarea gazelor anestezice și capnografia

Sunt disponibile pe aparatele de anestezie "compatibile IRM" moderne.

Lungimea tuburilor poate crește latența afisării cu până la 20 secunde, nu alterează sensibilitatea determinării.

Temperatura

Temperatura pacientului trebuie monitorizată datorita variațiilor în temperatura mediului ambiant - încălzire datorită radiofrecvenței sau răcire datorită temperaturii scăzute, care trebuie menținută în camera magnetului pentru a proteja superconductorii. Deși nu au fost raportate incidente, țesuturile mai expuse sunt cele care nu disipează căldura - ochiul, scrotul, etc. Folosirea termistorului nu a fost recomandată datorită conținutului feromagnetic al cablurilor. A fost totuși propusă monitorizarea intermitentă a temperaturii (pentru a scădea riscul de arsuri) la pacienții critici și în cursul explorărilor de lungă durată.

Având în vedere că disponibilul de monitoare "compatibile IRM" este încă limitat și, chiar atunci când există, monitorizarea este dificilă (localizarea monitorului la distanță, buclele firelor, etc.) se așteaptă în viitor soluții simple și sigure. În acest sens sunt în curs cercetări privind realizarea unor senzori optici plasați în material textil, astfel monitorizarea complexă (respirație, circulație, temperatură, etc.) să se facă prin "haine" de monitorizare, iar una din aplicații vizează anestezia în IRM (30).

• Echipamentele de resuscitare

Pentru moment echipamentele de resuscitare „compatibile IRM” sunt încă rare. Există laringoscoape integral din plastic sau defibrilatoare „compatibile IRM”. Echipamentele și materialele de resuscitare se găsesc în camera de preanestezie și resuscitare. Anestezistul are obligația să cunoască caracterul „compatibil IRM” sau „incompatibil IRM” al fiecăruia în parte înainte de a începe orice procedură anestezică.

În marea majoritate a cazurilor echipamentele de resuscitare sunt „incompatibile IRM”. De aceea, în caz de stop cardio-respirator anestezistul va iniția suportul vital bazal în camera de examinare și suportul vital avansat după extragerea pacientului din camera magnetului.

• Personalul

Personalul (medici, asistente medicale), care asigură anestezia la IRM trebuie să fie instruit asupra particularităților și riscurilor în cursul IRM, să recunoască aparatura specială "compatibilă IRM", să cunoască manipularea ei și să cunoască particularitățile anesteziei la IRM, să cunoască amplasarea tuturor echipamentelor de resuscitare și de intervenție în caz de urgență. Responsabilitatea instruirii personalului de anestezie revine șefului secției de Anestezie-Terapie Intensivă (1,2).

Personalul de anestezie trebuie să lucreze în echipă cu personalul de la IRM pentru cunoașterea particularităților pacientului și examinării, pentru intervenție în caz de urgență, pentru comunicarea rapidă cu alte secții ale spitalului (1,2).

Indicațiile asistenței ATI în IRM (1,28,31)

- copii sub 7 ani
- pacienții de orice vârstă, care din cauza anxietății, claustrofobiei sau din motive patologice nu pot păstra imobilitatea în cursul examinării
- pacienții critici.

Evaluarea pacientului

Anestezistul trebuie să evalueze atent pacientul pentru a stabili gradul de risc asociat anesteziei la RMN. Pacienții cu risc crescut sunt pacienții critici cu instabilitate hemodinamică, nou-născuții, sugarii, pacienții cu comorbidități și cei la care se preconizează sedare cu diverse grade de profunzime (2).

În fiecare caz anestezistul trebuie să elaboreze un plan de asistență anestezică adecvat particularităților cazului și particularităților de mediu IRM.

Responsabilitatea evaluării contraindicațiilor pentru IRM aparține radiologului, responsabilitatea pentru securitatea pătrunderii în zona IV aparține tehnicianului IRM, dar anestezistul trebuie să se asigure că aceste evaluări au fost făcute. (3).

Asistența ATI în IRM

Scopurile asistenței de anestezie-terapie intensivă la RMN sunt siguranța pacientului pe tot parcursul explorării și în perioada imediat următoare, imobilitatea pacientului pentru asigurarea achiziționării unor imagini de calitate și o recuperare rapidă.

Asistența de anestezie-terapie intensivă la RMN cuprinde sedarea moderată sau profundă, monitorizarea asistată de anestezist, anestezia generală și suportul ventilator și de terapie intensivă pentru bolnavul critic.

Asistența anestezică, dar mai ales a pacientului critic presupune utilizarea a unei game largi de echipamente (ventilatoare, seringi automate, monitoare), care nu sunt întotdeauna disponibile în varianta "compatibil IRM", ceea ce forțează anestezistul la compromisuri între siguranța pacientului prin continuarea tratamentului și examinarea IRM. (27).

Anestezistul poate sta în camera magnetului în proximitatea pacientului sau la distanță, în camera consolei, urmărind pacientul prin monitorizare

video și prin urmărirea monitoarelor, a căror *display*, în acest caz, trebuie amplasat aici. Recomandarea *The Association of Anaesthetists of Great Britain and Ireland* (2002) permite staționarea anestezistului în camera consolei, atunci când pacientul este stabil și dacă *display*-ul monitoarelor este acolo (1). Totuși au fost raportate accidente (4,32), uneori mortale, care puteau fi prevenite dacă anestezistul era prezent în proximitatea pacientului în camera magnetului. Cum până în prezent nu au fost dovedite efecte negative ale IRM asupra personalului medical, este puternic recomandată prezența anestezistului în camera de examinare (4), mai ales că aceasta este în concordanță cu standardul ASA de monitorizare (prezența anestezistului în proximitatea pacientului)

Sedarea este o formă de asistență anestezică, care teoretic răspunde foarte bine cerințelor examinării IRM: induce imobilitate, amnezie, permite adaptarea la zgomot și spațiul închis, iar analgezia nu e necesară pentru că examinarea nu induce durere. Sedarea este împărțită în patru nivele: sedare minimă (anxioliză), superficială (sedare conștientă), stare indusă farmacologic, în care pacientul doarme, dar este capabil de răspuns adecvat la comandă verbală sau stimulare, are amnezie și imobilitate, reflexele de protecție și patența căii aeriene sunt intacte, sedare profundă, în care conștiența pacientului este deprimată, iar stimularea nu determină trezirea pacientului și se poate asocia cu pierderea parțială sau completă a reflexelor protective sau a patenței căii aeriene și anestezia generală. Sedarea are însă caracteristici, de care trebuie ținut cont: este un continuum de depresie a stării de conștiență, astfel încât limita dintre cele două forme, teoretic distincte, este în realitate mult mai discretă, iar răspunsul pacientului la o doză, care teoretic vizează un grad de sedare superficială, poate fi imprevizibil astfel oricând se poate ajunge în zone profunde, periculoase ale sedării. De aceea, este necesară monitorizarea atentă și adecvată a pacientului, iar experiența anestezistului este extrem de valoroasă în acest mediu atât de diferit de sala de operație.

Dacă se optează pentru anestezie generală, toate exigențele privind securitatea pacientului trebuie respectate, după aceleași standarde ca în sala de operație. Ceea ce e particular este adaptarea modului de realizare a securității (de exemplu, monitorizare) la particularitățile IRM. Inducția anesteziei generale trebuie făcută în spațiul de preanestezie și resuscitare. Pacientul va fi mutat în camera de examinare numai după atingerea unui grad adecvat de anestezie și cu stabilitatea funcțiilor vitale.

Indiferent dacă pacientul a primit sedare sau anestezie, după procedură el va fi supravegheat adecvat până la recuperarea completă. În cazul pacienților examinați în ambulator, este necesar să existe un protocol scris privind condițiile în care pacientul poate părăsi unitatea IRM (scale de externare, persoană de însoțire, etc) (33).

Particularitățile asistenței ATI la copil în cursul IRM

Scopurile sedării/anesteziei la pacientul pediatric sunt:

- să asigure confortul și siguranța pacientului
- să diminue reacțiile psihologice negative și reacțiile motorii la stimulii din laboratorul IRM
- să țină sub control comportamentul pacientului în cursul investigației
- să asigure condițiile necesare pentru obținerea unei imagini corecte, fără artefacte (imobilitate) (28).

Atingerea scopurilor enumerate mai sus se realizează prin aplicarea corectă și minuțioasă a principiilor generale de anestezie la pacientul pediatric.

Particularități fiziologice

Trebuie conștientizat că pacientul pediatric are necesități fizice și psihologice speciale. El nu poate fi considerat un pacient adult în miniatură. Chiar și în cadrul populației de pacienți pediatrici (care nu este omogenă), necesitățile fizice și psihologice, ca și caracteristicile patologiei variază în funcție de grupa de vârstă. Particularitățile pacienților pediatrici trebuie să guverneze managementul asistării anestezice: variabilitatea datelor antropometrice, insuficienta dezvoltare a unor mecanisme (de exemplu, termoreglarea), fiziologia și fiziopatologia specifice copiilor (volumul de distribuție, statusul hemodinamic, reactivitatea căilor aeriene, etc), particularitățile psiho-comportamentale, etc.

Dotarea cu echipamente și materiale

Trebuie să fie corespunzătoare. Materialele și aparatura trebuie să acopere toate grupele de vârstă: lame de diferite dimensiuni pentru laringoscop, sonde IOT cu și fără balonaș, măști laringiene, circuit Bain la pacienții de vârstă mică pentru a evita creșterea spațiului mort, complianța mare a circuitului și livrarea impredictibilă/incorectă a volumelor mici prin circuitul circular foarte lung, manșete de monitorizare a TA adaptate vârstei, etc.

Personalul de anestezie

Trebuie să aibă experiență în anestezia pediatrică și să fie numeric corespunzător pentru a asigura securitatea pacienților (evaluare preoperatorie, monitorizare intraprocedurală, supraveghere postanestezică).

Alegerea procedurii anestezice

Alegerea tipului de asistare anestezică trebuie făcută de către anestezist în colaborare cu radiologul și medicul curant (pediatru, chirurg, neurolog, etc.). și depinde de mai mulți factori: vârsta pacientului, patologia pacientului și afecțiunile asociate, experiența anestezistului în tehnicile de anestezie pediatrică, experiența radiologului, existența unei asistente specializate, durata, complexitatea și riscurile procedurii, dotarea laboratorului de IRM (aparatura anestezică și de resuscitare, medicație), etc. (34).

Astfel, se va putea opta pentru o paletă relativ largă de proceduri, pornind de la sedarea superficială și terminând cu anestezia generală cu intubație orotraheală.

Gradul de complexitate al procedurii anestezice va fi cu atât mai mic cu cât vârsta pacientului este mai mare (cooperare mai bună), cu cât experiența radiologului este mai mare (scurtează durata investigației) și cu cât durata și complexitatea investigației sunt mai reduse .

În orice situație trebuie avut în vedere că sedarea/anestezia sunt procese dinamice, a căror profunzime se modifică permanent și a căror evoluție trebuie monitorizată și evaluată continuu, cu atât mai mult cu cât este puțin predictibilă la pacienții pediatrici, la care volumul de distribuție este considerabil mai mare și procesele metabolice sunt mai intense. Studiile relevă că sedarea pacientului pediatric se poate face iv sau oral, de obicei, cu combinații de droguri (35-37).

Examenul preanestezic

Înainte începerii oricărei proceduri de sedare/anestezie trebuie obținut consimțământul informat al părinților. De asemenea, va fi efectuată anamneza ca în orice examen preanestezic (vârstă, greutate, înălțime, alergii, antecedente, etc)(38)

Se va opri aportul de lapte sau solide cu 6 ore înainte, aportul de lapte matern cu 4 ore înainte, în timp ce lichide clare (apă, suc de mere, etc) pot fi consumate cu până cu 2 ore înaintea IRM (37,39). Pacienții cu risc de aspirație pulmonară (reflux gastro-esofagian, etc) vor primi medicație pentru accelerarea evacuării gastrice, pentru creșterea pH-ului gastric și vor trebui intubați (40).

Siguranța pacientului

Siguranța pacientului trebuie să primeze întotdeauna. Ea are prioritate față de imperativele examinării IRM.

Indiferent de gradul intenționat de profunzime a sedării/anesteziei echipamentul pentru protezarea căii aeriene și echipamentul pentru resuscitare

și medicamentele adecvate tuturor grupelor de vârstă trebuie să fie la dispoziție (38).

Protocolul de intervenție în caz de urgență (facilitățile, personalul și echipamentele necesare și disponibile în caz de urgență) trebuie să fie bine cunoscut atât de către cei care lucrează în laboratorul IRM, cât și de personalul ATI.

III. Recomandări privind anestezia în IRM

Când se planifică instalarea unui aparat de IRM este necesară consilierea în specialitatea Anestezie-Terapie Intensivă pentru proiectarea spațiului astfel încât acesta să corespundă cerințelor de securitate și management impuse de asistarea anestezică a pacienților.

Personalul de anestezie (medic, asistente), care asigură proceduri anestezice în cursul examinării IRM trebuie să fie instruit pentru a cunoaște particularitățile de mediu, ale echipamentelor și riscurile specifice și pentru a adapta managementul pacientului la acestea.

Un medic anestezist trebuie să fie continuu prezent în proximitatea pacientului în cursul procedurilor anestezice din timpul examinării IRM și în perioada imediat următoare.

Anestezistul trebuie să comunice cu pacientul/familia acestuia, să aibă acces la și să studieze actele medicale ale pacientului pentru a evalua particularitățile sale fiziologice și patologice și pentru încadrarea într-un grad de risc.

Anestezistul trebuie să comunice cu echipa IRM (medic radiolog, asistente) pentru a cunoaște particularitățile examinării (durată, poziție, care parte a corpului va fi în *gantry*, locația antenelor).

Anestezistul are obligația să verifice înainte de începerea procedurii dacă echipamentele în curs de utilizare sau care vor fi utilizate în camera magnetului sunt "compatibile IRM" și sunt în condiții normale de funcționare.

Anestezistul are datoria să verifice echipamentele pentru urgență și resuscitare, care se găsesc în spațiul destinat anesteziei sunt complete și în condiții normale de funcționare.

În cursul procedurii de examinare IRM anestezistul este recomandat să fie prezent în proximitatea pacientului în camera magnetului pentru a asigura

supravegherea optimă a pacientului și a echipamentelor (aparat de anestezie, monitoare).

Anestezistul are obligația de a monitoriza continuu pacientul, clinic, în măsura posibilului, și cu ajutorul echipamentelor specifice. Gradul de monitorizare este impus de gradul de risc al pacientului și trebuie să se supună aceluiași exigențe ca și în cazul sălii de operație.

Standardul minim de monitorizare în cursul sedării/anesteziei și în cursul supravegherii postanestezice include pulsoximetrie, ECG și măsurarea non-invazivă a TA.

20

Anestezistul trebuie să asigure imobilitatea pacientului în cursul examinării IRM, dar aceasta nu poate avea prioritate față de siguranța pacientului.

Procedura de asistență de anestezie-terapie intensivă va fi aleasă de anestezist în funcție de particularitățile pacientului și ale dotării cu echipamente specifice, având ca principal scop siguranța pacientului.

După terminarea examinării IRM anestezistul trebuie să asigure supravegherea adecvată a pacientului de către personal calificat (medic sau asistentă de anestezie) până la epuizarea efectelor sedării/anesteziei sau, dacă e cazul, până la predarea pacientului personalului dintr-o secție adecvată (unitate de terapie intensivă, unitate de îngrijiri intermediare). În cazul pacienților examinați în ambulator, este necesar să existe un protocol scris privind condițiile în care pacientul poate părăsi unitatea IRM (scale de externare, persoană de însoțire, etc) și acesta trebuie respectat cu strictețe.

În caz de urgență anestezistul trebuie să cunoască pe cine solicită pentru întreruperea procedurii, unde este echipamentul pentru managementul situațiilor de urgență, cum se acționează în caz de complicații specifice (quenching, etc., tu stii mai bine ce..) și cum comunică cu ale secției ale spitalului (UTI, UTIIP).

În caz de urgență majoră, inclusiv stop cardio-respirator, se impune întreruperea de urgență a examinării, chemarea de ajutoare și se trece la evacuarea pacientului din sala magnetului. Atenție! Acțiunea câmpului magnetic nu încetează chiar dacă s-a oprit examinarea! Nu este permisă aducerea în camera magnetului a buteliilor de oxigen, a defibrilatorului sau laringoscopului, chiar dacă examinarea este întreruptă! Unele aparate IRM permit evacuarea rapidă a pacientului cu masa de examinare pe care se găsește pacientul către spațiul de pre/postanestezie și resuscitare. Dacă este cazul, se începe resuscitarea în camera magnetului și se continuă pe timpul evacu-

ării. În spațiul de pre/postanestezie și resuscitare se va aplica managementul corespunzător stării pacientului.

Fiecare unitate IRM trebuie să aibă protocoale specifice de intervenție în caz de complicații specifice (incendiu sau *quencing*).

BIBLIOGRAFIE

1. *** Provision of Anaesthetic Services in Magnetic Resonance Units. The Association of Anaesthetists of Great Britain and Ireland. www.aagbi.org May 2002
2. *** Anesthetic Care for Magnetic Resonance Imaging Reviewed. The American Society of Anesthesiologists (ASA) Task Force on Anesthetic Care. <http://lnx.mednetmo.it/?p=1458>
3. *** A Report by the American Society of Anesthesiologists Task Force on Anesthetic Care for Magnetic Resonance Imaging: Practice Advisory on Anesthetic Care for Magnetic Resonance Imaging Anesthesiology 2009; 110:459-79.
4. Kempen PM. To the Editor: Stand Near By in the MRI. http://www.apsf.org/resource_center/newsletter/2005/summer/05mri.htm
5. Bell Charlotte. Anesthesia in MRI. Clinical window www.gasnet.org
6. Boidin MP, WolffGR, Doelman C. The technique of MRI under general anesthesia. Clinical window www.gasnet.org
7. Boidin MP, WolffGR, Doelman C. Sedation versus general anesthesia. Clinical window www.gasnet.org
8. Miettinen S. Safety precautions in MRI environments. Clinical window www.gasnet.org
9. Boidin MP, Wolff GR, Doelman C. A working protocol for MRI under general anesthesia. Clinical window www.gasnet.org
10. Robbertze R, Posner KL, Domino KB. Anaesthesia outside the operating room Closed claims review of anaesthesia for procedures outside the operating room. Current Opinion in Anaesthesiology.2006; 19 (4): 436-442.
11. Kotur PF. Magnetic Resonance Imaging (MRI) and Anaesthesia Indian J. Anaesth. 2003; 47 (6): 424-426.
12. Puybasset L, Muller JC, Dormont D, Zouaoui A: L'IRM cérébrale en neuro-réanimation. Journées d'Enseignement Post Universitaire d'Anesthésie Réanimation. <http://www.jepu.net/pdf/2002-05-14.pdf>.
13. Morgan GE, Mikhail MS, Murray MJ. Monitoring during magnetic resonance imaging – Case discussion. Lange Clinical Anesthesiology. 3rd edition. 6th chapter: 123-126.2002.
14. Kempen PM. Let us make MRI anesthesia safe! Letters to the Editor Anesth Analg 2007; 104:1602.
15. *** Rethinking Anesthesia Care During MRI ASA newsletter 2005; 69(5). http://www.asahq.org/Newsletters/2005/05-05/Ite05_05.html
16. Baert AL. Encyclopedia of Diagnostic Imaging, Springer 2008.
17. Litt L, Cauldwell C. ASA newsletter. Being Extra Safe When Providing Anesthesia for MRI Examinations. http://www.asahq.org/Newsletters/2002/6_02/litt.html
18. Dempsey MF, Condon B. Thermal injuries associated with MRI: a review. Clin Radiol 2001;56:457- 465.
19. Center for Devices and Radiological Health. Guidance for industry and FDA staff. Criteria for significant risk investigations of magnetic resonance diagnostic devices. U.S. Food and Drug Administration, 2003. Available at: <http://www.fda.gov/cdrh/ode/guidance/793.pdf>. Accessed January 5, 2004.
20. Groenendaal F, Leusink C, Nijenhuis M, Janssen MJ. Neonatal life support during magnetic resonance imaging. J Med Engin Technol 2002;26:71-74.
21. McLjury M, Shellock FG. Auditory noise associated with MR procedures: a review. J Magn Reson Imaging 2000;12:37-45.
22. Dillman JR, Ellis JH, Cohan RH, Strouse PJ, Jan Sophia C. frequency and severity of acute allergic-like reactions to gadolinium-containing iv contrast media in children and adults. AJR 2007; 189:1533-1538.
23. Sadowski EA, Bennett LK, Chan MR, Wentland AL, Garrett AL, Garrett RW, Djamali A. Nephrogenic Systemic Fibrosis: Risk factors and incidence estimation. Radiology 2007; 243(1): 148-157.
24. Kanal E, Barkovich AJ, Bell C, et al. ACR guidance document for safe MR practices: 2007. AJR Am J Roentgenol 2007;188:1447-1474.
25. Thakral C, et al. Long-term retention of gadolinium in tissues from nephrogenic systemic fibrosis patient after multiple gadolinium-enhanced MRI scans: case report and implications. Contrast Media Mol Imaging 2007; 2:199-205.
26. Katsuyuki M, Yoichi K, Takako T, Hirokazu S. Anesthesia-compatible Magnetic Resonance Imaging- Cor-

- response. *Anesthesiology* 2005; 102:235.
27. Litt L. Invited commentary. *Anesthesiology* 2005; 102:236.
 28. Wellis Vinit. Practice Guidelines for MRI and MRS. Pediatric anaesthesia and pain management. Department of anaesthesia and pain management. Lucile Packard Children's Hospital. Stanford University Medical Center.
 29. Andres J De, Valia JC, Cerda-Olmedo G, Quiroz C, et al. magnetic resonance imaging in patients with spinal neurostimulation Systems *Anesthesiology* 2007; 106:779-86.
 30. *** Optical Fibre Sensors Embedded into technical Textile for Healthcare EU Specific Targeted Research Project (STREP) FP6-IST-2005-027869 www.ofseth.org
 31. *** MR with Anesthesia http://www.csmc.edu/pf_9450.html
 32. Zimmer C, Janssen MN, Treschan TA, Peters J. Near-miss accident during Magnetic resonance imaging by a "flying sevoflurane vaporizer" due to ferromagnetism undetectable by handheld magnet. Correspondence. *Anesthesiology* 2004; 100:1329-30.
 33. Berlin L. Malpractice Issues in Radiology: Sedation and Analgesia in MR Imaging. *AJR* 2001; 177: 293-295.
 34. Kaye RD, Sane SS, Towbin RB. Pediatric Intervention: An Update Part I. State of the Art *JVIR* 2000; 11:683-697.
 35. Mason KP, Zurakowski D, Karian VE, et al. Sedatives used in pediatric imaging: comparison of iv pentobarbital with iv pentobarbital with midazolam added. *AJR* 2001; 177: 427-430.
 36. Rooks VJ, Chung T, Connor L, et al. Comparison of Oral Pentobarbital Sodium (Nembutal) and Oral Chloral Hydrate for sedation of Infants During Radiologic Imaging: Preliminary Results. *AJR* 2003; 180: 1125-1128.
 37. Tellier Ph, Mason KP, et al. Infant sedation for MR imaging and CT: oral versus intravenous pentobarbital. *Radiology* 2004; 233: 723-728.
 38. Frush DP, Bisset GS, Hall SC. Pediatric sedation in radiology: The practice of safe sleep. *AJR* 1996;167:1381-1387.
 39. *** Anesthesia with MRI http://www.csmc.edu/pf_14438.html
 40. *** Anesthesia for MRI in pediatric patients PAC list November 2006 RE <http://metrohealthanesthesia.com/edu/ped/pedsAnesMRI.doc>

Anexa 1

Obiecte și dispozitive interzise în zona III și IV a IRM

Obiecte asupra persoanelor (personal medical sau pacienți) (exemple)

- stetoscop, stilou/pix/creion cu piesă metalică, portofel, ceas, agrafe de păr, ecuson, telefon mobil, pager, carte de credit, baterii, etc.
- electrozi de monitorizare, pense, agrafe de fixare a tuburilor de dren, etc.

Obiecte/dispozitive implantate (exemple)

- clipuri chirurgicale, valve cardiace metalice, proteze metalice, pacemaker, defibrilator automat intern, implant cohlear, stimulator spinal, stimuloare de nervi, etc.
- tatuaje, piese de piercing, proteze dentare
- corpi străini metalici, etc.

23

Anexa 2

Semnalizarea complianței la standardele de securitate în IRM



“Sigur în utilizarea la IRM” (“*MR-safe*”) - echipamente complet neferomagnetice, care corespund în totalitate standardelor de securitate în IRM și utilizarea lor nu prezintă nici un pericol.



“Compatibil IRM” (“*MR-Compatible*”) - echipamente care conțin materiale slab magnetice, conductoare electrice sau reactive la radiofrecvență și pot fi folosite în siguranță în vecinătatea magnetului, cu condiția să fie respectate anumite reguli de operare.



“Incompatibil IRM” (“*MR-Unsafe*”) - echipamente care datorită proprietăților feromagnetice reprezintă un pericol evident pentru persoanele și echipamentele din camera magnetului.