

Allmän MR-säkerhet

Johan Olsrud (Lund), delvis modifierat av Peter Lundberg (Linköping)

1. Allmänt

För att ett implantat skall betraktas som **MR-säkert** skall det vid användning i MR-miljö ha bevisats inte utgöra någon extra risk för patienten eller andra individer, men kan påverka kvaliteten på den diagnostiska informationen.

För att ett implantat skall betraktas som **MR-villkorat** skall det vid användning i MR-miljö vara MR-säkert att använda under vissa givna villkor och ha bevisats inte signifikant påverka kvaliteten på den diagnostiska informationen eller till sin egen funktion påverkas av MR-utrustningen.

MR-villkorat är alltså ett starkare krav än MR-säkert och omfattar även kravet på att vissa villkor skall vara uppfyllda. (Observera att termen ”MR-kompatibelt” används ibland av vissa leverantörer, något som dock är felaktigt, termen ger ingen vägledning till vilka villkoren för användning är.)

En viktig insikt är att det faktiskt inte går att direkt bevisa att ett implantat är MR-säkert. Istället försöker man bevisa att ett implantat inte är MR-säkert ur alla relevanta aspekter och i värsta tänkbara fall. Lyckas man inte med det brukar man dra slutsatsen att implantatet är MR-säkert.

Det krävs dock kunskap om fysiken bakom de olika fältens växelverkan med implantat och kroppsvävnad samt om de biologiska effekterna. Först då kan tester (om alls möjligt) utföras "ur alla relevanta aspekter och i värsta tänkbara fall". De olika aspekterna på MR-säkerhet och kort om fysiken bakom växelverkan med implantat beskrivs nedan.

2. Ferromagnetism

Metallimplantat kan på grund av MR-kamerans starka magnetfält påverkas av två typer av krafter som kan göra att implantatet rör sig:

(i) En kraft som vill dra implantatet in mot magnetkameran. Denna kommer ganska plötsligt på någon meters avstånd från magnetkameran och är störst just i närheten av tunnelöppningen.

(ii) En vridande/roterande kraft (eng. *torque*). Denna är störst i magnetens isocenter (mitt i tunneln).

Hur starka krafterna är beror på vilket material implantatet är tillverkat av och det materialets magnetiska egenskaper. En del material (t.ex. järn) är ferromagnetiska och påverkas av en mycket stark kraft. Föremål tillverkade av sådana material får aldrig tas in i under-

sökningsrummet och ferromagnetiskt implantat utgör livsfara för patienten vid MR-undersökning.

Icke ferromagnetiska material är antingen paramagnetiska eller diamagnetiska. Detta innebär att den s.k. magnetiska susceptibiliteten är antingen svagt positiv eller svagt negativ. Om den magnetiska susceptibiliteten är noll är materialet helt omagnetiskt, men även material med låga susceptibilitetsvärden är säkra i MR-miljö eftersom de påverkas av en mycket svag (ej märkbar) kraft. Vatten och därmed kroppens vävnader är svagt diamagnetiskt. Det finns några material som kan förekomma i implantat och som är ungefär lika magnetiska som vatten. För legeringar, t.ex. rostfritt stål, finns beteckningar som garanterar materialets sammansättning och egenskaper. Austenitiskt rostfritt stål är inte magnetiskt men kan bli svagt magnetisk i samband med bearbetning. Martensitiskt rostfritt stål är emellertid magnetiskt. Implantat som man med säkerhet vet är tillverkade av ett känt omagnetiskt material bör vara MR-säkra bortsett från att de kan upphettas (se nedan). Teoretiskt kan dock de magnetiska egenskaperna bero på hur materialet bearbetats under tillverkningen. Man måste därför testa varje enskild typ av implantat med avseende på MR-säkerhet.

3. Artefakter

Metallimplantat ger ofta artefakter i MR-bilder eftersom de påverkar magnetfältet i sin närmaste omgivning. Graden av påverkan beror då först och främst på materialets magnetiska egenskaper jämfört med den omgivande vävnadens magnetiska egenskaper. Är dessa mycket lika, som för guld och vatten, förblir magnetfältet kring implantatet jämnt och så gott som ingen artefakt syns. Implantat av t.ex. guld, silver eller titan ger därför oftast mycket små artefakter. Undantag kan vara när implantaten har en sådan utformning att de kan störa det radiofrekventa fältet från den sändande spolen. Påverkan av signalen från vävnad nära implantatet kan då förekomma. Detta gäller framför allt implantat formade som loopar, nät eller långa ledare (elektroder).

För implantat som ger artefakter beror graden av artefakt på ett komplext sätt också på implantatets läge i förhållande magnetfältets och RF-fältets riktning och på pulssekvenstyp och bildtagningsparametrar.

4. Uppvärmning

Det radiofrekventa fältet från den sändande spolen kan genom att implantatet fungerar som en mottagare "koncentreras" och ge mycket större uppvärmning där än i övrig kroppsvävnad. Liksom för RF-artefakter är risken störst med implantat formade som en spole (loop) eller en lång ledare (längre än någon cm, längden beror på vilken magnetfältstyrkan är samt i vilken vävnad implantatet är placerat, etc etc). Risken för uppvärmning bör därmed vara försumbar för mycket små solida implantat, medan den t.ex. ökar för stora implantat som dessutom kan bilda slutna kretsar tillsammans med kroppens vävnader.

Viktigt att känna till är att växelverkan med RF-fältet är kraftig just vid resonans, liksom för en mottagande spole i en MR-kamera. Det är endast då som kraftig uppvärmning kan

äga rum. Resonans inträffar endast under mycket specifika villkor och kan alltså uppkomma i enstaka fall där dessa villkor råkar vara uppfyllda. Att på ett generellt sätt (t ex i ett fantom) testa ett implantat som har sådan utformning att det finns risk för uppvärmning och därigenom dra slutsatsen att det är ”MR-säkert” är därför mycket svårt. Av detta skäl brukar t.ex. pacemaker-elektroder alltid betraktas som en kontraindikation för MR-undersökning (även om sådana system med mycket väldefinierade villkor nu finns på marknaden). Med god kunskap och strikta villkor för undersökningen kan det vara möjligt att undvika risk för resonans men detta är inget rutinförfarande.

5. Nervstimulering

RF-fältet eller snabbt växlande gradientfält kan ge upphov till inducerade spänningar i t.ex. elektroder. Det finns då en risk att spänningen överstiger den potential som behövs för att stimulera en nerv. Händer detta med t.ex. en pacemaker-elektrod kan livshotande störningar av hjärtrytmen bli följden. Elektroder i anslutning till hjärta eller nervsystem är därför som regel en kontraindikation för MR-undersökning. De fysikaliska omständigheterna kring inducerade spänningar i implantat liknar mycket de som nämnts för uppvärmning, men kan möjligen utgöra en risk även utan resonans och för både RF-fält och gradientfält. Stimulering kan alltså också uppkomma i enstaka fall då specifika villkor är uppfyllda.