MAGNEETTIKUVAUSTOIMINNAN TURVALLISUUSKÄSIKIRJA

**Sisällys**

[**JOHDANTO 3**](#_Toc88654009)

[**MAGNEETTIKUVAUS 4**](#_Toc88654010)

[**MAGNEETTIKUVAUSLAITE** 4](#_Toc88654011)

[**MAGNEETTIKENTTIEN BIOLOGISET VAIKUTUKSET** 5](#_Toc88654012)

[**MAGNEETTIKUVAUKSEN TURVALLISUUSRISKIT 6**](#_Toc88654013)

[**STAATTINEN MAGNEETTIKENTTÄ** 6](#_Toc88654014)

[**MUUTTUVAT MAGNEETTIKENTÄT** 8](#_Toc88654015)

[**TURVALLISUUSSÄÄDÖKSET 9**](#_Toc88654016)

[**TOIMINTA MAGNEETTIKUVAUSYMPÄRISTÖSSÄ 10**](#_Toc88654017)

[**MAGNEETTIKUVAUSLAITTEEN TURVAMERKINNÄT** 10](#_Toc88654018)

[**VARUSTEIDEN TURVAMERKINNÄT** 11](#_Toc88654019)

[**TOIMINTA KUVAUSHUONEESSA** 12](#_Toc88654020)

[**TOIMINTA HÄTÄTILANTEISSA 15**](#_Toc88654021)

[**LAITTEEN HÄTÄPYSÄYTYS, -SAMMUTUS JA MAGNEETTIKENTÄN POISTO** 15](#_Toc88654022)

[**POTILAAN NOPEA POISTAMINEN KUVAUSHUONEESTA** 16](#_Toc88654023)

[**KUVISSA NÄKYVÄ YLLÄTTÄVÄ METALLIESINE** 16](#_Toc88654024)

[**PUTKEEN LENTÄNYT METALLIESINE** 16](#_Toc88654025)

[**TULIPALO** 16](#_Toc88654026)

[**HENKILÖKUNNAN TURVALLISUUDEN VARMISTAMINEN 17**](#_Toc88654027)

[**TURVALLISUUSKOULUTUS** 17](#_Toc88654028)

[**TYÖNTEKIJÄN RASKAUS** 17](#_Toc88654029)

[**POTILASTURVALLISUUDEN VARMISTAMINEN 18**](#_Toc88654030)

[**ESITIETOLOMAKE** 18](#_Toc88654031)

[**MUKANA SEURAAVAT HENKILÖT** 18](#_Toc88654032)

[**IMPLANTIT, PROTEESIT JA MUUT VIERASESINEET** 18](#_Toc88654033)

[**RASKAANA OLEVAT POTILAAT** 22](#_Toc88654034)

[**TUTKIMUSPOTILAAT JA VAPAAEHTOISET** 22](#_Toc88654035)

[**LIITE 1. HENKILÖKUNNAN MRI-KELPOISUUDEN TARKISTAMINEN 23**](#_Toc88654036)

[**LIITE 2. POTILAIDEN MRI-KELPOISUUDEN TARKISTAMINEN 24**](#_Toc88654037)

[**LIITE 3. OHJEITA KUVAUSHUONEESEEN MENEVILLE HENKILÖILLE 25**](#_Toc88654038)

[**LIITE 4. ESITIETOLOMAKE 26**](#_Toc88654039)

[**LIITE 5. LISÄTIETOJA 27**](#_Toc88654040)

**JOHDANTO**

Tämä turvallisuuskäsikirja on tarkoitettu kaikille PPSHP:ssa magneettikuvauslaitteiden (MRI-laitteiden) läheisyydessä työskenteleville sekä niille, jotka ovat tekemisissä magneettikuvaukseen tulevien potilaiden kanssa. Käsikirjan tavoittena on

* antaa henkilökunnalle riittävät perustiedot magneettikuvauksen turvallisusuriskeistä ja turvallisesta työskentelystä magneettikuvausympäristössä
* muodostaa yhtenäiset ja selkeät turvallisuussäännöt ja -käytännöt PPSHP:n sisälle
* antaa potilaiden parissa työskentelevälle henkilökunnalle riittävät tiedot vastata potilaiden kysymyksiin MRI-tutkimusten turvallisuudesta

Turvallisuuskäsikirjassa määritellään hyvät käytänteet

* henkilökunnan toiminnalle
* potilaiden MRI-tutkimuksille
* sairaalassa tapahtuvalle tutkimustyölle

**Huom!** Turvallisuuskäsikirja ei korvaa uuden työntekijän perehdytystä eikä laitteiden käyttökoulutusta!

**MAGNEETTIKUVAUS**

Magneettikuvauksesta yleisesti käytetty lyhenne MRI tulee sanoista Magnetic Resonance Imaging, magneettiresonanssikuvaus. Vuonna 2018 Suomessa oli käytössä 150 magneettikuvauslaitetta, joilla tehtiin noin 400 000 tutkimusta[[1]](#footnote-1). Laitteiden määrä kasvaa joka vuosi, ja uusia tutkimustyyppejä otetaan käyttöön jatkuvasti. OYS:ssa on tällä hetkellä kuusi kiinteästi asennettua magneettikuvauslaitetta ja kaksi rekkamagneettia. Lisäksi OYS-ERVA-alueella on keskussairaaloissa kolme kiinteästi asennettua magneettia. Myös yksityisten toimijoiden magneettikuvauslaitteita on useita.

**MAGNEETTIKUVAUSLAITE**

Magneettikuvauslaite muodostaa kuvia potilaasta käyttäen kolmea erityyppistä magneettikenttää: voimakas staattinen magneettikenttä, gradienttikentät ja radiotaajuiset kentät (RF-kentät).

***Staattisen magneettikentän*** kenttävoimakkuuden mittayksikkö on Tesla (T). Kenttävoimakkuudelle käytetään joissakin yhteyksissä myös mittayksikköä Gauss (G). Yksi Tesla vastaa 10 000 Gaussia. Suurin kenttävoimakkuus potilaiden kuvaamiseen tarkoitetuissa laitteissa on tällä hetkellä 3 T, mutta 1,5 T on toistaiseksi yleisempi. **Staattinen magneettikenttä on aina päällä.** Magneettikentän voimakkuus on ilmoitetun mukainen ainoastaan kuvauslaitteen putken sisäpuolella, mutta laitteen ulkopuolelle ulottuu ns. hajakenttä, joka saattaa ulottua myös kuvaushuoneen ulkopuolelle.

***Gradienttikentät*** ovat voimakkuudeltaan staattiseen magneettikenttään nähden pieniä magneettikenttiä, joiden voimakkuus muuttuu tiettyyn suuntaan edetessä. Niitä käytetään magneettikuvan signaalien paikkatiedon keräämiseen sekä tietyissä sekvensseissä myös signaalin muodostamiseen. Kuvauksen aikana gradienttikenttiä kytketään päälle ja pois ajastettuina sarjoina. Tällöin magneettikentän hetkellinen muutosnopeus voi olla suuri (esim. 40 T/s).

***Radiotaajuista (RF) magneettikenttää*** tarvitaan kudosten vety-ytimien virittämiseen havaittavan signaalin aikaansaamiseksi. Kentän taajuus riippuu staattisen magneettikentän kenttävoimakkuudesta, ja on 1,5 T kentässä 63 MHz ja 3 T kentässä 126 MHz. Vety-ytimet lähettävät virityksen jälkeen tasapainotilaan palatessaan toisen, heikomman RF-signaalin, joka kerätään kelan avulla ja muutetaan digitaaliseen muotoon. Näistä signaaleista tietokone muodostaa magneettikuvan. Myös RF-kentän voimakkuus on pieni staattiseen magneettikenttään nähden.

Kuvauslaitteen staattinen magneettikenttä on aina päällä, ja gradientti- ja RF-kenttiä käytetään ainoastaan kuvauksen aikana lyhyinä pulsseina.

***Magneettikuvauksessa ei käytetä ionisoivaa säteilyä.*** Tästä johtuen tutkimuksista ei aiheudu säteilyrasitusta potilaalle, ja turvallisuusnäkökohdat ovat täysin erilaisia kuin ionisoivaa säteilyä hyödyntävillä kuvantamismenetelmillä (esim. natiiviröntgen, tietokonetomografia, isotooppitutkimukset).

**MAGNEETTIKENTTIEN BIOLOGISET VAIKUTUKSET**

Sairaalakäytössä olevien magneettikuvauslaitteiden staattisen magneettikentän ei ole osoitettu aiheuttavan vakavia terveysvaikutuksia, vaikkakin erilaisia tuntemuksia, kuten huimausta, pahoinvointia tai metallin makua suussa, voi ilmetä kuvauksen aikana[[2]](#footnote-2). Pitkäaikaisella altistuksella ei ole todettu olevan kumuloituvia vaikutuksia, eikä tutkimuksissa ole havaittu myöskään mitään viitteitä staattisen kentän vahingollisuudesta sikiölle.

Liikkuminen kuvauslaitteen hajakentässä, jonka voimakkuus vaihtelee riippuen etäisyydestä kuvauslaitteeseen, vastaa altistusta muuttuvalle magneettikentälle[[3]](#footnote-3). Tällöin kehoon saattaa muodostua pyörrevirtoja, joiden voimakkuus varsinkin kuvauslaitteen putken suulla voi vastata gradienttikentän muutoksia. Silmien nopeat liikkeet tai nopea pään kääntäminen saattavat stimuloida verkkokalvon aistinsolujen liitoksia aiheuttaen välähdyksiä näkökentässä. Tasapainoelimeen indusoituva heikko sähkövirta saattaa aiheuttaa huimausta tai pahoinvoinnin tunnetta. Nämä ilmiöt ovat kuitenkin vaarattomia ja lakkaavat magneettikentän ulkopuolella.

Gradienttikentät saattavat aiheuttaa pyörrevirtoja kehossa[[4]](#footnote-4). Pyörrevirtojen voimakkuus riippuu mm. gradienttikenttien voimakkuudesta suunnasta, muutosnopeudesta ja määrästä sekä potilaan koosta ja asennosta. Virtojen muodostuminen on suurimmillaan, kun gradienttikentän suunta on kohtisuorassa kehon pituusakseliin nähden. Poikkeuksellisen korkeat sähköiset pyörrevirrat voivat aiheuttaa kivuliaita hermo- ja lihasstimulaatioita. Pyörrevirroille on asetettu raja-arvot haitallisten vaikutusten välttämiseksi. Riippuen kuvaussekvenssistä ja -parametrien valinnoista voi heikkoja perifeerisiä hermo- tai lihasstimulaatiota aiheutua, mutta niiden ei katsota olevan vaaraksi, vaikka ne ovatkin tuntemuksina epämiellyttäviä. Sikiölle ei tiedetä aiheutuvan haittaa pyörrevirroista. Pyörrevirrat saattavat lämmittää kudosta tai metalliesineitä, aiheuttaen pahimmassa tapauksessa palovammoja.

RF-kentän välittämää energiaa muuttuu molekyylien lämpöliikkeeksi[[5]](#footnote-5). Lisäksi RF-aallot aiheuttavat sähkövirtoja kudoksessa. Lämmöksi absorboituvasta energiasta käytetään termiä SAR (Specific Absorption Rate, mittayksikkö W/kg). Absorboituvan lämmön määrä riippuu RF-kentän taajuudesta ja pulssitehosta, altistuksen kestosta ja kudosten johtavuudesta.

**MAGNEETTIKUVAUKSEN TURVALLISUUSRISKIT**

**STAATTINEN MAGNEETTIKENTTÄ**

MRI-laitteen aina päällä oleva staattinen magneettikenttä vetää puoleensa useimpia metalliesineitä, jotka voivat vaurioittaa laitetta tai osua ihmisiin vakavin seurauksin. Voimakkaan magneettikentän aiheuttamat veto- ja vääntövoimat voivat vaikuttaa haitallisesti kehossa oleviin metalliesineisiin tai lääketieteellisiin implantteihin.

|  |
| --- |
| 1. MRI Espree oma kötöstys kurvi teksti.jpg
2. Kuva 1. Magneettikentän vetovoima suhteessa kuvauslaitteen kokoon laitteen sivusta katsottuna. Vetovoima on voimakkaimmillaan kuvauslaitteen putken suulla.
 |

Magneettikenttä ja sen vetovoima ulottuvat metrien päähän laitteesta, vaikka nykylaitteissa on aktiivisuojaus hajakentän pienentämiseksi (Kuvat 1 ja 2). Kuvauslaitteen suuaukolla aktiivisuojauksen jälkeen magneettikentän vetovoima voimistuu paljon lyhyellä matkalla, mikä korostuu korkeammissa kenttävoimakkuuksissa. Vetovoiman voimakkuuteen suuaukolla vaikuttaa myös magneettiputken pituus, sillä pidemmässä putkessa etäisyys suuaukolta magneettikentän keskipisteeseen on pidempi.

|  |
| --- |
| 1. hajakentta.png
2. Kuva 2. Magneettikuvauslaitteen hajakenttä suhteessa laitteen kokoon. Kukin kenttäviiva rajaa sisälleen alueen, jolla staattisen kentän voimakkuus on vähintään viivan yhteydessä mainittu arvo.
 |

Staattisen kentän vetovoima on vahvimpiakin jääkaappimagneetteja huomattavasti suurempi, ja kymmeniä tuhansia kertoja voimakkaampi kuin maan magneettikenttä. Pienet, vain vähän metallia sisältävät esineetkin voivat olla täysin pitelemättömiä. Mikäli putkeen tarttunutta esinettä ei saada käsivoimin pois, tai jos esine on iso, täytyy magneettikenttä purkaa, mikä aiheuttaa päivien katkoksen kuvaustoiminnassa ja merkittäviä kustannuksia.



Kuva 3. Staattisen magneettikentän vetovoima on todella vahva. Magneettisen esineen joutuminen laitteeseen voi aiheuttaa merkittäviä vahinkoja. Kuvat: www.simplyphysics.com

Kuvaushuoneessa sallittuihin laitteisiin (esim. potilasvalvontamonitori tai respiraattori) on merkitty suurin sallittu kenttävoimakkuus, jossa laitetta saa pitää. Vetovoiman kasvamisen lisäksi laitteen siirtäminen sallittua suurempaan magneettikenttään voi indusoida laitteeseen vahingollisia sähkövirtoja, jotka pahimmassa tapauksessa aiheuttavat laitteen rikkoutumisen.

Magneetin lennättämät metalliesineet, kuten potilassängyt, siivousvälineet ja tippatelineet, voivat aiheuttaa merkittäviä laite- ja henkilövahinkoja (Kuva 3). Myös pienet metalliesineet voivat heikentää kuvanlaatua huomattavasti. Jäädessään laitteen rakenteisiin pienet kolikot, paperiliittimet tai jopa metallipöly huonontavat magneettikentän tasaisuutta ja aiheuttavat kuvavirheitä ja saattavat vaurioittaa liikkuvan kuvauspöydän osia.

**MUUTTUVAT MAGNEETTIKENTÄT**

Gradienttikenttien maksimivoimakkuutta on rajattu siten, että kivuliaita tai vaarallisia stimulaatioita ei pääse syntymään. RF-kenttien muutosnopeus on niin suuri, ettei se voi aiheuttaa hermostimulaatioita.

|  |
| --- |
| 1. ukot.png
 |
| 1. Kuva 4. Jokainen ihokontakti muodostaa johdinsilmukan potilaan kehoon lisäten gradienttikenttien ja RF-kenttien aiheuttamia pyörrevirtoja.
 |

Gradienttikenttien aiheuttamat pyörrevirrat ja RF-kenttien lämpöabsorptio saattavat lämmittää kudoksia ja kehonsisäisiä implantteja. Jokainen iho-iho-kontakti potilaan kehonosien välillä synnyttää uuden mahdollisen virtasilmukan, ja lisää hermostimulaation ja lämpenemisen todennäköisyyttä (Kuva 4). Kudosten lämpeneminen voi jopa aiheuttaa palovammoja. Kehon osien välissä tulee olla riittävän paksu kerros eristävää, ilmaa läpäisevää materiaalia, ja mahdollinen hikoilu on otettava huomioon. Hiki ja muut nesteet lisäävät sähkönjohtavuutta ja palovammojen riskiä. Kehon voimakkaan verenkierron alueilla verenkierto toimii jäähdytyksenä. On arvioitu, että haittavaikutuksia ei esiinny, jos pään lämpötila ei ylitä 38°C, vartalon 39°C eikä raajojen 40°C[[6]](#footnote-6). Käytännössä kehon lämpötilan muutokset ovat yleensä asteen murto-osia.

**TURVALLISUUSSÄÄDÖKSET**

Magneettikuvauslaitteet kuuluvat EU:n lääkintälaitedirektiivin[[7]](#footnote-7) piiriin. Direktiivi edellyttää kaikilta lääkintälaitteilta CE-merkintää. CE-merkinnän saadakseen laitteiden täytyy täyttää turvallisuuden vähimmäisvaatimukset. IEC 60601-2-33 –standardi määrittelee turvalliset altistusrajat sähkömagneettisille kentille (taulukko 1).

**Taulukko 1. IEC 60601-2-33 –standardin määrittelemät potilasta koskevat turvalliset altistusrajat erityyppisille sähkömagneettisille kentille.**

|  |  |
| --- | --- |
| 1. Kenttätyyppi
 | 1. Altistusraja eri toimintamoodeissa
 |
| 1. Staattinen magneettikenttä (voimakkuus)
 | 1. Normal mode: 3T
2. First level: 4T
 |
| 1. Gradienttikentät (nousunopeus)
 | 1. Normal mode: 80% hermostimulaation kynnysarvosta
2. First level: 100% hermostimulaation kynnysarvosta
 |
| 1. RF-kentät (energia-absorption SAR-arvo 6 minuutin keskiarvona)
 | 1. Normal mode: 2W/kg
2. First level: 4W/kg
 |

Ammatillisesta altistuksesta on säädetty International Commission on Non-ionising Radiation Protection:n (ICNIRP) ohjeissa sekä näihin perustuvassa EU:n Työntekijöiden suojaaminen EMF-kentiltä –direktiivissä (2004/40/EC). Direktiivi on laaditty lähinnä tietoliikenteen näkökulmasta eikä huomioi magneeettiohjatuissa toimenpiteissä henkilökunnalle mahdollisesti koituvaa muuttuvien magneettikentien altistusta. Asian käsittely on vielä kesken.

Väestön altistumiselle ionisoimattomalle säteilylle määritellään rajat Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa 294/2002[[8]](#footnote-8). Koko kehon jatkuvan altistuksen maksimisuuruudeksi staattisessa kentässä on määrätty 40 mT. Erilaisten kehonsisäisten elektronisten laitteiden tapauksessa suositusraja on 0.5 mT.

**TOIMINTA MAGNEETTIKUVAUSYMPÄRISTÖSSÄ**

**MAGNEETTIKUVAUSLAITTEEN TURVAMERKINNÄT**

Kaikki huoneet joissa kenttävoimakkuus ylittää 0,5 mT (5 G) tulee merkitä varoituskyltein[[9]](#footnote-9). Tarkoituksena on estää asiattomien henkilöiden pääsy kuvausalueelle jotta he itse tai muut henkilöt eivät loukkaantuisi tai laitteisto vaurioituisi. Varoitusmerkkien tulee olla näkyvillä vaikka huoneen ovi olisikin auki.

Magneettikuvauslaitteen tutkimushuoneen sisäänkäynnillä tulee olla seuraavat varoitukset[[10]](#footnote-10):

* Vahva magneettikenttä
* Magneettikenttä on aina päällä
* Vaara sydäntahdistinpotilaille
* Varoitus kehonsisäisten metalliesineiden aiheuttamasta vaarasta
* Varoitus irrallisten metalliesineiden aiheuttamasta vaarasta

Kaikkien huoneiden, joissa magneettikenttä ylittää 0,5mT, sisäänkäynnillä tulee olla seuraavat varoitukset:

* Vahva magneettikenttä
* Vaara sydäntahdistinpotilaille

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1. ST1-3-5.jpg
 | 1. VAROITUS!
2. Voimakas magneettikenttä on aina päällä.
 | 1. ST1-3-8.jpg
 | 1. VAROITUS!
2. Ionisoimatonta säteilyä
3. (RF-säteilyä)
 |
| 1. 20091021163831.jpg
 | 1. STOP!
2. Asiattomilta pääsy kielletty.
 | 1. nopacemaker.jpg
 | 1. VAROITUS!
2. Ei sydämentahdistimia
3. Ei hermostimulaattoreita
4. Ei metalli-implantteja
 |
| 1.
 | 1. Avotulen teko kielletty
 | 1.
 | 1. Ei metalliesineitä.
 |

**Kuva 5. Esimerkkejä magneettikuvauslaitteen sisäänkäynnille laitettavista varoitusmerkeistä. Merkkien ulkonäkö vaihtelee jonkin verran, mutta tarvittava tieto on esitetty niissä. Kuvat: SFS-ISO 3864, SFS-EN 60601-2-33.**

Magneettikuvaushuoneen lattiaan tulee olla selkeästi merkittynä 20 mT (200 G) ja 2 mT (20 G) kenttävoimakkuuksien rajat eli rajattu ne alueet, joiden sisäpuolella ko. kenttävoimakkuus ylittyy.

**VARUSTEIDEN TURVAMERKINNÄT**

Kaikkien MRI-ympäristössä käytettyjen välineiden tulee olla merkittyjä. Tämä koskee erikoisvarusteita joita käytetään kuvaushuoneessa rutiiniluontoisesti sekä esineitä jotka mahdollisesti joudutaan viemään kuvaushuoneeseen hätätapauksessa. Varusteet luokitellaan kolmeen luokkaan ja merkitään seuraavanlaisin symbolein[[11]](#footnote-11):

|  |  |
| --- | --- |
| * MR Safe (turvallinen)
1. Varusteet, joihin ei liity mitään riskejä MRI-ympäristön takia missään kenttävoimakkuudessa. Esineet joissa ei ole lainkaan metallia tai muuta sähköä johtavaa materiaalia.
 | 1. medicalproductsdirect_2107_315313549.jpg
 |
| * MR Conditional (ehdollisesti turvallinen)
1. Varusteet, joiden turvallisuus MRI-ympäristössä edellyttää tiettyjen ehtojen täyttymistä. Varoitusmerkin läheisyyteen täytyy liittää selvitys erityisehdoista, kuten sallitusta maksimikenttävoimakkuudesta. Esimerkiksi erityisvalmisteiset MRI-yhteensopivat pyörätuolit, tippatelineet yms., potilasvalvontalaitteet, lääkepumppujen suoja sekä tietyt implantit. Epäselvissä tapauksissa otetaan yhteys vastuufyysikkoon.
 | 1. medicalproductsdirect_2107_315165644.jpg
 |
| * MR Unsafe (vaarallinen magneettikentässä)
1. Varusteet, jotka ovat vaarallisia magneettikentässä ja joita ei missään tilanteessa saa viedä kuvaushuoneeseen. Esimerkiksi tavalliset happipullot ja sammuttimet, potilaspedit sekä defibrillaattorit.
 | 1. medicalproductsdirect_2107_314864925.jpg
 |

Myös lääketieteelliset implantit luokitellaan saman periaatteen mukaisesti.

**TOIMINTA KUVAUSHUONEESSA**

Seuraavassa on esitetty yleiset periaatteet turvallisesta MRI-toiminnasta. Laitekohtaiset ohjeet elvytysvälineiden sijainnista ym. on saatavissa osastoilta.

*Henkilöiden turvallisuuden varmistaminen[[12]](#footnote-12)*

Kaikkien henkilöiden ja varusteiden turvallisuus täytyy tarkastaa aina ennen kuvaushuoneeseen menoa:

* Säännöllisesti MRI-ympäristössä työskentelevän henkilökunnan osalta MRI-kelpoisuus tarkastetaan töiden aloituksen yhteydessä (liite 1). Mikäli työntekijällä on metalli-implantteja kehossa, arvioidaan työntekijän MRI-kelpoisuus tapauskohtaisesti.
* Potilaiden MRI-kelpoisuus tarkastetaan ja tarvittaessa oikeutusarviointi suoritetaan ennen kuvaushuoneeseen viemistä jokaiselle tutkimuskerralle erikseen (liitteet 2 ja 4).
* Muut kuvaushuoneeseen menevät henkilöt (omaiset, opiskelijat, sairaalahuoltajat, korjaajat) tarkastetaan potilaiden tarkastuslistan mukaisesti. Mikäli heillä on metalli-implantteja kehossa, arvioidaan henkilön MRI-kelpoisuus tapauskohtaisesti (liite 3).

Kaikki henkilöt jättävät kuvaushuoneen ulkopuolelle kaikki metalliesineet (esim. kolikot ja avaimet, vetovoima vaikuttaa näihin), lompakot ja henkilökortit (kortit pyyhkiytyvät) kellot ja puhelimet (voivat rikkoutua, vetovoima vaikuttaa näihin). Hyvä käytäntö on tyhjentää taskut kokonaan ja viedä kuvaushuoneeseen vain ne tavarat joita siellä tarvitaan ja joiden MRI-yhteensopivuus on tarkastettu. Kuvaushuoneen ovi on syytä pitää kiinni aina kun se on mahdollista.

*Sallitut ja kielletyt esineet kuvaushuoneessa*

* Muita kuin MRI-osaston omia pyörätuoleja ja potilassänkyjä ei saa missään olosuhteissa viedä kuvaushuoneeseen.
* Ainoastaan erillisiä magneettiyhteensopivia kaasupulloja saa viedä kuvaushuoneeseen.
* Normaalia palontorjuntakalustoa ei saa viedä kuvaushuoneeseen kun kenttä on päällä. Magneettikuvauslaitteiden lähistöllä on MRI-yhteensopivia sammuttimia.
* Normaalia elvytyskalustoa ei saa vielä kuvaushuoneeseen.
* Siivousvälineiden tulee olla MRI-yhteensopivia ja asianmukaisesti merkittyjä.
* Vain MRI-yhteensopivia työkaluja saa viedä kuvaushuoneeseen.
* Kaikki metalliesineet (sakset, kynät, pihdit, avaimet, hiusneulat jne.), joiden MRI-yhteensopivuudesta ei ole varmuutta, ovat kiellettyjä.
* Magneettiraidalla toimivat kortit, levykkeet, kellot ja muut elektroniset laitteet saattavat rikkoutua magneettikentässä.

*Kuvaushuoneiden siivous*

* Kuvaushuoneeseen voi mennä vain ennalta sovittuna ajankohtana. Poikkeavina aikoina kuvaushuoneeseen menemisestä (tai kuvaushuoneen oven avaamisesta) on sovittava erikseen. Vaikka laitteella ei olisi ketään ja kone näyttäisi hiljaiselta, voi mittaus olla käynnissä.
* Kuvaushuoneeseen mennessä täytyy tyhjentää kaikki taskut.
* Siivousvälineiden MRI-yhteensopivuus on tarkastettava ennen niiden käyttöä kuvaavan osaston henkilökunnan toimesta, ja ne on merkittävä asianmukaisesti. Jokainen väline (esim. mopin varsi) on testattava ja merkittävä erikseen, koska metallin magneettisuutta ei voida muuten todentaa.
* Kuvaushuoneessa mahdollisesti olevia erillislaitteita (valvontamonitorit, tippatelineet jne.) ei saa siivotessa siirtää lähemmäs kuvauslaitetta. Magneettikenttä voi vetää ne laitteeseen kiinni tai niiden toiminta voi häiriintyä, vaikka ne siirrettäisiinkin taas kauemmas laitteesta.
* Kuvaushuoneen lattian koneellinen vahaus edellyttää magneettikentän alasajoa. Tämä on varsin kallis toimenpide, joten lattian vahaus on syytä suorittaa ilman konetta. Ota yhteys kuvaavan osaston henkilökuntaan (osastonhoitaja, vastuufyysikko) hyvissä ajoin ennen vahauksen suunniteltua ajankohtaa.

*Korjaustyöt kuvaushuoneessa*

* Kuvaushuoneeseen voi mennä vain ennalta sovittuna ajankohtana. Poikkeavina aikoina kuvaushuoneeseen menemisestä (tai kuvaushuoneen oven avaamisesta) on sovittava erikseen. Vaikka laitteella ei olisi ketään ja kone näyttäisi hiljaiselta, voi mittaus olla käynnissä.
* Kuvaushuoneeseen mennessä täytyy tyhjentää kaikki taskut.
* Huoltohenkilöstö ei saa mennä kuvaushuoneeseen ennen kuin henkilökunta (hoitaja tai fyysikko) on tarkastanut varusteet.
* Vain MRI-yhteensopivia työvälineitä saa käyttää.
* Muiden työvälineiden vieminen kuvaushuoneeseen edellyttää magneettikentän alasajoa. Ota yhteys osaston henkilökuntaan (osastonhoitaja, vastuufyysikko) hyvissä ajoin ennen korjausten suunniteltua ajankohtaa.

*Elvytys kuvaushuoneessa*

* Ainoastaan magneettikuvauslaitteiden omia, henkilökunnan osoittamia elvytysvälineitä saa viedä kuvaushuoneeseen. Mikäli muita välineitä tarvitaan, on potilas siirrettävä kuvaushuoneen ulkopuolelle. Nopeaa poistumista kuvaushuoneesta on syytä harjoitella ja pitää yllä ajantasaista poistumissuunnitelmaa.
* Lähes kaikissa kuvauslaitteissa on kuvauspöytään integroitu selkäkela, joka ei kestä defibrillaattorin käyttöä. Mikäli defibrillaattoria joudutaan käyttämään (pakottava tarve) kuvauspöydällä jossa on integroitu selkäkela ja/tai muiden kelojen liittimiä, on pöydän toiminta testattava ennen seuraavan potilaan kuvaamista. Defibrillaattorit **eivät ole MRI-yhteensopivia** joten potilas on ensin tuotava ulos kuvaushuoneesta.

*Anestesia- ja potilasvalvonta kuvaushuoneessa*

* Tavallisia happipulloja **ei missään olosuhteissa** saa viedä kuvaushuoneeseen! MRI-yhteensopiva happipullo on merkitty selkeästi. Tällainen löytyy kaikkien MRI-laitteiden läheisyydestä.
* Kaikkien kuvaushuoneessa käytettävien anestesia- ja valvontalaitteiden ja välineiden on oltava erityisesti magneettikuvausympäristöön suunniteltuja ja asianmukaisesti merkittyjä.
* Muita laitteita ei missään olosuhteissa saa viedä kuvaushuoneeseen. Hätätapauksissa potilas siirretään kuvaushuoneen ulkopuolelle.
* Kuvaushuoneessa käytettäville erillislaitteille on määritetty suurin sallittu magneettikentän voimakkuus. Magneettikentän yleisimmät raja-arvot (2 mT/20 G ja 20 mT/200 G) on merkitty kuvaushuoneen lattiaan. On huolehdittava siitä, että laitteet pysyvät koko ajan riittävän kaukana kuvauslaitteesta.
* Lisäksi joidenkin laitteiden on oltava oikein päin suhteessa kuvauslaitteeseen, esim. lääkepumppujen suojan luukun on osoitettava aina poispäin magneetista. Liian lähellä kuvauslaitetta magneettikenttä saattaa vetää laitteita kiinni kuvauslaitteeseen, mikä saattaa aiheuttaa vaaratilanteita potilaalle tai henkilökunnalle. Lisäksi laitteet saattavat lakata toimimasta tai toimia virheellisesti vaikka ne siirrettäisiinkin heti kauemmas kuvauslaitteesta.
* MRI-laitteiden varustukseen kuuluvaan laryngoskooppiin (GE GreenLight) ja sen käyttäytymiseen magneettikentässä on tutustuttava etukäteen.
* Kaikki kuvaushuoneeseen vietävät kynät on oltava kiinnitettynä narulla ei-magneettiseen kirjoitusalustaan.
* Ylläpidetään poistumissuunnitelmaa kuvaushuoneesta hätätapauksessa, käydään suunnitelma läpi uusien työntekijöiden kanssa ja harjoitellaan nopeaa ja turvallista poistumista kuvaushuoneesta säännöllisesti.

*Kuvaushuoneessa oleskelu kuvauksen aikana*

Kuvaushuoneessa oleskelua kuvauksen aikana pyritään välttämään, mutta tietyissä tilanteissa (esim. nukutetun potilaan kuvaaminen, pienen lapsen kuvaaminen) potilaan valvonta edellyttää oleskelua potilaan välittömässä läheisyydessä. Kuvauksen aikana kuvaushuoneessa olevat henkilöt saattavat altistua staattisen magneettikentän lisäksi myös muuttuville kentille eli gradientti- ja RF-kentille. Nämä eivät kuitenkaan ulotu kovin kauas kuvauslaitteesta. Mikäli halutaan sijoittua mahdollisimman lähelle potilasta, mutta mahdollisimman pieneen staattiseen kenttään, ideaalinen paikka on potilaspöydän sivulla, noin 2 metrin päässä pöydän keskilinjasta. Kuvaushuoneessa liikkumista tulisi välttää kuvaussarjojen aikana varsinkin kuvauslaitteen välittömässä läheisyydessä, koska liike saattaa vaikuttaa kuvanlaatuun.

**TOIMINTA HÄTÄTILANTEISSA**

**LAITTEEN HÄTÄPYSÄYTYS, -SAMMUTUS JA MAGNEETTIKENTÄN POISTO**

Kuvauslaitteiden magneettikenttä saadaan aikaan sähkövirralla, joka kulkee suprajohtaviksi jäähdytetyissä johtimissa. Johtimet jäähdytetään -270oC lämpötilaan nestemäisellä heliumilla. Kuvaushuoneessa tai kuvauslaitteen ohjaustilassa on kytkin magneettikentän hätäpurkamiselle (engl. quench) (Kuva 6). Kytkintä painettaessa johtimet lämpenevät menettäessään suprajohtavuutensa, ja helium alkaa kiehua. Tällöin kuvauslaitteen magneettikenttä laskee nopeasti. Magneettikentän palauttaminen on kallis ja aikaa vievä prosessi. Hätäpurkua tulee käyttää ainoastaan kun kyseessä on hengenvaarallinen tilanne, kuten vakava onnettomuus tai tulipalo. Joskus kenttä saattaa purkautua spontaanisti, mutta tämä on erittäin harvinaista.

|  |
| --- |
| 1. quenchnappi.jpg

Kuva 6. Erään MRI-laitteen kentän hätäpurkupainike. Painikkeen ulkonäkö ja sijainti voi vaihtelee eri laitteiden kesken. Hätäpurkua käytetään vain hengenvaarallisissa tilanteissa. |

Mikäli magneettikenttä on purettava muusta syystä (kiireettömästi), kuten kuvauslaitteeseen tarttuneen esineen takia, se voidaan tehdä hallitusti ilman quench-ilmiön käynnistämistä. Tällaisessa tapauksessa tulee ottaa yhteyttä laitehuoltoon ja vastuufyysikkoon.

Kuvauslaitteeseen kuuluu heliumin poistoputki ulkoilmaan kentän hätäpurkamisen yhteydessä tapahtuvaa heliumpurkausta varten, eikä kuvaushuoneeseen pääse heliumkaasua. Mikäli poistoputki on tukossa ja helium purkautuu kuvaushuoneeseen, tukehtumisriski on välitön. Helium on väritöntä, hajutonta ja mautonta kaasua, joka syrjäyttää tehokkaasti happea hengitysilmasta. Niinpä kaikkien henkilöiden tulee poistua kuvashuoneesta ennen hätäsammutusta, ja laitehuoltoon ja vastuufyysikkoon otetaan välittömästi yhteyttä.

Kuvaushuoneen ulkopuolella on myös painike, joka katkaisee MRI-järjestelmästä sähköt. **Tällöin kuitenkaan magneettikenttä ei purkaudu.** Näiden painikkeiden ulkonäkö ja sijoitus vaihtelee, ja ne tulee varmistaa kunkin laitteen henkilökunnalta.

**POTILAAN NOPEA POISTAMINEN KUVAUSHUONEESTA**

Kuvaushuoneessa mahdolliset elvytystoimenpiteet ovat rajallisia staattisen magneettikentän vuoksi. Tämän takia on syytä pitää yllä valmiutta siirtää potilas nopeasti kuvaushuoneen ulkopuolelle. Eri laitteilla kuvauksen pysäyttäminen ja pöydän nopea irrottaminen tapahtuu eri tavoin, ja osastoilla on laitekohtaiset toimintaohjeet näitä tilanteita varten.

**KUVISSA NÄKYVÄ YLLÄTTÄVÄ METALLIESINE**

Mikäli potilaan kuvissa näkyy odottamaton metalliesine, joka ei ole tunnistettavissa esim. nivelproteesiksi tai muuksi ortopediseksi kiinnikkeeksi, tutkimus keskeytetään ja potilas poistetaan kuvauslaitteesta kunnes metalliesineestä on saatu enemmän tietoa. Tarvittaessa kehonosa voidaan röntgenkuvata esineen tarkemman koon ja sijainnin selvittämiseksi. Kuvauspäätöksen tekee radiologi tapauskohtaisesti.

**PUTKEEN LENTÄNYT METALLIESINE**

Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että mikäli esineen metalliosien yhteenlaskettu paino on alle 1 kg, voidaan se irrottaa varovasti laitteesta. Mikäli esinettä ei saada turvallisesti irti tai se on painavampi, on kuvauslaitteen kenttä ajettava alas esineen poistamisen ajaksi. Tämä johtuu siitä, että kuvauslaitteen kiinteä RF-kela reagoi magneettikentässä liikkuvan metalliesineen aiheuttamiin muutoksiin magneettikentässä, ja pyrkii liikkumaan samaan suuntaan kuin metalliesine, rikkoen ripustuksensa.

**TULIPALO**

Voimakkaan magneettikentän vuoksi kuvauslaitteen läheisyydessä on voimassa erityiset toimintaohjeet tulipalon varalle.

* Kuvauslaitteiden läheisyydessä sijaitsee selkeästi merkitty MRI-yhtensopiva jauhesammutin, jonka voi viedä kuvaushuoneeseen vaikka kenttä olisikin päällä.
* Mitään muuta sammutuskalustoa ei saa missään tapauksessa viedä kuvaushuoneeseen kun kenttä on päällä!
* Tarkista sammuttimen yhteensopivuus ennen kuvaushuoneeseen menemistä, osastoilla voi olla sekä MRI-yhteensopivia että ei-yhteensopivia sammuttimia!

Mikäli tulipalo vaatii sammutuskaluston viemistä kuvaushuoneeseen, neuvotellaan tilanteesta palomestarin kanssa. Mikäli magneettikentän hätäpurku katsotaan tarpeelliseksi, on sammutushenkilökunnan odotettava 3 minuuttia painikkeen painamisesta ennen kuvaushuoneeseen menemistä.

**HENKILÖKUNNAN TURVALLISUUDEN VARMISTAMINEN**

**TURVALLISUUSKOULUTUS**

Henkilökunnan jatkuvasta turvallisuuskoulutuksesta on huolehdittava. Erikoistilanteiden varalta on järjestettävä harjoituksia, uusiin toimitiloihin ja laitteisiin on perehdyttävä huolella, ja uusien työntekijöiden perehdyttämisestä laitteen käytön lisäksi magneettikuvauksen turvallisuuteen on huolehdittava.

Itseopiskelumateriaalia MRI-perusteista löytyy jokaiselta kuvauslaitteelta. Tutkimusprojektien kuvaamisesta vastaaville henkilöille järjestetään erillinen käyttökoulutus, jonka jälkeen suoritetaan näyttökoe ennen kuvausten aloittamista.

**TYÖNTEKIJÄN RASKAUS**

Laajan epidemiologisen tutkimuksen mukaan magneettikuvauslaitteella työskentelyllä ei näyttäisi olevan vaikutusta sikiön kehitykseen. Aiemmin henkilökuntaa on ohjeistettu välttämään magneetilla työskentelyä raskauden ensimmäisen kolmanneksen aikana. Tiedettyä vaaraa magneettikentästä ei ole, vaan ohje on perustunut varovaisuusperiaatteeseen, sillä sikiön kehityksen kannalta kolmen ensimmäisen kuukauden tiedetään olevan kriittisiä. Raskaana olevan henkilökunnan ei tulisi oleskella kuvaushuoneessa kuvauksen aikana muuttuvien magneettikenttien ja kovan melun takia[[13]](#footnote-13).

**POTILASTURVALLISUUDEN VARMISTAMINEN**

**ESITIETOLOMAKE**

Kaikki potilaat tuovat tutkimukseen tullessaan mukanaan täytetyn esitietolomakkeen (Liite 4). Potilaan täytyy täyttää lomake itse, tai omaisen, tulkin tai lääkärin avustamana. Henkilökunta tarkastaa lomakkeen tiedot ennen potilaan viemistä tutkimushuoneeseen. Vastuuradiologi tekee tarvittaessa oikeutusarvioinnin magneettikuvauksen turvallisuudesta, mikäli potilaalla on implantteja tai lääkinnällisiä laitteita kehossaan tai mikäli potilas on raskaana. Tarvittaessa konsultoidaan sairaalafyysikkoa.

**MUKANA SEURAAVAT HENKILÖT**

Potilaan mukana kuvaushuoneeseen seuraavaa henkilöä koskevat samat turvallisuussäännöt kuin potilasta. Henkilö täyttää saman esitietolomakkeen.

**IMPLANTIT, PROTEESIT JA MUUT VIERASESINEET**

Metallisen implantin, proteesin tai vierasesineen aiheuttaman onnettomuuden riskiin magneettikuvauksessa vaikuttavat esineen ja magneettikuvauksen ominaisuudet. Staattisen magneettikentän voimakkuus on suurelta osin määräävä tekijä metalliesineiden aiheuttamien ongelmien suhteen. Toisaalta esineen materiaalista johtuvan magneettisen vetovoiman suuruus, esineen toimintamekanismi, koko, muoto, sijainti sekä miten kauan se on ollut elimistössä määräävät esineen käyttäytymisen kuvaushuoneessa.

Implanttien ja metalliesineden magneettikuvauksesta on koottu tietoa www.MRIsafety.com –sivustolle ja vuosittain päivitettävään kirjaan[[14]](#footnote-14). OYS:n radiologian klinikka pitää yllä myös omaa listaa implanteista, joiden MRI-yhteensopivuus ja kuvausehdot OYS:n magneeteilla on selvitetty. Listaa päivitetään jatkuvasti, ja se löytyy intranetistä.

**Mikäli metalliesine, -proteesi tai -implantti on todettu turvalliseksi tietyssä magneettikentässä tietyllä laitteella, niiden ei voida suoraan päätellä olevan turvallisia muissa kenttävoimakkuuksissa ja muilla saman kenttävoimakkuuden laitteilla.** Myös gradientti- ja RF-kentät, jotka voivat vaikuttaa implanttiin ja aiheuttaa pyörrevirtoja ja lämpenemistä, vaihtelevat kenttävoimakkuudesta ja laitteesta toiseen. Esineiden testattu MRI-yhteensopivuus pätee siis ainoastaan testatuille laitteille ja olosuhteille.

Magneettitutkimuksen oikeutusarviointi, eli selvitys onko magneettikuvauksesta oletettava hyöty suurempi kuin todennäköinen haitta, suoritetaan magneettiosastolla tapauskohtaisesti. Lähettävän tahon maininta proteesin tai implantin MRI-yhteensopivuudesta ei riitä. Tätä varten magneettiosastolle on toimitettava tiedot proteeseista tai implanteista (tarkka kuvaus proteesin tai implantin tyypistä ja mallista sekä asennusajankohta) **hyvissä ajoin ennen suunniteltua tutkimusajankohtaa!** Magneettiosastolla selvitetään ko. implantin MRI-yhteensopivuus ja mahdolliset kuvausehdot. Potilaalle suoritetaan lisäksi normaali turvallisuusarviointi.

**Mikäli kaikkia haittojen arviointiin tarvittavia tietoja ei ole saatavilla, tutkimusta ei tehdä.** Tällöin potilaalle pyritään antamaan uusi aika, jotta yhteensopivuudet ehditään selvittää ja tutkimukseen voidaan valmistautua asianmukaisesti.

*Tahdistimet ja sisäiset defibrillaattorit*

Potilaan kuvaaminen edellyttää oikeutusarviointia:

* Radiologi ottaa kantaa siihen olisiko tarvittava informaatio saatavissa millään muulla kuvantamismodaliteetilla
* Kardiologi ottaa kantaa, voidaanko potilas kuvata ja tarvitseeko kardiologin olla tutkimuksessa paikalla

Kun näihin on vastattu, ja magneettitutkimus on todettu aiheelliseksi ja mahdolliseksi, voidaan tutkimus suorittaa. Potilaalle laitetaan aina pulssioksimetri ja vointia tiedustellaan kuvaussarjojen välissä. Tutkimus suoritetaan Normal mode:a käyttäen. Tahdistimen toiminta on tarkastettava ennen ja jälkeen tutkimusta, ja tutkimuksen ajaksi tahdistin on säädettävä ois päältä. Jos kardiologi on paikalla tutkimusta suoritettaessa, tahdistimen säätö suoritetaan magneettikuvauslaitteen valmistelutiloissa, ja erillisiä aikoja tahdistinpoliklinikalle ei tarvita.

Mikäli potilaalla on kehossaan ainoastaan tahdistimen johtimet, arvioidaan kuvattavuus tapauskohtaisesti. Ennen ajanvarausta ESKOon tehdään konsultaatiopyyntö radiologille. Mikäli tutkimus päätetään suorittaa, johtimet mainitaan lähetteen Huomioitavaa-kentässä.

*Neurostimulaattorit*

Passiiviset stimulaattorit, joita ohjataan RF-säteilyllä, ovat välittömästi vaaraksi magneettikuvauksen aikana, ja näitä potilaita ei kuvata missään olosuhteissa johtuen suurista riskeistä kuten hallitsematon stimulaatio sekä implantin osien liikkuminen tai kuumeneminen.

Aktiiviset stimulaattorit, joilla on johtokytkentä keskushermostoon, voidaan kytkeä pois päältä, mutta implantin osat vastaanottavat RF-energiaa ja voivat lämmetä voimakkaasti. Vain pään tutkimukset ovat mahdollisia, ja nämä on toteutettava suunnitellusti. Mikäli potilaalla on ollut juostestimulaattori, joka on poistettu ja kehossa on jäljellä vain johteet, tutkimus voidaan suorittaa mikäli potilas antaa suostumuksensa sen jälkeen kun hänelle on selitetty tutkimukseen liittyvät riskit.

*Magneettisesti aktivoitavat implantit*

Joissakin implanteissa ja laitteissa käytetään kestomagneetteja mm. pitämään proteesi/implantti paikallaan, ohjaamaan ferromagneettinen instrumentti oikeaan kohtaan implanttia tai ohjaamaan implantin toimintaa (esim. jotkut shuntit). Kuvauslaitteen voimakas magneettikenttä saattaa nollata kestomagneetin jolloin implantti/laite lakkaa toimimasta halutulla tavalla. Pehmytkudoksiin kiinnitetyt magneetit saattavat lisäksi liikkua aiheuttaen kudosvaurioita. Mikäli valmistajan ohjeet eivät salli kuvausta, tällaiset magneetit on poistettava ennen magneettitutkimuksen suorittamista.

*Stentit (muut kuin pään alueella sijaitsevat)*

Potilas voidaan kuvata. SAR-arvoa on rajoitettava kuvausparametrien valinnalla siten, että keskimääräinen koko kehon SAR on alle 2.0 W/kg. 3T laitteella kuvaaminen edellyttää että stentin tarkka merkki ja malli on tiedossa kuvausehtojen selvittämiseksi. Joihinkin stentteihin liittyy asennuksen jälkeinen varoaika, jolloin potilasta ei saa kuvata.

*Aneurysmaklipsit, koilit, filtterit ja pään alueella sijaitsevat stentit*

Näitä on valmistettu magneettisilta ominaisuuksiltaan erilaisista materiaaleista ja jotkut ovatkin vaarallisia magneettiympäristössä. Potilaan, jolla on ko. implantteja, on täytettävä seuraavat ehdot:

* Tarkka tieto mallista ja valmistajasta on tiedossa.
* Klipsi on määritelty MRI-turvalliseksi.
* Kuvauksen saa suorittaa korkeintaan siinä kenttävoimakkuudessa, johon klipsin MRI-turvallisuus on ilmoitettu.
* SAR-arvoa rajoitetaan kuvausparametrien valinnalla.
* Joihinkin stentteihin liittyy asennuksen jälkeinen varoaika, jolloin potilasta ei saa kuvata.

*Leikkausklipsit*

Leikkausklipsit on pääasiallisesti valmistettu MRI-turvallisista materiaaleista. Kuvattavan alueen läheisyydessä sijaitsevat klipsit voivat kuitenkin aiheuttaa kuvavirheitä.

*Metalli-implantti lihaksessa ja luussa*

Potilas jolla on lihakseen tai luuhun operoitu implantti voidaan kuvata, jos implantti on määritelty MRI-turvalliseksi käytettävässä kenttävoimakkuudessa. Jos implantti on valmistettu ei-ferromagneettisesta materiaalista (esim. Elgiloy, Phynox, MP35N, Nitinol, titaani, titaaniseokset, tantalum), voidaan kuvaus tehdä heti operoinnin jälkeen. Heikosti ferromagneettiselle materiaalille vaaditaan 6 viikon kiinnittymisaika kudokseen ennen kuvausta. Potilasta ei saa kuvata, jos epäillään heikosti ferromagneettisen implantin irronneen.

*Kranaatinsirpale, luoti tai hauli*

Osa luodeista on ferromagneettisia, erilaisten luotien ja haulien MRI-turvallisuutta on myös listattu. Kranaatinsirpaleet ovat useimmiten terästä eli voimakkaan ferromagneettisia. Ferromagneettiset palaset voivat liikkua MRI-ympäristössä, joten kyseistä potilasta ei tulisi koskaan kuvata, jos palanen on lähellä vitaalia elintä, hermojärjestelmää tai suurta suonta. Pehmytkudosvauriot ovat myös todennäköisiä palasten takia.

*Metalliesine silmässä*

Jos potilaalla on tai on joskus ollut metallisiru silmässä, täytyy selvittää seuraavat asiat:

* Tutkiko lääkäri silmän onnettomuuden jälkeen
* Tietääkö potilas saatiinko siru poistettua kokonaan silmästä

Potilasta ei saa koskaan magneettikuvata, jos on pieninkin epäilys metallisirun olemassaolosta tai jos potilasta ei informoitu tutkimuksen tuloksesta onnettomuuden jälkeen. Tarvittaessa asia voidaan varmistaa röntgenkuvan avulla.

*Meikit ja tatuoinnit*

Pieni osa meikeistä ja tatuoinneista voi aiheuttaa ongelmia, koska ferromagneettisiin hiukkasiin vaikuttava vetovoima voi aiheuttaa kipua ja kuumotusta. Lisäksi lähellä kuvattavaa aluetta sijaitsevat meikit ja tatuoinnit saattavat aiheuttaa kuvavirheitä.

* Meikit on pestävä pois.
* Jos tunnetusti ferromagneettinen tatuointi on selvästi RF-kelan lähetyskentässä, voidaan alueelle asettaa kylmä kääre tai jääpussi kuumentumisen estämiseksi. Lisäksi puristussidettä voidaan käyttää pitämään aloillaan mahdollinen tatuoinnin kokema magneettinen vetovoima.
* Potilasta pyydetään hälyttämään epämiellyttävien tuntemusten sattuessa
* SAR-arvoa rajoitetaan kuvausparametrien valinnalla.

*Lävistykset*

Lävistyksiä tehdään mm. kirurgin teräksestä, titaanista, kullasta ja hopeasta, jotka voivat aiheuttaa lämpenemistä.

* Potilaan pitää riisua korut, jos mahdollista. Jos korua ei saada irti, asetetaan kylmä märkä puristusside tai jääpussi korun päälle.
* Potilasta pyydetään hälyttämään epämiellyttävien tuntemusten sattuessa.
* SAR-arvoa rajoitetaan kuvausparametrien valinnalla.

**RASKAANA OLEVAT POTILAAT**

Magneettitutkimuksen vaikutusta sikiöön on tutkittu, eikä selkeää näyttöä terveyshaitoista ole. Raskaana olevat potilaat saadaan kuvata korkeintaan 3 T kenttävoimakkuudessa[[15]](#footnote-15). Kuvauksessa on aina käytettävä ”normal mode”-tasoa. ”Normal mode”-tasolla gradienttikentän muutosnopeus on rajoitettu 80 %:iin (ICNIRP 2004) kokeellisesti todetusta hermostimulaatiota aiheuttavasta gradienttikentän muutosnopeudesta. Tutkimuksia gradienttikenttien aiheuttamien pyörrevirtojen pitkäaikaisesta vaikutuksesta sikiölle ei ole kattavaa tutkimustietoa. Vartalon RF-altistuksen SAR-raja on 2 W/kg, sillä sikiölle vartalon alueen kuvaus vastaa kokokehokuvaksen SAR-rajaa. Melualtistuksen minimoimiseksi raskaana olevien potilaiden kuvausaika tulisi pitää mahdollisimman lyhyenä ja valita mahdollisuuksien mukaan hiljaisempia kuvausohjelmia.

**TUTKIMUSPOTILAAT JA VAPAAEHTOISET**

Tutkimusprojekteihin osallistuvia potilaita ja vapaaehtoisia koskevat samat turvallisuussäännöt kuin varsinaisia potilaitakin. Lisäksi kunkin tutkimusprojektin tutkimussuunnitelma ja mahdollinen eettisen toimikunnan lupa saattavat sallia tiettyjen rajojen ylityksen, mutta tämä on selvästi mainittava kyseisen tutkimusprojektin kuvausohjeissa. Vapaaehtoisia kuvattaessa raja-arvojen ylityksiä ei pääsääntöisesti sallita.

**LIITE 1. HENKILÖKUNNAN MRI-KELPOISUUDEN TARKISTAMINEN**

(säännöllisesti MRI-ympäristössä työskentelevän henkilökunnan osalta)

* Henkilöllä on riittävät tiedot MRI-turvallisuudesta
* Potilaan turvallisuuden varmistaminen
* Oman turvallisuuden varmistaminen
* Muun henkilökunnan turvallisuuden varmistaminen
* Mikäli henkilöllä on silmälasit, niiden käyttäytyminen hajakentässä ja kuvauslaitteen putken suulla on varmistettava
* Mahdollisten kehonsisäisten vierasesineiden MRI-yhtensopivuus tarkastetaan ennen työskentelyn aloittamista ja mahdolliset rajoitukset otetaan huomioon
* Työasu ja -varusteet ovat MRI-yhteensopivia, tai
ei-yhteensopivat kappaleet on helppo poistaa

**LIITE 2. POTILAIDEN MRI-KELPOISUUDEN TARKISTAMINEN**

* Päällysvaatteet ja laukut jätetään pukukoppiin
* Kaikki taskut tyhjennetään
* Vyö otetaan pois
* Jos vaatteissa on metallisia nappeja tai koristeita lähellä kuvausaluetta (esim. farkut, paidat), ne otetaan pois
* Jos naisilla on rintaliiveissä kaarituet tai metallisolkia/hakasia, ne on otettava pois pään ja vartalon alueen (myös selkä) tutkimuksia varten
* Metallia sisältävät meikit on pestävä pois, mikäli pää on kuvauksen aikana putken sisällä
* Korut otetaan pois
* Metalli-implanteista tulisi olla merkintä lähetteessä, mutta mikäli se tulee ilmi vasta kuvauspäivänä, sen MRI-yhteensopivuus selvitetään ennen kuvauksen aloittamista

**LIITE 3. OHJEITA KUVAUSHUONEESEEN MENEVILLE HENKILÖILLE**

* Avaa kuvaushuoneen ovi vain jos tiedät varmasti että niin saa tehdä juuri nyt.
* Jätä laukut ja päällysvaatteet kuvaushuoneen ulkopuolelle.
* Tyhjennä kaikki taskut kokonaan, ota myös ei-magneettiset esineet pois.
* Ota pois suuret metalliset korut, hiussoljet, kellot jne.
* Jos sinulla on silmälasit, ole varovainen kuvauslaitteen lähellä.
* Vie kuvaushuoneeseen vain ne välineet joita tarvitset siellä ja jotka ovat MRI-luokiteltuja (eli välineitä joiden magneettisuus on etukäteen tarkastettu ja tiedetään miten ne käyttäytyvät magneettikentässä).
* Ota kuvaushuoneessa tarvittavat (tutkimus-)välineet pois koteloistaan jo kuvaushuoneen ulkopuolella tai tarkista ettei kotelossa ole mitään, mikä voisi aiheuttaa vaaratilanteen kuvaushuoneessa.
* Kyniä saa viedä kuvaushuoneeseen vain, jos ne on sidottu narulla ei-magneettiseen kirjoitusalustaan.

**Puhelimia tai muita kuvaukseen liittymättömiä sähkölaitteita ei saa viedä kuvaushuoneeseen.**

**LIITE 4. ESITIETOLOMAKE**

**

**LIITE 5. LISÄTIETOJA**

STUK: Säteily terveydenhuollossa: magneettitutkimus <https://www.stuk.fi/aiheet/sateily-terveydenhuollossa/magneettitutkimus>

ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) materiaalit:

MRI Equipment <https://www.icnirp.org/en/applications/mri/index.html>

Static Magnetic Fields <https://www.icnirp.org/en/frequencies/static-magnetic-fields/static-magnetic-fields.html>

Low Frequency <https://www.icnirp.org/en/frequencies/low-frequency/lf.html>

RF EMFs <https://www.icnirp.org/en/frequencies/radiofrequency/index.html>

1. <https://www.stuk.fi/aiheet/sateily-terveydenhuollossa/magneettitutkimus> [↑](#footnote-ref-1)
2. ICNIRP Guidelines on Limits of Exposure to Static magnetic Fields. Health Physics 96(4):504-514; 2009 (<https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPstatgdl.pdf>) [↑](#footnote-ref-2)
3. ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Electric Fields Induced by Movement of the Human Body in a Static Magnetic Field and by Time-Varying Magnetic Fields below 1 Hz. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Health Physics 106(3):418-425; 2014 (<https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPmvtgdl_2014.pdf>) [↑](#footnote-ref-3)
4. ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure ot Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz-100 kHz). Health Physics 99(6):818‐836; 2010 (<https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPLFgdl.pdf>) [↑](#footnote-ref-4)
5. ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz). Health Physics 118(5): 483–524; 2020 (<https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPrfgdl2020.pdf>) [↑](#footnote-ref-5)
6. International Non-Ionizing Radiation Committtee of the International Radiation Protection Association (IRPA/INIRC) Guidelines. Protection of the patient undergoing a magnetic resonance examination. Health Physics 1991;61(6):923-928. [↑](#footnote-ref-6)
7. http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:247:0021:0055:FI:PDF [↑](#footnote-ref-7)
8. http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2002/20020294 [↑](#footnote-ref-8)
9. SFS-ISO 3864. Turvallisuusvärit ja turvallisuuskilvet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry; 1993; SFS-EN 60601-2-33. Medical electrical equipment. Part 2-33. Particular requirements for the safety of magnetic resonance equipment for medical diagnosis. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry; 2003. [↑](#footnote-ref-9)
10. ST-ohje 1.3, STUK [↑](#footnote-ref-10)
11. Woods TO. Standards for medical devices in MRI: present and future. J Magn Reson Imaging. 2007;26:1186-9 [↑](#footnote-ref-11)
12. ACR Guidance Document on MR Safe Practices: 2013, J. Magn. Reson. Imaging. 2013:37:501-530 [↑](#footnote-ref-12)
13. Shellock F. et al., Pregnant Technologists and Healthcare Workers, http://www.mrisafety.com/safety\_article.asp?subject=51 [↑](#footnote-ref-13)
14. Shellock F. The Reference Manual for Magnetic Resonance Safety, Implants and devices [↑](#footnote-ref-14)
15. http://www.mrisafety.com/safety\_article.asp?subject=50; Colletti P M. Magnetic Resonance Procedures and Pregnancy, In: Magnetic Resonance Procedures: Health Effects and Safety, FG Shellock, Editor, CRC Press, Boca Raton, FL, 2001. Reviewed and Updated 2011. [↑](#footnote-ref-15)