

Samenvatting proefschrift

Werken met MRI: Een onderzoek naar beroepsmatige blootstelling aan sterke statische magnetische velden en daaraan gerelateerde symptomen

*Kristel Schaap*¹

Achtergrond

MRI kent een grote verscheidenheid in toepassingen voor structurele, dynamische en functionele beeldvorming. Daarnaast maakt MRI geen gebruik van schadelijke ioniserende straling, en is dus relatief veilig. Deze aspecten hebben geleid tot een wereldwijde toename in het gebruik van MRI en in het totale aantal MRI-scanners dat in gebruik is. MRI werkt op basis van elektromagnetische velden in het niet-ioniserende frequentiespectrum. Eén

van deze velden is een sterk statisch magnetisch veld (SMV) dat continue aanwezig is, ook wanneer er niet gescand wordt. De fluxdichtheid van het SMV, uitgedrukt in het aantal tesla (T), wordt gebruikt om de sterkte van MRI-scanners aan te duiden. Tijdens de scanprocedure ligt de patiënt in een tunnelvormige ruimte binnenin de scanner. Deze ruimte wordt ook wel de *bore* genoemd. Binnenin de bore is de magnetische fluxdichtheid uniform verdeeld, maar buiten de scanner neemt de sterkte van

¹ Promotie instituut: IRAS, Universiteit Utrecht; promotiedatum: 30 juni 2015

het statisch magnetische veld af naarmate de afstand tot de scanner groter wordt, wat leidt tot een ruimtelijke gradiënt in het SMV rondom de MRI-scanner. Dit niet-uniforme deel van het SMV dat zich buiten de MRI-scanner bevindt wordt ook wel het strooiveld van de magneet, of het statisch magnetisch *strooiveld*, genoemd. Afhankelijk van de sterkte van de magneet kan het strooiveld tot enkele meters rondom de scanner reiken.

Blootstelling aan magnetische velden

MRI-laboranten en andere beroepsgroepen die met of rond een MRI-scanner werken bevinden zich in het statisch magnetisch strooiveld van de scanner wanneer zij een patiënt in de scanner plaatsen of andere werkzaamheden nabij de MRI-scanner uitvoeren. Op deze manier worden zij blootgesteld aan een SMV. Tegelijkertijd ondervinden zij blootstelling aan een tijdsvariërend magnetisch veld (TVMV), als gevolg van hun beweging door de ruimtelijke gradiënt in de fluxdichtheid van het strooiveld. Door het gebruik van steeds sterkere magneten (omwille van een betere signaal-ruis verhouding) is de blootstelling van MRI-personeel aan MRI-gerelateerde magnetische velden tijdens de afgelopen decennia sterk toegenomen en de verwachting is dat deze trend zich in de nabije toekomst zal doorzetten.

Effecten op het lichaam

Blootstelling aan een MRI-gerelateerd SMV en door beweging geïnduceerde TVMV's is in verband gebracht met verschillende tijdelijke acute effecten op cognitieve, vestibulaire en sensorische functies (1-11). Hiertoe behoren enkele zeer specifieke verschijnselen, waaronder draaiduizeligheid ('*vertigo*'), misselijkheid, balansproblemen, het waarnemen van lichtflitsen (fosfenen) en het waarnemen van metaalsmaak. Deze specifieke effecten worden ook wel *MRI-gerelateerde symptomen of sensorische effecten* genoemd. Over het voorkomen van deze symptomen onder MRI-personeel en hoe deze symptomen precies samenhangen met blootstelling aan SMV en TVMV is nog maar weinig bekend. In dit proefschrift is het gebruik van MRI, de blootstelling van MRI-personeel, de symptomen en de relaties tussen blootstelling en symptomen in kaart gebracht. Dit heeft nieuwe kennis opgeleverd over de intensiteit, de frequentie, de duur en de determinanten van beroepsmatige blootstelling aan statische magnetische strooivelden van MRI-scanners. Bovendien wordt inzicht verschaft in het optreden van acute tijdelijke symptomen bij MRI-personeel.

Gebruikte methoden

De inhoud van het proefschrift is gebaseerd op twee studies. De eerste studie was een landelijke inventarisatie van klinische en onderzoeksgerelateerde MRI-toepassingen en van beroepsgroepen die potentiëel worden blootgesteld aan MRI-gerelateerde elektromagnetische velden. De tweede studie betrof een dwarsdoorsnedeonderzoek onder meer dan 300 werknemers in 15 verschillende klinische of onderzoeksgerelateerde MRI-afdelingen in

Nederland, met een grote verscheidenheid aan scanners, scan procedures en andere werkzaamheden. Dit dwarsdoorsnedeonderzoek bestond uit een onderzoek naar zelfgerapporteerde symptomen die ervaren werden tijdens het werk op een MRI-afdeling. Hierbij werd gebruik gemaakt van logboekjes waarin de onderzoeksdeelnemers hun klachten konden rapporteren. Tegelijkertijd zijn gedurende de werkdag persoonlijke metingen uitgevoerd om de blootstelling aan SMV en TVMV te bepalen.

Resultaten

Op basis van de landelijke inventarisatie (12) is een representatief overzicht verkregen van het huidige MRI-werkveld en van de trends in MRI-toepassingen tijdens de afgelopen vier decennia. Geschat wordt dat in Nederland bijna 4000 personen regelmatig nabij een MRI-scanner werken en worden blootgesteld aan het statisch magnetisch strooiveld van een scanner. Naast de grootste groep van ongeveer 1700 MBB'ers bestaat deze groep uit medisch, veterinaire, wetenschappelijk, technisch en ondersteunend personeel zoals schoonmakers. Voor iedere beroepsgroep zijn de gemiddelde frequenties van blootstelling geschat, die varieerden van minder dan eens per maand voor het merendeel van het technische personeel tot meerdere dagen per week voor MBB'ers en schoonmaakpersoneel.

Met behulp van draagbare magnetisch veld *dosimeters*, die aan een band om de borst werden gedragen (zie afbeelding), is de persoonlijke blootstelling van werknemers aan MRI-gerelateerde SMV en TVMV gemeten tijdens meer dan 400 shifts (13). De dosimeters werden gedragen door 271 verschillende MRI-werknemers tijdens één of meer werkdagen. Verschillende maten van blootstelling zijn berekend over iedere meting, gebaseerd op de hele werkdag. Zo is er onderscheid gemaakt tussen blootstelling aan het statisch magnetisch veld (B, gemeten in militesla) en blootstelling aan het tijdsvariërend magnetisch veld (dB/dt, gemeten in militesla per seconde). Daarnaast zijn zowel de piekblootstelling als de tijdgewogen gemiddelde blootstelling berekend van iedere meting. Deze blootstellingsmaten bleken onderling sterk gecorreleerd ($r \sim 0,7-0,9$). De resultaten van deze meetcampagne leverden een uniek overzicht op van de blootstelling van verschillende beroepsgroepen die zich bezighouden met klinische of onderzoeksgerelateerde toepassingen van MRI. Piekblootstellingen zijn gemeten van 404 militesla (mT; bereik: 5 - 2661 mT) en 558 militesla per seconde (mT/s; bereik: 1 - 5016 mT/s). De tijdgewogen gemiddelde blootstellingen berekend over de duur van de werkdag waren 2,4 mT (bereik: 0,1 - 39,9 mT) en 0,4 mT/s (bereik: 0,07 - 12,7 mT/s). De blootstellingsniveaus bij medewerkers van proefdier-MRI-faciliteiten (piek B = 133 mT; piek dB/dt = 143 mT/s) waren een stuk lager dan de blootstellingsniveaus bij MRI-afdelingen waar personen werden gescand (piek B = 528 mT; piek dB/dt = 793 mT/s). Gemiddeld genomen was de blootstelling het hoogst onder MBB'ers, wetenschappelijk personeel

en technische staf. De variatie in blootstelling tussen beroepsgroepen bleek relatief beperkt te zijn in verhouding tot de variatie in blootstelling tussen werknemers met hetzelfde beroep, en was ook lager dan de dag-tot-dag variatie voor individuele werknemers. Dit impliceert dat de blootstelling voornamelijk wordt bepaald door persoonlijke en dag-tot-dag verschillen in de manier waarop het werk wordt uitgevoerd, zoals verschillen in de manier waarop het werk is georganiseerd, verschillen in scanners die worden gebruikt en in de werkzaamheden die worden uitgevoerd, evenals verschillen in individueel werkgedrag en snelheid van bewegen rond de scanner. Het type en de magneetsterkte van de MRI-scanner bleken belangrijke determinanten te zijn van alle blootstellingsmaten (14). De volgende scannermodellen zijn vergeleken: cilindervormige ('closed-bore') scanners, horizontale open scanners, open upright scanners, extremitateiscanners en 'small-bore' proefdierscanners. De hoogste blootstellingen werden bepaald bij 0.6 T open upright scanners en bij de gebruikelijke gesloten cilindervormige scanners. Blootstellingsniveaus bij mensen die met deze laatste categorie scanners werkten namen, afhankelijk van de blootstellingsmaat, toe met 30 tot 76 procent bij iedere extra tesla in scannersterkte. De laagste blootstellingen werden gemeten bij extremitateiscanners en proefdierscanners. Ondanks de sterke correlaties tussen de blootstellingsmaten was het mogelijk om unieke blootstellingsdeterminanten, zoals scanprocedures en specifieke handelingen, te identificeren voor piekblootstellingen en tijdgewogen gemiddelde blootstellingen. Enkele factoren die samenhangen met een toename in één of meer blootstellingsmaten zijn het aantal gescande patiënten of proefpersonen, het toepassen van functionele MRI (fMRI), het uitvoeren van testscans voor bijvoorbeeld het testen van nieuwe scanprotocollen, het scannen van patiënten die extra zorg nodig hebben en het toedienen van contrastvloeistof (14).

Analyse van de symptomen die per werkdag door de werknemers in logboekjes waren gerapporteerd, heeft inzicht gegeven in de mate waarin verschillende symptomen voorkomen onder MRI-personeel. Er was een duidelijk verband zichtbaar tussen de sterkte van de scanner en het optreden van symptomen (15). Dit verband leek voornamelijk te worden bepaald door de aanwezigheid van vertigo en metaalsmaak. Bij personen die met whole-body 7 T scanners werkten, rapporteerde vertigo tijdens 23% van de werkdagen en metaalsmaak tijdens 19% van de werkdagen. Uit nadere analyses van de relatie tussen vertigo en de gemeten niveaus van persoonlijke blootstelling kwam naar voren dat het rapporteren van vertigo samenhang met alle piek- en tijdgewogen gemiddelde blootstellingsmaten voor zowel SMV en TVMV. Statistische modellen maakten het mogelijk om te schatten bij welke blootstellingsniveaus draaiierigheidsklachten (vertigo) een rol gaan spelen. Bij piekblootstellingen van 409 mT en 477 mT/s is er een kans van vijf procent dat iemand tijdens een werkdag vertigo zal rapporteren.

Conclusies en aanbevelingen

De resultaten van de hierboven beschreven studies hebben het mogelijk gemaakt om hoog blootgestelde groepen werknemers te identificeren, evenals de werkomstandigheden en werkzaamheden die tot verhoogde blootstellingen leiden. Deze nieuwe kennis kan een leidraad vormen voor het ontwerpen van strategieën voor blootstellingskarakterisering voor epidemiologische studies naar de effecten van blootstelling aan deze velden: Zo blijkt uit de sterke verschillen in blootstellingsniveaus tussen scannermodellen en uit het feit dat ook specifieke handelingen een bepalend zijn voor de blootstelling, dat het relevant is om meer informatie te verzamelen van een werknemer dan alleen zijn/haar beroep of de sterkte van de scanner waarmee men werkt. Daarnaast heeft dit onderzoek bevestigd dat er een positieve associatie bestaat tussen beroepsmatige blootstelling aan strooivelden van MRI-scanners en acute tijdelijke symptomen. Binnen een context van toenemende veldsterktes van MRI-scanners, zoals het toenemende gebruik van 3 T en 7 T scanners voor humane beeldvorming, is de verwachting dat daarmee tevens het aantal werknemers met MRI-gerelateerde symptomen zal toenemen. Sinds enkele jaren is er op Europees niveau een discussie gaande over het wel of niet invoeren van blootstellingslimieten voor MRI-personeel. De nieuw vergaarde kennis over blootstellingsniveaus waarbij MRI-gerelateerde symptomen optreden kan een belangrijke bijdrage leveren aan deze discussie en handvatten aanleveren voor het opstellen van beleid ter verlaging van de blootstelling en voorkoming van dit soort ongewenste symptomen. Aanvullend onderzoek naar onderliggende fysiologische mechanismen en blootstellingsdrempelwaarden van specifieke effecten blijft echter noodzakelijk, evenals onderzoek naar persoonlijke gevoeligheid voor MRI-gerelateerde sensorische effecten en symptomen.

Literatuur

- 1 Cavin ID, Glover PM, Bowtell RW, Gowland PA. Thresholds for perceiving metallic taste at high magnetic field. *J Magn Reson Imaging*. 2007;26(5):1357-1361
- 2 Glover PM, Cavin I, Qian W, Bowtell R, Gowland PA. Magnetic-field-induced vertigo: A theoretical and experimental investigation. *Bioelectromagnetics*. 2007;28(5):349-361
- 3 Heinrich A, Szostek A, Meyer P, et al. Cognition and sensation in very high static magnetic fields: a randomized case-crossover study with different field strengths. *Radiology*. 2013;266(1):236-245
- 4 van Nierop LE, Slottje P, van Zandvoort MJ, de Vocht F, Kromhout H. Effects of magnetic stray fields from a 7 tesla MRI scanner on neurocognition: a double-blind randomised crossover study. *Occup Environ Med*. 2012;69(10):759-766
- 5 van Nierop LE, Slottje P, Kingma H, Kromhout H. MRI-related static magnetic stray fields and postural body sway: A double-blind randomised crossover study. *Magn Reson Med*. 2013;70(1):232-40
- 6 van Nierop LE, Slottje P, van Zandvoort M, Kromhout H. Simultaneous exposure to MRI-related static and low-frequency movement-induced time-varying magnetic fields affects neurocognitive performance: A double-blind rando-

- mized crossover study. *Magn Reson Med*. 2014. doi: 10.1002/mrm.25443
- 7 Schenck JF, Dumoulin CL, Redington RW, Kressel HY, Elliott RT, McDougall IL. Human exposure to 4.0-tesla magnetic fields in a whole-body scanner. *Med Phys*. 1992;19(4):1089-1098
 - 8 de Vocht F, van Drooge H, Engels H, Kromhout H. Exposure, health complaints and cognitive performance among employees of an MRI scanners manufacturing department. *J Magn Reson Imaging*. 2006;23(2):197-204
 - 9 de Vocht F, Glover P, Engels H, Kromhout H. Pooled analyses of effects on visual and visuomotor performance from exposure to magnetic stray fields from MRI scanners: application of the Bayesian framework. *J Magn Reson Imaging*. 2007;26(5):1255-1260
 - 10 de Vocht F, Stevens T, Glover P, Sunderland A, Gowland P, Kromhout H. Cognitive effects of head-movements in stray fields generated by a 7 Tesla whole-body MRI magnet. *Bioelectromagnetics*. 2007;28(4):247-255
 - 11 Wilén J, De Vocht F. Health complaints among nurses working near MRI scanners - A descriptive pilot study. *Eur J Radiol*. 2011;80(2):510-513
 - 12 Schaap K, Christopher-De Vries Y, Slottje P, Kromhout H. Inventory of MRI applications and workers exposed to MRI-related electromagnetic fields in the Netherlands. *Eur J Radiol*. 2013;82(12):2279-2285
 - 13 Schaap K, Christopher-de Vries Y, Crozier S, de Vocht F, Kromhout H. Exposure to static and time-varying magnetic fields from working in the static magnetic stray fields of MRI scanners: A comprehensive survey in the Netherlands. *Ann Occup Hyg*. 2014;58(9):1094-1110
 - 14 Schaap K, Christopher-De Vries Y, Cambron-Goulet E, Kromhout H. Factors associated with occupational exposure to static magnetic stray fields from MRI scanners. *Magn Reson Med*. 2015 Jun 22. DOI: 10.1002/mrm.25720 Epub ahead of print
 - 15 Schaap K, Christopher-de Vries Y, Mason CK, de Vocht F, Portengen L, Kromhout H. Occupational exposure of healthcare and research staff to static magnetic stray fields from 1.5-7 Tesla MRI scanners is associated with reporting of transient symptoms. *Occup Environ Med*. 2014;71(6):423-429