



Universiteit Utrecht

Faculty of Veterinary Medicine
Institute for Risk Assessment Sciences
(IRAS)

De relatie tussen beroepsmatige blootstelling aan het magnetische strooiveld van MRI-scanners en het rapporteren van acute, kortdurende symptomen

—

Kristel Schaap

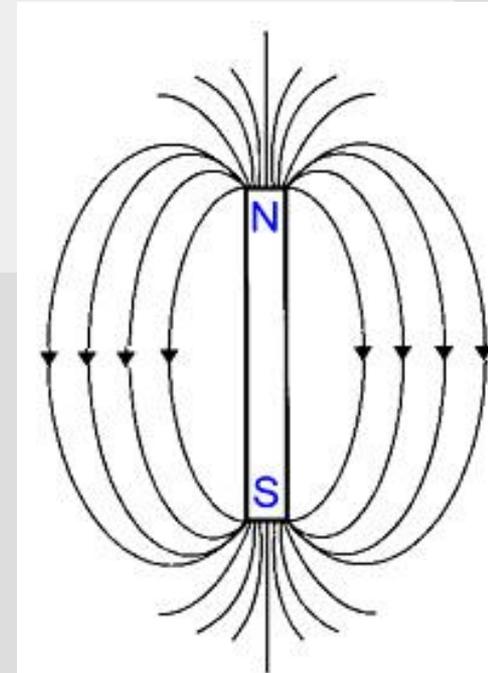
NVvA symposium, 3 april 2014



Magnetic Resonance Imaging (MRI)

**Potentiële blootstelling aan 3 typen elektromagnetische velden (EMV)
= niet-ioniserende straling!**

- **Tijdens het maken van de scan:**
 - Radiofrequente pulsen (MHz frequenties)
 - Geschakelde gradiëntvelden (kHz frequenties)
- **Altijd aanwezig:**
 - Statisch magnetisch veld (SMV, 0 Hz)
 - Sterkte wordt uitgedrukt in Tesla (T)
 - Strooiveld rondom scanner
- **Belangrijkste bron van blootstelling voor MRI personeel**





Beroepsmatige blootstellingslimieten

Europese Richtlijn 2013/35/EU voor beroepsmatige blootstelling aan elektromagnetische velden

- Ontworpen in 2004 met limietwaarden voor alle EMV tussen 0 Hz en 300 GHz.
 - Beperkend voor MRI; Lobby door MRI community
- In 2013 door het Europees Parlement aangenomen, maar met speciale uitzondering voor MRI: **Geen limietwaarden voor MRI.**

Echter:

- Risk assessment
- Training en educatie over veilige werkomstandigheden en mogelijke gezondheidseffecten

— Acute effecten van bloots magnetisch veld

- **Veiligheidsrisico's**
Aantrekking van metalen objecten, apparatuur, elektronische imp



— Acute effecten van blootstelling aan een statisch magnetisch veld

- **Veiligheidsrisico's**

Aantrekking van metalen objecten, ontregeling van elektronische apparatuur, elektronische implantaten en magneetstrips.

- **Neurocognitieve effecten**

Bijv. visuo-spatiële orientatie (*Van Nierop et al.; De Vocht et al.*)

- **Effecten op het binnenoor en de balans**

(*Van Nierop et al.; Mian et al.*)

- **Kortdurende, acute klachten onder patiënten en personeel**

Bijv. Draaiduizeligheid (vertigo), metaalsmaak

MRI-gerelateerde symptomen: Achtergrond

MRI personeel kan acute kortdurende symptomen ervaren tijdens het werk in het magnetisch strooiveld rondom de MRI-scanner

De huidige literatuur suggereert dat er een positief verband is met de magneetsterkte van de MRI-scanner (dB/dt; geïnduceerde stroom)

De Vocht et al. 2006; Wilen & De Vocht 2011; Heinrich et al 2013

Geen duidelijk beeld van de prevalentie van deze klachten onder MRI-personeel

De kwaliteit van eerdere studies is vaak onvoldoende en verschillen in aanpak maken het lastig om de resultaten van verschillende studies met elkaar te vergelijken

Context van deze studie

- Europese Richtlijn 2013/35/EU
- Toenemende veldsterktes → toenemende blootstelling
- Toenemend aantal blootgestelde werknemers
- Relatief nieuw onderzoeksveld
- Relatief weinig bekend over de verschillende gezondheidseffecten van SMV-blootstelling

Is dit een tijdelijke HYPE?

Doelstellingen van het onderzoek

Meer inzicht verkrijgen in de symptomen die tijdens beroepsmatige blootstelling aan statische velden worden gerapporteerd:

- Hoe vaak komen deze symptomen voor onder MRI-personeel in de gezondheidszorg en wetenschap? (incidentie)
- Hoe hangen deze symptomen samen met blootstelling aan statische magnetische velden en bewegings-gerelateerde tijdsvariërende magnetische velden?

— Studieopzet: Werkplekbezoeken van 1 of 2 weken

Populatie

- MRI-personeel (SMV blootgestelde en niet-blootgestelde shifts)
- Aanvullende niet-blootgestelde controlegroep van CT-laboranten

Logboekje per werkdag, met informatie relevant voor blootstelling en symptomen:

- Werkte binnen een MRI-scannerruimte (ja/nee)
- Type & sterkte van de MRI-scanner
- Ondervond symptomen tijdens het werk (uit lijst van 19 symptomen)
- Duur van de symptomen
- Invloed van de symptomen op de kwaliteit van het werk



Universiteit Utrecht

Logboekje
Rapportageformulieren
voor 1 werkdag

Institute *for* Risk
Assessment Sciences

Vul hier eerst uw deelnemersnummer en de datum in

Deelnemersnummer:

Datum:



Geselecteerde MRI-afdelingen en scanner sterktes

Type of MRI facility	Number of facilities	Range of magnet field strength (Tesla)
General hospital MRI facilities	4	0,5 – 1,5
Academic hospital MRI facilities	4	1,0 – 7,0
Academic children's hospital	1	1,5
Human research MRI facilities	1	1,5 – 3,0
Animal research MRI facilities	4	4,7 – 11,7
TOTAL	14	0.5 – 11.7



Common closed bore scanner



Upright scanner

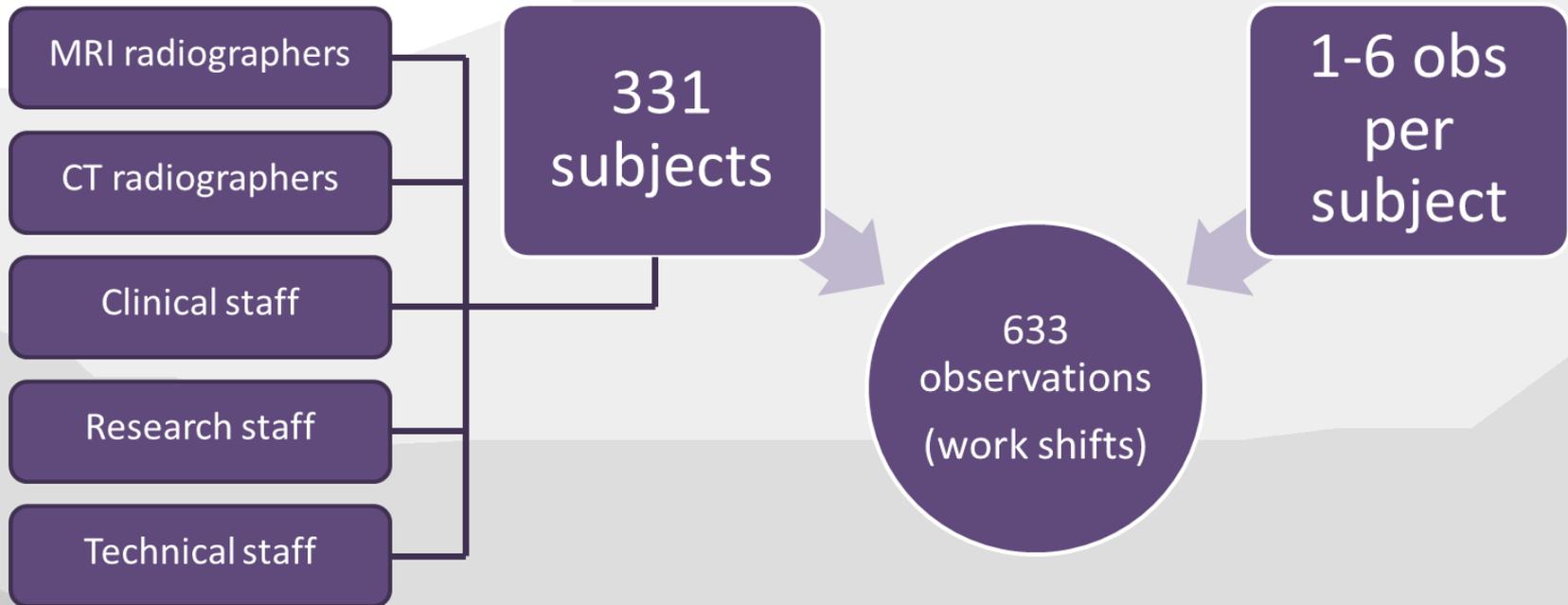


Extremity scanner



Small bore animal scanner

Verzamelde gegevens



Symptoms

Target symptoms

Vertigo

Nausea

Head ringing

Magnetophosphenes

Metallic taste

Headache

Tiredness

Concentration problems

Vomiting

Instability

Light-headedness

Blurred vision

Strange smell

A priori unrelated symptoms

Black spots

Irritated eyes

Irritated skin

Hot flashes

Earache

Palpitation

Symptoms

Target symptoms

Vertigo
Nausea
Head ringing
Magnetophosphenes
Metallic taste

Headache

Tiredness

Concentration problems

Vomiting

Instability

Light-headedness

Blurred vision

Strange smell

A priori unrelated symptoms

Black spots

Irritated eyes

Irritated skin

Hot flashes

Earache

Palpitation

**Core
symptoms**

Adjusted odds ratios (95%CI) for scanner category in the 'symptom-reporting' class

Scanner category	Target symptoms		Core symptoms		A priori unrelated symptoms	
Unexposed (reference)	1		1		1	
1.5T closed bore	1.88	(1.07-3.31)	2.41	(0.72-8.13)	0.75	(0.17-3.34)
3T closed bore	2.14	(1.13-4.03)	4.92	(1.21-19.97)	0.28	(0.05-1.62)
7T closed bore	4.17	(1.30-13.35)	66.82	(6.39-698.97)	n.a.	
<1.5T various types	1.47	(0.59-3.64)	0.84	(0.14-5.19)	1.53	(0.25-9.41)
>4.7T small bore	0.72	(0.27-1.94)	n.a.		17.70	(0.04 – 7379.05)

Adjusted for gender, age, workload, use of solvents, alcohol ingestion

Shifts reporting at least one symptom within the specified category

Scanner category	N _{obs}	Target symptoms	Core symptoms	A priori unrelated symptoms
Unexposed	134	(19%)	(1%)	(3%)
1.5T closed bore	259	(28%)	(5%)	(7%)
3T closed bore	131	(35%)	(9%)	(2%)
7T closed bore	31	(39%)	(29%)	(0%)
<1.5T various types	49	(27%)	(4%)	(14%)
>4.7T small bore	57	(16%)	(0%)	(7%)
Overall	619	(26%)	(6%)	(5%)

Individual target symptoms were reported in 0 – 12% of shifts

Individuele symptomen

Niet statistisch getest. Echter, vergelijkbare trends zichtbaar voor de 'core' symptomen **draaiierigheid, metaalsmaak en misselijkheid**

	Unexposed	1.5T closed bore	3T closed bore	7T closed bore	<1.5T various types	>4.7T small bore
Vertigo	0.0%	3.5%	7.6%	22.6%	2.0%	0.0%
Metallic taste	0.0%	0.4%	0.8%	19.4%	2.0%	0.0%
Nausea	0.0%	1.2%	1.5%	3.2%	0.0%	0.0%

- Niet gerapporteerd tijdens niet-MRI shifts
- Kortdurend (<1 minuut tot <15 minuten)

— Impact van symptomen op de werkzaamheden

Twaalf (10%) van de 124 blootgestelde en niet-blootgestelde deelnemers die 'target symptoms' rapporteerden, vermeldden dat deze klachten een negatieve invloed hadden op hun werkzaamheden.

- 9 personen vermeldden dat de symptomen hun concentratie, werktempo of efficiëntie beïnvloedden.
- Dit effect werd toegewezen aan vermoeidheid (n=6), hoofdpijn (n=1) of draaiierigheid (n=1), of was niet gespecificeerd (n=2).
- Eén persoon moest een tijdje gaan zitten nadat hij/zij een gevoel van instabiliteit had ervaren
- Drie andere personen vermeldden niet hoe de symptomen hun werkzaamheden beïnvloedden

— Samenvatting van de resultaten

- MRI-personeel ondervond één of meer symptomen tijdens 16 - 39% van de MRI shifts, afhankelijk van de scanner waarmee men werkte
- Wij vonden een verhoogde incidentie van specifieke symptomen bij werknemers die met 1.5 tot 7 Tesla 'closed bore' MRI-scanners werkten.
- Dit effect lijkt vooral te worden gedreven door draaiierigheid en metaalsmaak
 - Aanwezig tijdens resp. 6% and 2% van de MRI shifts
 - Afwezig tijdens niet-MRI shifts
- Positieve associatie met scannersterkte komt overeen met andere studies onder MRI-personeel in ziekenhuizen en MRI-productiefaciliteiten

Wilén & De Vocht, 2011; De Vocht et al., 2006; Schenck et al., 1992

Discussie

Effect van statische magnetisch velden (SMV) of tijdsvariërende magnetische velden (TvMV)?

De huidige literatuur is nog onbeslist over de onderliggende mechanismen van symptomen als draaiierigheid (vertigo) en metaalsmaak

- Experimentele en observationele studies onder patiënten en vrijwilligers suggereren een effect van beweging (TvMF)
Heilmaier et al., 2008; Glover et al., 2007; Atkinson et al., 2010
- Op basis van recent experimenteel onderzoek stellen sommige wetenschappers dat draaiierigheid mogelijk ook kan worden veroorzaakt door een statisch magnetisch veld, zonder dat daarbij beweging nodig is
Mian et al., 2013; Antunes et al., 2012
- Er is nog geen duidelijk verband gevonden tussen metaalsmaak en een specifiek type magneetveld

Conclusie - Hype: waar of waardeloos?

- Het Europees Parlement heeft in juni 2013 een richtlijn aangenomen die MRI-personeel uitsluit van blootstellingslimieten voor EMV (Directive 2013/35/EU).
- Echter, tijdens 6% van de MRI shifts in onze studie ondervonden werknemers draaiierigheid, wat een potentieel veiligheidsrisico vormt voor zowel werknemer als patiënt.
- Sommige werknemers gaven aan dat de symptomen die zij ondervonden een negatieve impact hadden op hun werk.
- Nu de verkete kts van MRI-scanners steeds sterker worden, wordt verwacht dat het aantal werknemers met symptomen ook zal toenemen.
- De resultaten van deze studie suggereren dat er behoefte is aan protocollen ter ondersteuning van een veilige en gezonde werkomgeving.

Geen hype

—
Met dank aan

Hans Kromhout (IRAS)

Yvette Christopher (IRAS)

Lutzen Portengen (IRAS)

Frank de Vocht (University of Manchester)

Catherine Mason

Evelyne Cambron-Goulet

Onderzoeksdeelnemers en deelnemende organisaties

Publication in press:

Schaap K. et al. (2014) 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.*



—



Mechanistic explanations vertigo

➤ **Induced electric field in vestibular hair cells (galvanic stimulation)**

Movement through static field induces changes in the electric field across vestibular hair cells, changing the firing rate
(Glover et al. 2007)

➤ **Diamagnetic susceptibility**

Magnetic force deflects the otolithic membrane of the vestibular system
(Glover et al. 2007)

➤ **Magneto-hydrodynamic effects**

Magnetic field forces on a moving conducting fluid, such as in the vestibular system
(Glover et al. 2007)

➤ **Interaction of SMF and ionic currents through Lorentz forces**

Interaction of SMF and ionic currents (Potassium [K] flux) in the endolymphatic fluid in the vestibular system generates a Lorentz force, which produces a pressure on the cupula (Roberts et al. 2011; Antunes et al. 2012, Mian et al 2013)



Mechanistic explanations metallic taste

Cavin et al 2007:

Hypothesis 1: Direct nerve stimulation

MRI induced currents result in direct nerve stimulation of taste buds.

Hypothesis 2: MRI induced currents result in electrolysis

The fact that metallic taste perception sometimes lasts for a few minutes after exposure, might suggest electrolysis of saliva/extracellular fluids, which results in indirect electric stimulation of the taste buds. This is supported by the assumption that the metal taste is similar to the taste when a battery is placed on the tongue.

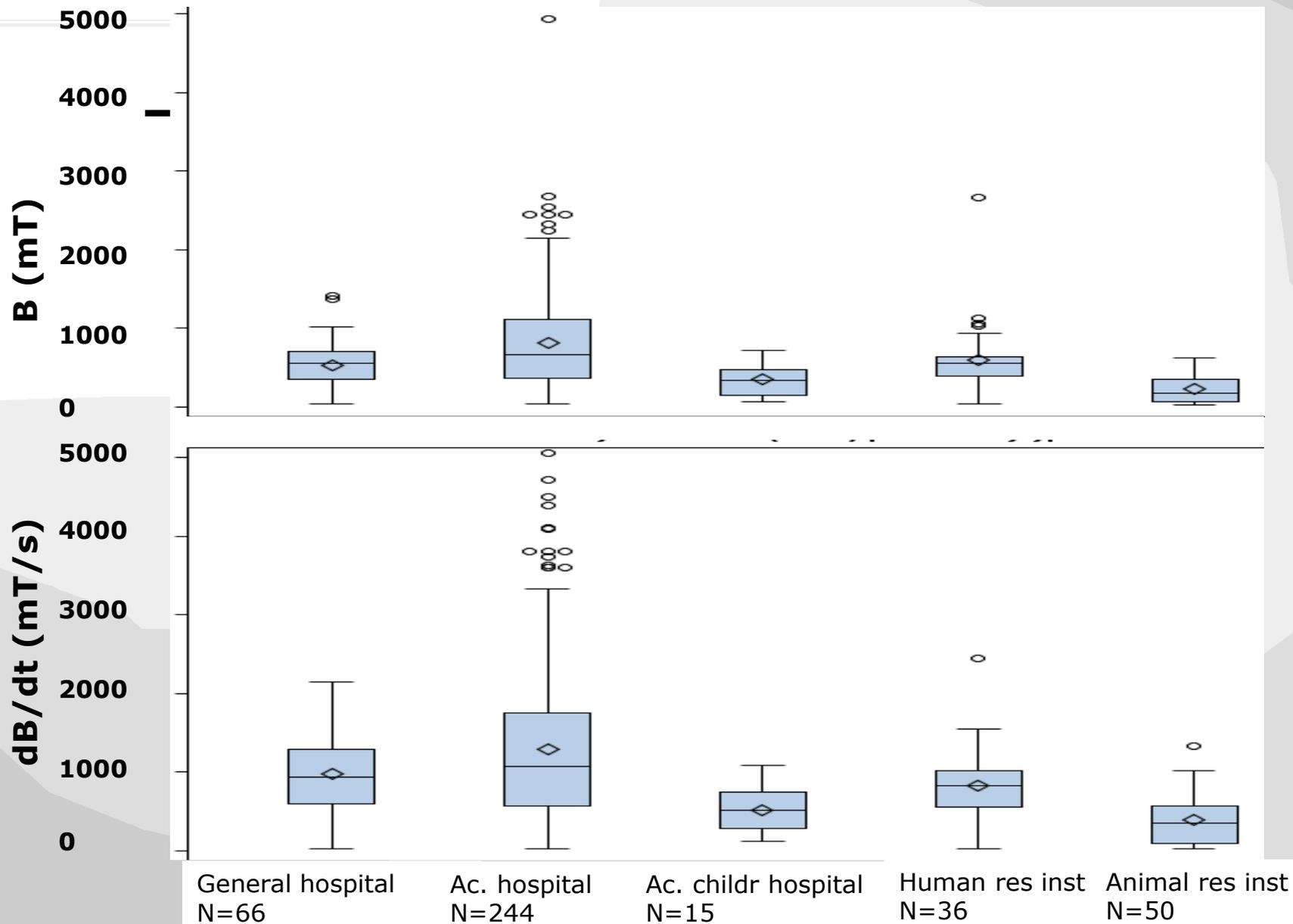


Results – Symptom frequencies

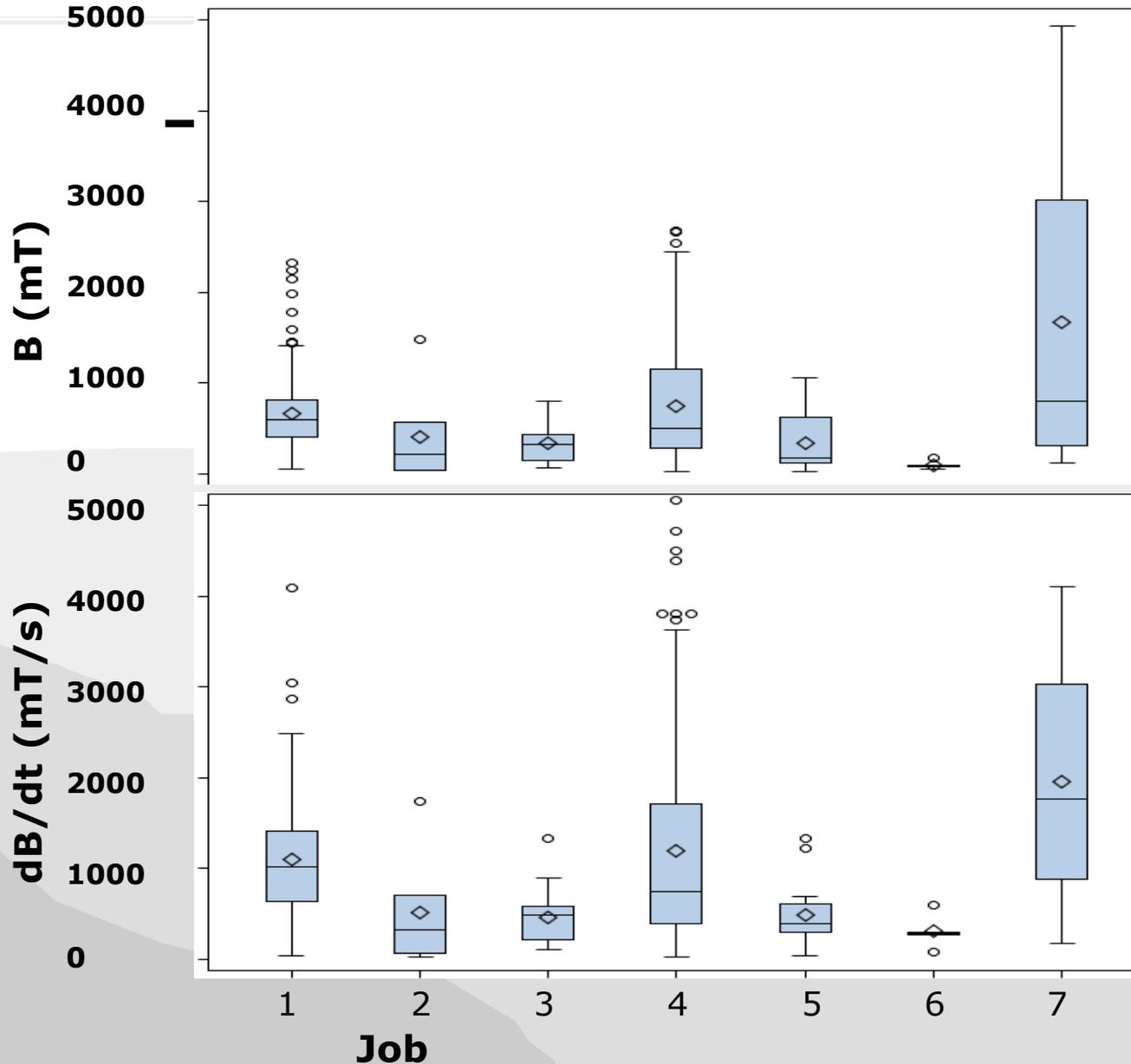
Symptom	Unexposed to SMF N _{obs} = 134		Exposed to SMF N _{obs} = 499		Total N _{obs} = 633			
	N _{obs}	(%)	N _{obs}	(%)	N _{obs}	(%)	N _{subj}	(%)
Vertigo (dizziness)	0	(0.0%)	28	(5.6%)	28	(4.4%)	23	(6.9%)
Nausea	0	(0.0%)	6	(1.2%)	6	(1.0%)	6	(1.8%)
Head ringing	0	(0.0%)	5	(1.0%)	5	(0.8%)	3	(0.9%)
Light flashes	1	(0.8%)	2	(0.4%)	3	(0.5%)	3	(0.9%)
Metallic taste	0	(0.0%)	9	(1.8%)	9	(1.4%)	9	(2.7%)
Headache	14	(10.5%)	57	(11.4%)	71	(11.2%)	62	(18.7%)
Tiredness	12	(9.0%)	63	(12.6%)	75	(11.9%)	58	(17.5%)
Concentration problems	3	(2.2%)	16	(3.2%)	19	(3.0%)	17	(5.1%)
Vomiting	0	(0.0%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)
Instability	0	(0.0%)	7	(1.4%)	7	(1.1%)	6	(1.8%)
Lightheadedness	2	(1.5%)	19	(3.8%)	21	(3.3%)	19	(5.7%)
Blurred vision	1	(0.8%)	2	(0.4%)	3	(0.5%)	3	(0.9%)
Strange taste	0	(0.0%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)
Strange smell	1	(0.8%)	0	(0.0%)	1	(0.2%)	1	(0.3%)

	Unexposed N _{obs} =134		1.5T closed bore ^b N _{obs} =259		3T closed bore ^c N _{obs} =131		7T closed bore ^d N _{obs} =31		<1.5T various types ^e N _{obs} =49		>4.7T small bore ^f N _{obs} =57	
	N _{obs}	(%)	N _{obs}	(%)	N _{obs}	(%)	N _{obs}	(%)	N _{obs}	(%)	N _{obs}	(%)
Specific symptom												
Vertigo ^g	0	(0.0%)	9	(3.5%)	10	(7.6%)	7	(22.6%)	1	(2.0%)	0	(0.0%)
Nausea ^g	0	(0.0%)	3	(1.2%)	2	(1.5%)	1	(3.2%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)
Head ringing ^g	0	(0.0%)	2	(0.8%)	2	(1.5%)	0	(0.0%)	1	(2.0%)	0	(0.0%)
Magnetophosphenes ^g	1	(0.8%)	1	(0.4%)	1	(0.8%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)
Metallic taste ^g	0	(0.0%)	1	(0.4%)	1	(0.8%)	6	(19.4%)	1	(2.0%)	0	(0.0%)
Headache ^h	14	(10.5%)	40	(15.4%)	14	(10.7%)	4	(12.9%)	2	(4.1%)	3	(5.3%)
Tiredness ^h	12	(9.0%)	33	(12.7%)	20	(15.3%)	3	(9.7%)	7	(14.3%)	6	(10.5%)
Concentration problems ^h	3	(2.2%)	6	(2.3%)	5	(3.8%)	1	(3.2%)	1	(2.0%)	3	(5.3%)
Vomiting ^h	0	(0.0%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)
Instability ^h	0	(0.0%)	1	(0.4%)	4	(3.1%)	1	(3.2%)	1	(2.0%)	1	(1.8%)
Lightheadedness ^h	2	(1.5%)	6	(2.3%)	10	(7.6%)	1	(3.2%)	3	(6.1%)	1	(1.8%)
Blurred vision ^h	1	(0.8%)	1	(0.4%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)
Strange smell ^h	1	(0.8%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)
Black spots ⁱ	0	(0.0%)	2	(0.8%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)
Irritated eyes ⁱ	1	(0.8%)	4	(1.5%)	2	(1.5%)	0	(0.0%)	1	(2.0%)	3	(5.3%)
Irritated skin ⁱ	1	(0.8%)	3	(1.2%)	1	(0.8%)	0	(0.0%)	1	(2.0%)	0	(0.0%)
Hot flashes ⁱ	1	(0.8%)	5	(1.9%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)	4	(8.2%)	0	(0.0%)
Earache ⁱ	1	(0.8%)	1	(0.4%)	1	(0.8%)	0	(0.0%)	1	(2.0%)	0	(0.0%)
Palpitation ⁱ	1	(0.8%)	3	(1.2%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)	1	(2.0%)	1	(1.8%)

Instantaneous peak exposure per type of MRI facility



Instantaneous peak exposure per job



Job	N
1 Radiographers or radiography students	207
2 Medical doctors or specialists	7
3 Anaesthesiology staff	24
4 Research staff	149
5 Technical staff and clin. phys.	15
6 Cleaners	5
7 Maintenance technicians from manufacturer	4