YRKESMEDICINSKA KLINIKEN GÖTEBORG

Rapport från YMK nr 32

Statiska magnetfält kring två MTR-utrustningar vid två sjukhus

Mätrapport

SAHLGRENSKA SJUKHUSET
GÖTEBORGS UNIVERSITET

Rapport
från YMK

Yrkesmedicinska kliniken
Sahlgrenska sjukhuset

Rapport från YMK nr 32

Statiska magnetfält kring två MTR-utrustningar vid två sjukhus

Mätrapport

Per Jonsson, yrkeshygieniker

Lars Barregård, avdelningsläkare

Gunnar Thiringer, överläkare

Göteborg, juni 1988

ISBN 91-7876-022-4

ISSN 0282-2199

834.31.60 RA 2419 84-10

Yrkesmedicinska kliniken
Sahlgrenska sjukhuset
S:t Sigfridsgatan 85
412 66 GÖTEBORG

Telefon

031 - 83 06 15
Då vx är stängd 031 - 83 06 17, -18, -19

SAHLGRENSKA SJUKHUSET
Yrkesmedicinska kliniken
S:t Sigfridsgatan 85
412 66 GÖTEBORG
Tfn: 031-83 06 15

1988-05-26

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Medverkande 1
Inledning 1
Metod 2
Mätningsförfarande 2
Instrumentering 2
Mätobjekt 3
Felkällor 4
Resultat 4
Diskussion 4
Avståndsberoende 5
Andra förekommande statiska magnetfält 7
Gränsvärden 7
Personalens exponering 8
S:t Görans Sjukhus 8
Akademiska Sjukhuset 9
Sammanfattning 10
Referenser 11
Tabeller
Figurer
Bilagor

SAHLGRENSKA SJUKHUSET
Yrkesmedicinska kliniken
S:t Sigfridsgatan 85
412 66 GÖTEBORG
Tel: 031-830615

1988-05-26

DET STATISKA MAGNETFÄLTET KRING TVÅ MRT-UTRUSTNINGAR VID S:T GÖRANS SJUKHUS, STOCKHOLM 1986-12-03, OCH UPPSALA AKADEMISKA SJKUKHUS, UPPSALA 1987-01-22.

MEDVERKANDE

Per Jonsson, yrkeshygieniker och Lars Barregård, avdelningsläkare, Yrkesmedicinska kliniken, Sahlgrenska sjukhuset, Göteborg (YMK)
Elisabeth Nilsson, sjuksköterska och Jan Sääf, 1:e forskningsingenjör, S:t Görans sjukhus, Stockholm
Anders Ericsson, 1:e forskningsingenjör, Akademiska sjukhuset, Uppsala (UAS)

INLEDNING

Magnetisk resonanstomografi, MRT, är en diagnostisk metod, som kommer att få ökad utbredning. Vid kliniska MRT-utrustningar utsättes patienten såväl för ett kraftigt statiskt magnetfält och ett tidsvariabelt magnetfält som för korta radiofrekventa pulser. För personal vid MRT-enheter torde exponeringen framför allt gälla det statiska magnetfältet, vilket kontinuerligt finns kring magneten.

Vid mycket starka statiska magnetfält (5-10 Tesla) har klara negativa biologiska effekter påvisats vid kortvarig exponering både på djur och människa (1,2). Biologiska effekter har diskuterats även vid lägre fältstyrkor, men några hälsorisker för människa har inte påvisats vid fältstyrkor kring 1 Tesla eller lägre. Om yrkesmässig exponering för statiska

magnetfält kring 1-20 millitesla (mT) finns större erfarenheter. Magnetfält i denna storleksordning förekommer nämligen inom vissa industrier, bl a vid elektrolys. Vid sådana arbetsplatser, t ex inom kloralkali-industrin, har inte rapporterats någon översjuklighet, som kunnat förklaras av magnetfälten (3,4).

Syftet med denna undersökning var att kartlägga exponeringen för det statiska magnetfältet kring två MRT-utrustningar i Sverige.

METOD

Båda MRT-utrustningarna användes för klinisk undersökningsverksamhet. Under mätningarna pågick ingen patientundersökning. Det för denna mätning intressanta statiska magnetfältet är dock ständigt påslaget och styrkan ändras ej vid användning.

Mätningsförfarande. Mätpunkterna valdes så att personalens uppehållsplatser i rummet representerades. (Fig 1,2 och 3.) De relaterades även till olika delar av kroppen. Vid varje mätpunkt riktades mätproben mot MRT-magneten på ett sådant sätt att maximalt utslag på visarinstrumentet avlästes. För några mätpunkter vändes proben 180^{0} och maximalt utslag med omvänd magnetpolaritet avlästes. Avvikelsen mellan de båda avläsningarnas absolutbelopp visade sig i de allra flesta fall ligga inom visarinstrumentets avläsningsnoggrannhet. I de fall två avläsningar gjordes presenteras mätvärdet som medeltalet för båda avläsningarnas absolutbelopp.

Instrumentering. Mätningen genomfördes med magnetfältsmetern RFL, modell 904 Gaussmeter. En axiell mätprob 904-312 användes. Mätprincipen bygger på Hall-effekten. För specifikationer se bil 1.

Instrumentet kontrollerades mot magnet-normaler vid Statens Provningsanstalt i Borås 1985-08-13. Dessutom gjordes en enkel kontroll före och efter mätningen i YMK:s laboratorium. En lång spole med konstant ström alstrade vid dessa tillfällen ett konstant magnetfält.

Mätobjekt

1. Beteckning: Akutscan 100.
   Plats: Psykiatriska institutionen S:t Görans sjukhus
   Tillverkare: Instrumentarium, Finland.
   Fältstyrka: 0,02 Tesla
   Magnettyp: Resistiv spole.
   Radiofrekvens: 833 kHz.

2. Beteckning: Magnetom
   Plats: MRT-sektionen UAS
   Tillverkare: Siemens.
   Fältstyrka: 0,5 Tesla.
   Magnettyp: Supraledande spole.
   Radiofrekvens: Cirka 21 MHz

Båda utrustningarna består av undersökningsenhet, dator och utvärderingsenhet med bildskärm. Patienten ligger på en bår, som automatiskt förskjutes utefter en bana, varigenom patienten förflyttas in i den tunnel, som utgör centralaxeln för magnetspolen. I denna tunnel samverkar ett starkt statiskt magnetfält och ett dynamiskt magnetiskt gradientfält med ett radiofrekvent elektromagnetiskt fält till att frambringa en ny radiosignal. Signalen är karaktäristisk för varje vävnadstyp. Med antenner upptas signalerna från patienten, varefter en dator rekonstruerar ett bildplan på dataskärm. Bildrekonstruktionen liknar den som sker vid traditionell datortomografi. De starka fälten medför att bildutvärderingen måste göras i en särskild enhet, som placeras på avstånd från undersökningsenheten. Vid S:t Görans sjukhus är detta avstånd litet jämfört med UAS, där ett 25 ggr starkare magnetfält användes.

Felkällor. Instrumenttillverkarens uppgifter om instrumentets noggrannhet är knappa. Felet uppges till 3 % av fullt skalutslag plus felet hos mätproben, vilket ej anges. I denna rapport bedöms instrumentfelet och andra systematiska fel försumbara. Den största felkällan är mätprobens orientering i förhållande till MRT-magneten. Eftersom magnefältet avtar starkt med avståndet och dessutom är en riktad storhet, kan en liten avvikelse från den önskade mätprobsplaceringen ge en stor förändring av det uppmätta värdet. Avståndet från magneten och höjden över golvet har kontrollerats med måttband och byggnadsritningar. Vår erfarenhet från upprepade mätningar i "samma punkt" talar för att små avvikelser i placering av mätproben orsakar en variation av mätvärdena med 10-20 % av medelvärdet.

RESULTAT

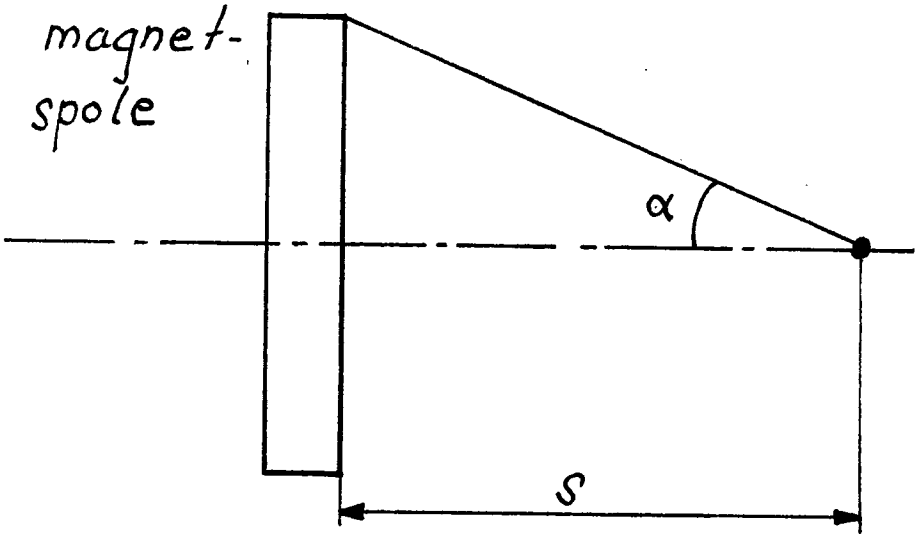
Den magnetiska flödestätheten vid de olika mätpunkterna framgår av tabell 1-5.

DISKUSSION

Den magnetiska flödestätheten, "fältstyrkan", i rummet var som förväntat mycket starkt beroende på avståndet till MRT-magneten. Visserligen bestäms fältstyrkan av magnetens styrka men avståndet är ändå av störst betydelse. Vid S:t Görans sjukhus är magnetens styrka, dvs maximala flödestätheten inne i magneten, 20 mT, medan magneten vid UAS är 25 ggr starkare, 500 mT. En meter från den svagare magnetens centrum finner man fältstyrkan 7,9 mT. Just denna fältstyrka uppnås vid den 25 ggr starkare magneten på avståndet 2,8 m.

Avståndsberoende, teori. I en vanlig handbok i fysik (ref 5) finner man formeln för flödestäthetens (B) lägesberoende vid givna apparatkonstanter (k).

$B = k \sin^3 \alpha$



Denna formel kan enligt bilaga 2 utvecklas till $B = \frac{k_1}{s^3}$ där s är avståndet till magnetcentrum och k_1 är en apparatkonstant.

Flödestätheten B avtar med kubiken på avståndet från magnetcentrum.

Förhållandet mellan flödestätheten i två punkter 1 och 2 blir då

$$\frac{B_1}{B_2} = \left(\frac{s_2}{s_1}\right)^3$$

Apparatkonstanten k_1 har här förkortats bort.

Om magnetfältet B är känt på ett visst avstånd s kan det okända magnetfältet B_x bestämmas på varje avstånd s_x enligt

$$B_x = B \left(\frac{s}{s_x}\right)^3 \qquad (1)$$

Ofta har tillverkaren av MRT-utrustningen angivit flödestätheten B för vissa avstånd från magneten. Då kan B_x beräknas för valfritt avstånd s_x med denna formel.

Ovanstående förenklade formel (I) är en approximation, där vissa villkor skall vara uppfyllda. T ex gäller formeln endast för punkter längs magnetens centralaxel. Likaså skall magneten betraktas som en s k "kort spole", vilket kanske inte är helt sant för MRT-utrustningar. Enligt beräkningar i bil 2 gäller formeln inte heller på kortare avstånd än cirka 4 gånger magnetens radie. Approximationen tenderar här att i någon mån överskatta flödestätheten. För S:t Göran och UAS innebär detta att formeln gäller på avstånd större än cirka 1,5 m respektive 3,5 m från magnetcentrum.

Avståndsberoende, uppmätt. Ovanstående uttryck (I) för fältets avståndsberoende provades med de i tab 1 och 2 uppmätta värderna insatta. Då exponenten "3" i uttrycket (I) sattes obekant varierade exponenten mellan 2,2 - 4,5. En viss avvikelse från det förväntade förhållandet uppstod alltså. Orsaken utreds ej närmare här, men följande förklaringar är möjliga:

1. Avståndsuppgifterna är osäkra.
2. Formeln "gäller" bara på centralaxeln.
3. Magnetiska föremål, som armeringsjärn och apparatskåp av järnplåt, förvränger fältbilden.
4. Formeln gäller ej mycket nära magneten. Där antas fältet vara tämligen homogent.

Vi anser dock att det kubiska avståndsberoendet är en tillräckligt god tumregel för skattning av den magnetiska flödestätheten i en godtycklig punkt i rummet kring MRT-utrustningen.

Andra förekommande statiska magnetfält. Det naturliga jordmagnetiska fältet har en flödestäthet om 0,05 mT och har som bekant en riktning längs jordytan från söder till norr. Vid S:t Göran uppmättes i bäckenhöjd det dubbla värdet, 0,1, vid patientbordets huvudända och vid manöverbordet. Avstånden från magnetens centrum var 3,5 resp 2,7 m. Värdena ligger nära mätinstrumentets detektionsgräns för känsligaste området. Vid UAS uppmättes 0,1 mT i mörkrummet 13 m från magneten.

Vid landets kloralkalifabriker är fältstyrkor kring 10 mT vanliga. (Ref 4). Vid S:t Göran uppmättes i bäckenhöjd cirka 7,9 mT, då man står bredvid patienten på ett avstånd av 1 m från magnetcentrum. Vid UAS uppmättes i bäckenhöjd 6,5 mT i gången bakom MRT-buren på avståndet 3 m från magnetcentrum.

Kring en NMR-apparat för laboratoriebruk uppmättes i bäckenhöjd 47 mT vid byte av analysprovrör. (Ref 7). Vid S:t Göran förekommer inte denna fältstyrka, eftersom den maximala flödestätheten i centrum av MRT-magneten endast är 20 mT. Vid UAS uppmättes i bäckenhöjd 126 mT bredvid patienten på avståndet 1,5 m från magnetcentrum.

Gränsvärden. För närvarande finns inga gränsvärden för statiska magnetfält i Sverige. Ett stort antal undersökningar har dock gjorts och den brittiska strålskyddsbyrån "The National Radiological Protection Board" har med stöd av dessa framlagt vissa riktvärden (6). Här tillåts en långvarig (prolonged) exponering om 20 mT för hela kroppen och 200 mT för hand och arm. För kortare perioder än 15 minuter kan 200 mT resp 2000 mT tillåtas. Flera sådana kortare perioder per dag kan tillåtas, om de avbryts av exponeringsfria perioder, som varar cirka en timme.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), som är den amerikanska motsvarigheten till Svensk Yrkeshygienisk Förening, föreslår f n följande riktlinjer för ett nivågränsvärde, dvs daglig tidsvägd exponering: 60 mT för helkroppsexponering och 600 mT för extremiteter. Som takvärde anger ACGIH 2 000 mT.

PERSONALENS EXPONERING

S:t Görans sjukhus. Samma operatör undersöker tisdag-fredag 4-5 pat/dag med tidsåtgång cirka 1 h/pat. På måndagar undersökes 1-2 pat av annan person cirka 1,5 h/pat.

Operatören sitter vid panelen (mätpunkt 2) cirka 30 min/pat. Hon uppehåller sig vid pats huvudända (mätpunkt 3) 7-8 min/pat vid undersökningens början och avslutning, dessutom 2-3 min vid fotändan (mätpunkt 7) för samtal efter halva undersökningen.

Fyra olika läkare granskar bilder under cirka 10 min/pat. Medicinsk tekniker finns i varierande omfattning vid magnetkameran, kanske 1 tim/vecka i genomsnitt.

Narkospersonal (2 st) står vid fotändan under hela undersökningen i samband med en särskild studie på barn cirka 1 gång/månad.

Operatören exponeras för ett magnetfält om 0,1 mT (vid panelen) under 2-3 h/dag plus cirka 30 min/dag i ett fält om 0,4 mT (vid huvudändan vid undersökningen början och slut) och cirka 10 min för 8 mT (intill magneten några min/pat). Exponeringen bedömes som låggradig.

Uppsala Akademiska sjukhus. Vid operatörsbordet (mätpunkt 4) arbetar operatören ca 6 h/dag och fältet uppgår till 0,2 mT. Bildgranskningen vid röntgenskåpet (mätpunkt 3) beräknas omfatta ca 15 min/dag och kommer att öka i framtiden. Fältet är här ca 0,2 mT. I datorrummet vistas personal 30 min/dag och fältet uppmättes maximalt till 0,8 mT (mätpunkt 4). I gången bakom MRT-buren uppehåller sig personal sporadiskt under städning och utsätts då för ca 7 mT. Maximalt uppmättes 20 mT utanför buren. För kortare perioder kan 200 mT tillåtas enligt de brittiska riktlinjerna.

I våtlabbet resp läkemedelsrummet (mätpunkt 9 resp 2), där man vistas ca 5 min/dag, uppmättes 0,7 och 1,2 mT.

Man undersöker mellan 4 och 10 patienter/dag, i genomsnitt 5. Vid varje undersökning står operatören ca 10 min hos patienten inne i buren nära magneten vid patientens huvud. Om samma person medverkade vid alla undersökningar skulle detta innebära att man exponerades för 100-150 mT under en knapp timme/dag (mätpunkt B2). Det brittiska riktvärdet om 20 mT för hela kroppen överskrids, om de exponeringsfria perioderna är kortare än en timma. Riktlinjerna från ACGIH om 60 mT tidsvägt värde överskrids dock ej. Påfyllning av gas sker ovanpå MRT-magneten 1 gång/vecka och tar 10 min. Vid fötterna är den magnetiska flödestätheten då 20 mT (mätpunkt B4).

Bakom MRT-magneten uppmättes fältet till 144 mT (mätpunkt B3). Här befinner man sig en gång per månad cirka 1 tim/gång. Brittiska riktvärdet för exponering mer än 15 min överskrides.

SAMMANFATTNING

Statiska magnetfältet har uppmätts kring två MRT-utrustningar. Magnetfältet är starkt avståndsberoende. Uppmätta värden överensstämmer med teoretiska beräkningar. På S:t Görans sjukhus uppmättes nära magneten en fältstyrka om max 8 mT. Motsvarande värden vid UAS var cirka 130 mT. Vid operatörernas bord är magnetfätet försumbart. Vid UAS vistas operatören nära magneteten upp till 1 h/dag. Det är ej visat att detta medför hälsorisker, men riktlinjerna från Storbritannien för statiska magnetfält kan överskridas. Om operatören vid UAS flyttar sig 2 m tillbaka från magneten reduceras magnetfältet till en tiondel.

SAHLGRENSKA SJUKHUSET
Yrkesmedicinska kliniken

Per Jonsson
yrkeshygieniker

Lars Barregård
avd läkare

EB

1 Magnetisk resonanstomografi. SPRI-Rapport 206. Stockholm 1986

2 Saunders RD, Smith H. Safety aspects of NMR clinical imaging. Br Med Bull 1984;40:148-154

3 Marsh JL, Armstrong TJ, Jacobson. Health effects of occupational exposure to steady magnetic fields. Am Ind Hyg Assoc J 1982;43:387-394

4 Barregård L, Järvholm B, Ungethüm E. Cancer among workers exposed to strong static magnetic fields. Lancet 1985;2:892

5 Ingelstam, Rönngren, Sjöberg. TEFYMA. Handbok för grundläggande teknisk fysik. Fysik och matematik. Sjöbergs Förlag, Stockholm/Bromma, 1977

6 Advice on acceptable limits of exposure to nuclear magnetic resonance clinical imaging. Radiography 1984;50:220

7 Jonsson P, Barregård L. Mätning av det statiska magnetfältet kring en NMR-spektrometer vid AB Hässle, Mölndal, 1985-08-30. Rapport från YMK, 1985-11-27

8 ACGIH. Notice of intent to establish threshold limit values. Static magnetic fields. Stencil 1987

Tabell 1. Mätpunkter relaterade till arbetet under en klinisk MRT-undersökning vid S:t Görans Sjukhus

Mätpunkt enl figur 1	Avstånd från magnet-centrum (cm)	Höjd över golv (cm)	Motsvarar vid arbete	Magnetisk flödes-täthet (mT)
1. Bårens huvudända	346	80	Bäckenhöjd stående	0,11
"		160	Huvudhöjd, stående	0,2
2. Operatörsbordet	271	50	Bäckenhöjd, sittande	0,1
"	271	80	-----	0,1
"	271	120	Huvudhöjd, sittande	0,09
"	271	160	-----	0,06
3. Huvudstöd hos pat	271	80	Bäckenhöjd, stående	0,4
"		160	Huvudhöjd, stående	0,39
4. "	271	80	Bäckenhöjd, stående	0,38
"		160	Huvudhöjd, stående	0,32
5. "	267	88	Händerna	0,29
6. 5-Gausslinjen *) mitt på bären	214	88	Händerna	0,51
7. Magneten hos pat	99	80	Bäckenhöjd, stående	7,5
"		160	Huvudhöjd, stående	1,1
8. "	99	80	Bäckenhöjd, stående	8
"		160	Huvudhöjd, stående	1,6
9. "	99	80	Bäckenhöjd, stående	8,3
"		160	Huvudhöjd, stående	1,4
10. "	99	80	Bäckenhöjd, stående	7,7
"		160	Huvudhöjd, stående	1,4

*) = 5-Gauss = 0,5 millitesla

Tabell 2. Övriga mätpunkter kring MRT-utrustningen vid S:t Görans Sjukhus

Mätpunkt enl figur 1	Avstånd från magnet-centrum (cm)	Höjd över golv (cm)	Magnetisk flödestäthet (mT)
11. Rummets bortre hörn	415	80	0,12
	415	160	0,23
12. "	278	80	0,21
	278	160	0,1
13. Framför manöverbordet vid 5-Gausslinjen *)	168	88	0,53
	168		
14. I centrum av magneten	0	-	20

*) 5 Gauss = 0,5 millitesla

Tabell 3. Mätpunkter utanför MRT-buren vid Akademiska sjukhuset

Mätpunkt enligt figur 2	Avstånd från magnet-centrum (m)	Höjd över golv (cm)	Motsvarar vid arbete	Magnetisk flödes-täthet (mT)
1. Mörkrum	13,00	80	Bäckenhöjd	0,11
2. Datorrum 359	11,93	80	Bäckenhöjd	0,21
3. Granskningsskåp	11,19	55	Bäckenhöjd	0,18
4. Operatörsbordet	10,58	55	Bäckenhöjd	0,21
"	10,58	--	Huvudhöjd	0,2
5. Datorrum 359	9,11	80	Bäckenhöjd	0,32
6. Fönstret till MRT	7,05	80	Bäckenhöjd	1,1
7. Datorrum 360, terminal	6,84	55	Bäckenhöjd	0,75
8. Arbetsbänk vid MRT-dörr	6,79	80	Bäckenhöjd	0,93
9. Våtlab-rum 364	6,55	80	Bäckenhöjd	0,65
10. Dörren till MRT	5,90	80	Bäckenhöjd	1,2
11. Datorrum 360	5,80	80	Bäckenhöjd	0,54
12. Läkemedelsrum 367	5,16	55	Bäckenhöjd	1,2
13. Gången bakom MRT	3,04	80	Bäckenhöjd	6,5
14. Utanför buren, nära MRT	2,47	80	Bäckenhöjd	15
Max utanför buren	2,47	150	Ej relevant	20

Tabell 4. Mätpunkter relaterade till arbetet under en klinisk undersökning inne i MRT-buren vid Akademiska sjukhuset

Mätpunkt enligt figur 2	Avstånd från magnet-centrum (m)	Höjd över golv (cm)	Motsvarar vid arbete	Magnetisk flödes-täthet (mT)
B1. Fönstret till MRT	6,65	80	Bäckenhöjd	1,5
B2. Magneten hos pat	1,53	80	Bäckenhöjd	126
"	1,53	Saknas	Huvudhöjd	120
B3. 10 cm bakom MRT	1,46	80	Bäckenhöjd	144
B4. Påfyllning av N_2 och He_2	Saknas	Ovanpå magnet	Fötterna	20,3
B5. Inuti magneten max avläsning	0	Saknas	Ej relevant	395

Tabell 5. Mätresultat på våningen över MRT-buren vid Akademiska sjukhuset

Mätpunkt enligt figur 3	Höjd över golv (cm)	Motsvarar vid arbete	Magnetisk flödes-täthet (mT)
Ö1. Soffa i sammanträdesutrymme	Saknas	.....	0,18
Ö2. Arbetsmodul 2	55	Bäckenhöjd	0,27
Ö3. Arbetsmodul 3	55	Bäckenhöjd	0,27
Ö4. Skrivbord	55	Bäckenhöjd	1,2

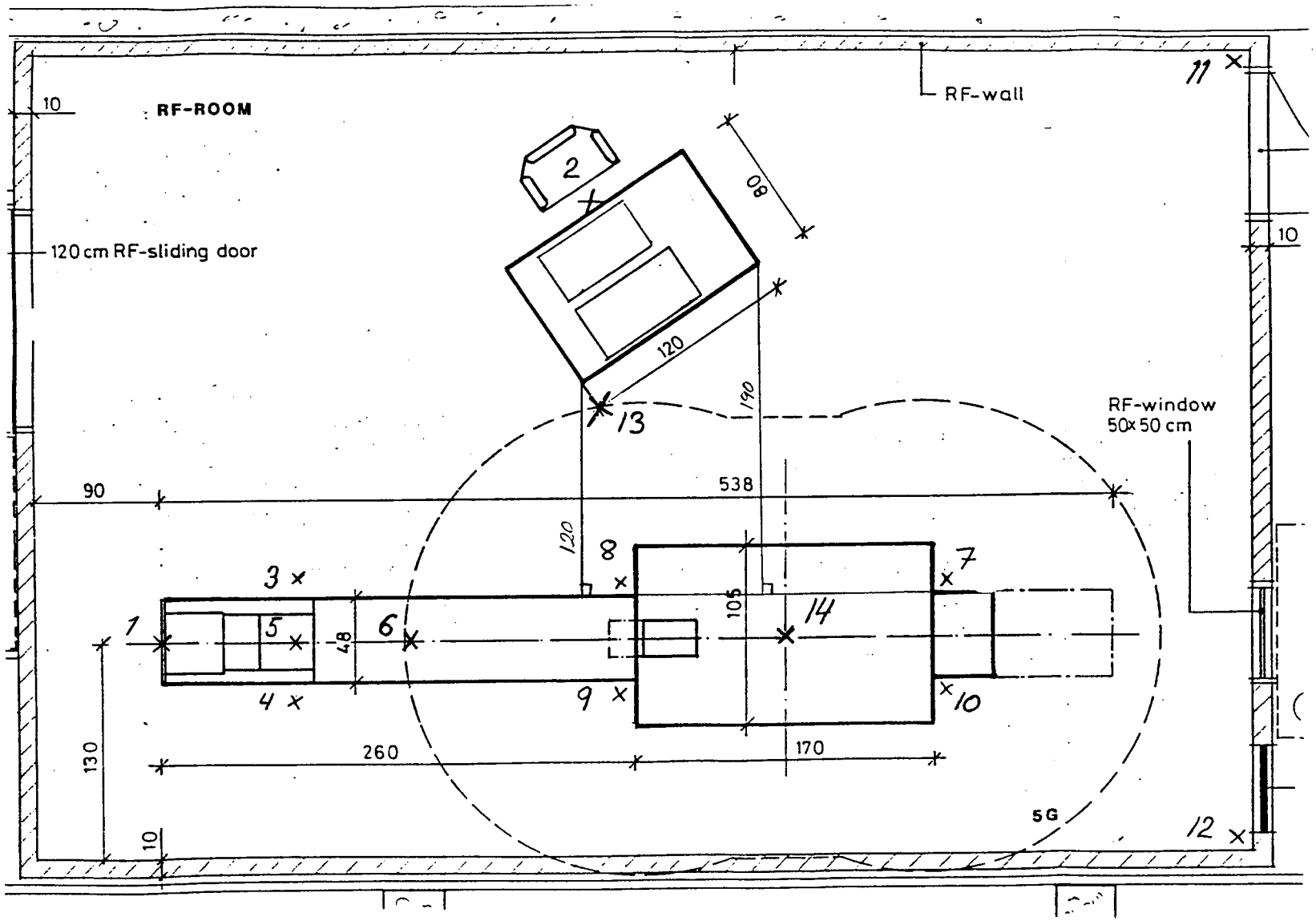


Fig 1. Mätpunkter kring MRT-utrustningen vid S:t Görans sjukhus skala 1:35

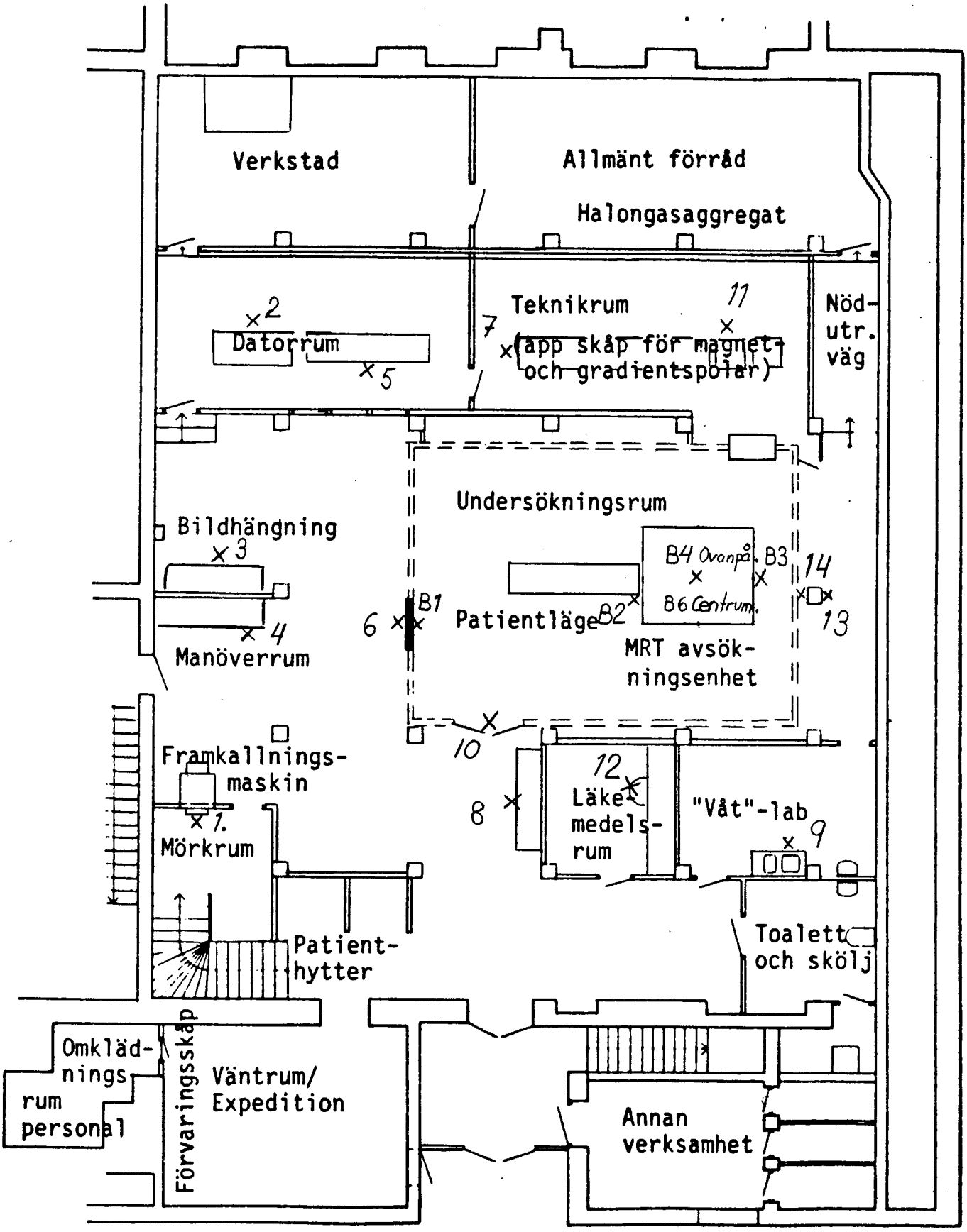


Fig 2. Mätpunkter kring MRT-utrustning vid Uppsala Akademiska sjukhus skala 1:125

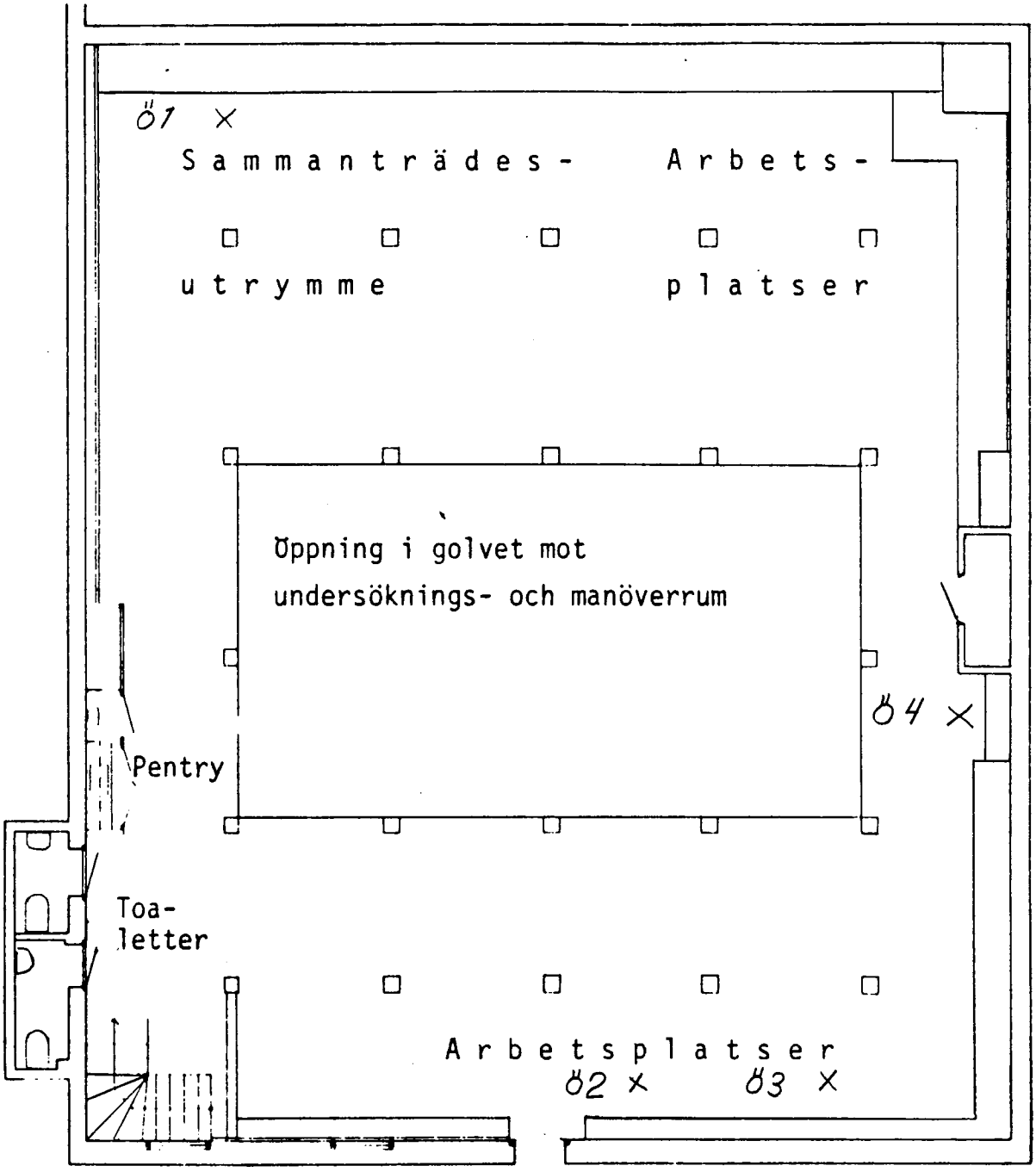


Fig 3. Mätpunkter på våningen över MRT-buren vid Akademiska sjukhuset
Skala 1:125.

Chapter II

SPECIFICATIONS

Full-scale Ranges

Model 904 Gaussmeter: 0 to 30, 100, 300, 1K, 3K, 10K, and 30K gauss.

Model 904T Teslameter: 0 to 0.003, 0.001, 0.03, 0.1, 0.3, 1.0, and 3.0 Tesla.

Accuracy

For permanent-magnet, dc, and ac fields from 10 to 400 Hz: ±(3% of range plus error of probe).

For ac fields from 401 to 1000 Hz: ±(5% of range plus error of probe).

Downscale Linearity

± 1% of range.

Operating Temperature Range

12 to 32°C.

Calibration Method

Built-in electronic circuit calibrated against a 0.2% accurate magnetic reference standard.

Analog Output

± 1 volt full-scale for any range.

Range Selection

Pushbuttons

Operating Power

115/230 Vac, 48-63 Hz, approx. 3.5 watts

Size

8.25" wide, 9" deep, 2.75" high (209 × 228 × 70 mm).

Weight

3.8 lbs. (1.7 kg).

THEORY OF MEASUREMENT

THE HALL EFFECT

When electrons move in a conductor perpendicular to a magnetic field, they are deflected toward one side of the conductor (left or right depending on the direction of the magnetic field) in a direction normal to the direction of both the initial electron flow and the magnetic field. The force deflecting the electrons is directly proportional to the electron velocity (current) and the magnetic field intensity. This deflection process continues until sufficient charge has accumulated at the sides of the conductor to establish a transverse electric field which opposes further deflection of charge carriers. The transverse potential difference thus created is called the Hall voltage and the phenomenon causing it is known as the Hall effect.

The magnitude of this potential in volts is given by

$$E = \frac{RIH}{t},$$

where E is the Hall voltage, H is the magnetic flux density in Oersteds, t is the thickness of the sample in centimeters, and R is the Hall coefficient in volt-cm/ampere gauss.

Under the conditions shown in Figure 2, terminal B will be negative with respect to terminal A for metals and semiconductors in which the current is carried by electrons. Reversing the field reverses the output polarity. As shown by the equation above, the width of the strip is not a factor of the output as long as it is large compared to the thickness. The strip should be twice as long as it is wide or the output drops off. For thin strips the output is unaffected by the frequency of the field in the audio range. The Hall voltage is maximum when the plane of the element is perpendicular to the magnetic field.

Practical materials for Hall elements are films and slabs of specially refined semiconductors. The sensitivity, temperature stability and linearity to fields can be varied through wide ranges by selection of materials. One characteristic can usually be improved at the expense of another.

The output voltage from a gaussmeter probe is proportional to the excitation current, and if this current is held constant then the Hall voltage will be solely proportional to the incident magnetic flux, although the precise Hall voltage for constant flux may vary slightly from one probe to the next. Probes supplied for use with the Model 904 are standardized at the factory, for use with this instrument, by marking them with a number which compensates for this variation. Then, the instrument is calibrated by varing the magnitude of the constant-current excitation until the meter reads the number stamped on the probe.

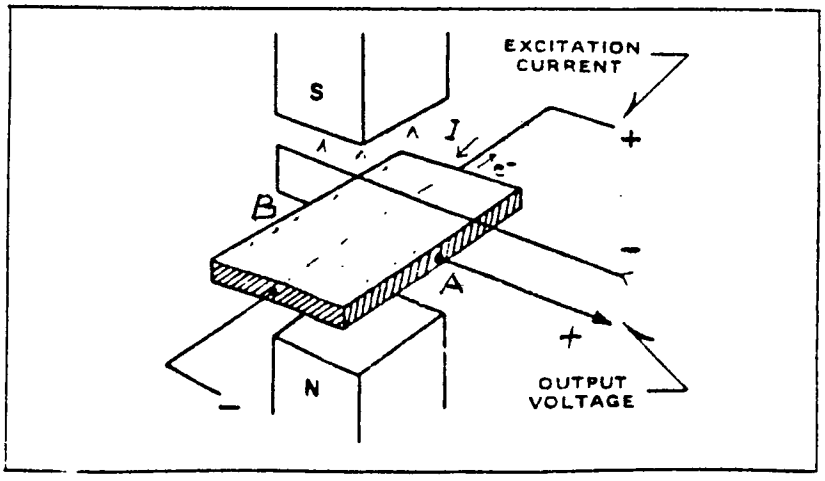


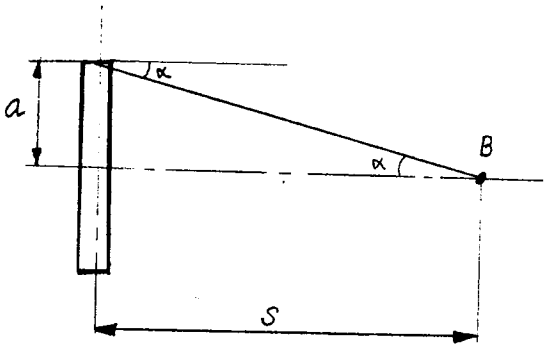
Figure 2. The Hall effect

Härledning av magnetfältets avståndsberoende.

Ur ref 7 fås flödestätheten B för en kort spole som

$$B = \frac{\mu \cdot I \cdot N}{2a} \cdot \sin^3\alpha = k \cdot \sin^3\alpha \qquad (1)$$

där k är en apparatberoende konstant.



Men Pythagoras sats ger

$$\sin\alpha = \frac{a}{\sqrt{s^2+a^2}} = \frac{a}{\sqrt{s^2\left(1+\left(\frac{a}{s}\right)^2\right)}} = \frac{a}{s} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{a}{s}\right)^2}}$$

Sätt $\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{a}{s}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1+x^2}} = (1+x^2)^{-\frac{1}{2}} = f(x)$

Då kan vi skriva enl (1)

$$B = k\left(\frac{a}{s}\right)^3 \cdot f^3(x) \qquad (2)$$

Mc Laurin utveckling av $f(x)$ ger

$$f(x) = (1+x^2)^{-\frac{1}{2}}$$

$$f'(x) = -\frac{1}{2}(1+x^2)^{-\frac{3}{2}} \cdot \underbrace{2x}_{\text{inre derivata}} \quad ; \quad f'(0) = 0$$

$$f''(x) = \frac{3}{2}(1+x^2)^{-\frac{5}{2}} \cdot 2x^2 - (1+x^2)^{-\frac{3}{2}} \; ; \; f''(0) = -1$$

$$f'''(x) = \cdots \cdot x + \frac{3}{2}(1+x^2)^{-\frac{5}{2}} \cdot 2x \; ; \; f'''(0) = 0$$

$$f^{IV}(x) = \cdots \cdot x + 3(1+x^2)^{-\frac{5}{2}} \; ; \; f^{IV}(0) = 3$$

Om vi nöjer oss med tre termer kan vi tack vare Mc Laurin skriva

$$\sin\alpha = \frac{a}{s} \cdot f(x) = \frac{a}{s}\left[1 - \frac{1}{2}x^2 + \frac{3}{24}x^4 - \ldots\right]$$

Men $x = \frac{a}{s}$ så

$$\sin\alpha = \frac{a}{s}\left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{a}{s}\right)^2 + \frac{1}{8}\left(\frac{a}{s}\right)^4 - \ldots\right] \qquad (3)$$

Vi ser att termerna innom hakparantesen snabbt blir försumbara då avståndet s blir större än magnetspolens radie a

Med hjälp av (3) kan nu (1) skrivas om

$$B = k \sin^3\alpha = k\left(\frac{a}{s}\right)^3 \cdot \text{felterm} \qquad (4)$$

Det exakta uttrycket lyder enl (2)

$$B = k\sin^3\alpha = k\left(\frac{a}{s}\right)^3 \underbrace{\left[\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{a}{s}\right)^2}}\right]^3}_{A} = k\left(\frac{a}{s}\right)^3 \cdot A$$

Vi ser att A, som alltid är mindre än 1, motsvarar feltermen i (4)

Låt oss acceptera att $0{,}9 \leq A < 1$ dvs ett fel < 10 %. Vilket avstånd s krävs då för att detta skall uppfyllas?

$$A = \frac{1}{\left[1+\left(\frac{a}{s}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}} \geq 0{,}9 \longleftrightarrow \frac{1}{0{,}9} \geq \left[1+\left(\frac{a}{s}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}$$

$$\longleftrightarrow 0{,}9^{-\frac{2}{3}} \geq 1+\left(\frac{a}{s}\right)^2 \longleftrightarrow 0{,}9^{-\frac{2}{3}} - 1 \geq \left(\frac{a}{s}\right)^2$$

$$\longleftrightarrow \sqrt{0{,}9^{-\frac{2}{3}} - 1} \geq \frac{a}{s} \longleftrightarrow s \geq 3{,}71 \cdot a$$

Alltså ger feltermen i (4) < 10 % fel om avståndet är ca 4 ggr magnetens radie

Då kan vi med kännedom om felet approximera (4) till

$$B = k\left(\frac{a}{s}\right)^3 .$$

Men a är ju en apparat-konstant så vi byter till en ny konstant k_1 och får den slutliga approximationen för magnetfältets flödestäthet B på ett visst avstånd s från magnetcentrum:

$$B = \frac{k_1}{s^3}$$

Enl ovanstående resonemang ser vi att denna approximation överskattar flödestätheten B på det givna avståndet s.

Advice on acceptable limits of exposure to nuclear magnetic resonance clinical imaging

given by the National Radiological Protection Board in compliance with the Direction of the Health Ministers, 1977, in relation to radiological protection standards.

The Board recommends that the following conditions be fulfilled during the operation of nuclear magnetic resonance clinical imaging equipment in the UK.

1 Exposure conditions

Exposures should be kept within the following limits.

Static magnetic fields. For those exposed to the imaging process, the static magnetic field should not exceed 2·5 tesla to the whole or a substantial portion of the body.

Staff operating equipment should not be exposed for prolonged periods to more than 0·02 tesla to the whole body or 0·2 tesla to the arms or hands. For short periods totalling less than 15 minutes, these limits may be increased to 0·2 tesla for the whole body and 2 tesla to the arms and hands. A number of such short exposures in any day is permissible, providing reasonable intervals of about 1 hour occur between **exposures.**

Time varying magnetic fields (excluding radiofrequency fields). For periods of magnetic flux density change exceeding 10 ms, exposures should be restricted to rms (root mean square) rates of change of less than 20 tesla s^{-1} for all persons. For periods of change less than 10 ms the relationship $(dB/dt)^2t < 4$ should be observed where (dB/dt) is the rms value of the rate of change of magnetic flux density in any part of the body in tesla s^{-1} and t is the duration of the change of the magnetic field in seconds. For sinusoidally varying magnetic fields or other continuously varying periodic fields the duration of the change can be considered to be the half period of the waveform.

Radiofrequency fields. Exposure should be such as to avoid any significant rise in the temperature of the sensitive tissues of the body. Acceptable exposures should not result in a rise in body temperature of more than 1°C as shown by skin and rectal temperature or more than 1°C in any mass of tissue not exceeding 1 gram in the body. This may be ensured by limiting the mean specific absorption rate in the whole body to 0·4 W kg^{-1} and the specific absorption rate in any mass of tissue not exceeding 1 gram to 4 W kg^{-1}. These limits apply to volunteers, patients and staff exposures. The Board has made more general proposals for the limitation of exposures to radiofrequency and microwave radiations[1] in the form of a consultative document.

2 Supervision of exposed persons

Patients should be exposed only with the approval of a registered medical practitioner who should be satisfied either that the exposure is likely to contribute to the treatment of the patient or that it is part of a research project which has been approved by a local research ethical committee and **in which the patients consent to take part** after being fully informed.

Volunteers participating in experimental trials of NMR imaging techniques should be medically assessed and pronounced suitable candidates before exposure. There is **no reason automatically to exclude** those volunteers with a history of epilepsy or cardiac disease but this should be judged at the time of examination. Volunteers should be freely consenting and fully informed. The guidance in paragraph 3·2·3 of the WHO Technical Report 611[2] regarding exposure to ionizing radiation is equally applicable to NMR exposures. Volunteers who are exposed frequently should be checked at regular intervals for evidence of abnormal changes in electrocardiogram recordings.

Although there is no evidence to suggest that the embryo is sensitive to magnetic and radiofrequency fields at the intensities encountered in NMR imaging, it might be prudent to exclude pregnant women during the first three months of pregnancy. There is no need to exclude women who will subsequently undergo abortion.

Persons fitted with cardiac pacemakers should not be exposed unless corrective procedures are available and they have been made aware of the potential hazard before being exposed.

The exposure of individuals with large metallic implants, such as hip prostheses, should be stopped immediately if discomfort is experienced around the site of the implant. Intra-cranial metallic clips, particularly those used to treat aneurysms, may present a hazard if the clips are made of magnetic materials. Patients fitted with such clips should be excluded.

Appropriate resuscitation equipment should be available during imaging and a registered medical practitioner trained in the techniques of resuscitation should be available at short notice, although there is no need for the **practitioner** to be present during the exposure.

Other precautions. Notices should be posted where appropriate to warn passers-by of the presence of magnetic and radiofrequency fields and of the possibility that these may affect the functioning of cardiac pacemakers and other electronic equipment. Loose metallic objects should not be permitted in the vicinity of strong magnetic fields.

The Board acknowledges the help of an advisory group[3] in formulating these recommendations.

NRPB January 1984

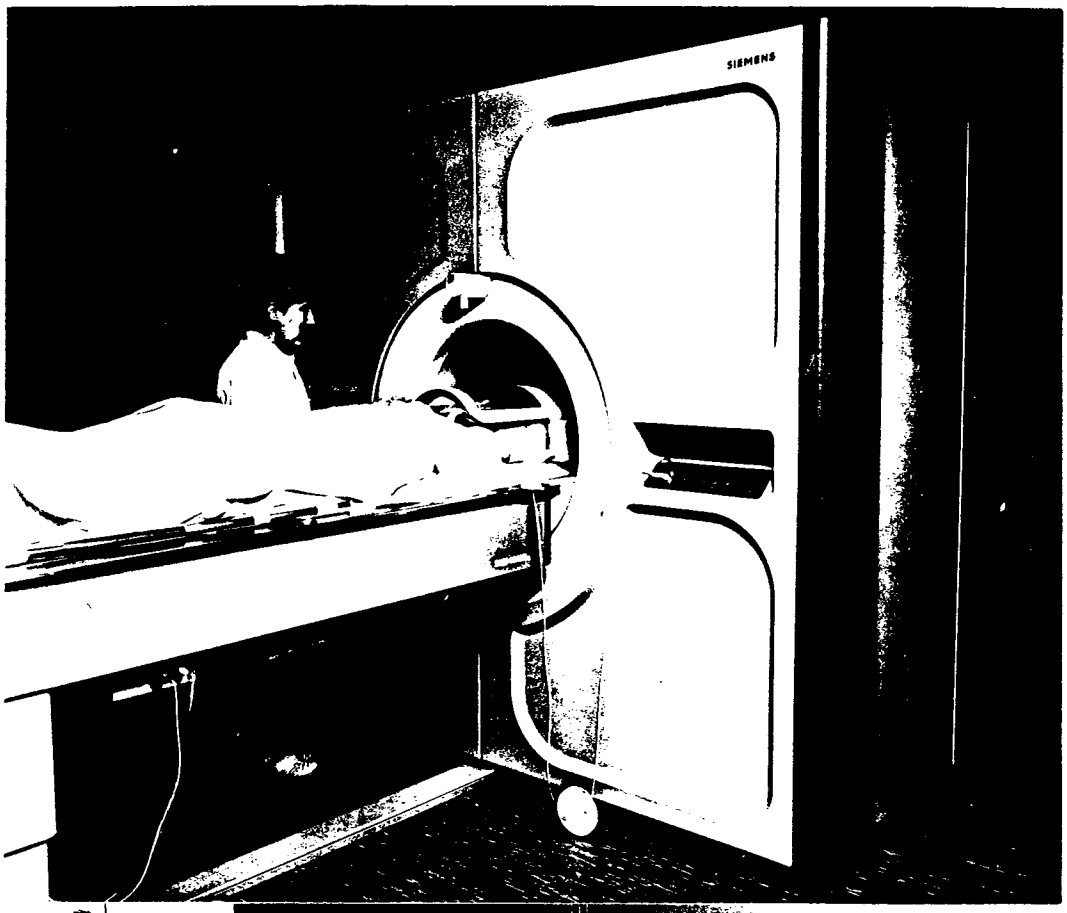
References

1 Proposals for the health protection of workers and members of the public against the dangers of extra low frequency, radiofrequency and microwave radiations: A consultative document. Chilton, National Radiological Protection Board (1982).

2 Use of ionizing radiation and radionuclides on human beings for medical research, training and non-medical purposes. Report of a WHO Expert Committee, Technical Report Series 611. Geneva, World Health Organization (1977).

3 NRPB *ad hoc* Advisory Group on Nuclear Magnetic Resonance Clinical Imaging. Revised guidance on acceptable limits of exposure during nuclear magnetic resonance clinical imaging. *Br. J. Radiol.*, **56**, 974 (1983).

Available from HMSO 25p



MRT-utrustningen vid UAS.

Övre bilden: Undersökningsenheten
Undre bilden: Utvärderingsenheten. (MRT-buren i bakgrunden).

MRT-utrustningen vid S:t Görans sjukhus. Utvärderingsenheten skymtas i nedre vänstra hörnet. Författaren Per Jonsson mäter fältet med RFL 904 GAUSSMETER.