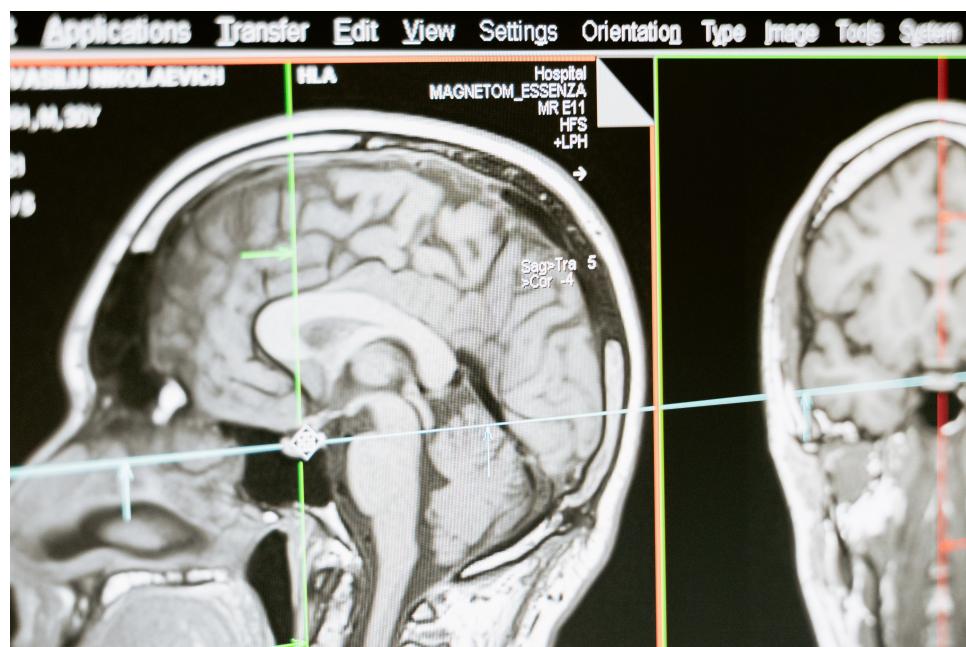


Magnetisk resonanstomografi

Björn Sundin

Fysik 3 - NTI Kronhus

9 april 2021



1 Bakgrund

Magnetisk resonanstomografi, förkortat MRT eller MRI (Magnetic Resonance Imaging) är en teknik som används inom sjukvården för att ge detaljrika bilder av vävnad och organ hos människor och djur på ett ofarligt och icke-påträgande sätt (Nobel Media AB, 2003). MRI-scannern som används i sjukvården består av en cylinder med ett skjutbart bord i som patienten ligger på, se figur 1.

Till skillnad från tidigare tekniker för diagnostisk avbildning såsom röntgen, används ingen joniserande strålning i MRI-undersökningar. Istället används ett mycket starkt magnetfält och radiovåg-pulsar. Tekniken bygger på konceptet av kärnmagnetisk resonans/NMR (Nuclear Magnetic Resonance), vars teori hade sina rötter i upptäckten av protonens spinnegenskaper under 1920-talet (Brown m. fl., 2014).



Figur 1. En patient som genomgår en MRI-undersökning. Foto av MART PRODUCTION (2021) från Pexels.

Benämningen NMR används främst för det fysikaliska fenomenet och inte längre i sammanhang av diagnostiska undersökningar av individer (Pohost m. fl., 1986). ”Magnetisk resonans” är mindre specifikt än ”kärnmagnetisk resonans” eftersom det även finns elektronspinnresonans som involverar elektronen och inte atomkärnan. Ordet ”nuclear” eller prefivet ”kärn-” förknippas med farliga saker av allmänheten, så man undviker ofta att använda den

mer specifika benämningen trots att det bara syftar på att man studerar atomkärnan.

Kärnmagnetisk resonans används även inom kemin för att undersöka strukturen hos olika ämnen (LibreTexts, 2020). Då produceras ett NMR-spektra, istället för en 2D- eller 3D-bild, som avslöjar egenskaper hos ämnet. År 1945 utvecklade Felix Bloch och Edward Mills Purcell, med kunskap om kvantmekaniken som utvecklades under 1930-talet och tidigare, de första mätningarna som använde sig av kärnmagnetisk resonans (Brown m. fl., 2014). De mätte signaler från ett vattenprov och ett paraffinprov, och förklarade de experimentella och teoretiska detaljerna av NMR. För detta delade Bloch och Purcell nobelpriset i fysik år 1952 (Nobel Media AB, 2021).

Två av de främsta utvecklarna av MRI-teknologin var Paul Lauterbur och Peter Mansfield (Nobel Media AB, 2003). Under 1970-talet gjorde Lauterbur och Mansfield flera upptäckter som lade en grund för utvecklingen av MRI. 1973 beskrev Lauterbur hur gradientmagneter kunde användas tillsammans med NMR för att göra flera endimensionella projektioner av ett objekt, som sedan sätts ihop till en två- eller tre-dimensionell bild. I hans experiment kunde han använda tekniken för att skilja på vanligt och tungt vatten, något som ingen annan avbildningsmetod kunde göra. Samma år utnyttjade Mansfield tillsammans med Peter Grannell gradientmagneter med NMR för att undersöka strukturen i fasta ämnen på ett mer exakt sätt. 1977 tog Mansfield fram en ny metod för NMR-avbildning som utnyttjade egenskaperna hos en effekt som kallas spinn-eko i gradientmagneterna. Denna nya metod kunde producera bilder snabbare än tidigare metoder. Lauterbur och Mansfield fick år 2003 nobelpriset i Fysiologi eller Medicin för sina bidrag till MRI-tekniken (Nobel Media AB, 2003).

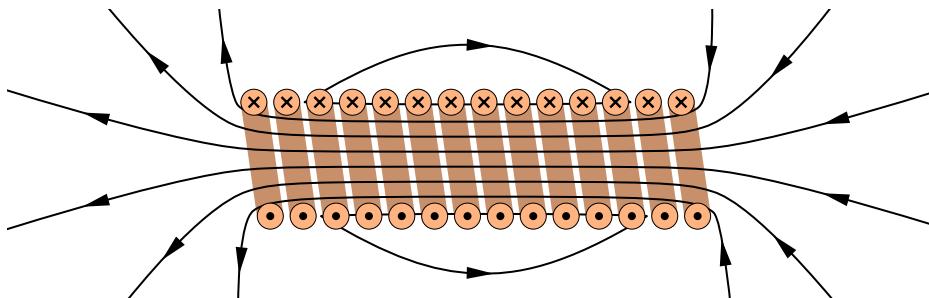
Magnetisk resonanstomografi började tillämpas i sjukvården redan i början av 1980-talet, och år 2002 fanns det mer än 22 000 magnetkameror i hela världen (Nobel Media AB, 2003). Utvecklingen av MRI revolutionerade medicinen, och sedan dess har tekniken fortsatt att utvecklas och förfinas (Lam, 2018). Magnetkameran används för att undersöka alla organ i kroppen. Några exempel på problem som undersöks med magnetkameror är abnormaliteter i hjärnan och ryggraden, tumörer och cystor i olika delar av kroppen, bröstcancer, skador i lederna, och hjärtproblem. En annan användning av MRI kallas fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging), och innebär att man mäter kognitiv aktivitet i hjärnan genom att undersöka blodflödet i olika delar av hjärnan. Det ger viss information om neuronernas aktivitet även om det inte är vad man direkt mäter.

2 Teori

2.1 Utrustning

Till att börja med kan det vara bra att införa ett koordinatsystem för att benämna olika axlar i MRI-systemet. Riktningen som går från patientens fötter till huvud är Z-axeln. X-axeln går från patientens högra till vänstra sida och Y-axeln går upp från marken, rygg till mage. Det här är ett vanligt koordinatsystem som används inom MRI (Pooley, 2005).

Magnetkamerans största beståndsdel är den mycket starka elektromagneten. Elektromagneten består av en solenoidspole som bildar ett magnetiskt fält med flödestätheten B_0 i cylindern där patienten befinner sig under undersökningen. B_0 brukar vara 1.5 T eller 3 T i kliniskt bruk (Currie m. fl., 2013). Figur 2 visar en sådan spole, de raka linjerna motsvarar fältet B_0 som går längs Z-axeln i MRI-systemet. För att uppnå så hög fältstyrka på ett effektivt sätt används en supraleddande metallgering i spolen, som kyls ner till runt 4 K med hjälp av flytande helium.



Figur 2. En solenoidspole som kan liknas med den i magnetkameran.

Närmare centret av magnetkamerans cylinder finns en uppsättning gradientmagnet-spolar . Dessa har syftet att variera magnetfältet linjärt över valfri tredimensionell riktning.

3 Fysik

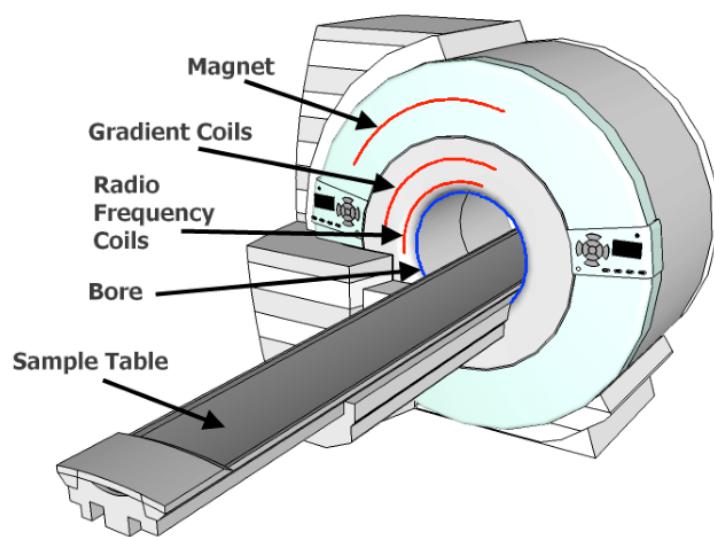
Kärnan hos väteatomer består av en proton, som har spinnkvanttalet $s = \frac{1}{2}$. Spinet gör att partikeln beter sig som en magnet med en nordpol och en sydpol. Det magnetiska spinnkvanttalet bestämmer det specifika spinntillståndet och kan ha värdena $m_s = s + n$ där $n \in \{-2s..0\}$. För

Bara kärnor med ett nollskilt spinn kan användas för kärnmagnetisk resonans

Spinnkvanttalet s bestämmer ett rörelsemängdsmoment som är speciellt för varje typ av partikel. Endast riktningen av spinnet m_s kan ändras hos en partikel, inte magnituden. Hos en elektron är $s = \frac{1}{2}$ och $m_s = \pm \frac{1}{2}$.

Precession-frekvensen för protonerna bestäms av larmor-ekvationen:

$$\omega = 2\pi f = \gamma B_0 \text{ [rad/s]} \quad (1)$$



Figur 3. Diagram av en magnetkamera och placeringen av de olika spolarna.

4 Användningsområden

5 Avslutning

Referenser

- Brown, R. W., Cheng, Y.-C. N., Haacke, E. M., Thompson, M. R. & Venkatesan, R. (2014, 22. april). *Magnetic Resonance Imaging: Physical Principles and Sequence Design, Second Edition*. <https://doi.org/10.1002/9781118633953>
- Currie, S., Hoggard, N., Craven, I. J., Hadjivassiliou, M. & Wilkinson, I. D. (2013). Understanding MRI: basic MR physics for physicians. *Postgraduate Medical Journal*, 89(1050), 209–223. <https://doi.org/10.1136/postgradmedj-2012-131342>
- Lam, P. (2018, 24. juli). *What to know about MRI scans*. <https://www.medicalnewstoday.com/articles/146309>
- LibreTexts. (2020, 15. augusti). *NMR - Interpretation*. <https://chem.libretexts.org/@go/page/1812>
- MART PRODUCTION. (2021, 9. mars). <https://www.pexels.com/se/foto/person-teknologi-rum-halsa-7089390/>
- Nobel Media AB. (2003, 6. oktober). *Pressmeddelande: Nobelpriset i Fysiologi eller Medicin år 2003*. <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2003/7451-pressmeddelande-nobelpriset-i-fysiologi-eller-medicin-ar-2003/>
- Nobel Media AB. (2021). *The Nobel Prize in Physics 1952*. <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1952/summary/>
- Pohost, G. M., Elgavish, G. A. & Evanochko, W. T. (1986). Nuclear magnetic resonance imaging: With or without nuclear? *Journal of the American College of Cardiology*, 7(3), 709–710. [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(86\)80486-7](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(86)80486-7)
- Pooley, R. A. (2005). Fundamental Physics of MR Imaging [PMID: 16009826]. *RadioGraphics*, 25(4), 1087–1099. <https://doi.org/10.1148/rg.254055027>