



AF LEKTOR LARS G. HANSON
MR-AFDELINGEN,
KØBENHAVNS
UNIVERSITETSHOSPITAL
HVIDOVRE OG
BIOMEDICAL ENGINEERING,
DTU ELEKTRO.

MR-SKANNING VED 7 TESLA FELTSTYRKE ETABLERES I DANMARK

Nordens første humane 7T skanner giver væsentligt løft til dansk MR-forskning og -diagnostik

I gennem længere tid har en bred kreds af forskere og klinikere på hospitaler og universiteter [1] forsøgt at rejse de nødvendige midler til at etablere ultrahøjfjelds MR-skanning i Danmark. I juni 2010 udløstes jubel, da "the John and Birthe Meyer Foundation" meget generøst bevilgede 38,6 Mkr til indkøb af en human MR-skanner med en feltstyrke på 7 tesla. Dette svarer til cirka 140 tusind gange jordens magnetfelt hvilket mere end fordobler hospitalernes hidtil kraftigste felter. Bevillingen supplerede offentlig støtte på 27,4 Mkr fra Forsknings- og Innovationsstyrelsens infrastrukturmidler, og dermed er den nødvendige kapital til etablering af en 7T facilitet ved MR-forskningscentret på Hvidovre Hospital tilvejebragt. Ultimo 2011 kan brugere af MR-skanning i Danmark se frem til væsentligt forbedrede undersøgelser på en række områder, og nye typer målinger, som ikke er mulige ved lavere felt. Med fokus på tekniske forhold beskrives her de unikke muligheder og udfordringer, som skanning ved 7T feltstyrke afstedkommer. Der tages udgangspunkt i en kort generel beskrivelse af MR.

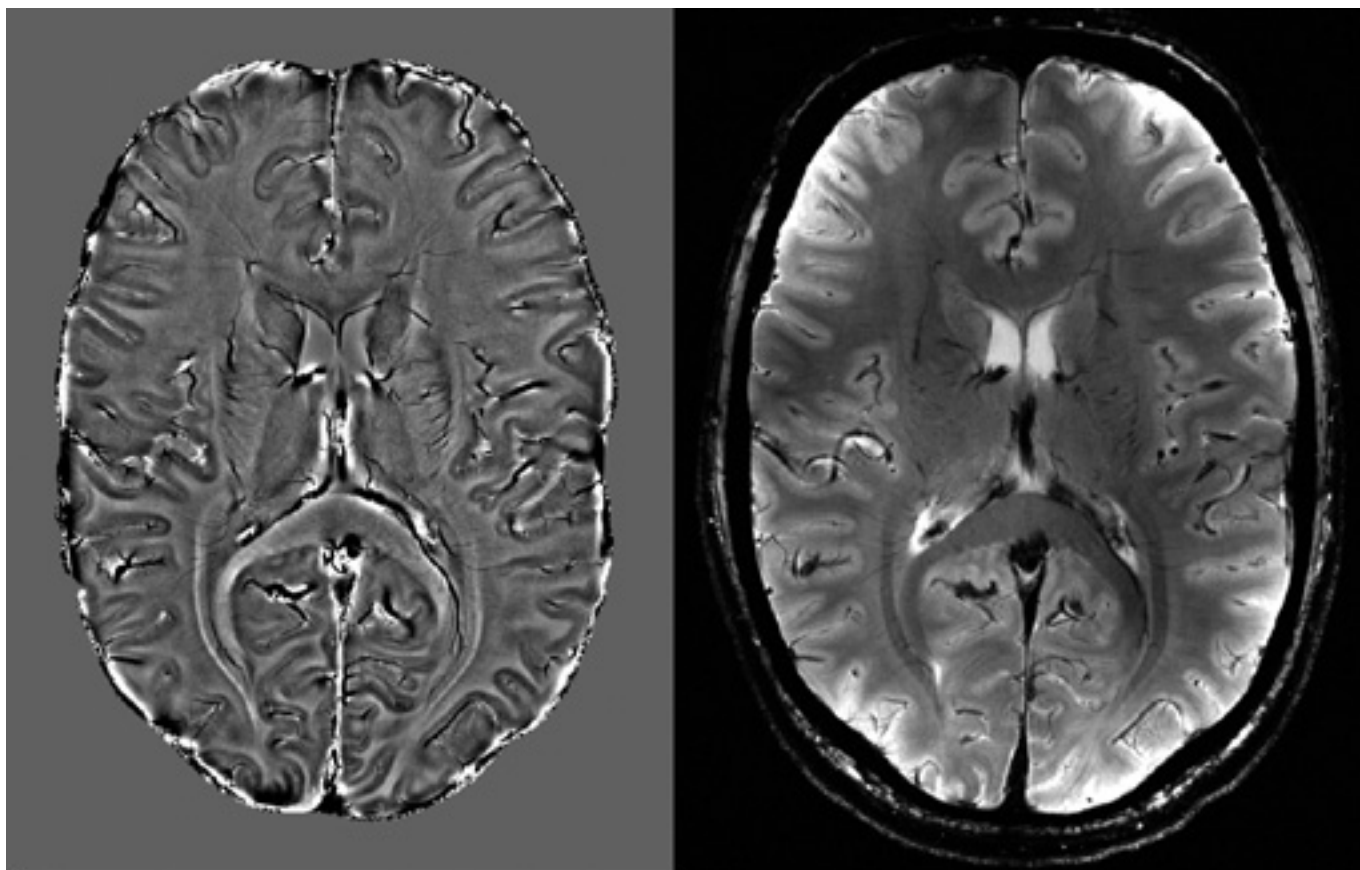
TEKNIKKEN BAG MR SKANNING

Ved MR-undersøgelser udnyttes det at visse atomkerner er svagt magnetiske og i grove træk opfører sig som kompasnåle (magnetiske dipoler). Dette gælder brintkerner (protoner), som i kroppen primært findes i vandmolekyler. Når patienten ved en MR-skanning placeres i et kraftigt magnetfelt, ensrettes kernernes magnetiske momenter delvis, og vævet magnetiseres derved. Grundet vekselvirkninger mellem atomkerner er graden af ensretning dog ganske lille. Kroppens tilsvarende svage magnetisering skal derfor drejes væk fra ligevægt for at kunne detekteres. Dette sker ved brug af radiobølger og udnyttelse af et resonansfæno-

men[2]. Efterfølgende vil magnetiseringen oscillere, ligesom en kompasnål der har fået et skub, hvorved der udsendes svage radiobølger fra kroppen. Da oscillationsfrekvensen afhænger af magnetfeltet, kan dette varieres rumligt så kilde-lokalisering af radiobølgerne - og dermed billeddannelse - kan foretages ved en frekvensanalyse af MR-signalet. Magnetfeltet i MR-skanneren har altså flere komponenter: Det statiske, homogene magnetfelt, B_0 , er i typiske humanskannere på 1-3 T og det moduleres nogle få mT på millisekund tidskala afht. billeddannelse (disse oscillerende gradientfelter er kendt for den kraftige akustiske støj, som de forårsager). Dertil kommer radiobølgefeltet, B_1 , som er tilpasset kernernes oscillationsfrekvens, og dermed magnetfeltet B_0 . Det svinger med en frekvens på 42 MHz/T ved MR-skanning baseret på brint. Kontrasten i typiske MR-billeder afspejler aspekter af vævets konsistens, idet denne bestemmer hvor hurtigt magnetiseringen falder til ro efter påvirkning (relaksationstider). Imidlertid påvirkes signalet af meget andet, hvorfor eksempelvis information om kemiske processer, molekylær bevægelse og hjernens aktivering kan udtrages.

FELTSTYRKENS INDFLYDELSE VED MR-SKANNING

MR-skanning er afhængig af at B_0 -feltet kun varierer få milliontedele (ppm) henover det undersøgte område. Det er teknisk set overordentlig krævende at danne tilstrækkeligt kraftige magnetfelter overhovedet (baseres på superledere kølet til 4K), men homogenitetskravet var afgørende for at 7T-skanning først er blevet mulig indenfor de senere år. Indtil for ganske nylig krævedes endvidere magnetisk afskærmning i form af ca. 400 tons jern idet skærmning med superledende spoler bliver stadig sværere ved højt felt. Der findes nu aktivt skærmede 7T magneter, hvor jern-



Som illustreret til venstre har fasebilleder ved 7T overraskende vist sig at have anden og større kontrast mellem hjernens vævs-typer end traditionelle relaxations-tidsvægtede MR-billeder. Til højre ses et T2*-vægtet billede, som i sig selv er meget anderledes end ved lavere feltstyrke. Billederne er venligt stillet til rådighed af Professor Oliver Speck, Magdeburg, Tyskland.

behovet er mindsket til en brøkdel, så indplacering lettes og pris mindskes.

B_0 -feltets øgning har flere effekter. Dels øges graden af kerne-ensretning og dermed signalet proportionalt med feltet. Magnetiseringen oscillerer ligeledes hurtigere, hvilket giver ekstra øget signal. Imidlertid øges følsomheden for støj genereret af termisk ion-bevægelse i kroppen tilsvarende, så alt i alt øges signal-støj-forholdet (SNR) cirka proportionalt med feltet, hvorved målinger ved 7T principielt kan foretages 5 til 20 gange hurtigere end typiske skanninger ved 3 eller 1.5T. Den reelle SNR eller tidsmæssige gevinst afhænger dog meget af den konkrete undersøgelse, idet feltet påvirker relaxationstiderne. De ændrer sig fordelagtigt for nogle undersøgelser og ufordelagtigt for andre.

Udover den positive effekt af større magnetisering er der indirekte effekter af at kernerne og radiobølgefelterne svinger hurtigere ved større feltstyrke. Ved 7T er frekvensen ca. 300MHz og bølgelængden i luft derfor ca. 1 meter. I vævet er bølgelængden væsentlig mindre, og ved feltstyrker over ca. 4T bliver udfordringerne og mulighederne ved MR-skanning derfor helt anderledes end ved lavere felter, hvor kroppens dimensioner er små i forhold til bølge-

længden. Dels stilles der større krav til RF-teknologi ved høje frekvenser, dels bliver radiobølgefelterne i kroppen ekstremt inhomogene, hvilket afspejles i billeder som uensartet intensitet. Dette har været et stort problem for ultrahøjfelters MR, men indenfor de sidste par år er der sket en væsentlig forbedring idet man med brug af flere radiobølgesendere kan generere homogene felter, og tilmed mere avanceret udvælgelse af kerner. Den ekstreme feltinhomogenitet har også en positiv effekt, idet en anden ny MR-teknologi vinder væsentligt ved højt felt: Detekteres radiobølgerne af flere modtagere, vindes SNR eller hastighed. Gevinsten afhænger af forskelligheden af de detekterede felter, hvilken øges i takt med inhomogeniteten.

NYE MULIGHEDER

Den større magnetisering giver forbedrede undersøgelser generelt, men derudover er der bonus i de tilfælde hvor de undersøgte signalforskelle øges ekstra. Dette gælder eksempelvis funktionelle hjerneskaninger og metaboliske undersøgelser. Førstnævnte anvendes til kortlægning af hjerneaktivitet og er baseret på iltningssafhængig feltinhomogenitet omkring blodkar. Som omtalt

andetsteds i bladet, er der i landet stor ekspertise og stolte traditioner hvad angår sådanne studier. Inhomogeniteten øges væsentligt med feltstyrke, så gevinsten bliver kolossal. Imidlertid er det langtfra trivielt at høste det fulde udbytte idet hjerneaktivitet urelateret til det undersøgte bliver en betydelig "støjkilde" ved traditionelle forsøgsdesign. Udfordringen bliver at drage nytte af den ekstra information fremfor at lade sig genere af den. Det er i denne forbindelse essentielt, at følsomheden for hjerneaktivitet ved 7T er så stor, at man kan lave øjeblikbilleder af tankeaktivitet fremfor som traditionelt at skulle midle flere minutter for at få tilstrækkelig SNR. Dette giver mulighed for at studere dynamiske hjerneprocesser som eksempelvis overraskelse og læring.

Den øgede følsomhed for inhomogenitet på mikroskopisk skala har også vist sig at have den overraskende konsekvens, at MR fase-billeder, som idag primært anvendes ved flow-studier har større og anden kontrast end traditionelle relaxations-tidsvægtede billeder (se figur). Den kliniske relevans af dette fund er potentielt stor, men stadig uafklaret.

Ved metaboliske undersøgelser opstår den ekstra gevinst fordi molekyler bliver nemmere at skelne når feltet

øges, så et detaljeret indblik i kroppens stofskifte opnås. Endvidere øges følsomheden for en række svært målelige kerner så væsentligt, at de bliver klinisk relevante. Dette gælder eksempelvis Natrium af interesse ved iskæmi-, tumor- og leddiagnostik.

Endelig skal man hæfte sig ved den forbedring af rumlig opløsning, som muliggøres af højt felt. Anatomiske billeder optaget ved 7T viser eksempelvis kortikale lag, og aktiveringsstudier viser funktionelle enheder som øjedominans- og orienteringssøjler i synskortex, som tidligere kun har været påvist i dyr. Detaljerigdommen i MR billederne er således enorm, hvilket er lovende for eksempelvis plaques-visualisering ved Alzheimers syndrom og undersøgelse af små strukturer og subtile forandringer.

SIKKERHED

Ophold i et magnetfelt op til minimum 8 tesla menes at være helt uskadeligt. Magnetfelt og feltgradienter påvirker dog balanceorganet i det indre øre, så man mærker svimmelhed ved hurtig bevægelse nær en 7T skanner. Straks bevægelsen ophører forsvinder effek-

ten. En meget stor energimængde er lagret i magnetfeltet, og den frigøres i løbet af få sekunder såfremt magnetens superledningsevne forsvinder (quench). Imidlertid er der taget højde for dette ved design af magneten, og det er således i denne at energien afsættes uden risiko for patienten. Der er alligevel en række særlige sikkerhedsmæssige hensyn forbundet med brug af højt felt. Dels påvirker feltet jern-holdige genstande og udstyr enormt, så der er fare for projektil-effekt og fejlfunktion. Dels øges akustisk støj i takt med at de mekaniske påvirkninger på gradientspolerne øges – høreskader er en reel fare, men undgås med høreværn. Endelig kan de stærkt inhomogene radiobølgefelter give lokal opvarmning (hot spots). Det er en ekstra udfordring at undgå dette når flere interfererende radiobølgesendere anvendes, særligt fordi en smule patientbevægelse kan ændre energifordelingen markant. Indtil disse problemer er løst, anvendes derfor en ekstra stor sikkerhedsmargin hvad angår afsat effekt.

DEN NYE 7T FACILITET

Det afspejles i styregruppen, at en bred

kreds af ansøgere [1] fra hele landet står bag placeringen af den nye skanner på *the Danish Research Centre for Magnetic Resonance*, DRCMR, på Hvidovre Hospital i København. Faciliteten tænkes åben, så gode, egnede, finansierede projekter fra alle egne kan drage nytte. Det er af afgørende betydning, at der foretages metodologisk udvikling for at få det fulde udbytte. Danmarks Tekniske Universitet, DTU, er således stærkt repræsenteret hvad angår både målemetoder, dataanalyse og hardware design. Da 7T teknologien er ny, vil skanneren i sagens natur hovedsageligt blive anvendt til forskningsmæssige formål, herunder til eksperimentel klinisk diagnostik. Først for nylig blev det klart, at 7T teknologien, som hurtigt er modnet markant, har et klart klinisk potentiale ved specielle undersøgelser. Det bliver spændende at se om ultra-højfelts skanning forbliver en niche-teknik.

[1] <http://www.drcmr.dk/7T-donation>

[2] Lars G. Hanson, *Introduktion til tekniken bag MR-skanning*, <http://www.drcmr.dk/Intro.pdf>