

FYS-KJM 4740

MR-teori og medisinsk diagnostikk

Magnettomografi-del Introduksjon

Atle Bjørnerud, Rikshospitalet
atle.bjornerud@fys.uio.no
975 39 499

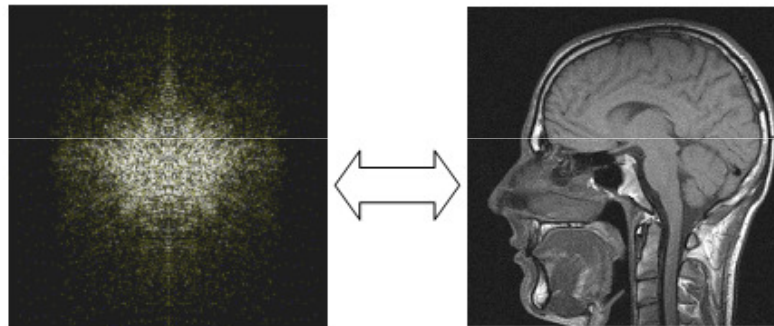
Litteratur og undervisningsmateriale:

- Kompendium:
 - *The Physics of Magnetic Resonance Imaging*
- Tekstbok:
 - *Magnetic Resonance Imaging*
Marinus T. Vlaadingerbroek Jacques A. den Boer - Kap 1-7.

- Lab-øvelser

**The Physics of
Magnetic Resonance Imaging**

FYS-KJM 4740



Atle Bjørnerud
Department of Physics
February 2006

Lastes ned fra: www.uio.no/studier/emner/matnat/fys/FYS-KJM4740/v08/undervisningsmateriale

MR-kompendium

1. The Bloch equation, excitation and relaxation
2. MR Hardware
3. Image Formation
4. Pulse sequences - an introduction
5. MR signal behaviour and image contrast
6. Steady state sequences
7. Accelerated k-space trajectories (EPI and RARE)
8. Image quality, signal, contrast and noise
9. Magnetic susceptibility
10. Spins in motion (flow, diffusion, angio)
11. Contrast agents in MRI
12. Advanced imaging methods - perfusion, DTI, fMRI

Teoridel:

- Målsetning og motivasjon for kurset
- Noen få medisinske uttrykk
- MR-fysikerens oppgaver
- Historikk
- Hardware oversikt
- MRI maskinens muligheter
- Kompendium

Målsetting og motivasjon

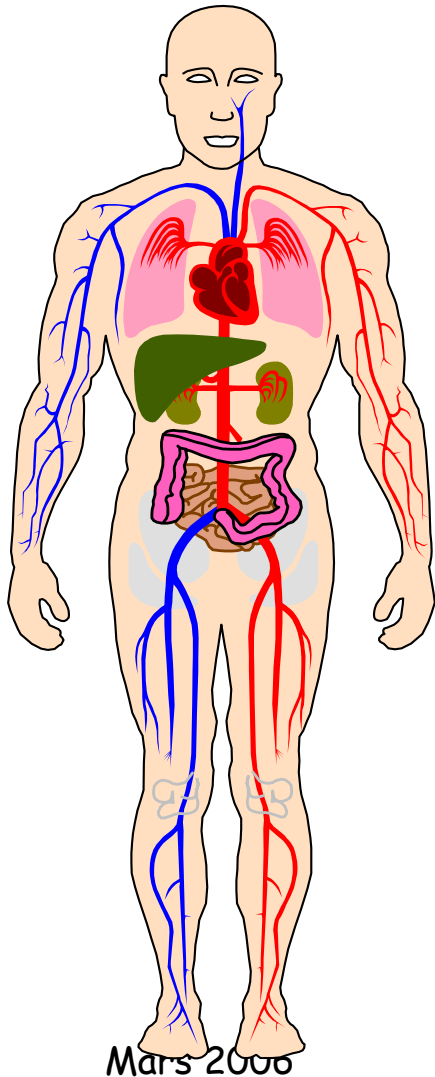
Basert på materiale utarbeidet av Kjell-Inge Gjesdal, PhD, Sunnmøre MR-klinikk

Målsetting og motivasjon

- Skape interesse for både hovedfags studier og doktorgrads studier innen MRI
- Legge grunnlag for flere MR fysikere på norske sykehus (<15 MR-fysikere totalt på norske sykehus i dag)
- Legge grunnlaget for rekruttering til industri
- Legge grunnlaget for rekruttering til forskningsinstitusjoner
- Tilby kurs for profesjonelle helsearbeidere

Noen få medisinske uttrykk

Noen få medisinske uttrykk

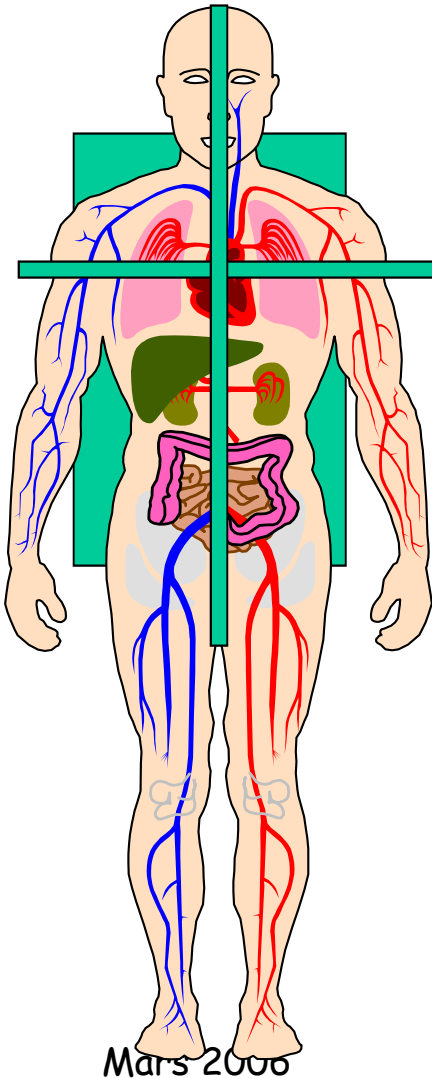


- Nevrologi: Hode og rygg (nervebaner)
- Kardiologi: Hjerte
- Thorax: Brystområdet (hjerte, lunge)
- Ortopedi: Muskler, skjelett, ledd
- Gastrologi: Organer i magen (lever, nyrer, bukspyttkjertel, milt) og tarm
- Nefrologi: Nyrestudier
- Angiografi: Fremstilling av blodårer
- Gynokologi: Kvinnens underliv
- Urologi: Mannens underliv (blære, prostata)

Noen få medisinske uttrykk

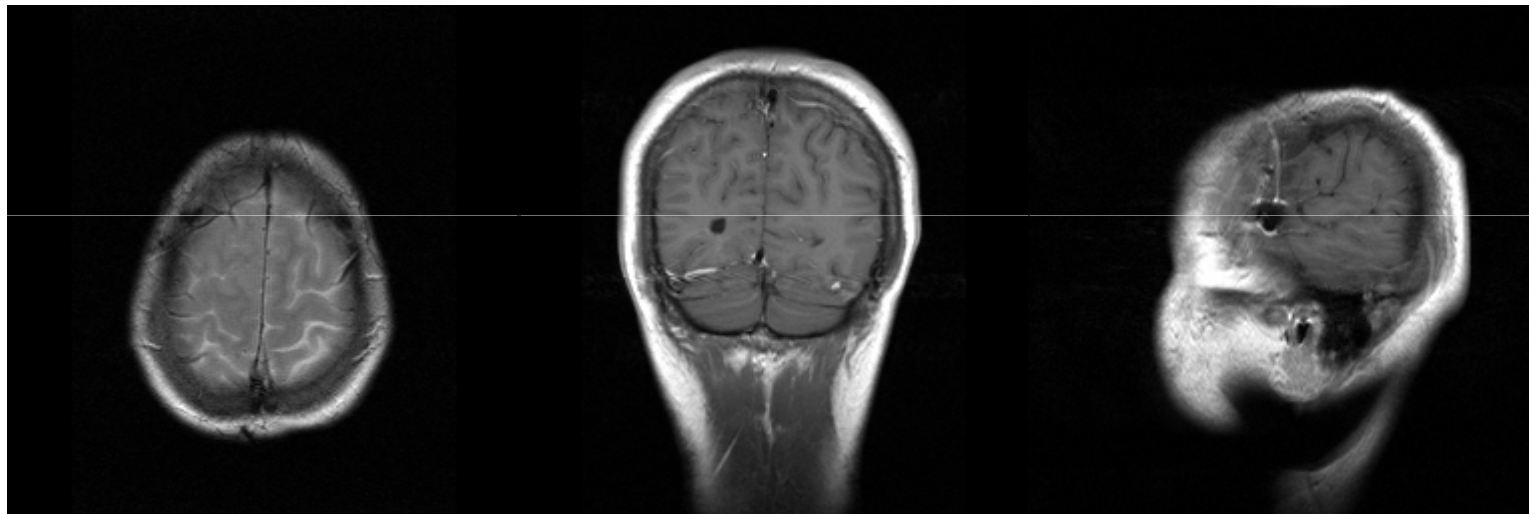
- Radiolog:
 - Lege spesialist i røntgenfaget.
 - Tolker bilde-materialet.
- Radiograf:
 - Utfører avbildningene.
 - 3 års fagutdanning

Noen få medisinske uttrykk



- Axial eller transversal
- Sagital
- Coronalt
- Oblique: Dreid snitt i et plan
- Dobbelt Oblique: Dreid snitt i to plan

Noen få medisinske uttrykk



axialt

coronalt

sagittalt

Noen få medisinske uttrykk



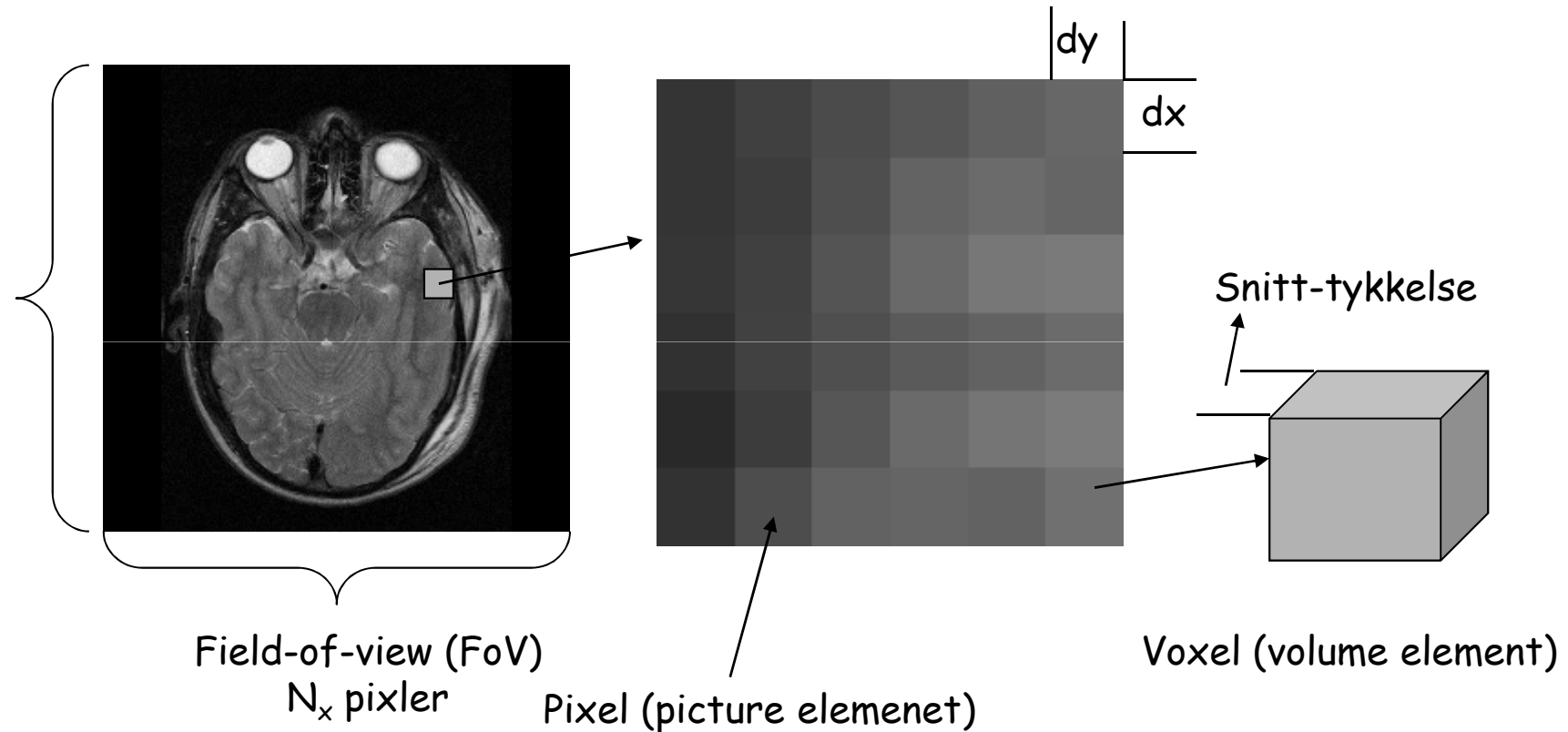
Cervical 7 virvler

Thorakal 12 virvler

Lumbal 5 virvler

Sacralt 5 virvler

Noen få MR- uttrykk



Romlig oppløsning (mm): $dX = \text{FoV}_x / N_x$ $dy = \text{FoV}_y / N_y$

Historikk

Historikk

- 1946: NMR-fenomenet beskrevet av Bloch & Purcell
- 1952: Nobelspris – Bloch & Purcell
- 1950-70: NMR (spektroskopi) utviklet som analytisk verktøy
- 1972: Computertomografi (CT)
- 1973: Første forsøk på bildedannende MR (Lauterbur)
- 1975: Fourier Imaging (Ernst)
- 1977: Ekkoplanar (EPI) opptakmetode (Mansfield)
- 1980: MRI første kommersielle MR-scannere
- 1988: RARE opptaksmetode (Henning)
- 1990: Kontrastforsterket MR Angio (Prince)
- 1990: BOLD-prinsipp – fMRI (Ogawa)
- 1991: Nobelspris - Ernsts
- 2003: Nobelspris - Lauterburg & Mansfield

Historikk



Raymond Damadian

Tumor deteksjon ved hjelp av NMR

"Spin echo nuclear magnetic resonance measurements may be used as a method for discriminating between malignant tumors and normal tissue.

Measurements of spin-lattice (T1) and spin-spin (T2) magnetic relaxation times were made in six normal tissues in the rat (muscle, kidney, stomach intestine, brain and liver) and in two malignant solid tumors, Walkers sarcoma

and Novikoff hepatoma. Relaxation times for the two malignant tumors were distinctly outside the range of values for the normal tissues studied....."

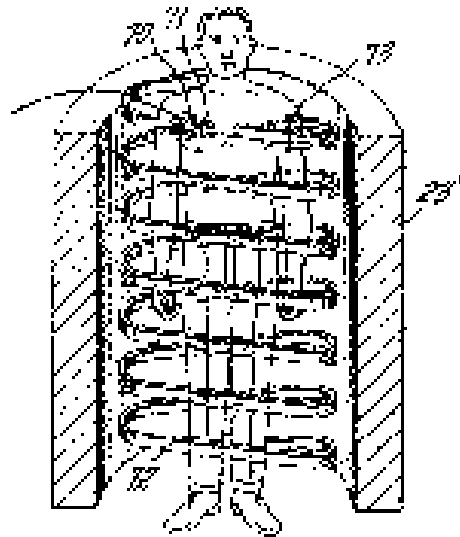
Raymond Damadian
Science 171:1151, 1971

Historikk



Raymond Damadian

Damadian bygger på midten av 70-tallet den første helkropps skanner og tar i 1977 det første MRI bildet av menneske kroppen.



Historikk

Zeugmatografi



Paul Lauterbur

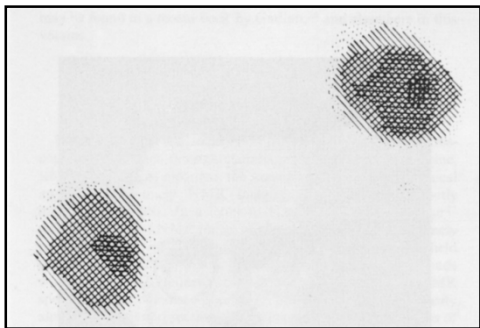
I Lauterburs artikkel foreslås det for første gang å anvende magnetfelt gradienter kombinert med et homogent magnetfelt og radiopulser for å skape et NMR signal med romlig informasjon. Kombinasjonen av radiopulser og gradient felt kalte Lauterbur "Zeugmatografi", fra gresk: "det som blir brukt for å bringe sammen".

Historikk

Zeugmatografi

Image Formation by Induced Local Interactions: Examples Employing Nuclear Magnetic Resonance.

Paul Lauterbur
Nature 242:190, 1973

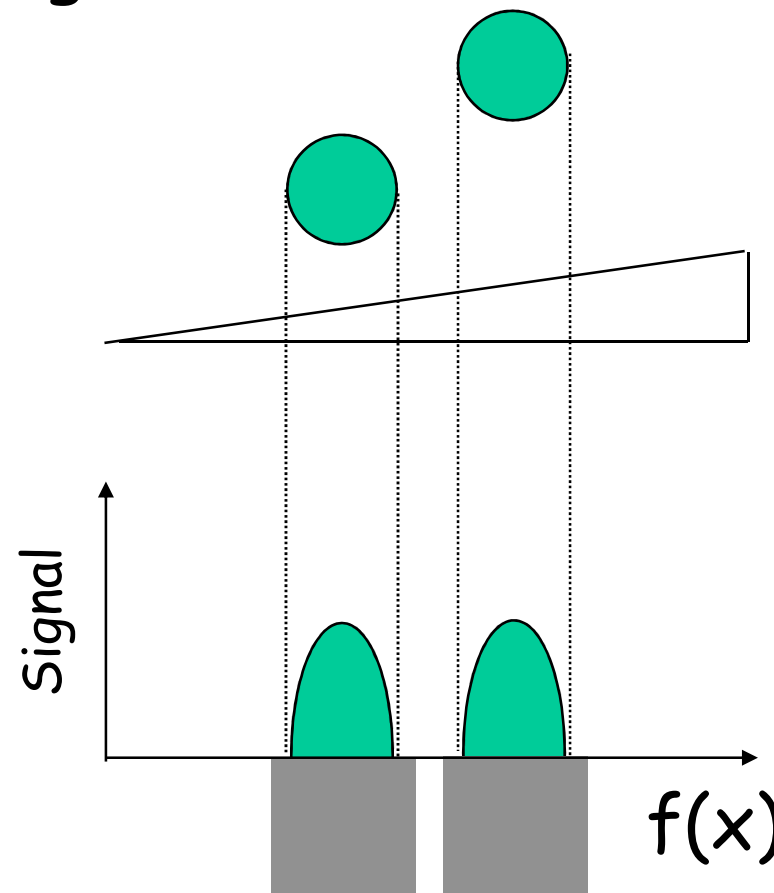


Første MRI bilde

Historikk

Plan måling

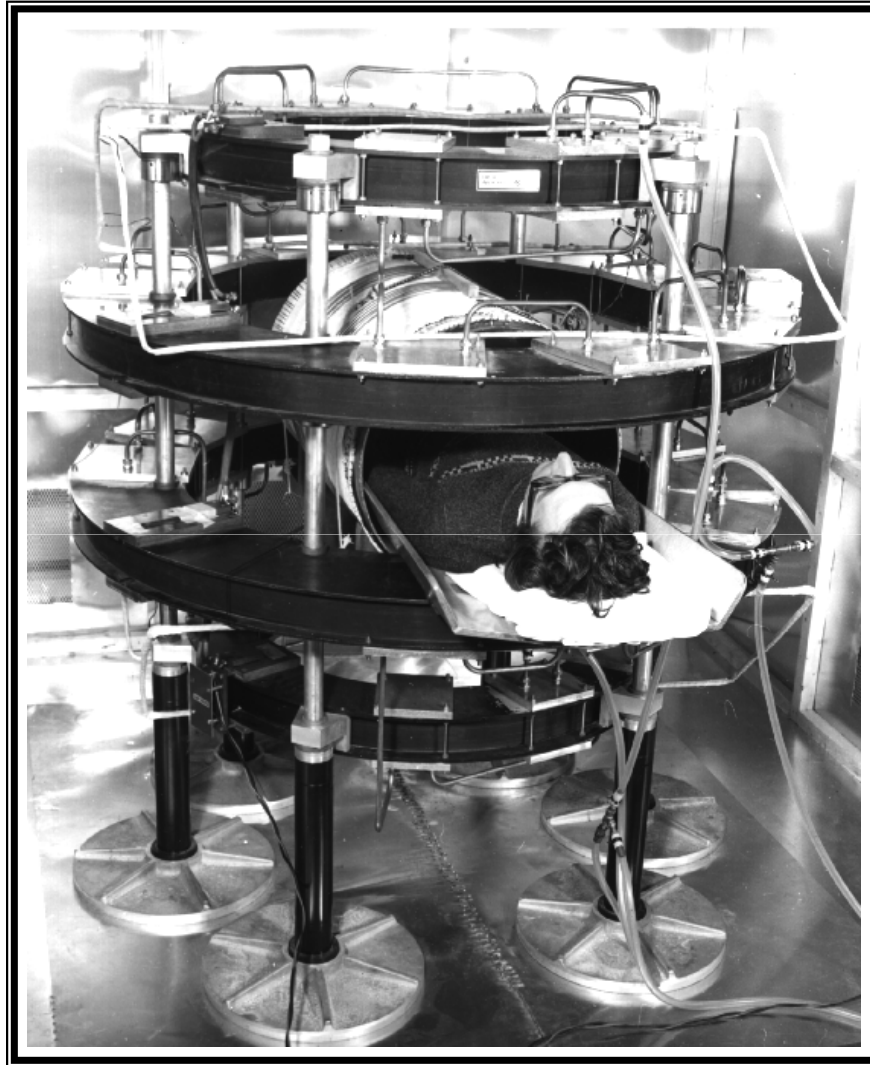
Fourier imaging



Historikk

- 70-tallet brukes til å utvikle stadig mer effektive datainnsamlings og rekonstruksjons metoder
- I 1979 publiserer Jim Hutchison i Aberdeen en metode som gir MR-signalet en kombinasjon av frekvens og fase informasjon. Rådata informasjonen konverteres ved hjelp av Fourier transformasjon til et MRI bildet. Metoden kalles "spin-warp" imaging og blir standard avbildnings teknikk for alle scannere frem til i dag
- I 1980 er den første skanner i daglig klinisk bruk ved universitetshospitalet i Aberdeen

Historikk

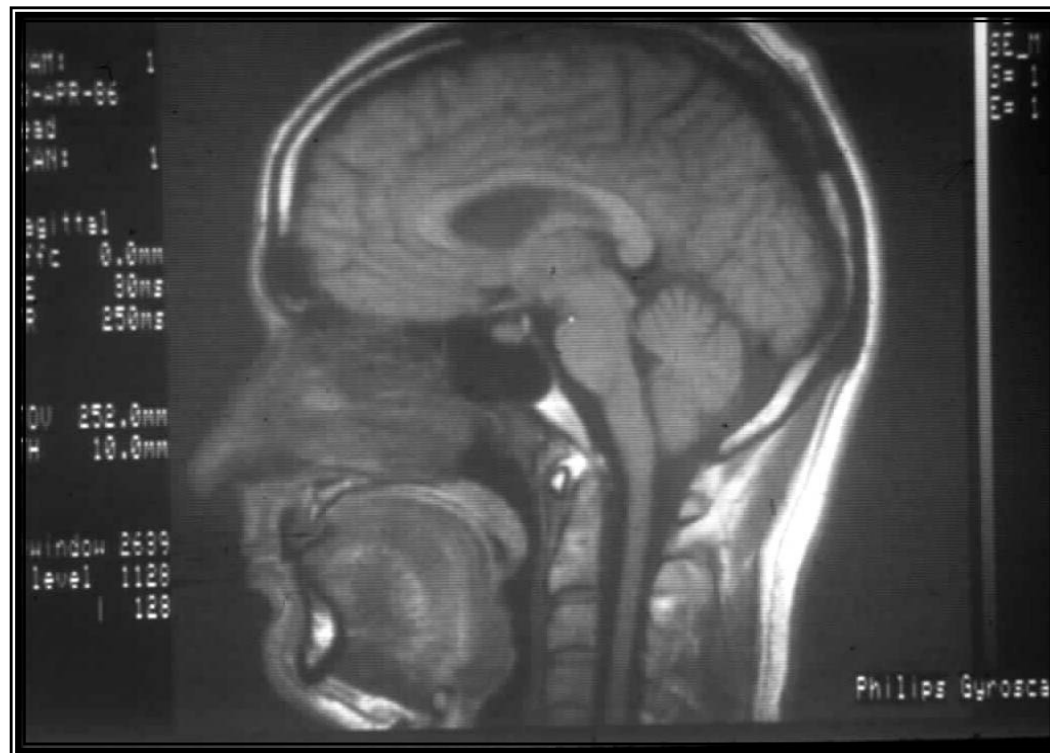


Mars 2006

Mark 1, Aberdeen 1980 -
FYS-KJM 4740

23

Historikk



Stavanger april 1986

Historikk

Stockholm 2004



Paul Lauterbur



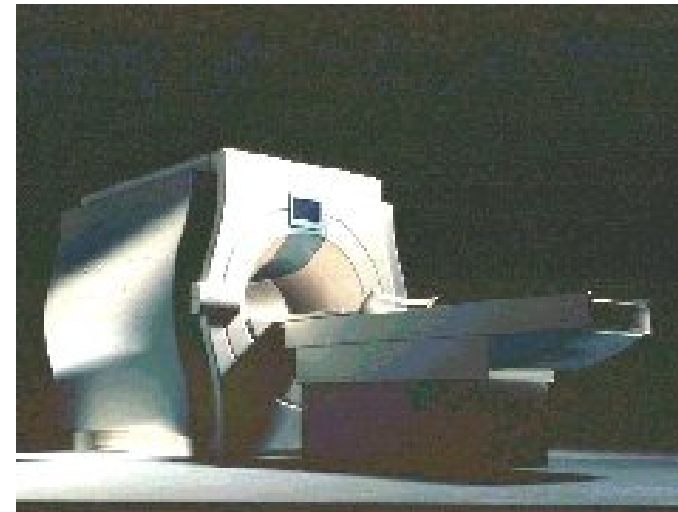
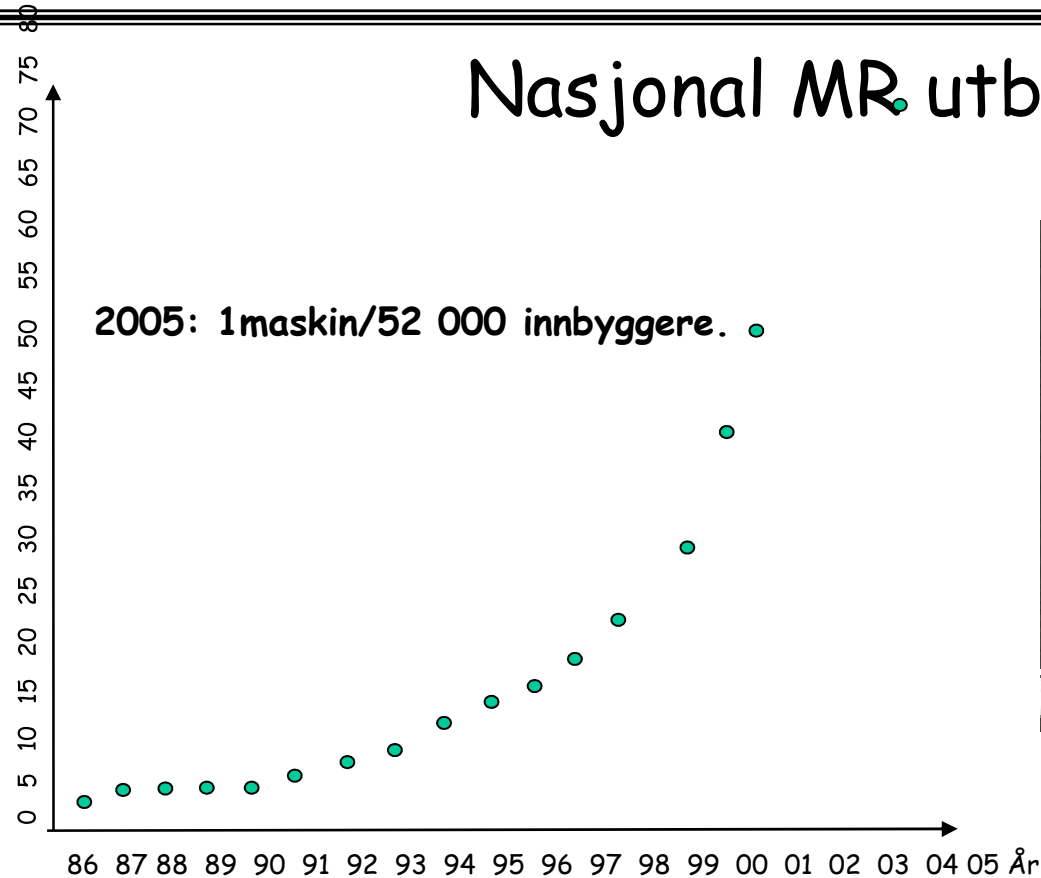
Sir Peter Mansfield

Mars 2006

FYS-KJM 4740

25

Historikk



Nasjonalt:

Offentlig og privat: Primært et nevrologi og ortopeditilbud

Mars 2006

FYS 4710

Kilde: KI Gjesdal, Sunnmøre MR-klinikk

Internasjonal sammenligning

2000-tall (antall innbyggere/MR-enhet):

Norge	111 000
Sverige	99 000
Danmark	167 000
Finland	99 000
Tyskland	72 000
Italia	128 000
Spania	115 000
England	189 000
Frankrike	330 000
Japan	37 000
USA	33 000

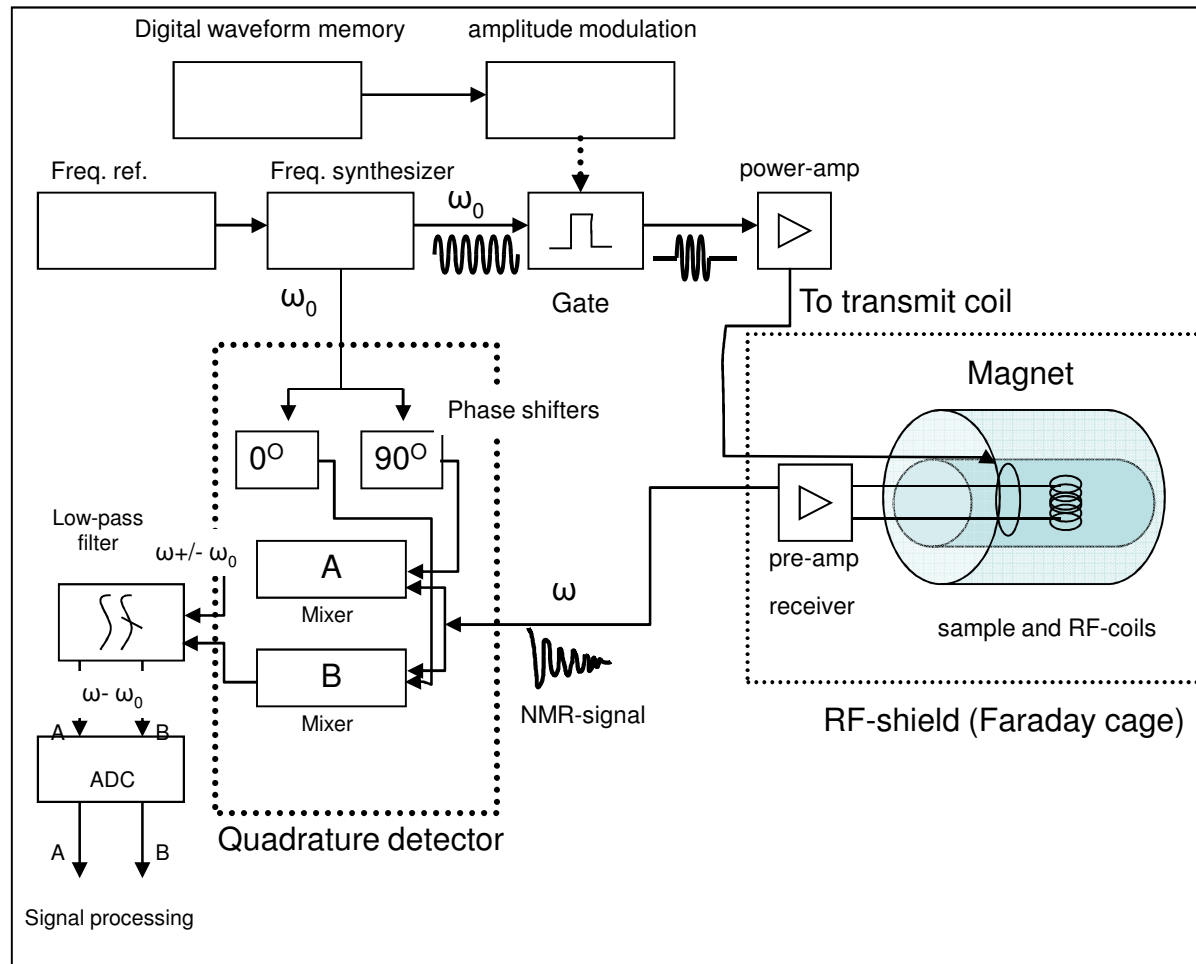
Kilde: KI Gjesdal, Sunnmøre MR-klinikk

Dagens MR



Mars 2006

Dagens MR



MR-fysikerens oppgaver

MR-fysikerens oppgaver

Arbeidsoppgaver:

- Rådgiver ved innkjøp av nytt utstyr og oppgradering av gammelt
- Innsikt/kunnskap i maskinens parameter valgmuligheter
- Optimaliserer undersøkelsesprotokoller
- Oversikt over teknologiutviklingen
- Primærleverandør av protokollforslag i forskning og klinikk
- Drive egenforskning og delta i forsknings team
- Teknisk og fysisk kvalitetskontrollør

MR-fysikerens oppgaver

Arbeidsoppgaver:

- Primær vurderer/underviser når det gjelder sikkerhetsaspekter ved bruk av MR.
- Postprosessering av bildedata
- Teoretisk innsikt og forståelse
- Forklare bilde-artefakter
- Håndtere medisinske bildeformat (DICOM-standard)
- Underviser ved lokale og nasjonale MR-kurs

MR-fysikerens oppgaver

Innkjøp:

- Vurdere innholdet av de ulike leverandørers software pakker
- Vurdere maskinenes hardware-ydelse
- Evaluere firmaet service-avtale og service-kvalitet
- Etablere forsknings-samarbeid med levrاندør

MR-fysikerens oppgaver

Parameter-innsikt:

The screenshot displays a software interface for MRI parameter management. At the top, it shows 'Seq. Dev. : main menu' and 'DEN LILLE HAVFRUEN SD 20-MAY-2000 20:54'. A central list contains 22 parameters, with '81 EX_gen_pars' highlighted. The interface includes a left sidebar with buttons for 'Imaging', 'Spectro', 'SPT scanning', 'Sequence dev.', 'Scan utilities', 'Select exam', and 'To scan plane'. On the right, there are navigation buttons: '< [icon] >', '- +', 'Clear', 'Help', 'Cancel', 'Proceed', and 'Hide'.

Seq. Dev.	main menu	DEN LILLE HAVFRUEN	SD 20-MAY-2000 20:54
69	EX_SE_pars	86	EX_slice_grad_pars
70	EX_S_database_pars	87	EX_t1_pars
71	EX_S_hold_geo_pars	88	EX_t2_pars
72	EX_S_ms_pars	89	EX_tg_pars
73	EX_S_pars	90	EX_trackerball_pars
74	EX_S_research_pars	91	EX_ts_all_pars
75	EX_S_rest_pars	92	EX_turbo_s_pars
76	EX_ang_si_pars	93	EX_voi1_pars
77	EX_decouple_pars	94	EX_voi2_pars
78	EX_del_rec_pars	95	EX_vs_pars
79	EX_echo_pars	96	EX_ws_pars
80	EX_fs_pars	97	GEX_CONV_all_pars
81	EX_gen_pars	98	GMP_pars
82	EX_mixed_pars	99	GN_S_trackerball_pars
83	EX_phase_list_pars	100	GRCE
84	EX_sat_pars	101	GSR_RC_pars
85	EX_si_pars	102	GSR_all_pars

Select : █

MR-fysikerens oppgaver

Sekvens/protokoll innsikt:

Bloch likninger

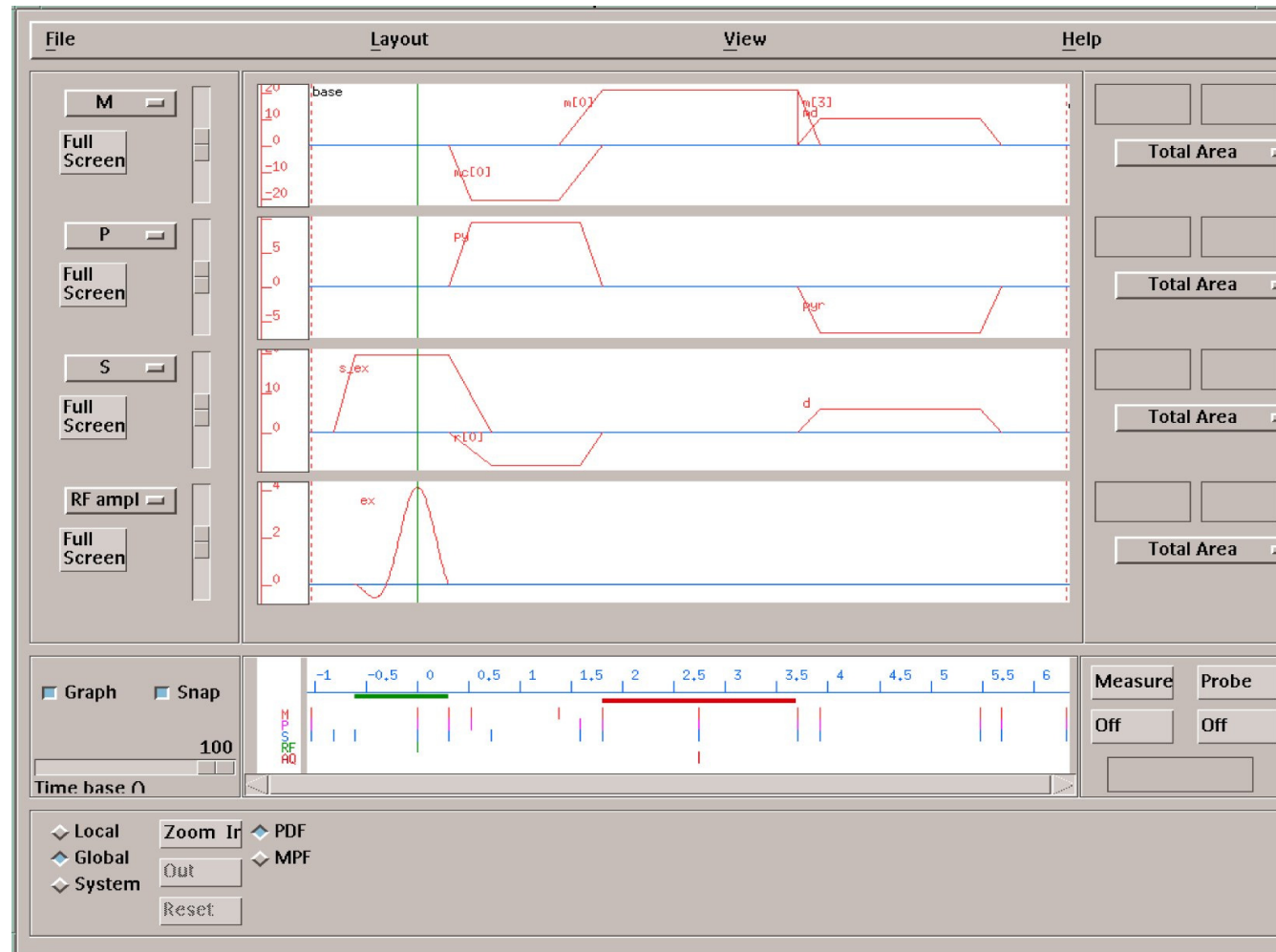
$$\frac{dM_x}{dt} = \gamma (\vec{M} \times \vec{B})_x - \frac{M_x}{T_2}$$

$$\frac{dM_y}{dt} = \gamma (\vec{M} \times \vec{B})_y - \frac{M_y}{T_2}$$

$$\frac{dM_z}{dt} = \gamma (\vec{M} \times \vec{B})_z + \frac{M_0 - M_z}{T_1}$$

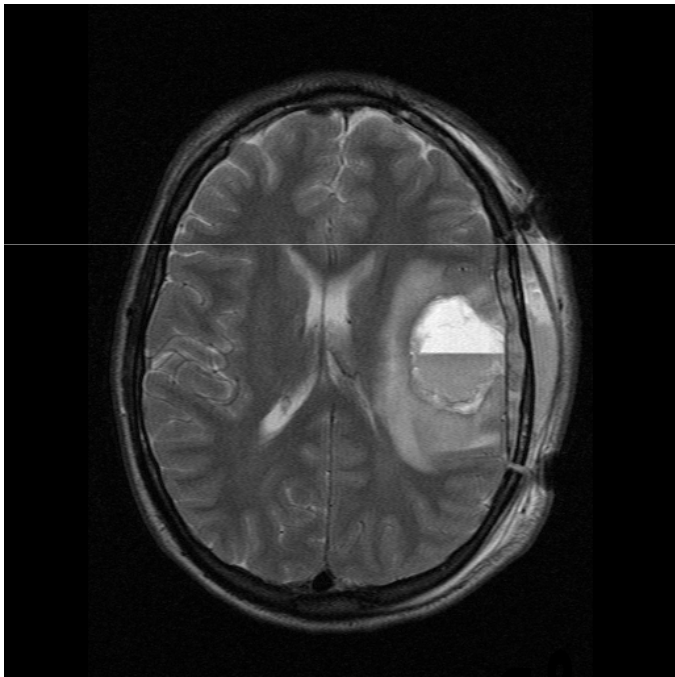
MR-fysikerens oppgaver

Sekvens
innsikt:



MR-fysikerens oppgaver

Optimaliere MR-protokoller:



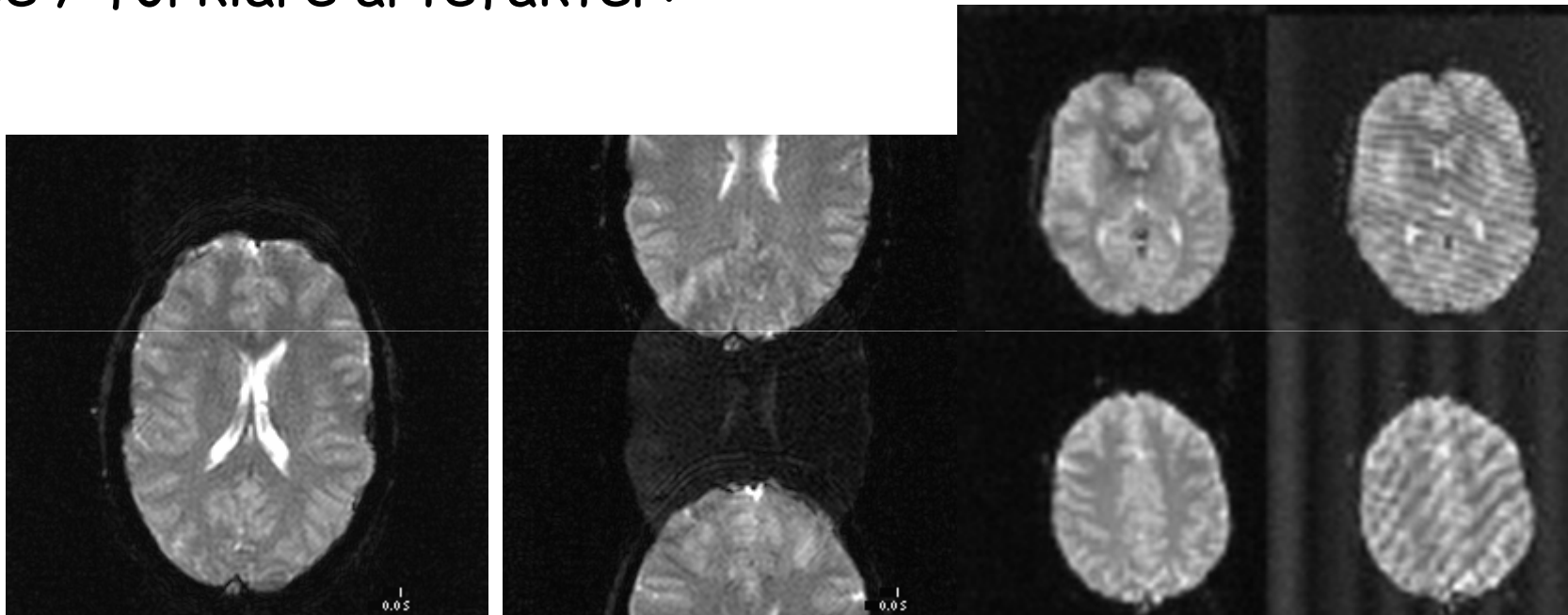
```
Dicom Dump - hand_arthritt_arthrose/cor
0011/0011 Private tag SIEMENS CM VA0 CMS
0011/1010 Private tag
0011/1110 Private tag 20011002
0011/1111 Private tag 115406.089000
0011/1123 Private tag 75
0018/0000 ACQ Group Length 404
0018/0015 ACQ Body Part Examined
0018/0020 ACQ Scanning Sequence IR
0018/0021 ACQ Sequence Variant OSP
0018/0022 ACQ Scan Options
0018/0023 ACQ MR Acquisition Type 2D
0018/0024 ACQ Sequence Name tfl-t1
0018/0025 ACQ Angio Flag N
0018/0050 ACQ Slice Thickness 005.000000E+00
0018/0080 ACQ Repetition Time 008.500000E+00
0018/0081 ACQ Echo Time 004.000000E+00
0018/0082 ACQ Inversion Time 003.000000E+02
0018/0083 ACQ Number of Averages 2
0018/0084 ACQ Imaging Frequency 006.359358E+01
0018/0085 ACQ Imaged Nucleus 1H
0018/0086 ACQ Echo Number 1
0018/0087 ACQ Magnetic Field Strength 1.493806
0018/0091 ACQ Echo Train Length 1
0018/0093 ACQ Percent Sampling 100
0018/0094 ACQ Percent Phase Field of View 100
0018/1000 ACQ Device Serial Number 7477
0018/1020 ACQ Software Version VB33E
0018/1200 ACQ Date of Last Calibration 20010129
0018/1201 ACQ Time of Last Calibration 152223.000000
0018/1250 ACQ Receiving Coil FlexSmal
0018/1314 ACQ Flip Angle 10
0018/1316 ACQ SAR 0
0018/5100 ACQ Patient Position HFS
0019/0000 Private tag VI
0019/0010 SPIACQ Private Creator CMS
0019/0012 SPIACQ Private Creator GEN
0019/0014 SPIACQ Private Creator COAD
0019/0015 SPIACQ Private Creator ACQU
0019/1010 Private tag EXAMINE
0019/1020 Private tag
0019/1030 Private tag
0019/1100 Private tag
0019/1101 Private tag 131072
0019/1102 Private tag 002.597120E+00
0019/1103 Private tag 002.597120E+00
0019/1104 Private tag 000.000000E+00
0019/1105 Private tag 001.400000E+01
0019/1213 Private tag 1
0019/1214 Private tag
```

Kan vi få bedre T2-bilder??

Mars 2006

MR-fysikerens oppgaver

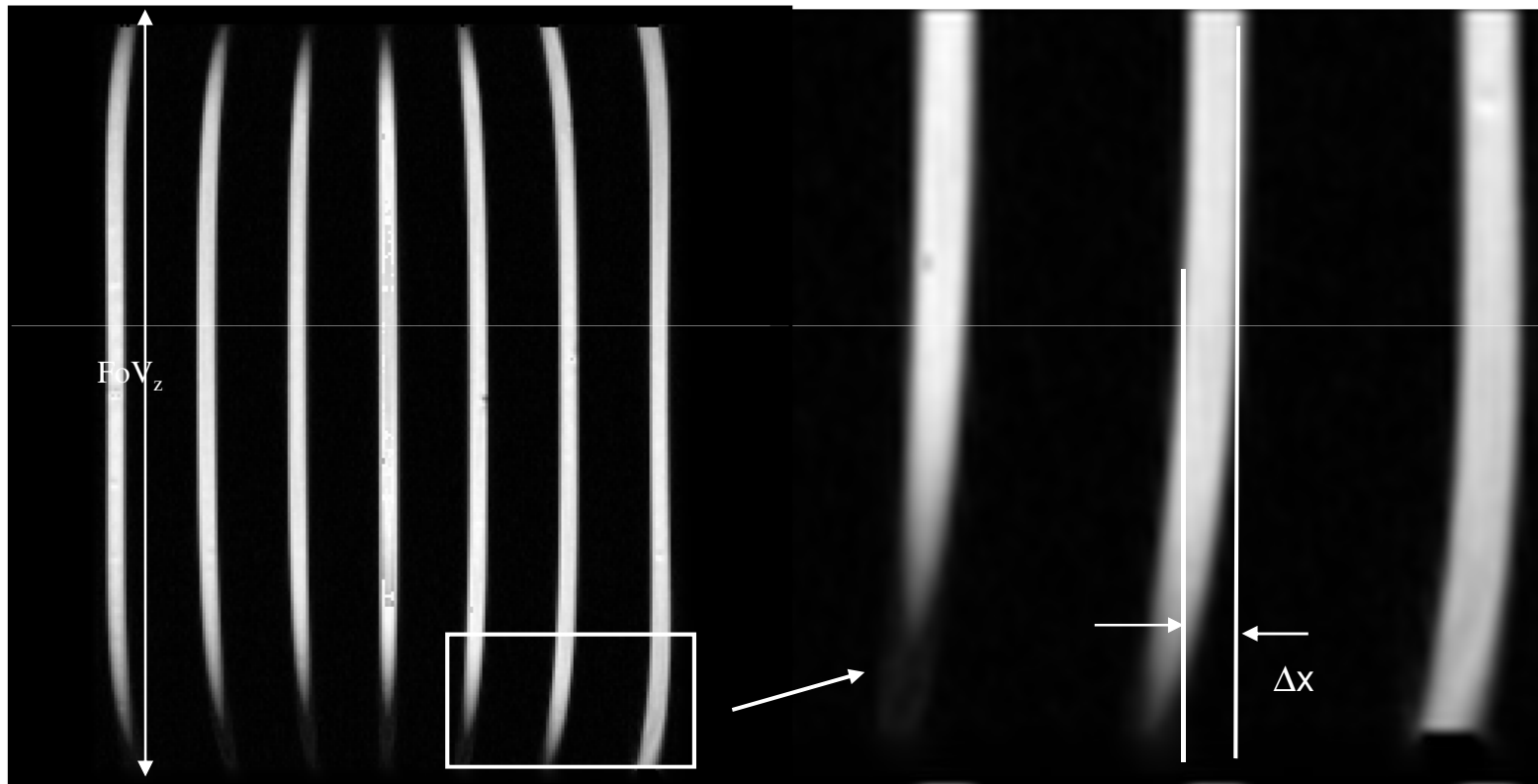
Fikse / forklare artefakter:



Hva gikk galt her?

MR-fysikerens oppgaver

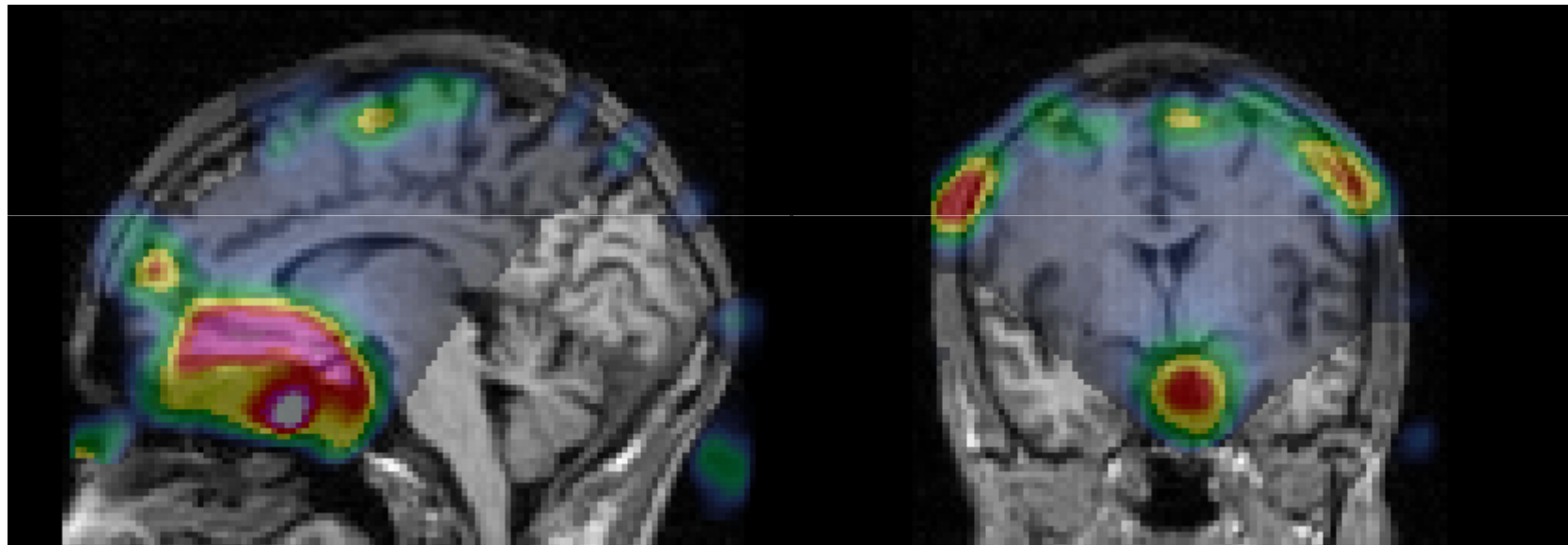
Analyse av geometrisk distorsjon



$$\Delta x = \Delta\chi B_0 / G_x$$

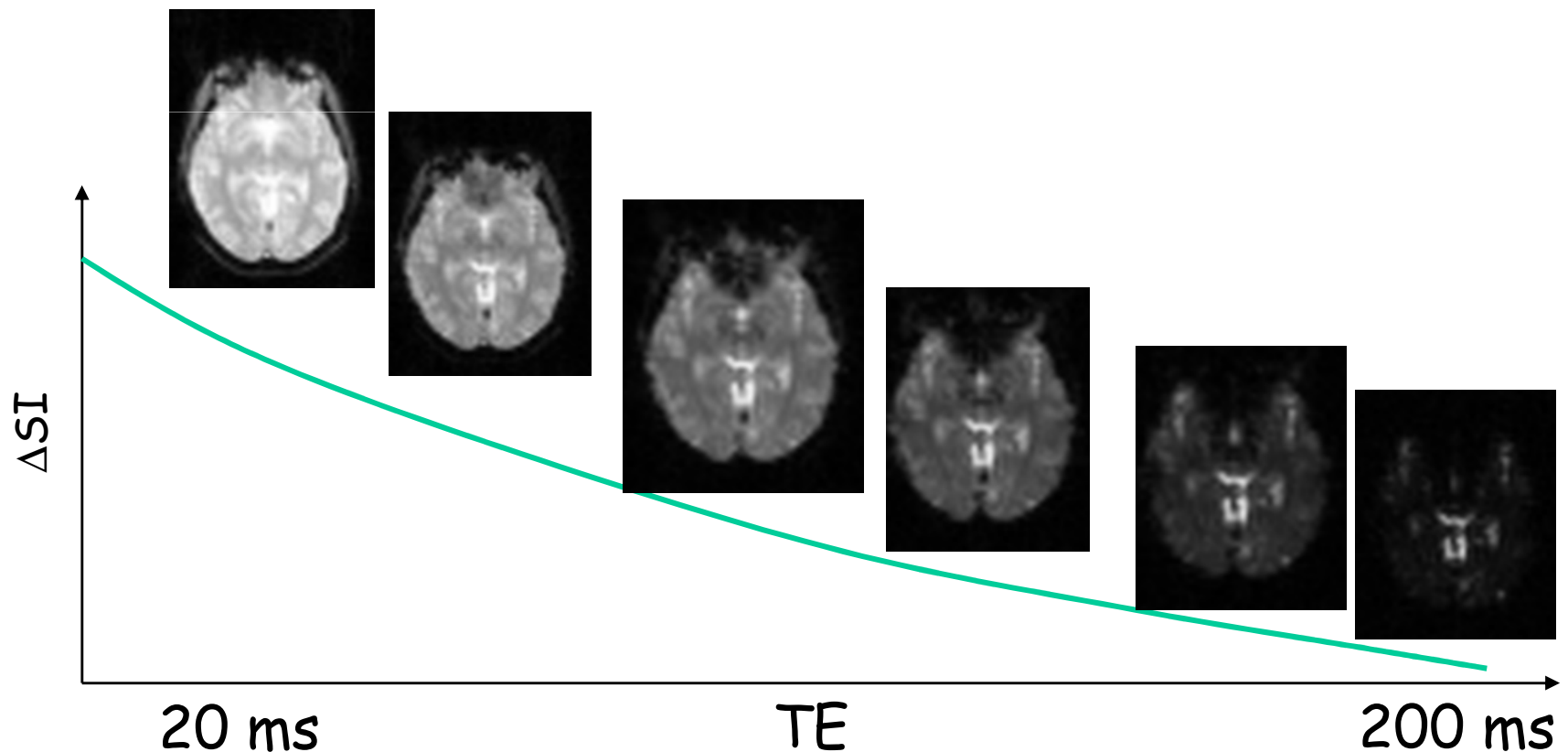
MR-fysikerens oppgaver

Analyse av B₀-homogenitet

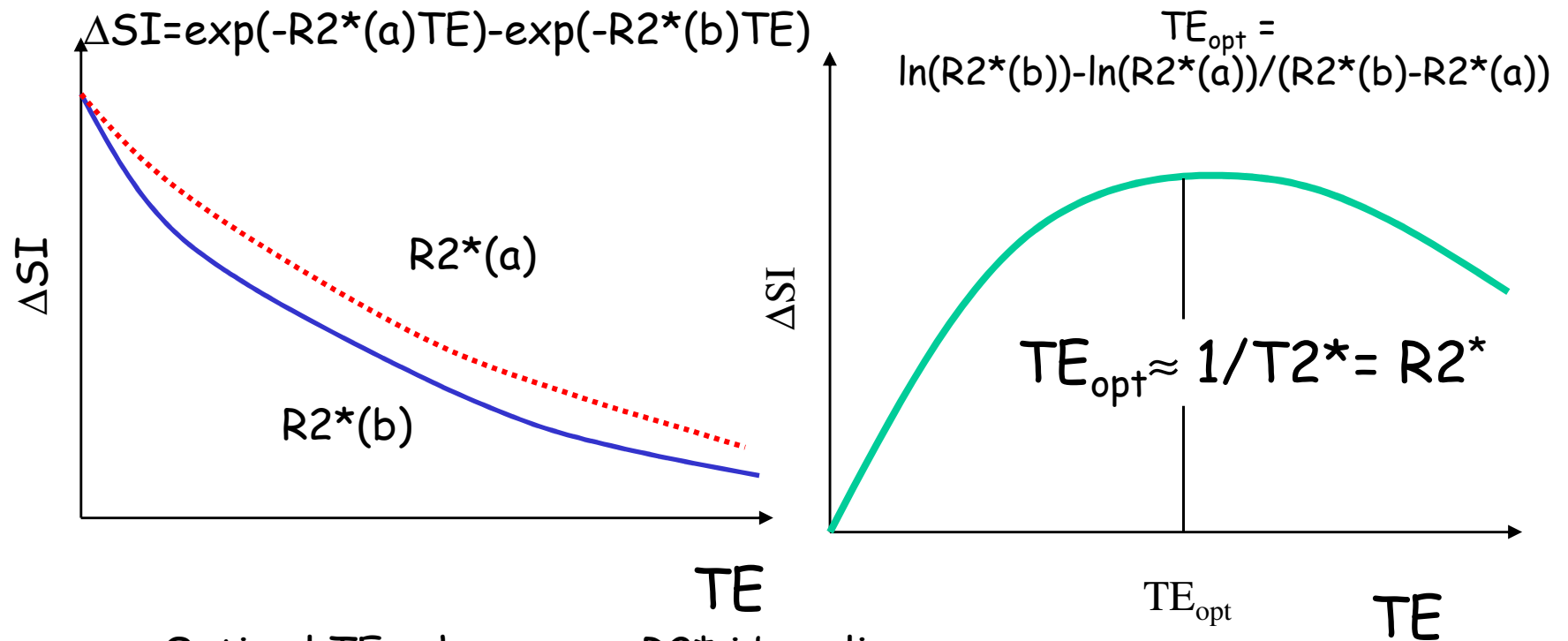


Hvordan måle $T2^*$ i hjernen?

- Multi-ekko opptak
- Eksponensiell kurvetilpasning:
 - $S = S_0 \exp(-TE/T2^*)$



BOLD - optimal TE



Optimal TE avhenger av $R2^*$ i baseline :

- Feltstyrke
- Shim-kvalitet
- Lokal variasjon i χ

Optimal TE (ms)

>100

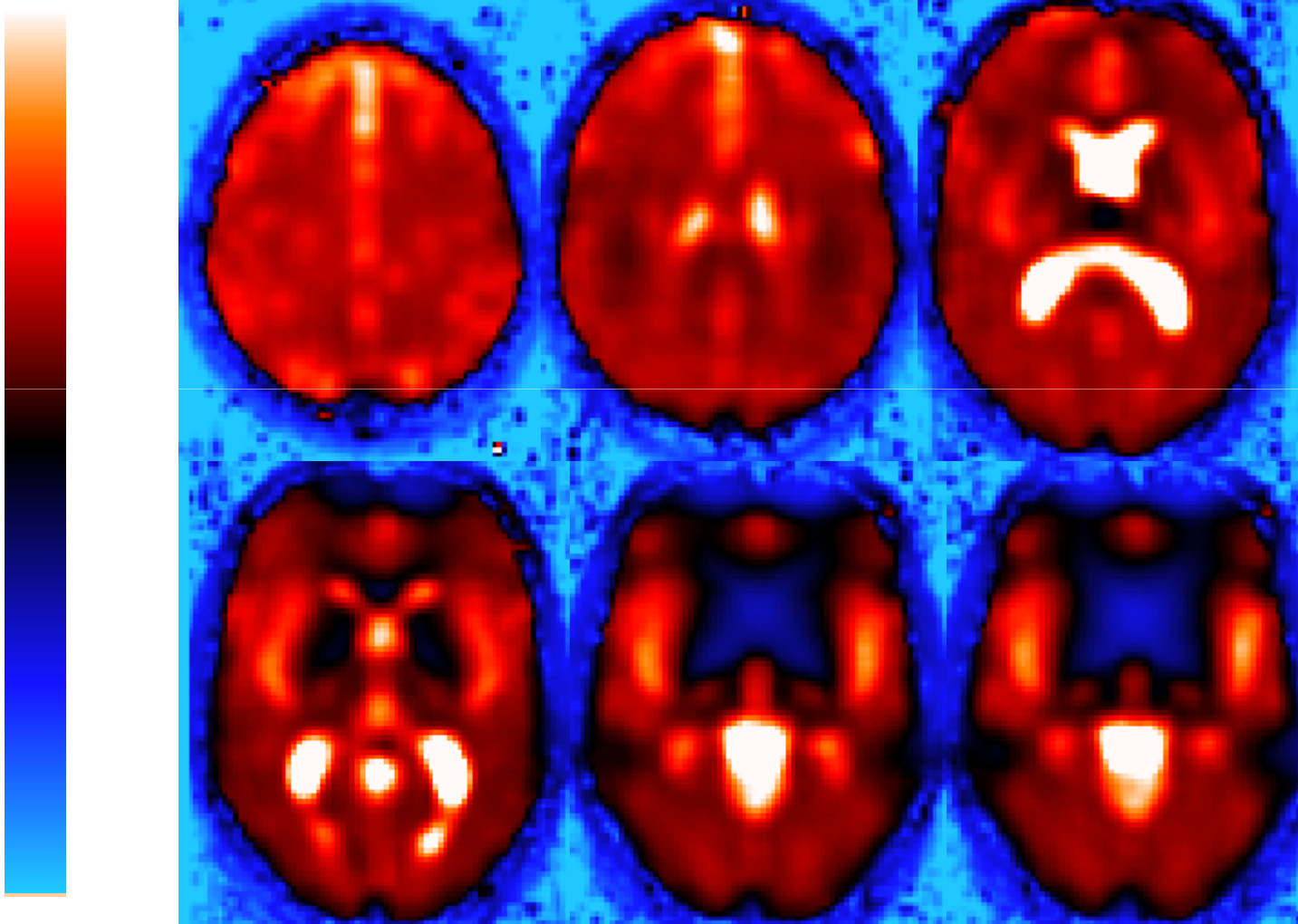
80

60

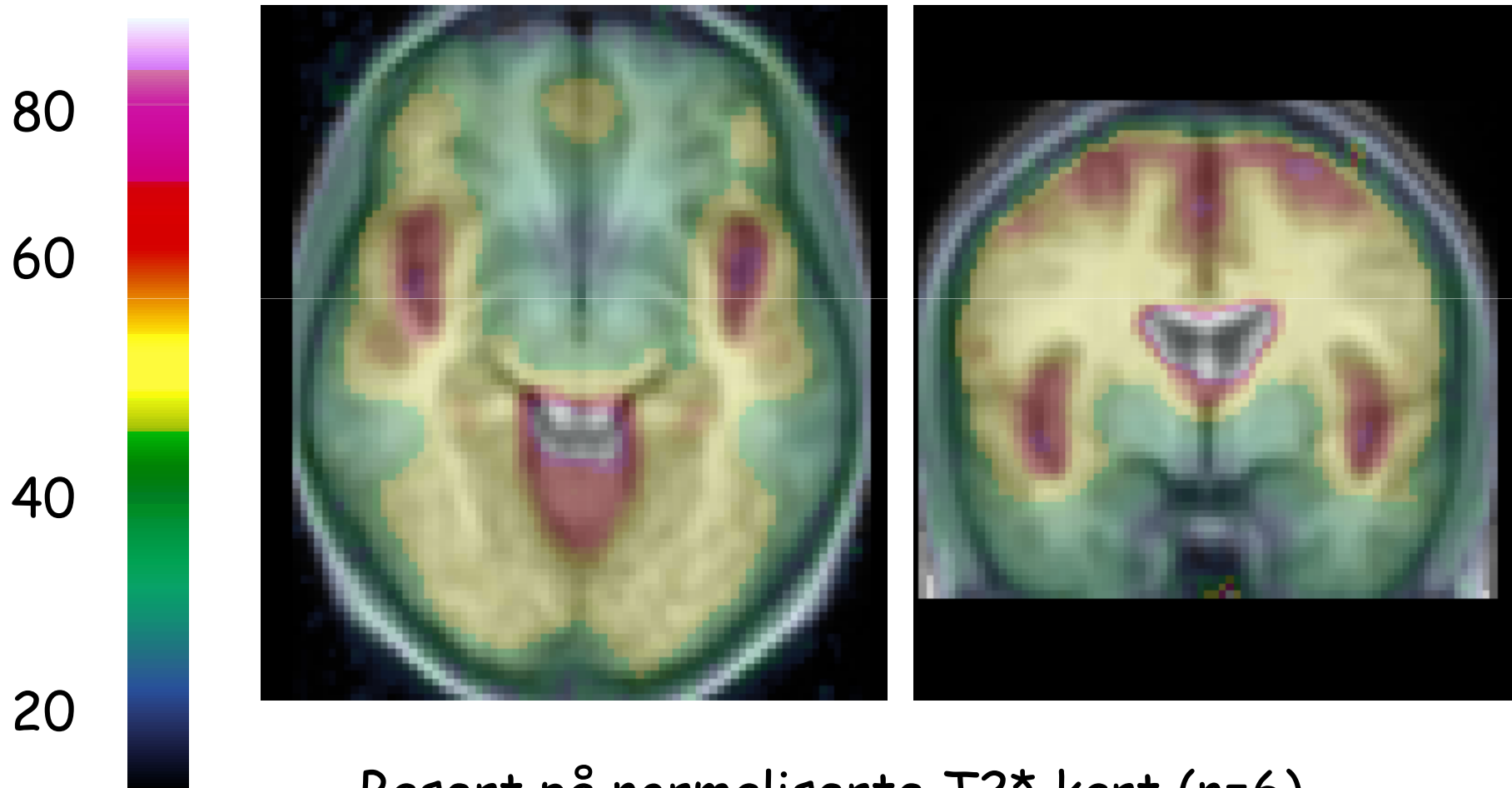
40

20

<10



Optimal TE



Basert på normaliserte T2* kart (n=6)

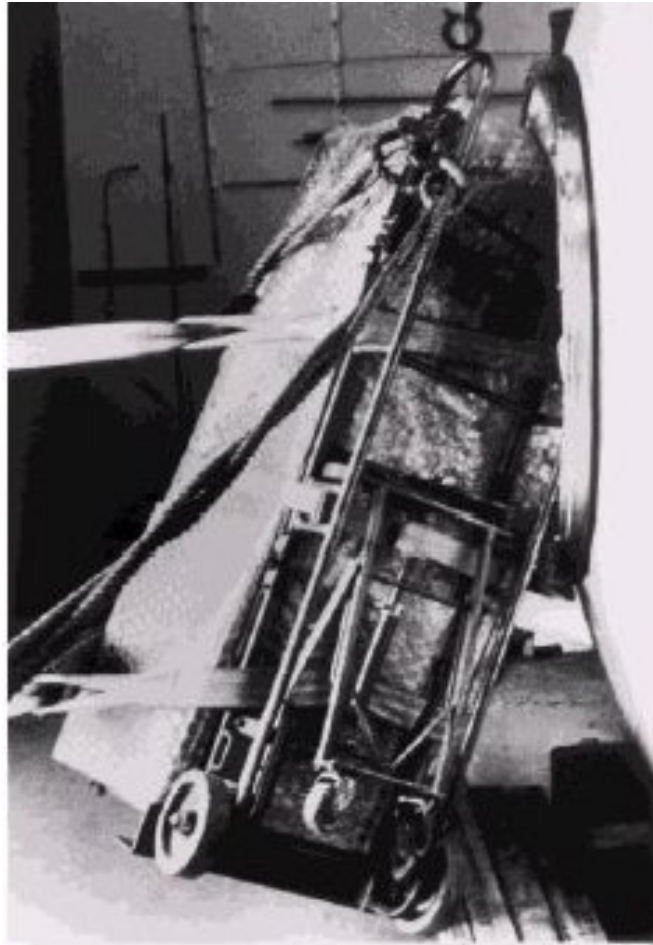
MR-fysikerens oppgaver

Sikkerhet:

- ▶ Aneurysm Clips
- ▶ Auditory Effects of MRI
- ▶ Bioeffects of Gradient Magnetic Fields
- ▶ Bioeffects of RF Energy
- ▶ Bioeffects of Static Magnetic Fields
- ▶ Biopsy Needles, Markers and Devices
- ▶ Bone Fusion Stimulator
- ▶ Breast Tissue Expanders and Implants
- ▶ Burns and Prevention
- ▶ Cardiac Pacemakers and ICDs
- ▶ Cardiovascular Catheters and Accessories
- ▶ Carotid Artery Vascular Clamps
- ▶ Claustrophobia and Anxiety
- ▶ Cochlear Implants
- ▶ Coils, Filters, and Stents
- ▶ Contraceptive Diaphragms
- ▶ Cranial Flap Fixation Clamps
- ▶ Dental Implants, Devices, and Materials
- ▶ ECG Electrodes
- ▶ External Hearing Aids
- ▶ Extremity MR System Safety Considerations
- ▶ Foley Catheters with Temperature Sensors
- ▶ Future Considerations of Bioimplants, Materials, Devices, and Objects
- ▶ Halo Vests and Cervical Fixation Devices
- ▶ Heart Valves
- ▶ Hemostatic Clips
- ▶ Intrauterine Contraceptive Devices
- ▶ Magnetically Activated Implants and Devices
- ▶ Metallic Foreign Bodies
- ▶ Miscellaneous
- ▶ "Missile Effects" Prevention
- ▶ Monitoring Patients in the MRI Environment
- ▶ MRI Contrast Agents Safety
- ▶ NeuroCybernetic Prosthesis (NCPR) System
- ▶ Neurostimulators
- ▶ Ocular Implants and Devices
- ▶ Orthopedic Implants
- ▶ Otologic Implants
- ▶ PDA, ASD, VSD Occluders
- ▶ Pellets and Bullets
- ▶ Penile Implants
- ▶ Post-Op MRI
- ▶ Pregnant Patients and MRI
- ▶ Pregnant Technologists and Healthcare Workers
- ▶ Retained Cardiac Pacing Wires and Temporary Cardiac Pacing Wires
- ▶ SynchroMed(R) Infusion System & SynchroMed EL Infusion System
- ▶ Tattoos, Permanent Cosmetics, and Eye Makeup
- ▶ Transdermal Patches and MRI
- ▶ Vascular Access Ports and Catheters

MR-fysikerens oppgaver

Sikkerhet:



MR-fysikerens oppgaver

Implementere nye metoder:

Neuroradiology

Low-Grade Gliomas: Dynamic Susceptibility-weighted Contrast-enhanced Perfusion MR Imaging—Prediction of Patient Clinical Response¹

Meng Law, MD, Sarah Oh, MD, James S. Babb, PhD, Edwin Wang, MD, Matilde Inglese, MD, PhD, David Zagzag, MD, PhD, Edmond A. Knopp, MD and Glyn Johnson, PhD

¹ From the Departments of Radiology (M.L., S.O., J.S.B., E.W., M.I., E.A.K., G.J.), Pathology (D.Z.), and Neurosurgery (D.Z., E.A.K.), New York University Medical Center, MRI Department, Schwartz Building, Eusement H. Cullen Pk. Ave., New York, NY 10016. Received December 23, 2004; revision requested February 23, 2005; revision accepted February 23, 2005; revision accepted May 2. Supported by grant RO1CA093992 from the National Institutes of Health. Address correspondence to M.L. (e-mail: lawm01@med.nyu.edu).

Kan vi gjøre dette her?

MR-fysikerens oppgaver

Implementere nye metoder:

- Lese (og forstå) relevante referanser
- Har vi sekvensene som behøves
- Hvis ikke - kan vi få de av noen andre
- Hvis ikke - kan vi programmere de selv?
- Hva kreves av bildeprosessering?
- Klinisk validering?

MR-fysikerens oppgaver

Post-prosessering:

- Bildeanalyse utover det som finnes som standard-metoder på skanner:
 - Segmentering
 - Kvantitative beregninger
 - Fusjonere ulike modalitets data
 - Beregne volum
 - Generere parametriske bilder:
 - Perfusjon, permeabilitet, diffusjon etc
- Funksjonell analyse

Muligheter/kompleksitet

Kontrastmuligheter

CT:

Elektrontetthet
Atomnummer

2 ulike mekanismer

MR:

T1
T2
Protontetthet
Diffusjon
Perfusjon
Temperatur
pH
T2*
Flow
Elastisitet
MTC
Kontrastmiddel
Atomnummer
Molekyl
Vevsundertrykking

15 ulike mekanismer

Kilde: KI Gjesdal, Sunnmøre MR-klinikk

Muligheter/kompleksitet

Teknisk kompleksitet (hode studium)

CT:

15 protokoller
12 parametervalg

MR:

322 protokoller
60-80 parametervalg

Kilde: KI Gjesdal, Sunnmøre MR-klinikk

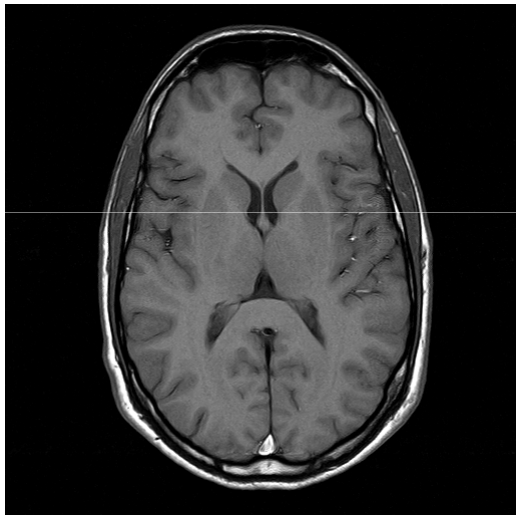
Vurdering av medisinsk bildediagnostikk: Dr.Med J.T. Geitung

- +++
Konkluderende
- ++
Meget god
- +
Kan brukes
- 0
Skal ikke brukes
- 
MR beste metode

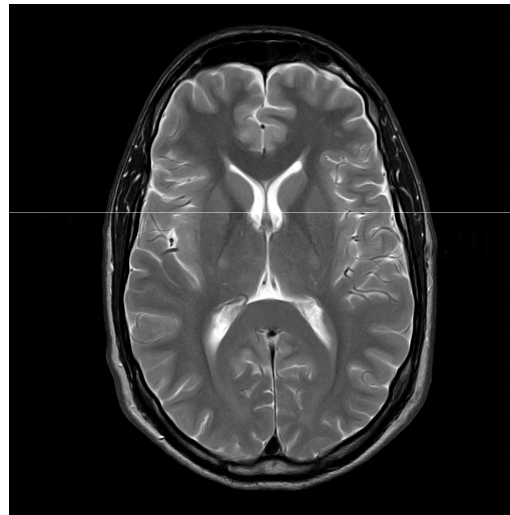
Problem	MR	CT	Ultralyd	Rtg
Akutt	?	+++	+	+
Hode, svulst	+++	++	0	0
Hode, blødning	++	+++	0	0
Hjerneinfarkt	+++	++	0	0
Blodårer, hode	++	++	0	+++ (angio)
Blodårer, hals	+++	+++	++	+++ (angio)
Hjerte	++	++	+	++ (angio)
Lunger	?	+++	0	+
Lever	+++	++	+	0
Bukspyttkjertel	++	++	+	0
Tarm	(+)	(+)	(+)	++
Sentrale blodårer	++	++	+	+++ (angio)
Perifere blodårer	+++	(+)	+	++ (angio)
Muskler	+++	(+)	+	0
Skjelett, svulst	+++	+	0	+
Skjelett, brudd	++	++	0	++
Ledd	+++	++	0	++
Nyrer, svulst	++	+++	++	(+)
Nyrer, funksjon	+++	+	+	+
Urinledere	+	+	0	++
Rygg, prolaps	+++	++	0	0
Rygg, skade	+	+++	0	+
Rygg, svulst	+++	(+)	0	0
Kvinnelig bekken	+++	+	++	0
Mannlig bekken	++	(+)	+	0

Muligheter

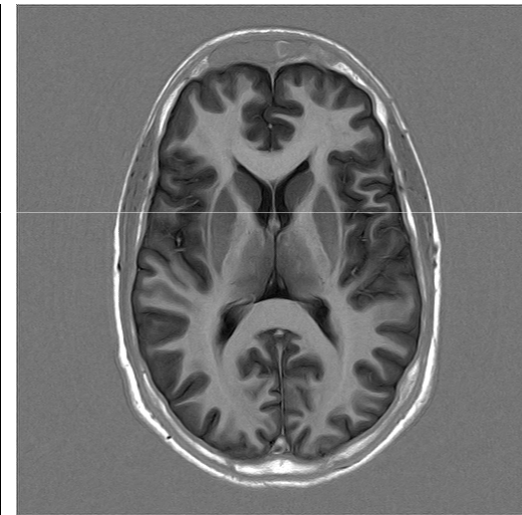
Hode (kaput)



T1 vektet SE



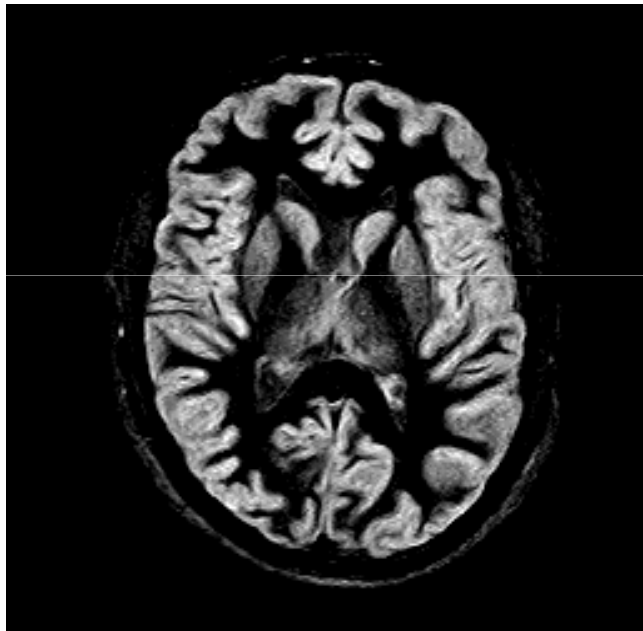
T2 vektet SE



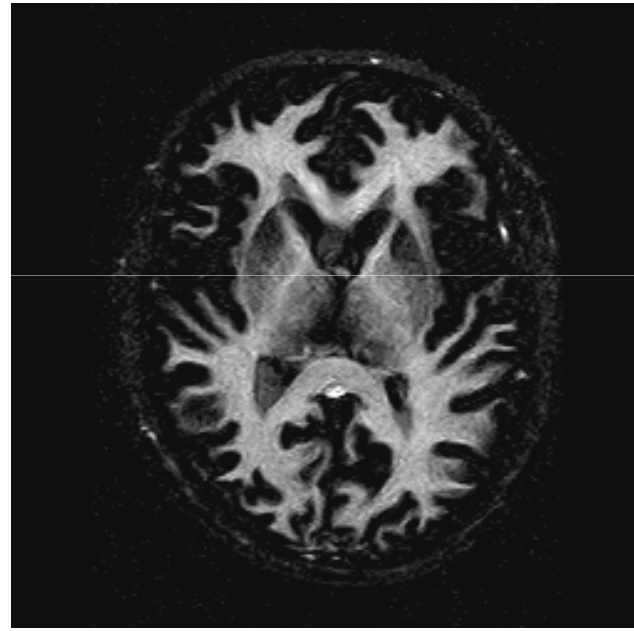
T1 vektet IR

Muligheter

Hode



Grå hjernesubstans

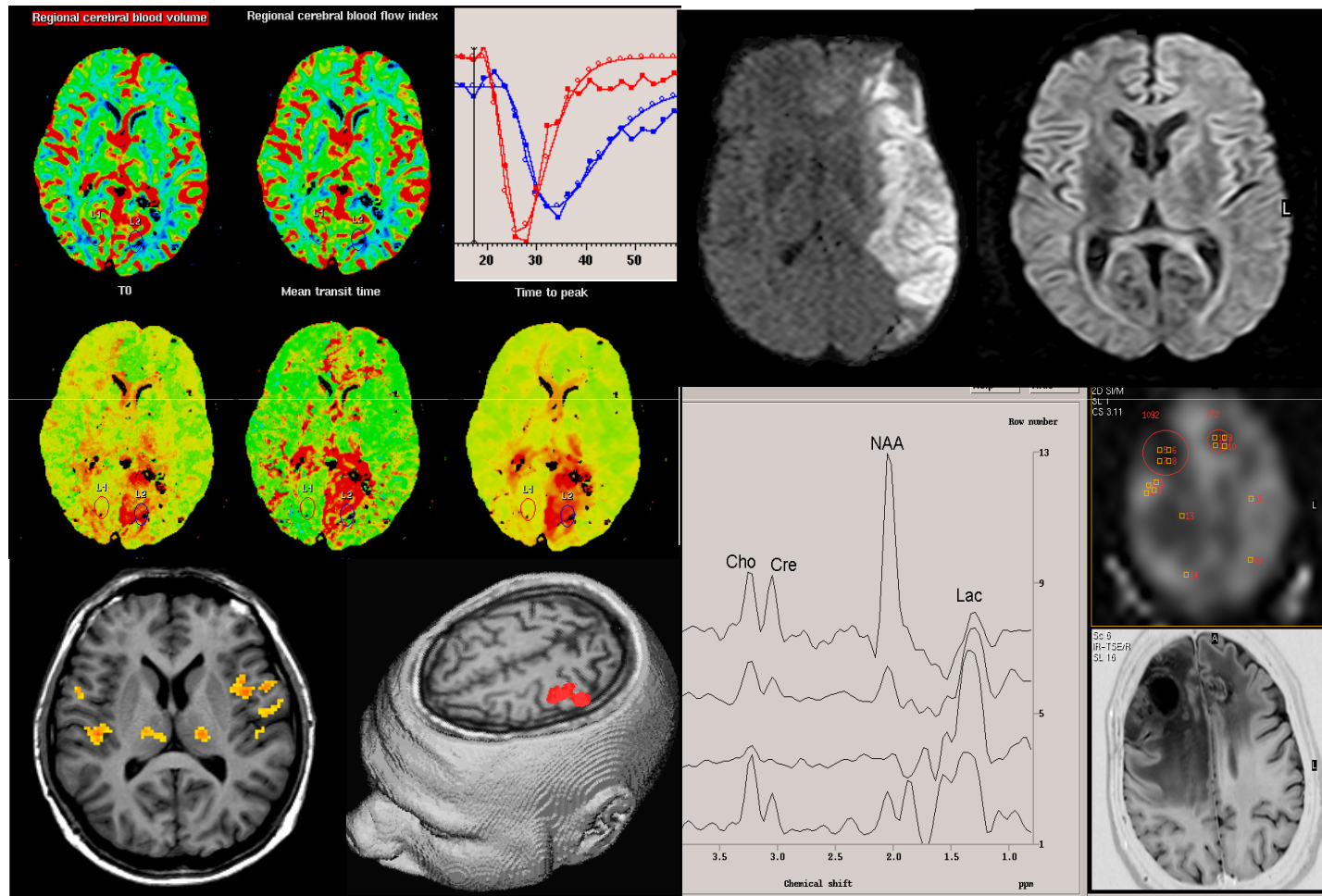


Hvit hjernesubstans

Muligheter

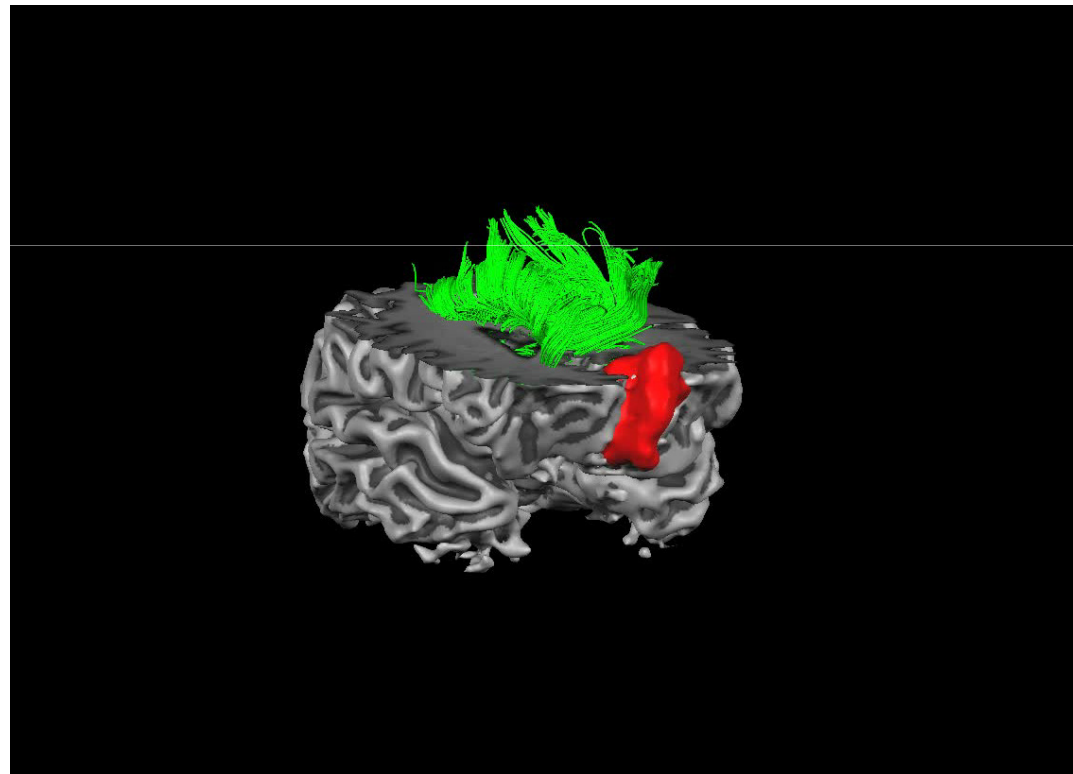
Hode

- Diffusjon
- Perfusjon
- fMRI



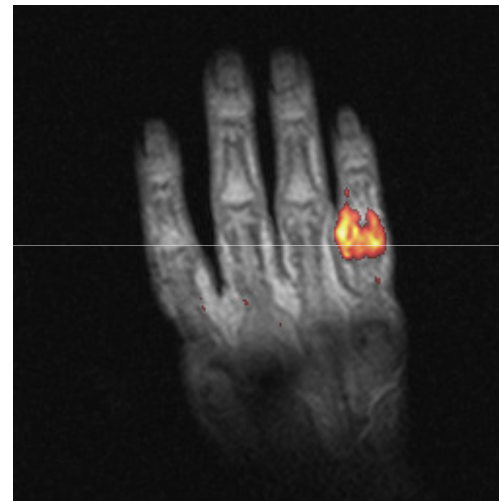
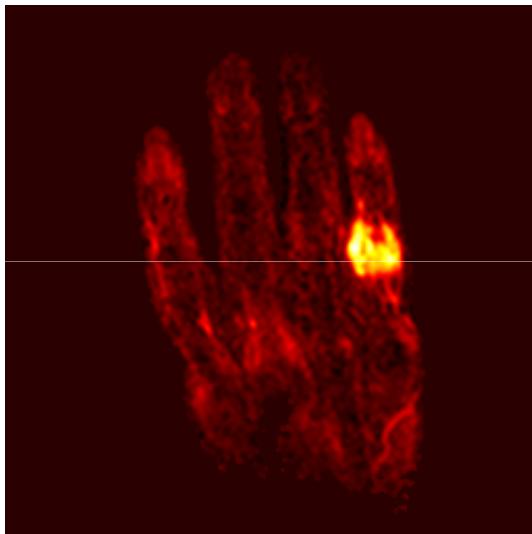
MR-fysikerens oppgaver

3D-modellering av funksjonell og morfometriske data :



MR-fysikerens oppgaver

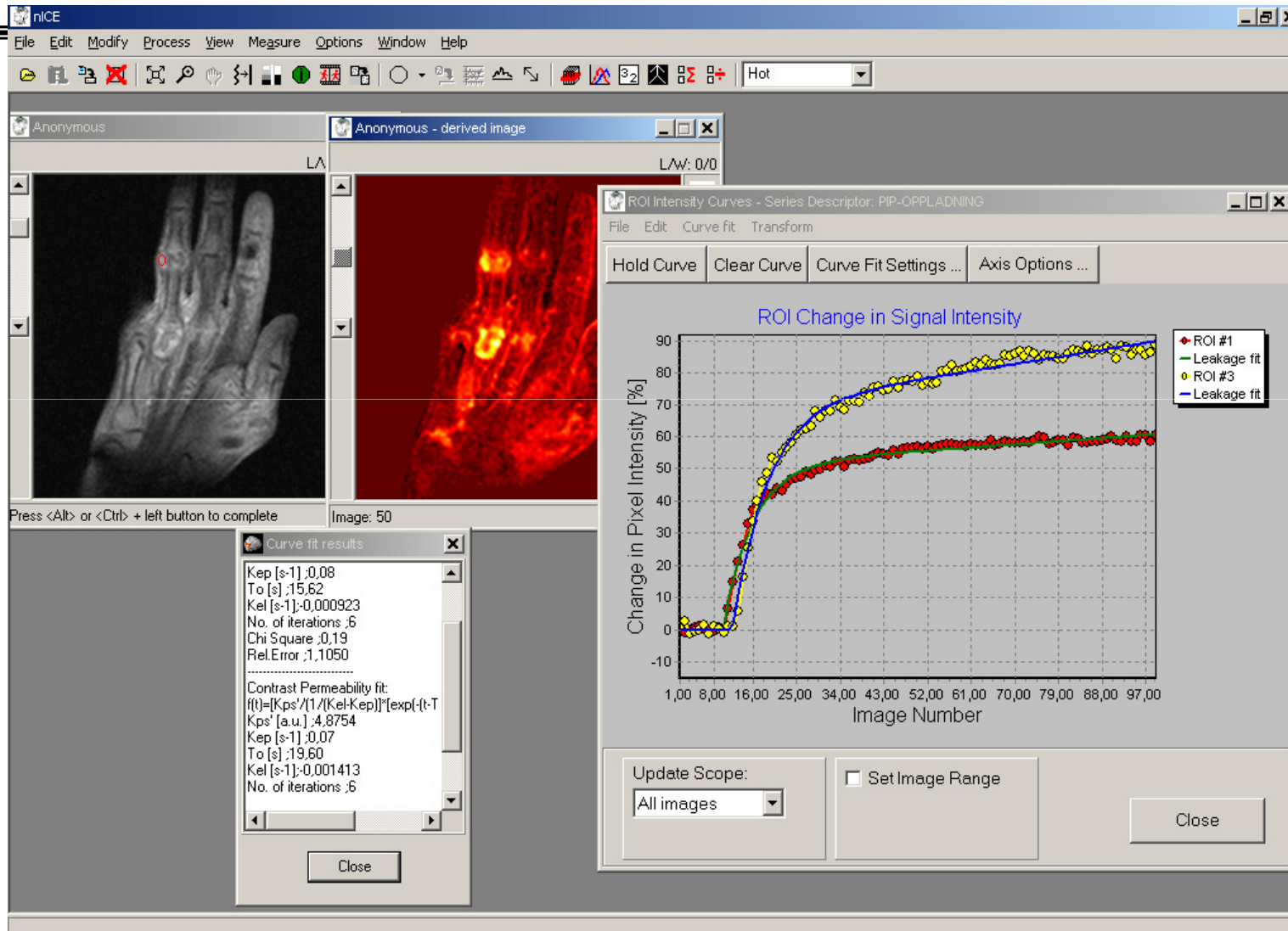
Modellering av kontrastmiddeleffekt:



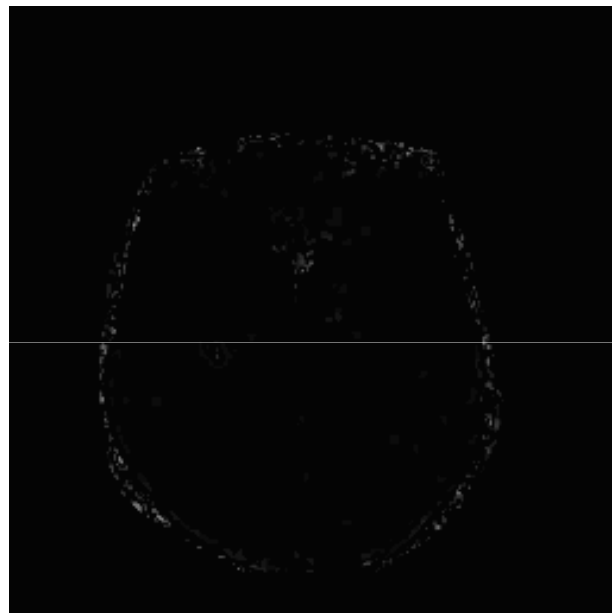
K^{ps} (permeabilitet)

$$C(t) = K^{ps} \int_0^t C_0 \cdot e^{-(t-\phi)} d\phi + BV \cdot C_0 \cdot e^{-t \cdot R_{1/2}}$$

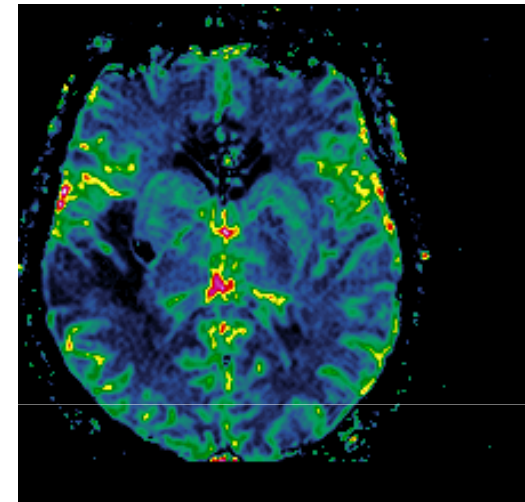
MR-fysikerens oppgaver



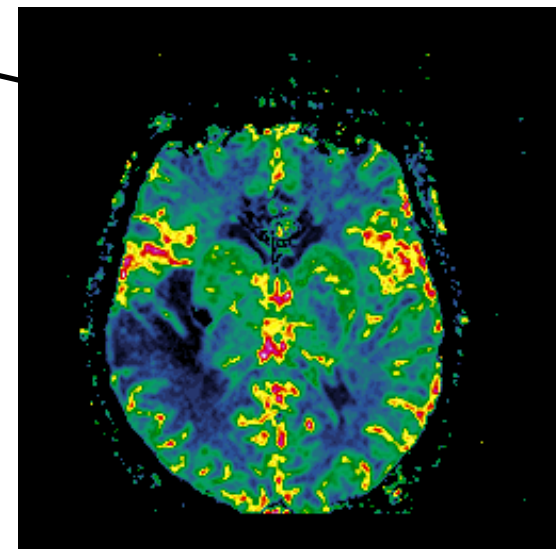
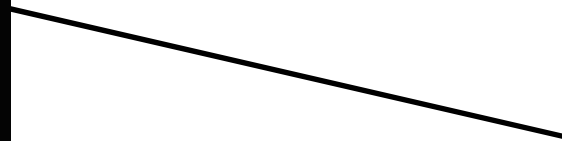
Funksjonell (dynamisk) MR-avbildning



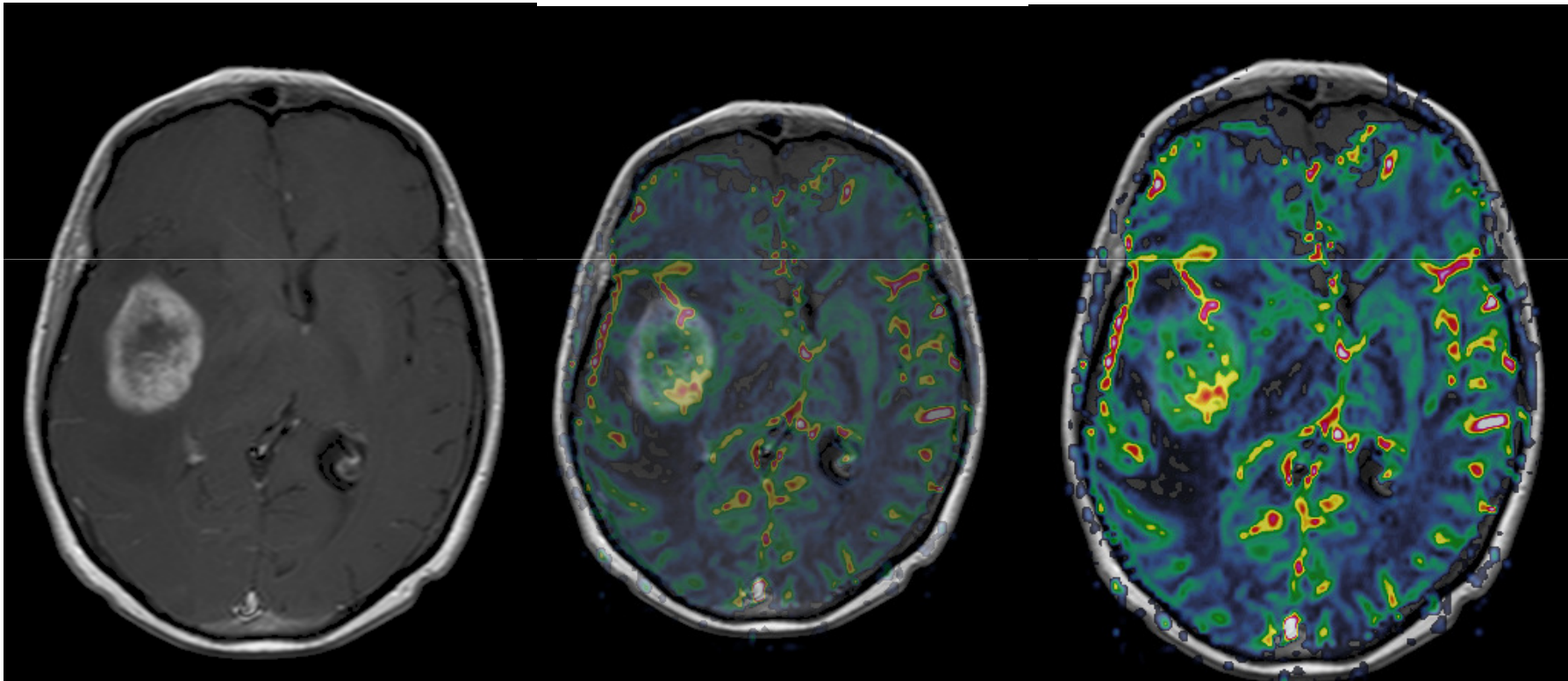
Blodvolum



Perfusjon

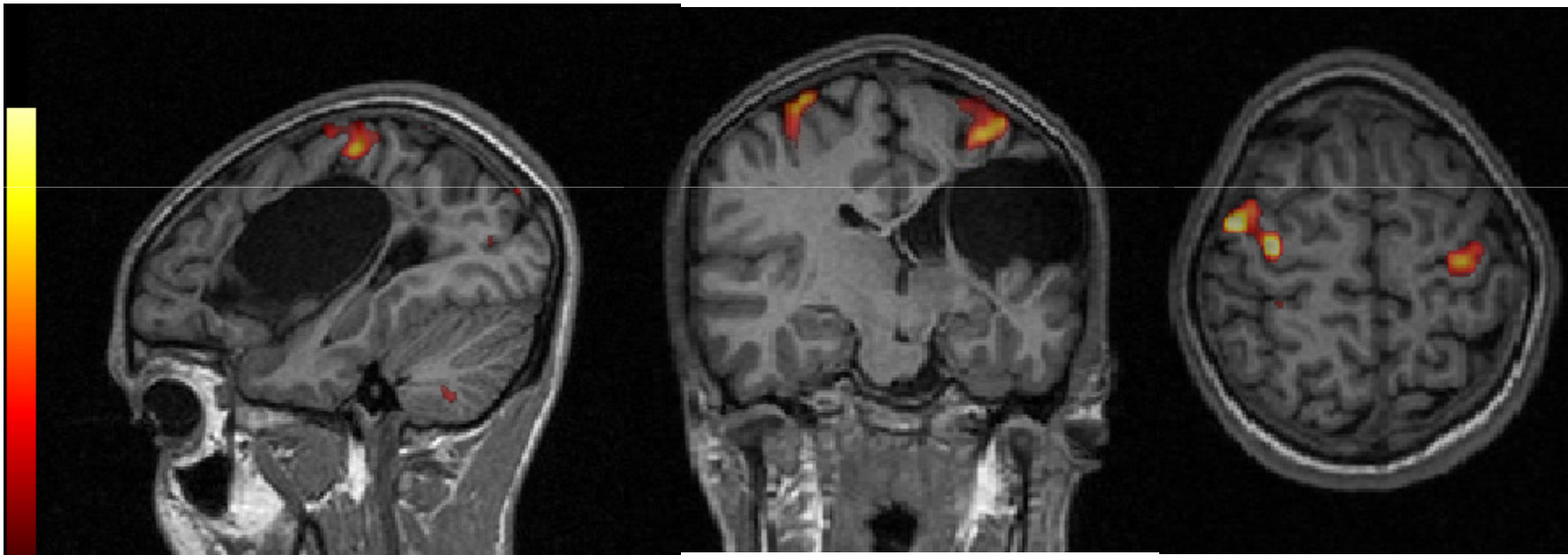


Biopsi-planlegging



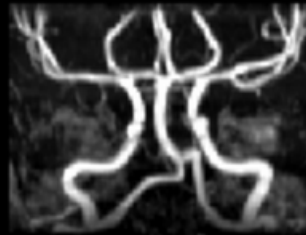
fMRI

Mapping av motorisk cortex



Muligheter

Hode



Fasekontrast og kontrast-forsterket angiografi

Mars 2006

FYS-KJM 4740

62

Muligheter

Thorax



Fremstilling av blodårer i Thorax

Muligheter

Abdomen

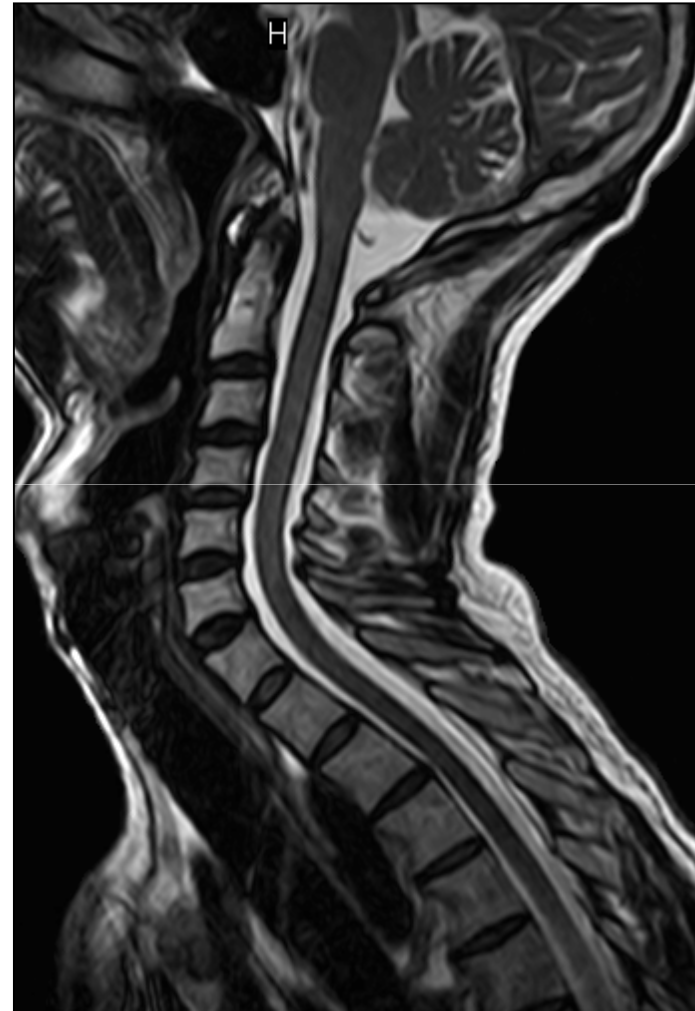


Fremstilling av aorta og nyrearteriene

Muligheter

Nakke/hals

T2 vektet cervical
columna



Muligheter

Rygg

T1 og T2 vektet total
columna



Muligheter

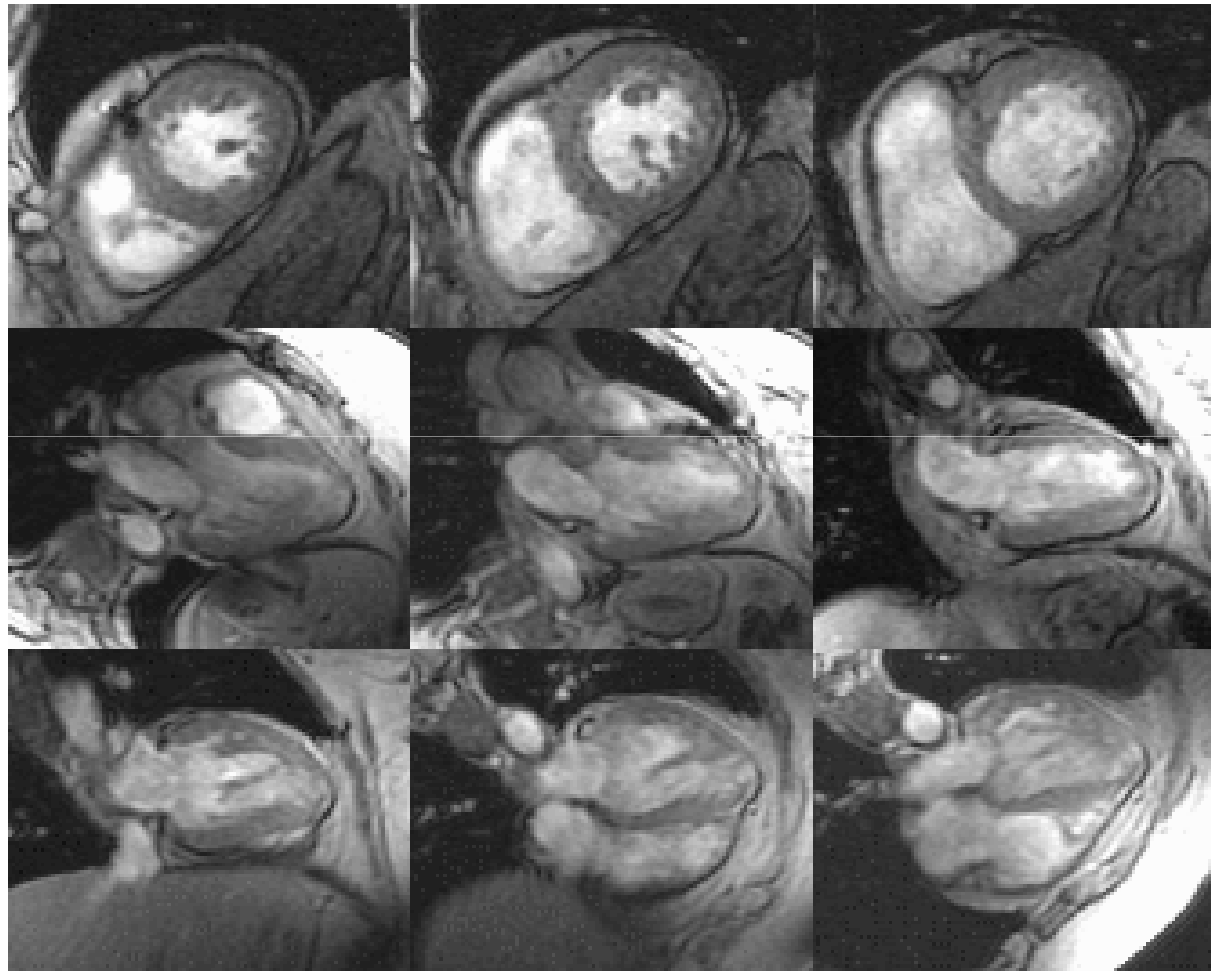
Rygg



Fremstilling av nerverøtter
Ved hjelp av fettsuppresjon

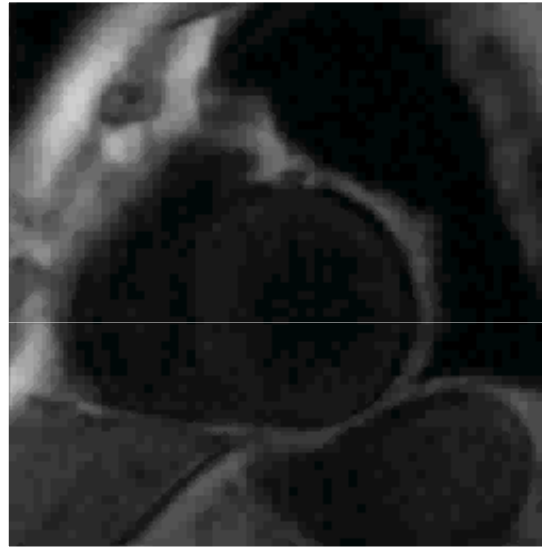
Muligheter

Hjerte



Muligheter

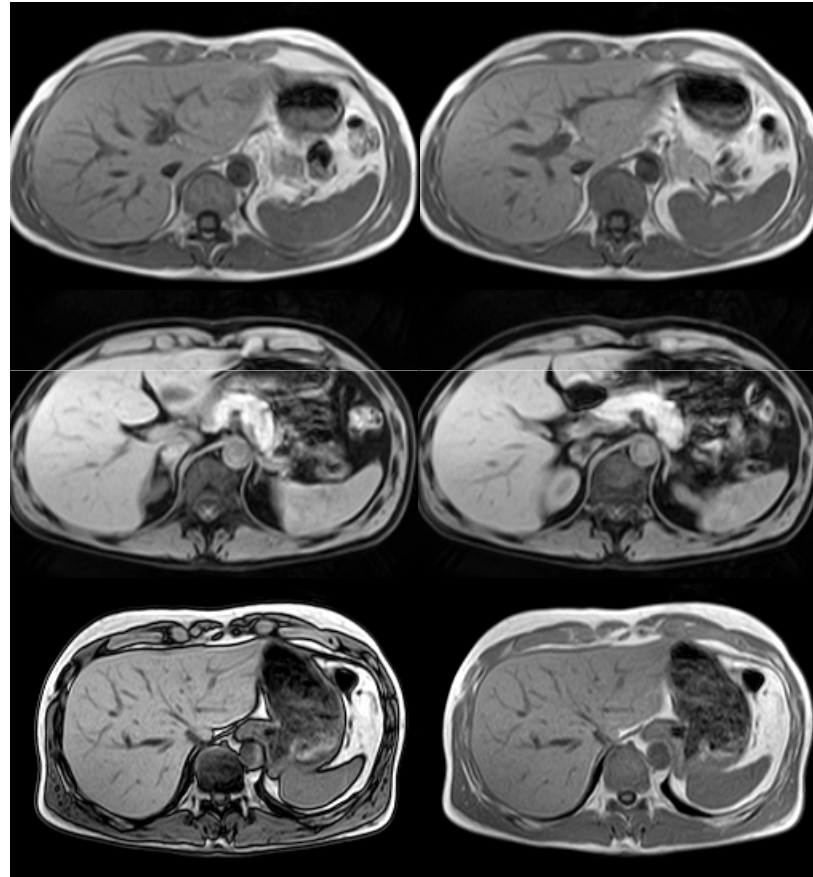
Hjerte



Dynamisk hjerteperfusjon

Muligheter

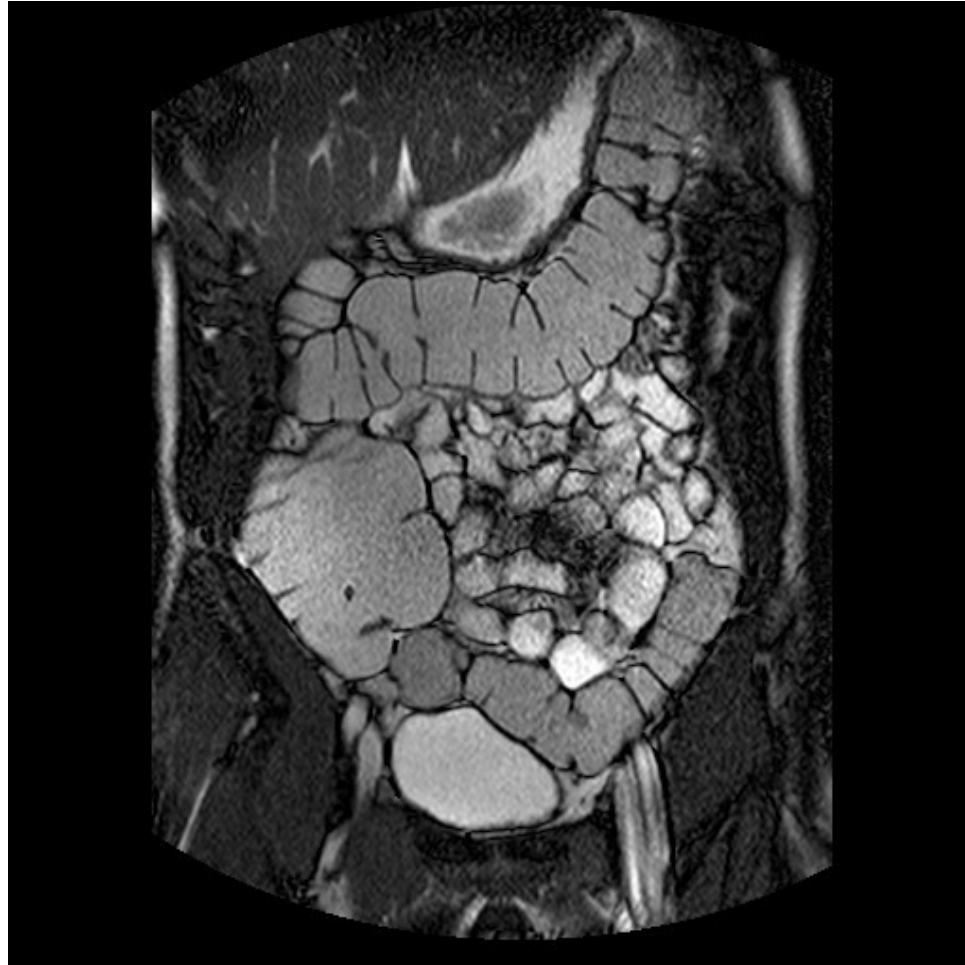
Abdomen



Ulike kontrastvektinger gjennom abdomen

Muligheter

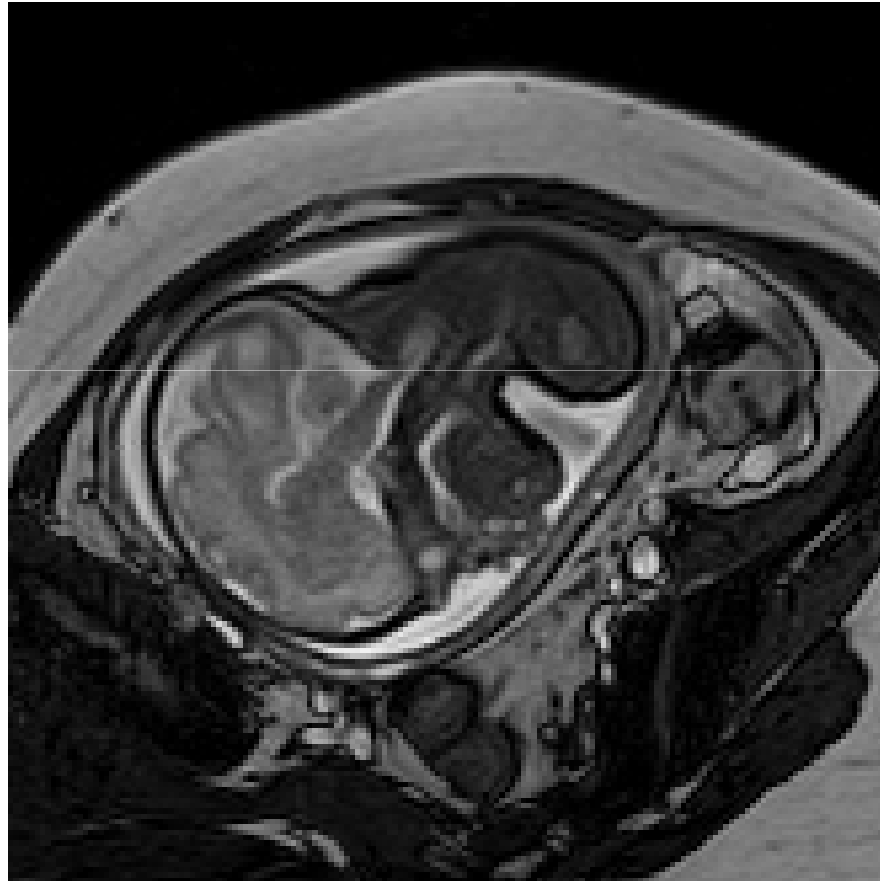
Abdomen



Fremstilling av tykktarm og tynntarm

Muligheter

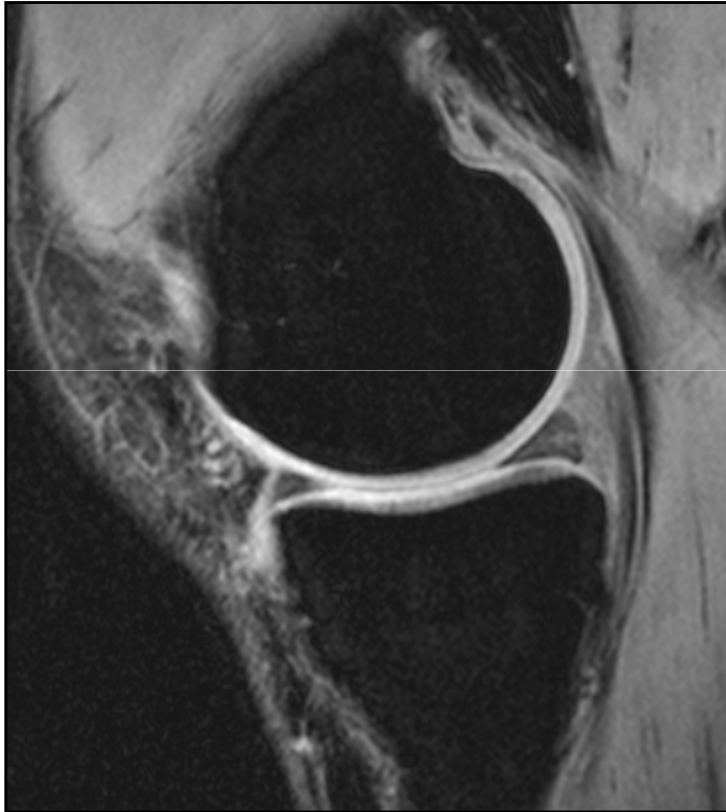
Abdomen



Avbildning av foster

Muligheter

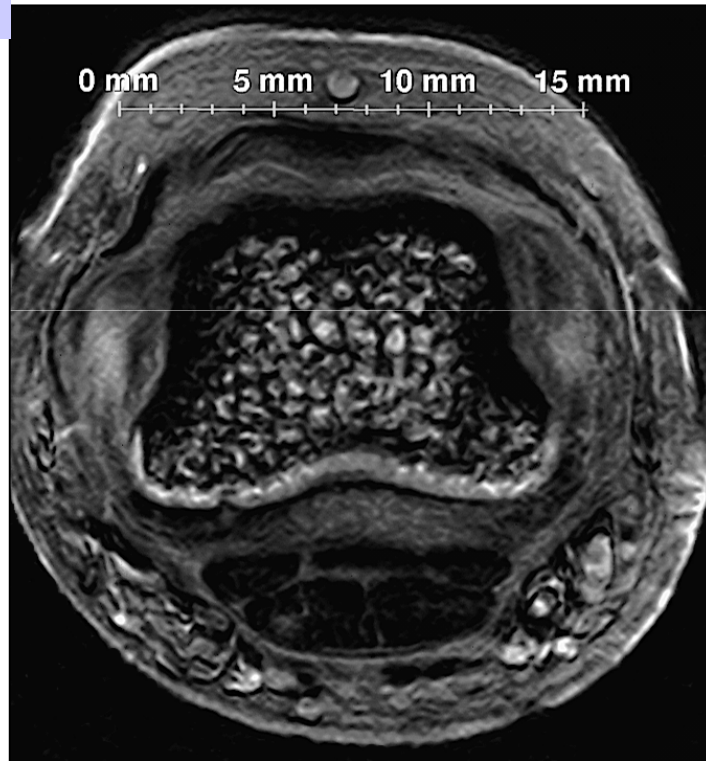
Ledd



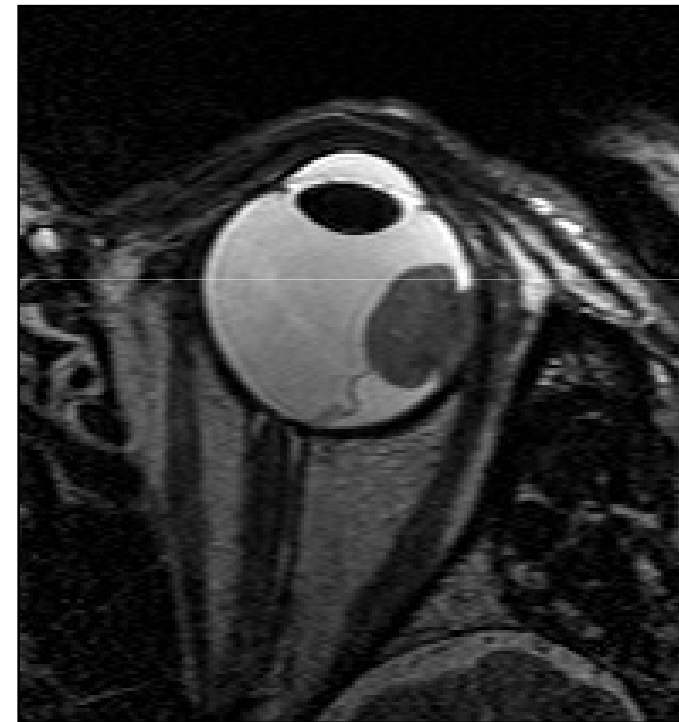
Kneledd med vannseleksjons Fotledd med fettsuppresjon

Muligheter

Micro-MR



Finger

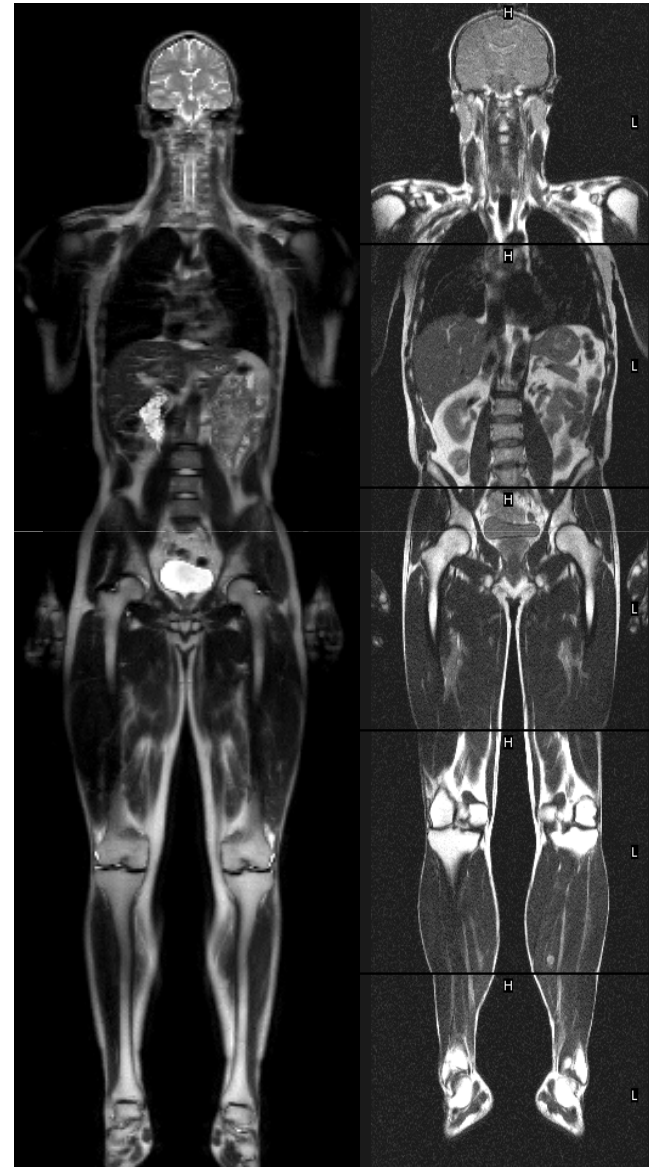


Øyepatologi

Muligheter

Macro-MR

Helkropp MR, T2 og T1
vektet



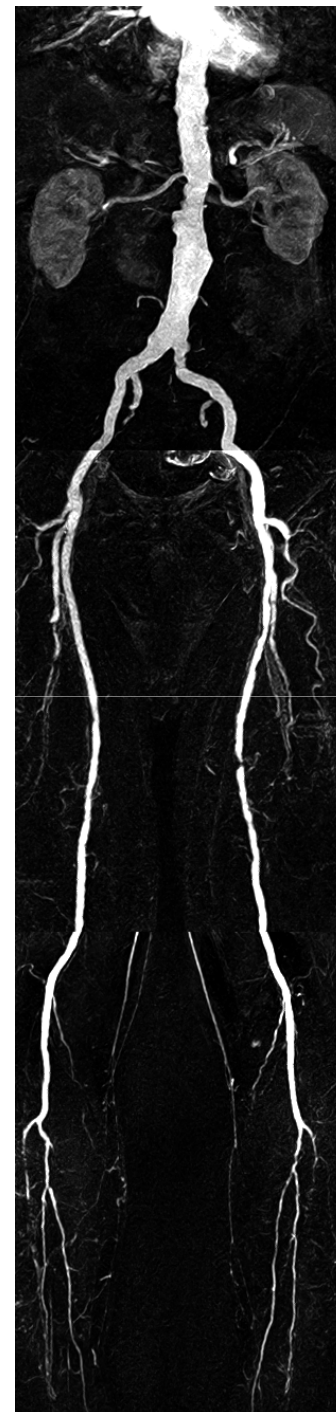
Muligheter

Macro

Underekstremitets angiografi

Mars 2006

FYS-KJM 4740



76

Slutt på intro

Da begynner alvorret