

FYS-KJM 4740

MR-teori og medisinsk diagnostikk

Magnettomografi-del

Introduksjon

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

FYS-KJM 4740

1

Litteratur og undervisningsmateriale:

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

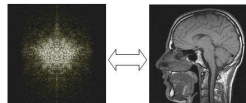
- **Lab-øvelser**

FYS-KJM 4740

2

Kompendium MRI Feb 2006-01-31

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

FYS-KJM 4740

3

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

FYS-KJM 4740

4

Fremdriftsplan - forelesninger

Feb

26.2 Kap 1,2: Intro, Bloch-equation, excitation, precession and relaxation

Mars:

4.3 Kap 3,4: Image Formation - k-space formalism: Introduction to Pulse sequences - MR signal behaviour and image contrast

11.3 Kap 5,6: Steady-state sequences, Accelerated K-space trajectories (EPI, RARE)

18.3 Påskeferie

25.3 Kap 7, 8. Magnetisation preparation, Image Quality, signal contrast and noise

April

1.4 Kap 9,10. Off-resonance effects, spins in motion

15.4 Kap 10 (cont), 11. Spins in motion, MRA

22.4 Kap 12. Imaging water diffusion

FYS-KJM 4740

5

Fremdriftsplan

April:

29.4 Kap 13, 14; MR Contrast agents, Dynamic contrast enhanced imaging

Mai

6. INGEN FORELESNING

13.5 Kap 15 (cont) Advanced imaging methods

20.5 Advanced imaging methods: perfusion, diffusion, etc

27.5 Repetisjon Q&A

FYS-KJM 4740

6

Fremdriftsplan - MR-lab

- 3 MR-labber fordelt på april / mai
- 2 timer / lab - 2 grupper
- HVILKEN DAG PASSER?
 - Finner sted på Intervensjonsenteret, Rikshospitalet
 - Forslag: lab-uker: lab på torsdag

FYS-KJM 4740

7

Teoridel:

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

UIO Mars 2006

FYS-KJM 4740

Fys-Kjm

Målsetting og motivasjon

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

Mars 2006

FYS-KJM 4740

9

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

FYS-KJM 4740

10

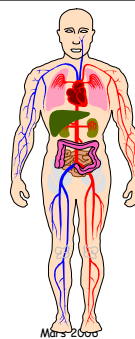
Noen få medisinske uttrykk

Mars 2006

FYS-KJM 4740

11

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)

Mars 2006

FYS-KJM 4740

12

Noen få medisinske uttrykk

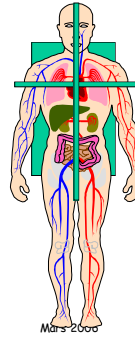
- Radiolog:
 - Lege spesialist i røntgenfaget.
 - Tolker bilde-materialet.
- Radiograf:
 - Utfører avbildningene.
 - 3 års fagutdanning

Mars 2006

FYS-KJM 4740

13

Noen få medisinske uttrykk



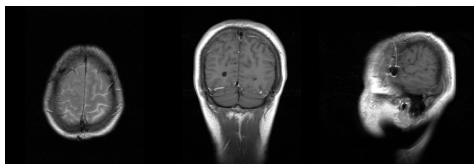
- Axial eller transversal
- Sagittal
- Coronalt
- Oblique: Dreid snitt i et plan
- Dobbel Oblique: Dreid snitt i to plan

Mars 2006

FYS-KJM 4740

14

Noen få medisinske uttrykk



axialt

coronalt

sagittalt

Mars 2006

FYS-KJM 4740

15

Noen få medisinske uttrykk



Cervical 7 virvler

Thorakal 12 virvler

Lumbal 5 virvler

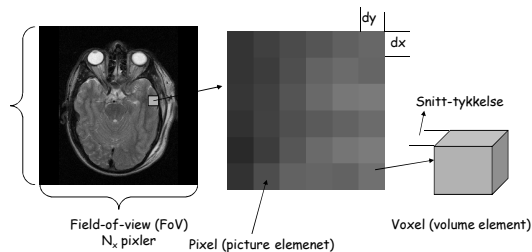
Sacral 5 virvler

Mars 2006

FYS-KJM 4740

16

Noen få MR- uttrykk



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

Mars 2006

Typisk MR-oppløsning: 0.5 mm - 5 mm

17

Historikk

Mars 2006

FYS-KJM 4740

18

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

Mars 2006

FYS-KJM 4740

19

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

Mars 2006

FYS-KJM 4740

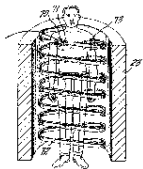
20

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.



Mars 2006

FYS-KJM 4740

21

Historikk

Zeugmatografi



Paul Lauterbur

I Lauterbur's 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".

Mars 2006

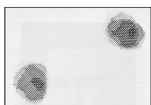
FYS-KJM 4740

22

Historikk

Zeugmatografi

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



Første MRI bilde

Paul Lauterbur
Nature 242:190, 1973

Mars 2006

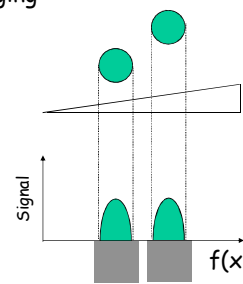
FYS-KJM 4740

23

Historikk

Fourier imaging

Plan måling



Mars 2006

FYS-KJM 4740

24

Historikk

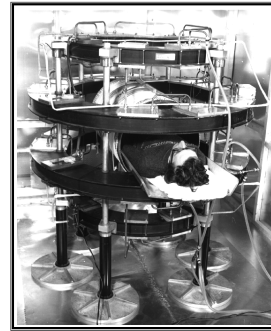
- 70-tallet brukes til å utvikle stadig mer effektive datainnsamlings og rekonstruksjons metoder
- I 1979 publiserer Jim Hutchison i Aberdeen en metode som gir MR-signalet en kombinasjon av frekvens og fase informasjon. Rådata informasjonen konverteres ved hjelp av Fourier transformasjon til et MRI bildet. 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

Mars 2006

FYS-KJM 4740

25

Historikk



Mark 1, Aberdeen 1980 -
FYS-KJM 4740

Mars 2006

26

Historikk



Stavanger april 1986

Mars 2006

FYS-KJM 4740

27

Historikk

Stockholm 2004



Paul Lauterbur

Sir Peter Mansfield

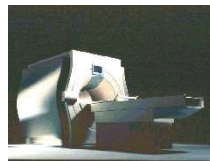
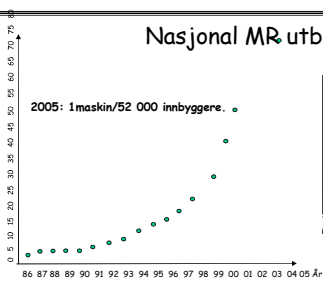
Mars 2006

FYS-KJM 4740

28

Historikk

Nasjonal MR utbredelse



Nasjonalt:
Offentlig og privat: Primært et neurologi og ortopeditilbud

Mars 2006

FYS-KJM 4740

Kilde: KI Gjesdal, Sunnmøre MR-klinikk

29

Historikk/nåtid

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

Mars 2006

FYS-KJM 4740

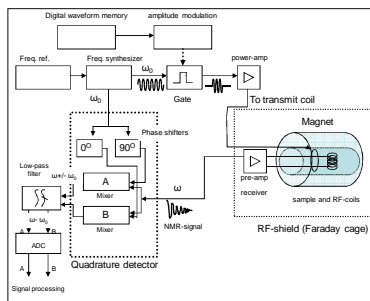
30

Dagens MR



Mars 2006

Dagens MR



Mars 2006

FYS-KJM 4740

32

MR-fysikerens oppgaver

Mars 2006

FYS-KJM 4740

33

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

Mars 2006

FYS-KJM 4740

34

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-standarden)
- Underviser ved lokale og nasjonale MR-kurs

Mars 2006

FYS-KJM 4740

35

MR-fysikerens oppgaver

Innkjøp:

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

Mars 2006

FYS-KJM 4740

36

MR-fysikerens oppgaver

Parameter-innsikt:

Mars 2006 FYS-KJM 4740 37

MR-fysikerens oppgaver

Sekvens/protokoll innsikt:

Bloch likninger

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

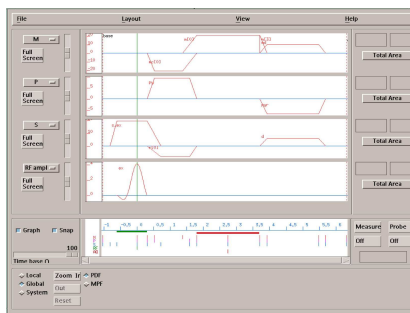
$$\frac{dM_y}{dt} = \gamma (\vec{M} \times \vec{B})_y - \frac{M_y}{T_2}$$

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

Mars 2006 FYS-KJM 4740 38

MR-fysikerens oppgaver

Sekvens innsikt:



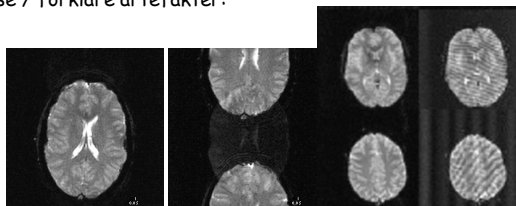
MR-fysikerens oppgaver

Optimalisere MR-protokoller:

Mars 2006

MR-fysikerens oppgaver

Fikse / forklare artefakter:

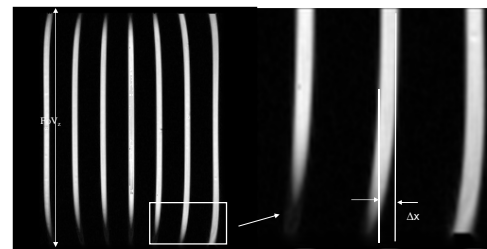


Hva gikk galt her?

Mars 2006 FYS-KJM 4740 41

MR-fysikerens oppgaver

Analyse av geometrisk distorsjon

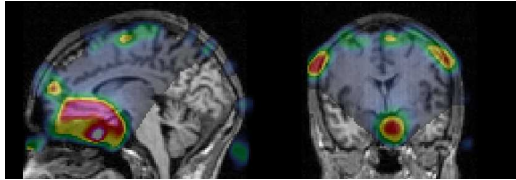


$$\Delta x = \Delta \chi B_0 / G_x$$

Mars 2006 FYS-KJM 4740 42

MR-fysikerens oppgaver

Analyse av B0-homogenitet



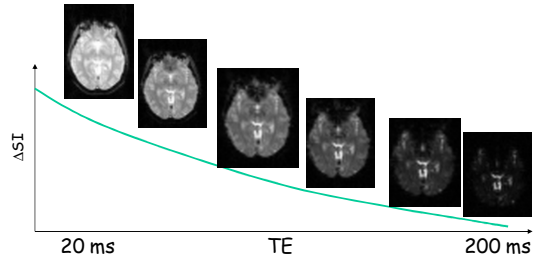
Mars 2006

FYS-KJM 4740

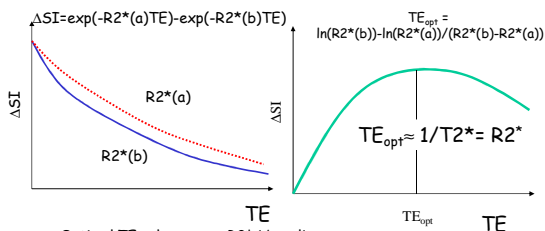
43

Hvordan måle T2* i hjernen?

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



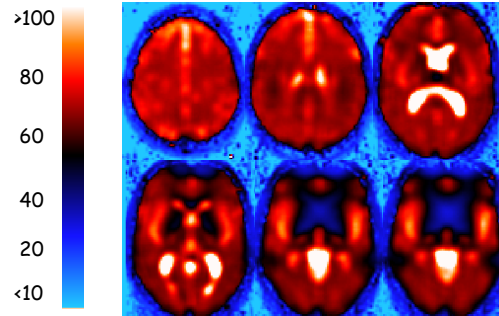
BOLD - optimal TE



Optimal TE avhenger av R2* i baseline :

- Feltstyrke
- Shim-kvalitet
- Lokal variasjon i χ

Optimal TE (ms)



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 Biointerface 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
- Neurochronic Prosthesis (NCP) System
- Neurostimulators
- Ocular Implants and Devices
- Orthopedic Implants
- Otolitic 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
- SynchronMed (S) Infusion System & SynchronMed EL Infusion System
- Tattoos, Permanent Cosmetics, and Eye Makeup
- Transdermal Patches and MRI
- Vascular Access Ports and Catheters

Mars 2006

FYS-KJM 4/40

48

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

Problem	MR	CT	Ultralyd	Rtg
+++ Konkluderende				
Akkutt	+	+++	-	0
Hode, svulst	+	+++	0	0
Hode, blødning	+	+++	0	0
Hjemeinfarkt	+	+++	0	0
++ Meget god				
Blodårer, hode	+	+++	0	+++ (angio)
Blodårer, hals	+	+++	++	+++ (angio)
Hjerne	+	+	-	++ (angio)
+ Kan brukes				
Lunger	+	+++	0	+
Lever	+	+++	+	0
0 Skal ikke brukes				
Bukspyttkjertel	+	+	+	0
Tarm	(+)	(+)	(+)	++
MR beste metode				
Sentrale blodårer	++	++	+	+++ (angio)
Perifere blodårer	+	(+)	+	+++ (angio)
Muskler	(+)	-	-	0
Skjelen, svulst	+	+	+	+
Skjelett, brudd	+	++	0	++
Ledd	+	++	0	++
Nyrer, svulst	+	+++	++	(+)
Nyrer, funksjon	+	+	+	+
Urindelere	+	+	0	++
Rygg, prolaps	+	++	0	0
Rygg, skade	+	++	0	+
Rygge, svulst	+	(+)	0	0
Kvinnelig bekken	+	+	++	0
Mannlig bekken	+	(+)	+	0

Mars 2006 FYS-KJM 4740 55

Muligheter

Hode (kaput)

T1 vektet SE T2 vektet SE T1 vektet IR

Mars 2006 FYS-KJM 4740 56

Muligheter

Hode

Grå hjernesubstans Hvit hjernesubstans

Mars 2006 FYS-KJM 4740 57

Muligheter

Hode

- Diffusjon
- Perfusjon
- fMRI

Mars 2006 FYS-KJM 4740 58

MR-fysikerens oppgaver

3D-modellering av funksjonell og morfometriske data :

Mars 2006 FYS-KJM 4740 59

MR-fysikerens oppgaver

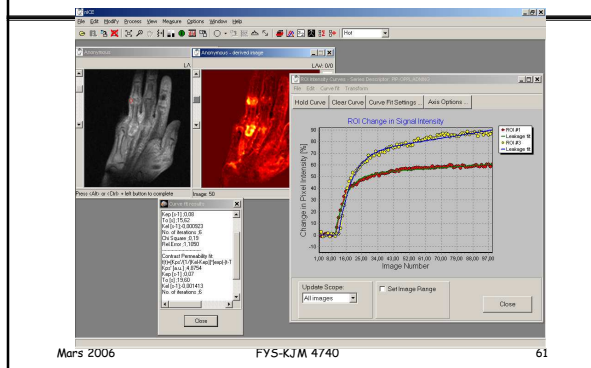
Modellering av kontrastmiddeleffekt:

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

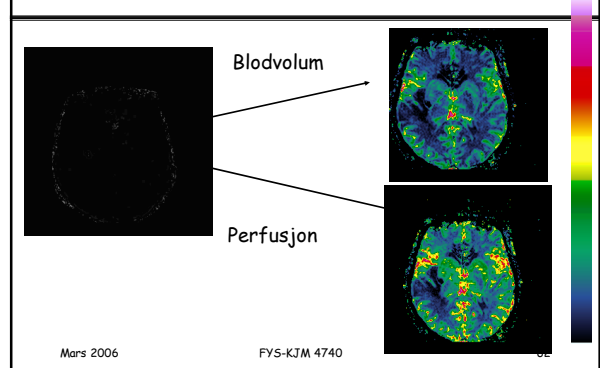
K^{ps} (permeabilitet)

Mars 2006 FYS-KJM 4740 60

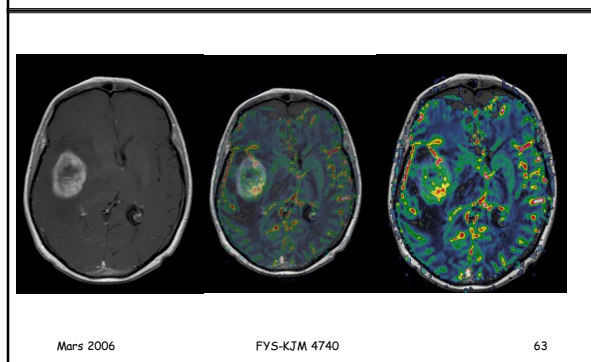
MR-fysikerens oppgaver



Funksjonell (dynamisk) MR-avbildning

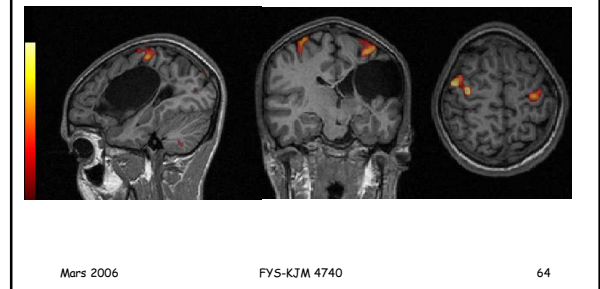


Biopsi-planlegging

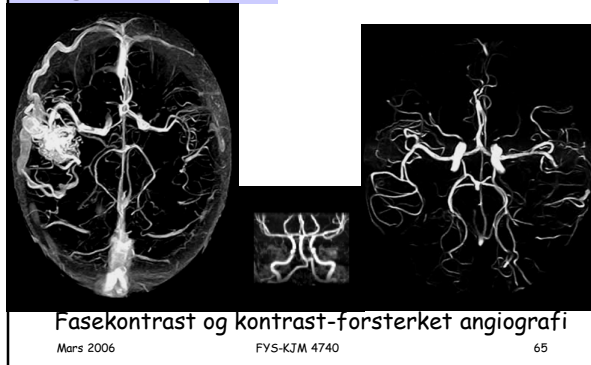


fMRI

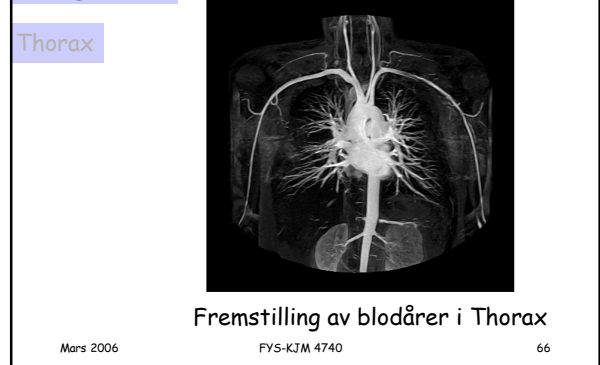
Mapping av motorisk cortex



Muligheter Hode



Muligheter Thorax



Muligheter

Abdomen



Fremstilling av aorta og nyrearteriene

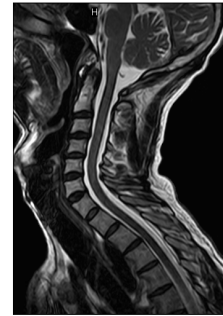
Mars 2006

FYS-KJM 4740

67

Muligheter

Nakke/hals



T2 vektet cervical
columna

Mars 2006

FYS-KJM 4740

68

Muligheter

Rygg



T1 og T2 vektet total
columna

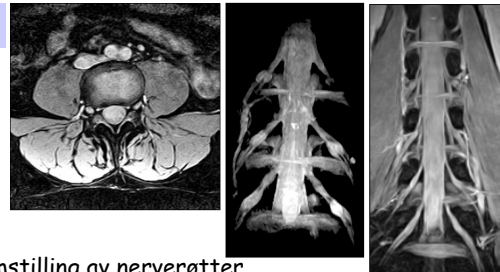
Mars 2006

FYS-KJM 4740

69

Muligheter

Rygg



Fremstilling av nerverøtter
Ved hjelp av fettsuppresjon

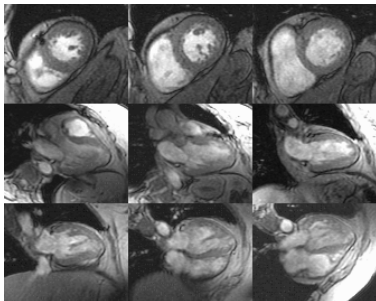
Mars 2006

FYS-KJM 4740

70

Muligheter

Hjerte



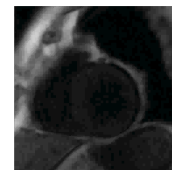
Mars 2006

FYS-KJM 4740

71

Muligheter

Hjerte



Dynamisk hjerteperfusjon

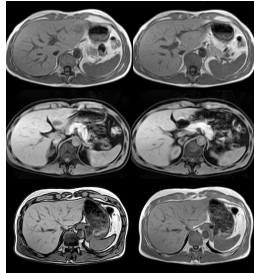
Mars 2006

FYS-KJM 4740

72

Muligheter

Abdomen



Ulike kontrastvektinger gjennom abdomen

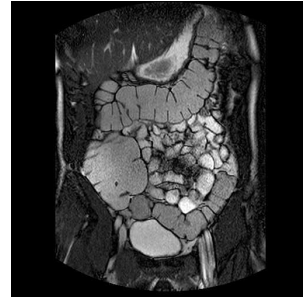
Mars 2006

FYS-KJM 4740

73

Muligheter

Abdomen



Fremstilling av tykktarm og tynntarm

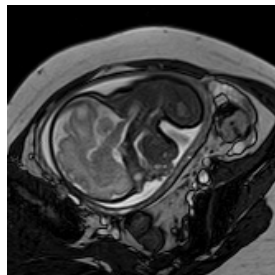
Mars 2006

FYS-KJM 4740

74

Muligheter

Abdomen



Avbildning av foster

Mars 2006

FYS-KJM 4740

75

Muligheter

Ledd



Kneledd med vannseleksjons Fotledd med fettsuppresjon

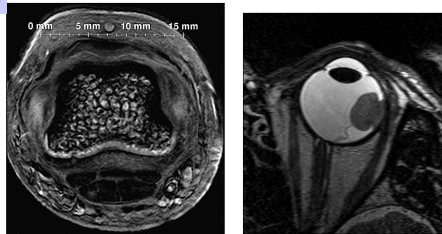
Mars 2006

FYS-KJM 4740

76

Muligheter

Micro-MR



Finger

Øyepatologi

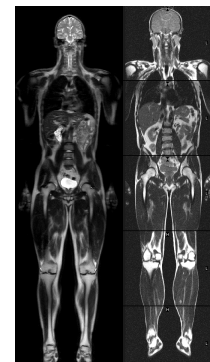
Mars 2006

FYS-KJM 4740

77

Muligheter

Macro-MR



Helkropp MR, T2 og T1 vektet

Mars 2006

FYS-KJM 4740

78

Muligheter

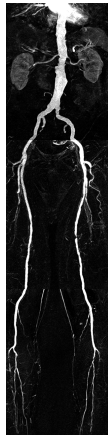
Macro

Underekstremitets angiografi

Mars 2006

FYS-KJM 4740

79



Slutt på intro

Da begynner alvorret