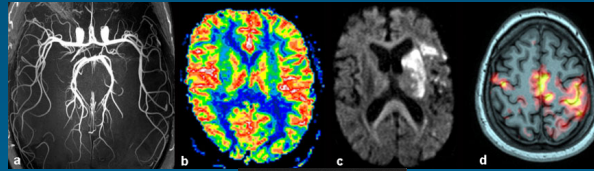
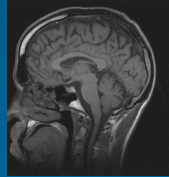


Morfologisk och funktionell hjärnavbildning med magnetkamera



Ronnie Wirestam

Professor
Avd. för Medicinsk Strålningsfysik



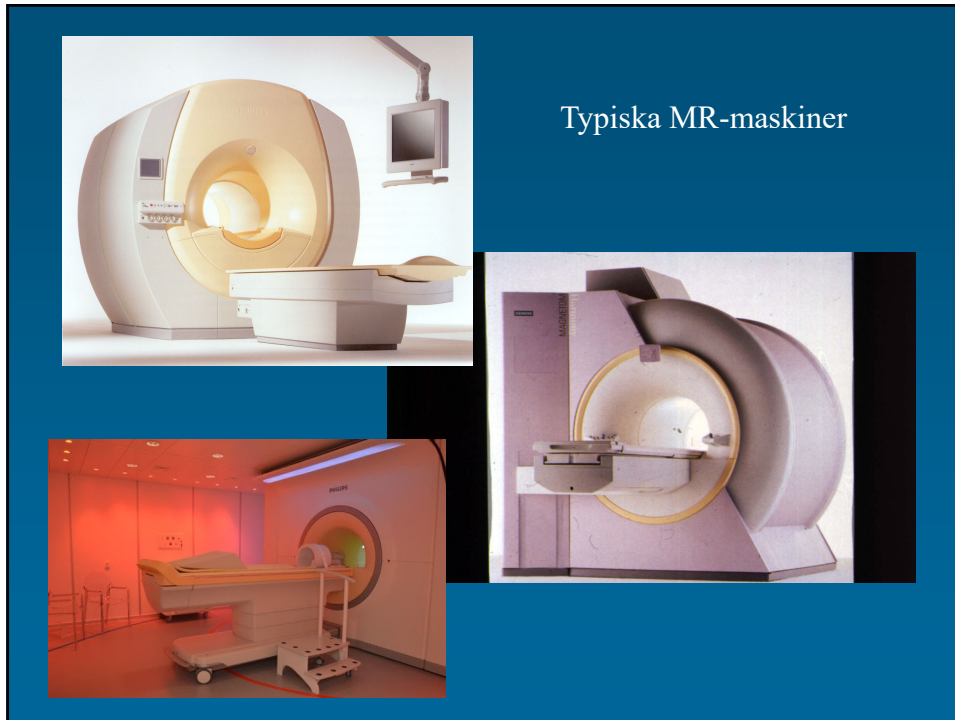
LUND
UNIVERSITY

1

MR-fysik

- MR = Magnetresonans
- NMR = Nuclear Magnetic Resonance
- MRI = Magnetic Resonance Imaging
- Magnetkamera

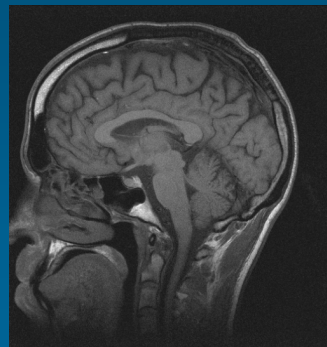
2



3

MR-bild kräver:

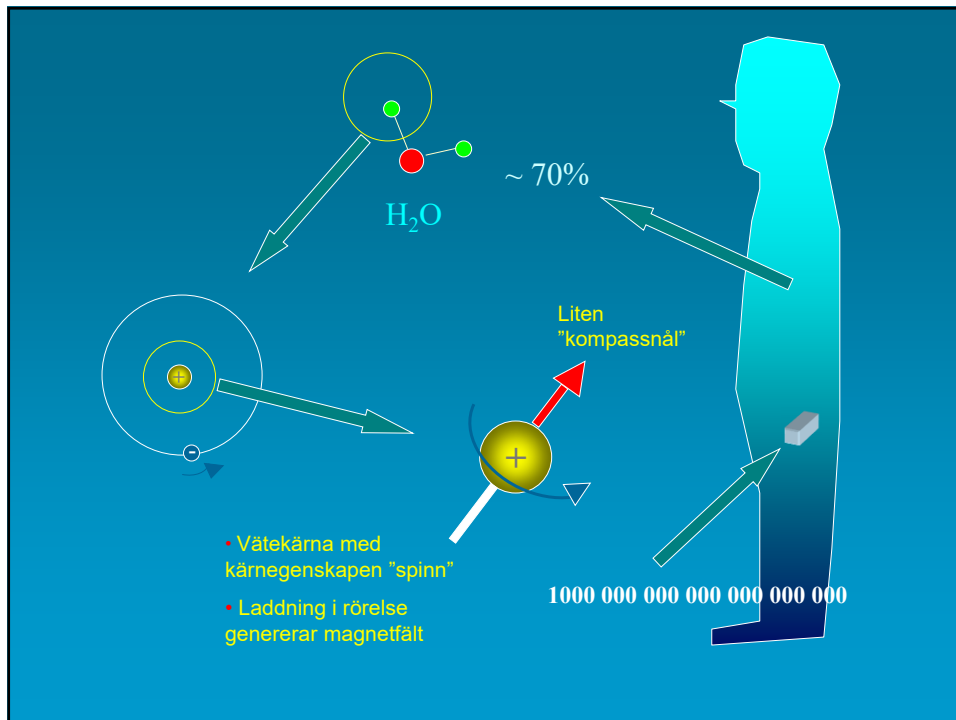
- Signal - bildintensitet
- Kontrast - olika signal från olika vävnader
- Rumsupplösning - signalen inplacerad på rätt ställe i bilden



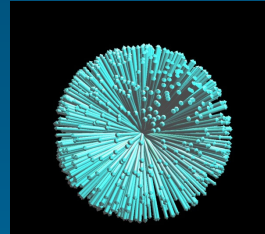
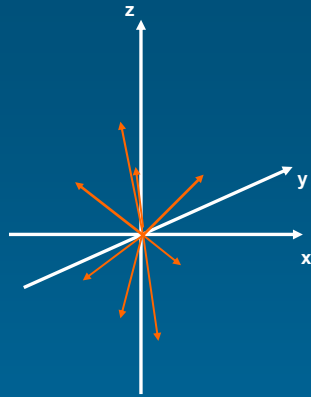
4

Signal

5



6

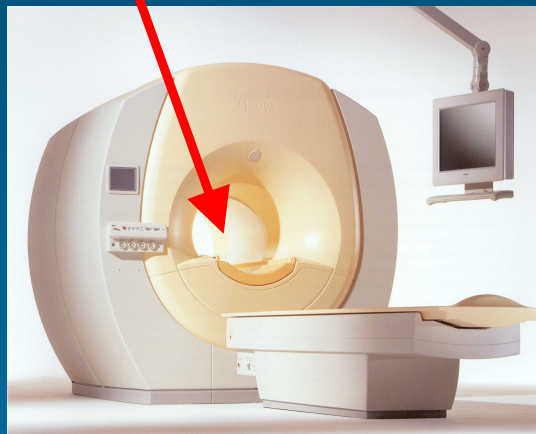


Naturligt tillstånd: Ingen föredragen orientering hos kärnorna ("kompassnålarna")

Credit: Lars Hanson, DRCMR

7

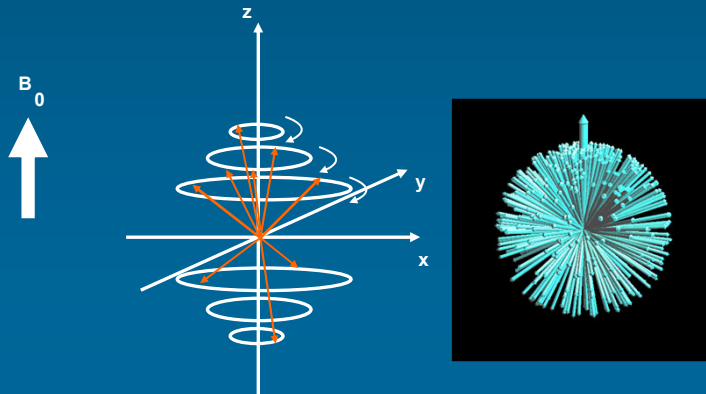
Yttre magnetfält B_0 (oftast några tesla):



8

Yttre magnetfält B_0 (oftast någon tesla):

- Kärnorna ställer in sig i magnetfältet
- Rotationsrörelse (s.k. precession) uppstår

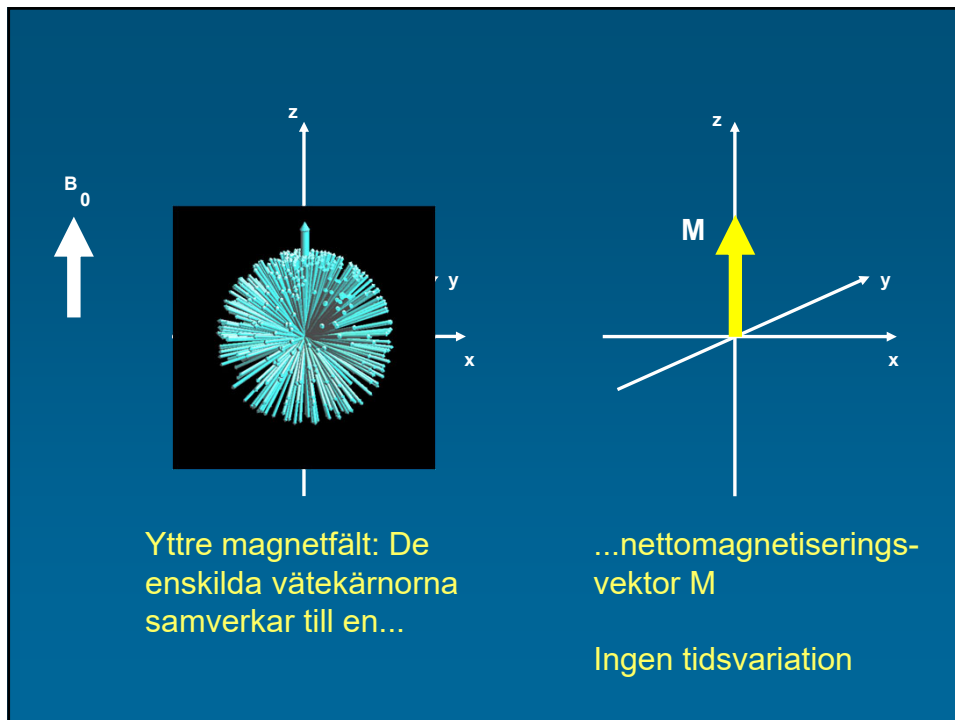


9

Yttre magnetfält B_0 (oftast någon tesla):

- Kärnorna ställer in sig i magnetfältet
- Rotationsrörelse (s.k. precession) uppstår
- Precessionsfrekvensen f (resonansfrekvensen) är proportionell mot magnetfältets styrka B
- $f = \text{konstant} \cdot B$
- T.ex. $f = 64 \text{ MHz}$ vid $B = 1.5 \text{ T}$

10



11

Förändring av jämviktstillståndet:

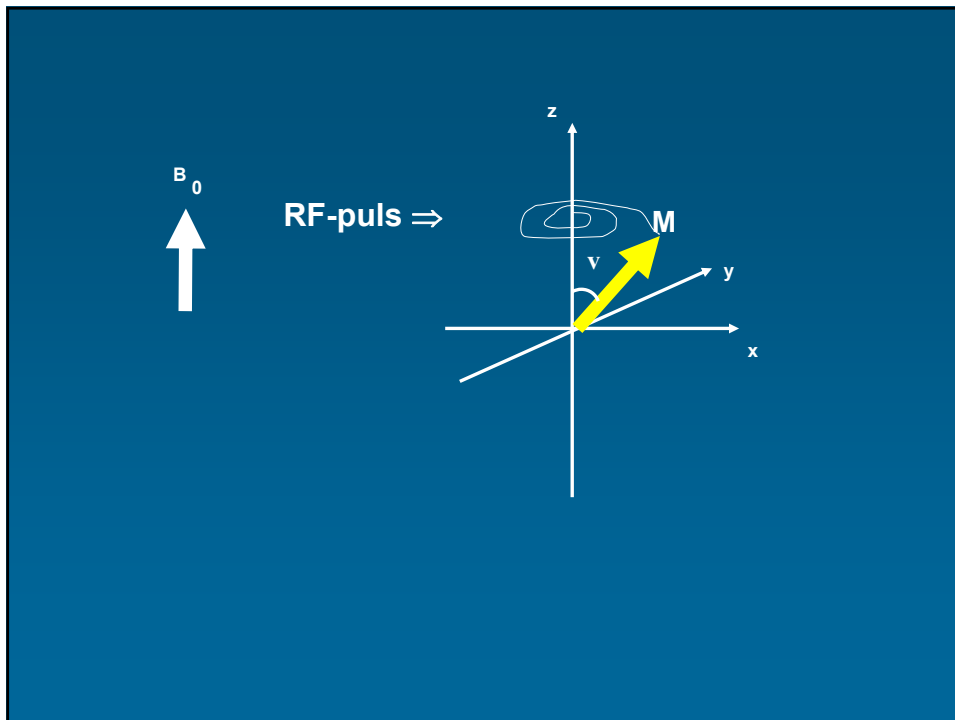
- Kontrollerad insändning av radiofrekvent energi (RF) med rätt frekvens
- Kallas RF-puls

12

Förändring av jämviktstillståndet:

- Kontrollerad insändning av radiofrekvent energi (RF) med rätt frekvens
- Kallas RF-puls
- Effekt: M vrids ner mot det vågräta planet under rotation

13

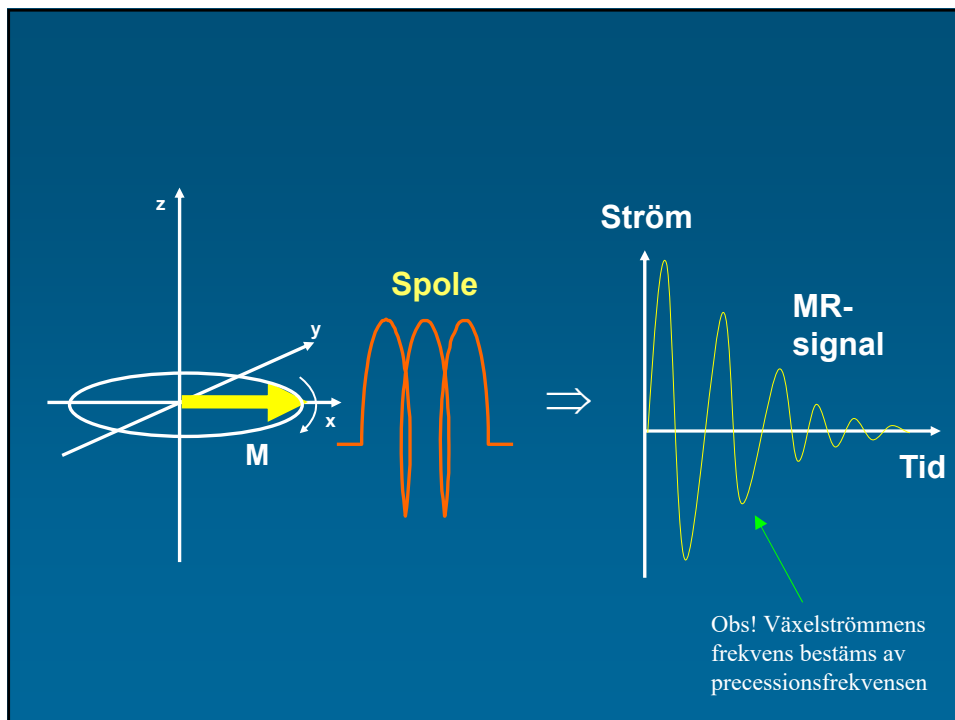


14

Signaldetektering:

- Efter vridning utgör magnetiseringsvektorn ett tidsvarierande magnetfält i det vågräta planet
- En s.k. mottagarspole placeras kring eller nära intill objektet
- En växelström induceras i spolen (principen för växelströmgenerator)

15



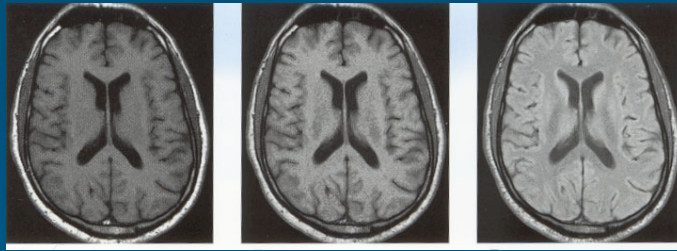
16



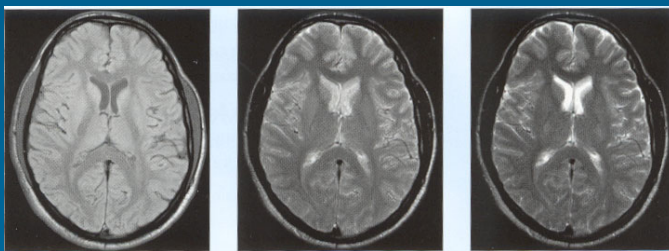
17

Kontrast

18

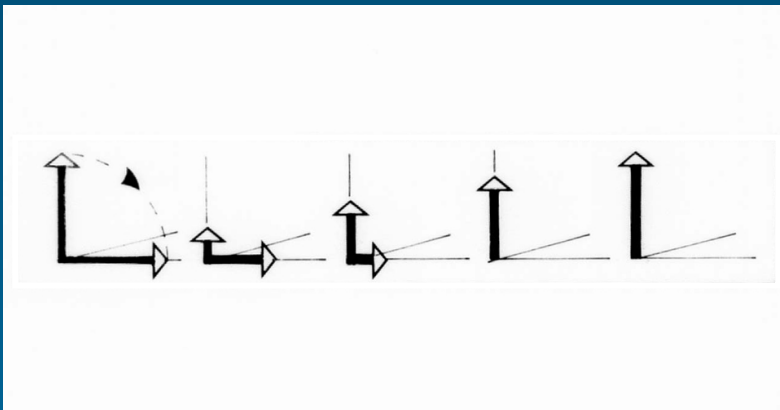


Uppenbarligen inte bara olika vattenhalt...



19

Kontrast



Systemet återgår till grundtillståndet, via s.k. relaxation

Signalen dör bort och M återuppväxer

Två processer som går olika snabbt i olika vävnader

20

De två processerna: RELAXATION

- Magnetiseringens återuppväxande:
T1-relaxation

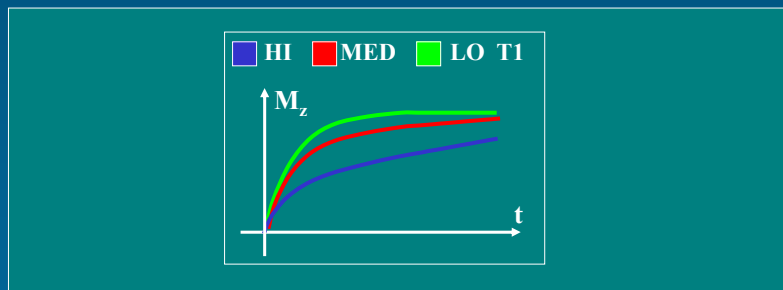


- Signalens bortdöende:
T2-relaxation
T2*-relaxation



21

T1-RELAXATION



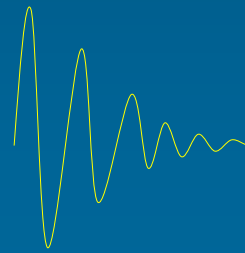
22

De två processerna: RELAXATION

- Magnetiseringens återuppväxande:
T1-relaxation



- Signalens bortdöende:
T2-relaxation
T2*-relaxation



23

Urfasning – signalens bortdöende:

- Inhomogent magnetfält gör att den gemensamma precessionen går förlorad ($f_0 = 43 \text{ MHz/T} \cdot B_0$)



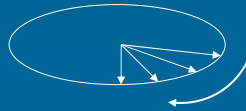
⇒ Signalen sjunker

24

Urfasning - signalförlust:

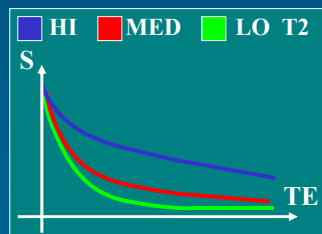
• Urfasning och signalförlust

- 1) Vätekärnorna är “små magneter” som påverkar varandra
- 2) Magneterna i MR-maskinen är inte idealt tillverkad
- 3) Magnetiska substanser (deoxyhemoglobin, kontrastmedel...)
- D.v.s.: T2-relaxation (1) respektive T2*-relaxation (1+2&3)

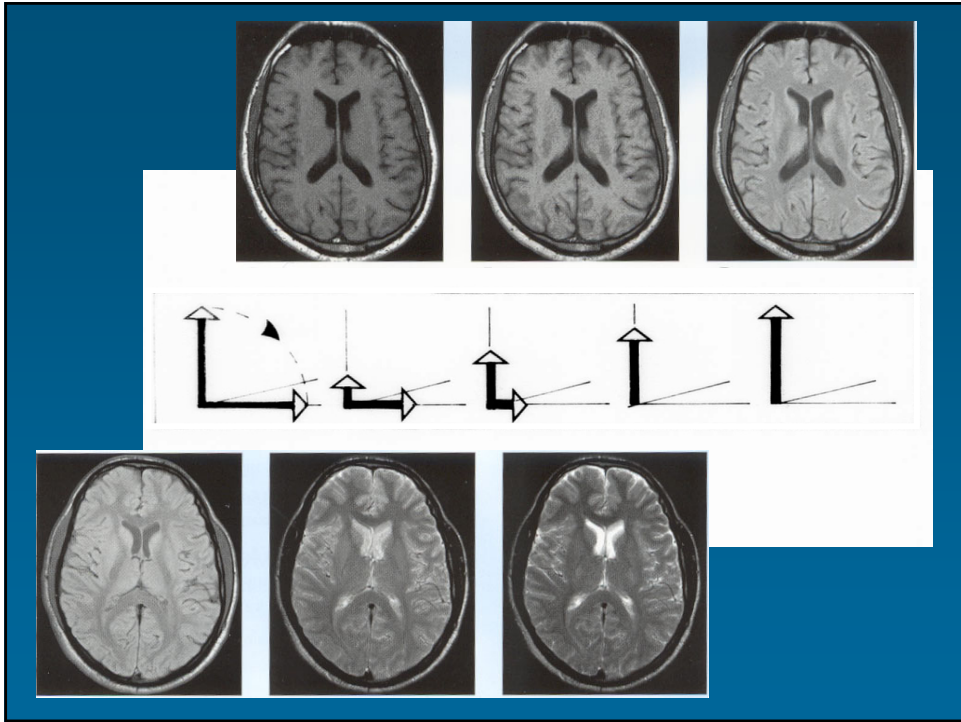


25

T2-/T2*-RELAXATION



26



27

Rumsupplösning

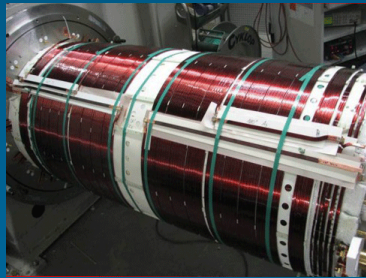
28

Rumsupplösning:

Små magnetfältsvariationer (gradienter) introduceras

Kom ihåg: Frekvensen f proportionell mot magnetfältet B

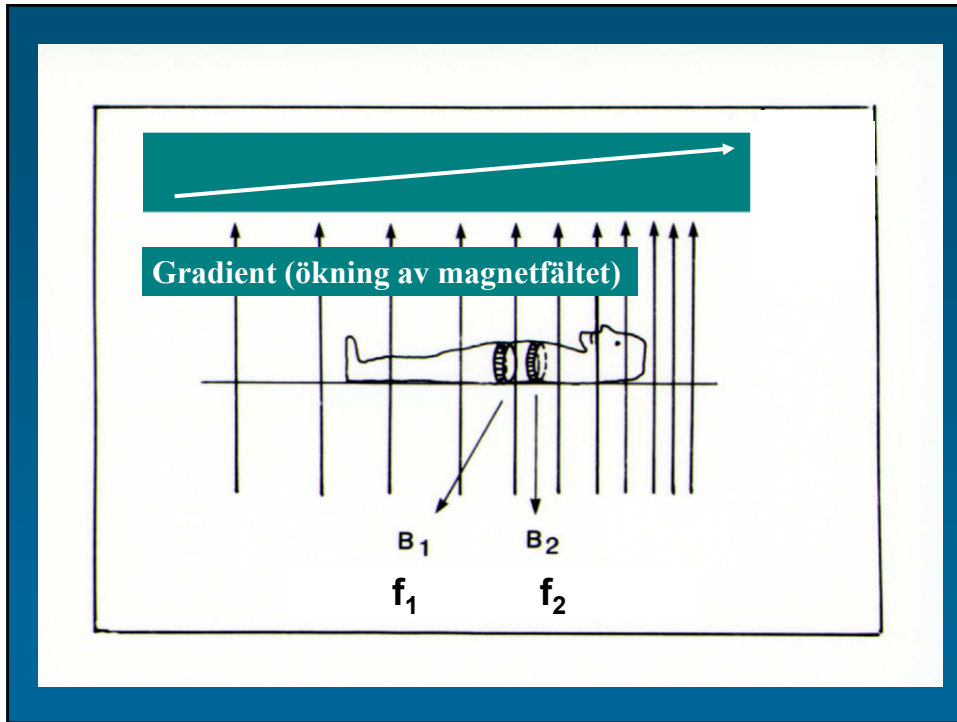
$$f = 43 \text{ MHz/T} \cdot B$$



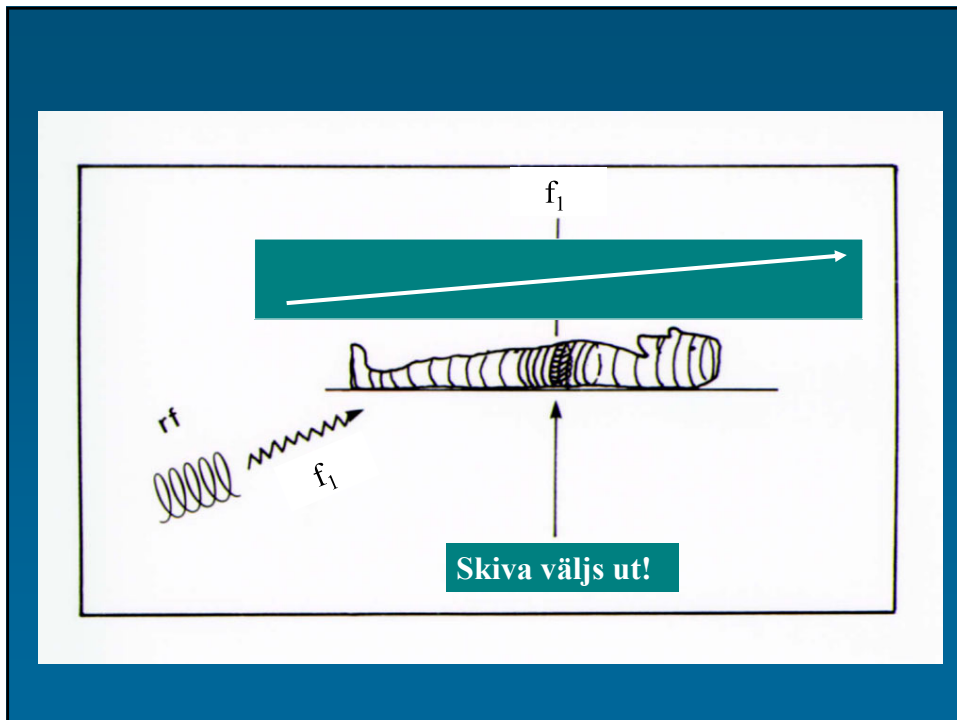
29

Rumsupplösning: Skivselektion

30



31



32

Rumsupplösning: Två-dimensionell upplösning i den valda skivans plan

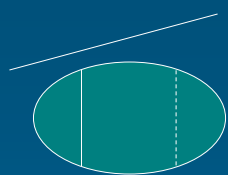


Skapa olika egenskaper hos signalen från olika positioner

33

Rumsupplösning: Frekvenskodning

Ökande magnetfält (gradient)



x_1

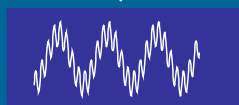
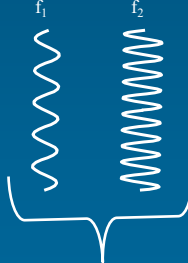
x_2

B_1

B_2

f_1

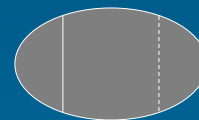
f_2



Summasignal i mottagarpolen

$$f = 43 \text{ MHz/T} \cdot B$$

”Bild”



x_1

x_2

Signal

f_1

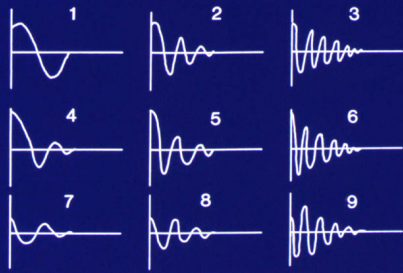
f_2

f

34

Rumsupplösning: Frekvenskodning

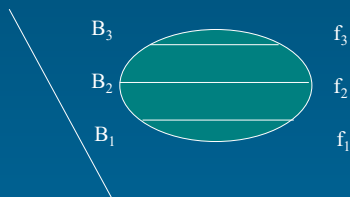
$$f = 43 \text{ MHz/T} \cdot B$$



Frekvenskodnings-
riktning

35

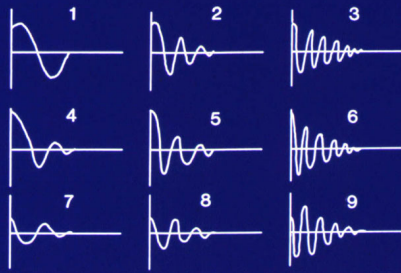
Rumsupplösning: Faskodning



36

Rumsupplösning: Frekvenskodning och faskodning

$$f = 43 \text{ MHz/T} \cdot B$$



Faskodningsriktning

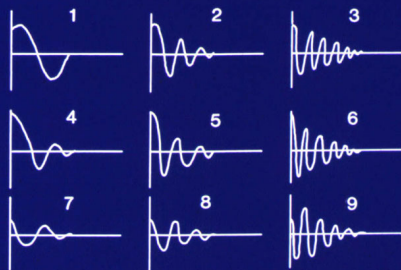
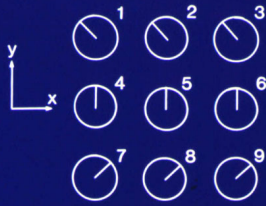


Frekvenskodningsriktning

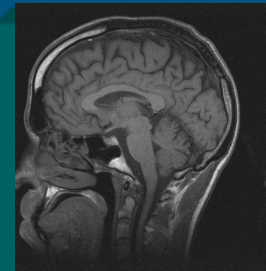
37

Rumsupplösning: Frekvenskodning och faskodning

$$f = 43 \text{ MHz/T} \cdot B$$



Faskodningsriktning



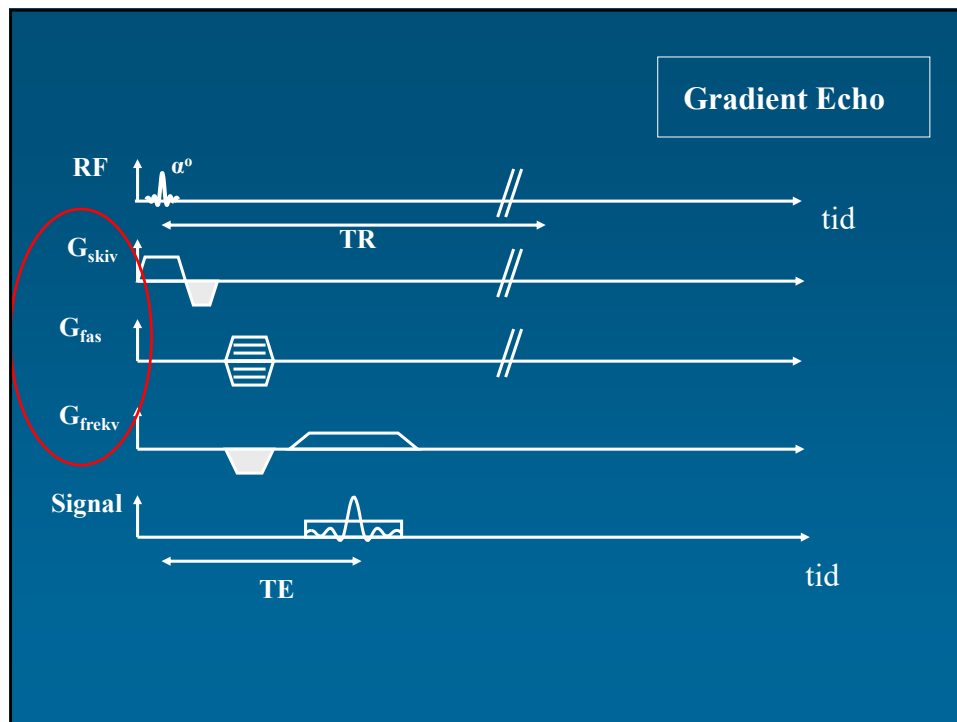
Frekvenskodningsriktning

38

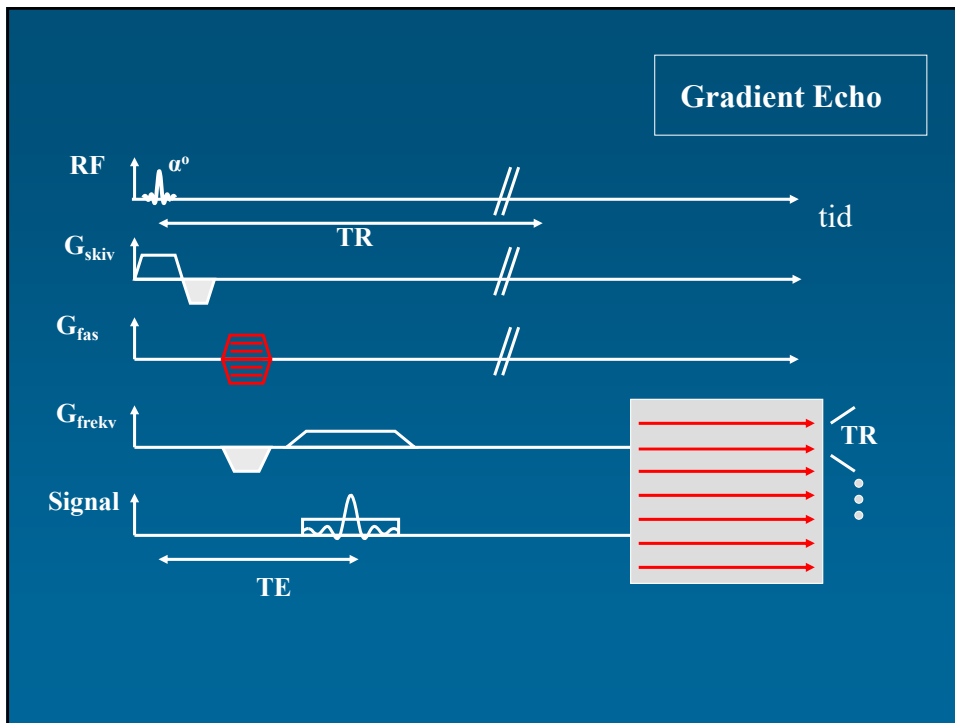
Pulssekvenser

- Två-dimensionell information kräver upprepning av s.k. pulssekvens, t.ex. 128, 256 eller 512 gånger
- Tidsintervall mellan RF-pulser avgör kontrasten i bilden

39



40



41

Pulssekvenser och kontrast

- Åtskilliga pulssekvenstyper finns
- Kontrast manipuleras t.ex. via TE och TR

The diagram illustrates T1 and T2 relaxation processes. The top part shows T1-relaxation with a red arrow pointing right, a blue arrow pointing up, and a red arrow pointing up, with a TR interval. The bottom part shows T2-relaxation with a red arrow pointing right, a blue arrow pointing up, and a red arrow pointing up, with a TE interval. A label "Ny 90°-puls efter TR" is placed between the two diagrams.

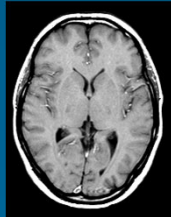
42

Pulssekvenser och kontrast

- Åtskilliga pulssekvenstyper finns
- Kontrast manipuleras t.ex. via TE och TR

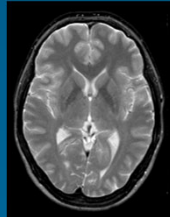
Exempel: Spinn-eko

T1-viktning



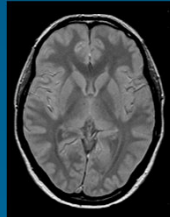
Kort TR
Kort TE

T2-viktning



Lång TR
Lång TE

Protontäthetsviktn.



Lång TR
Kort TE

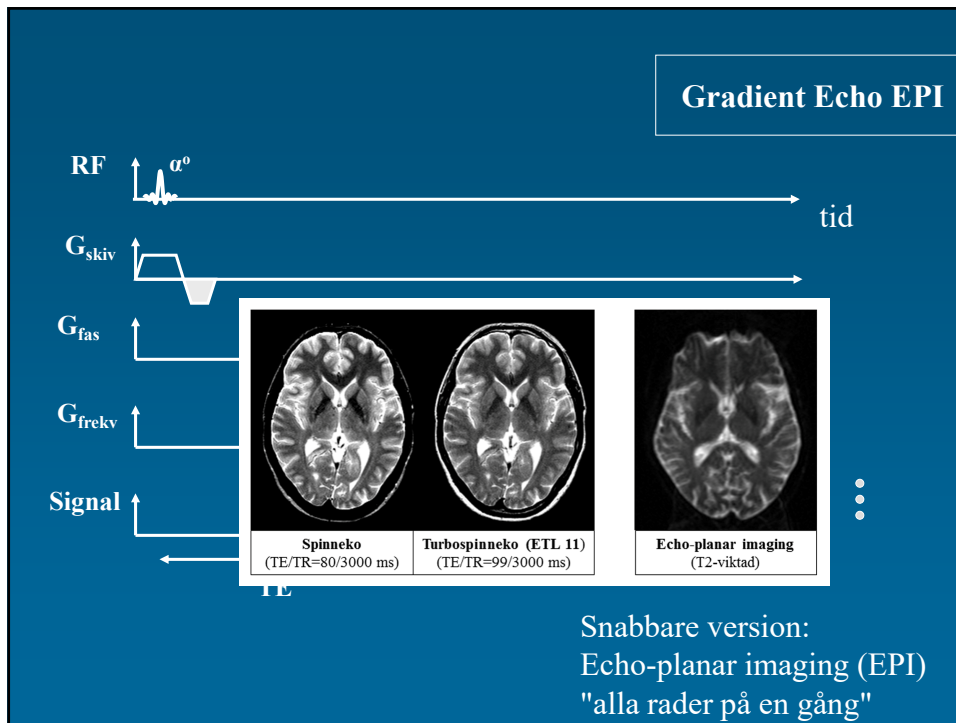
43

Gradient Echo EPI



Snabbare version:
Echo-planar imaging (EPI)
"alla rader på en gång"

44



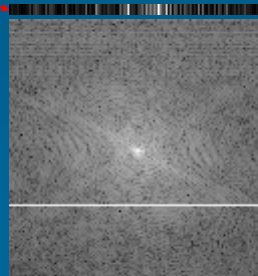
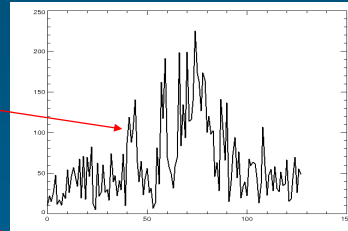
45

Bildrekonstruktionen

46

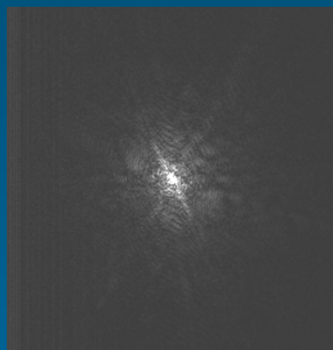
Signal

- Insamlad signal digitaliseras och talen omvandlas till gråskalevärden
- Alla de olika signalinsamlingarna läggs in, rad för rad



47

Signalrummet
(rådata, k-rummet)



Bildrummet

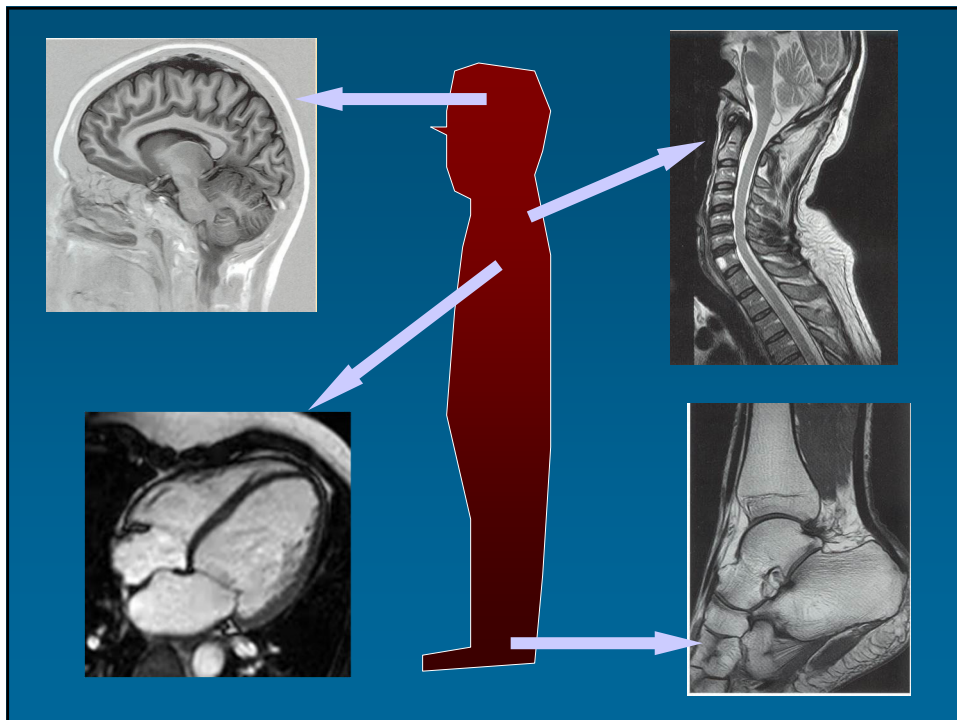


Fourier-transform!

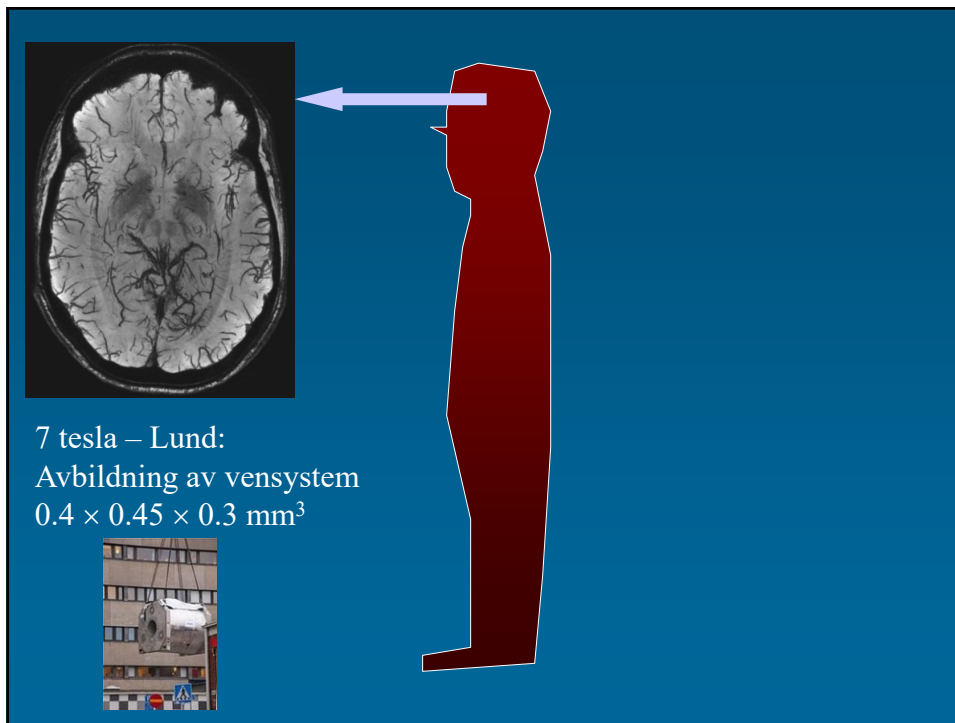
48

Anatomi - morfologi

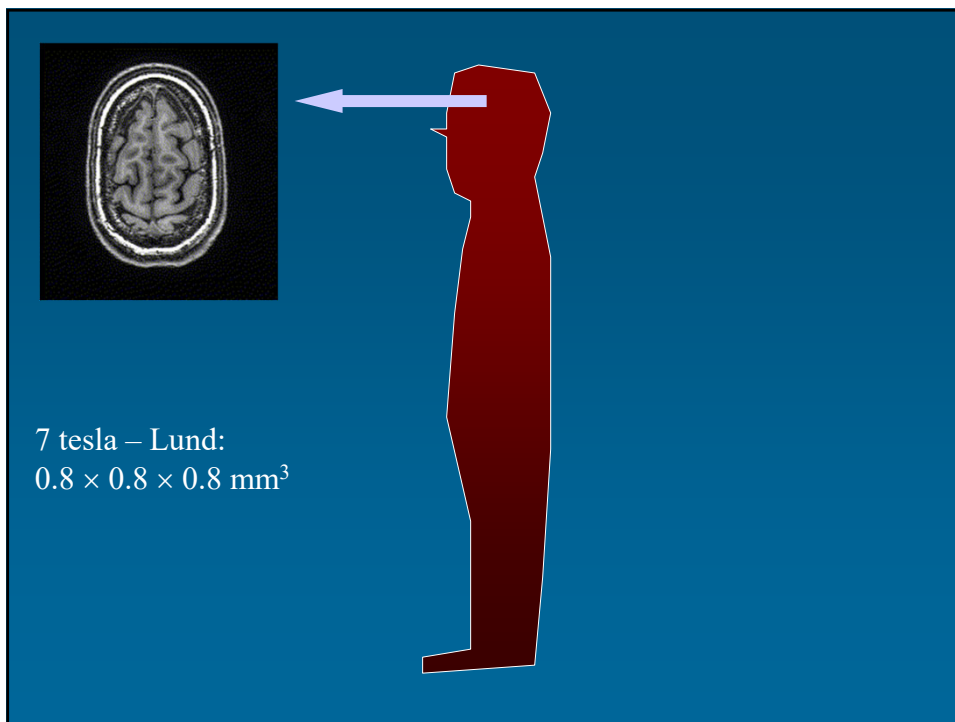
49



50



51

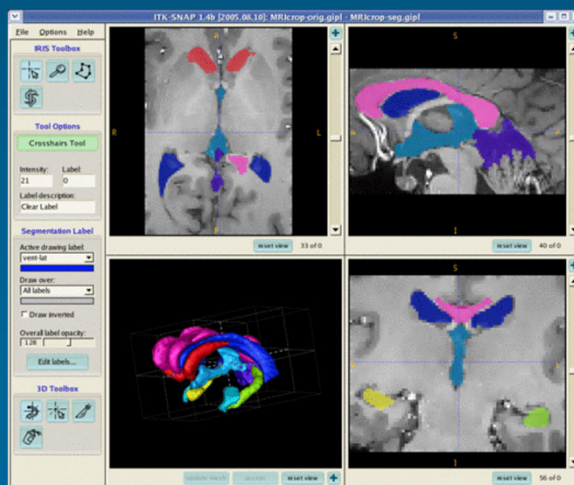


52

Segmentering, volumetri, morfometri

53

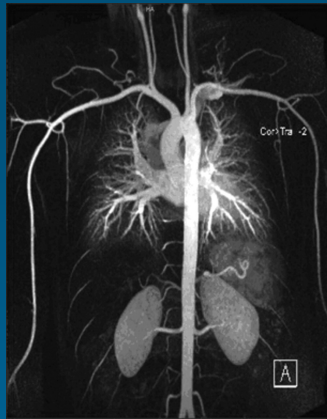
- *Segmentering*: Specifika strukturer eller vävnadstyper identifieras/ klassificeras, oftast baserat på signalskillnader (d.v.s. kontrasten)
- Ofta 3D-visualisering
- Karakterisering av strukturers form (*morfometri*)
- Beräkning av volym (*volumetri*)



54

Flöden och rörelser

55



7 tesla - Lund



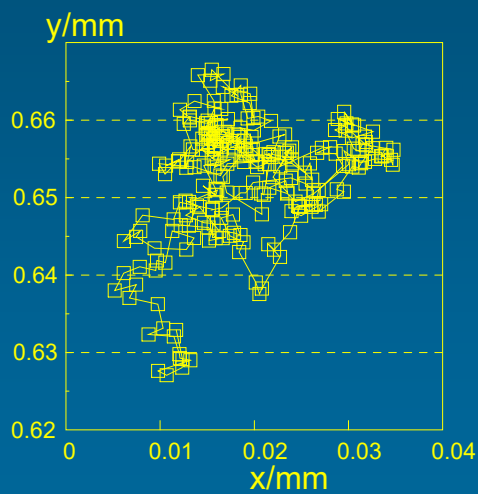
MR-angiografi

56

Diffusion - termiska molekylrörelser

57

Fenomenets natur

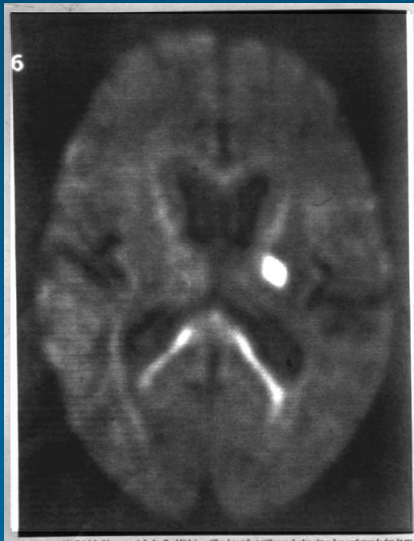


- Slumpmässig termisk rörelse hos vattenmolekylerna
- "Celltäthet"
- Mikrostrukturer

58

Slaganfall

Allt fler patienter kan leva ett bra liv efter slaganfallet



Slaganfall (stroke) orsakas av blodpropp eller blödning i hjärnan. Det är allvariga sjukdomar som kan leda till döden eller grav funktionsnedsättning.

Men det finns många ljuspunkter. Jäka vare bättre vård och rehabilitering kan allt fler patienter leva ett bra liv efter slaganfallet. Inom några år kan vi också ha läkemedel som, om de sätts in tidigt, befriar sjukdomsprocessen och motverkar hjärnskador.

Slaganfall och stroke är två sammantagna benämningar på kärlsjukdom i hjärnan. Båda benämningarna används i stor omfattning, och det råder skillnad mellan olika yrkesgrupper och olika delar av landet.

Vårje år drabbas cirka 30 000 svenskar av slaganfall. Risken att drabbas ökar med stigande ålder, majoriteten av patienterna är över 70 år. Samtidigt är det cirka 20 procent yngre än 65 år. Många drabbas alltså i barnen.

Dödligt utgående i dessa sjukdomar minskar, men de är fortfarande den tredje vanligaste dödsorsaken (efter hjärt-kärlsjukdomar och cancer). De orsakar ungefär en tredjedel av alla dödsfall.

Slaganfall är också den främsta orsaken till bestående svårigheter hos vuxna. Förutom till hjärnan, drabbas också mycket mycket kontrollerande. Den sammantagna kostnaden för sjukvård i samband med slaganfall är drygt två miljarder kronor per år.

Men den svenska bilden är inte så negativ. Det skett ett stort genombrott på de senaste åren. Det är ett slaganfall för 28 personer som tidigare var 30 personer. Det kan man utläsa av denna rapport över sju dagar.

Det kan man se att det är flera patienter som lever för 22 år efter slaganfall. Det är också ett stort genombrott i samband med att sjukvårdens och rehabiliteringens utveckling. En del utveckling skulle kunna vara att sjukvårdens bild bättre på att upptäcka och behandla blodproppar, och att det viktigaste faktorn bakom slaganfall, D

bete är en annan riskfaktor och bättre diabetesbehandling skulle också kunna vara en riskfaktor. Kan man bilda ett verktyg som många personer med läkemedel behandlas med används i Sverige? I Sverige för att förebygga blodproppar. Och utbildning för ett stort läkemedelsutvecklingsområde är många av oss är inte sällsynta?

Bättre vård idag

En annan glädjande utveckling gäller vårdens utveckling i Sverige. Vid allt fler sjukhus tas dessa patienter om hand på specialiserade sjukhus, ofta kallade stroke-enheter. På en sådan enhet har personalen special utbildning och ett starkt intresse för hjärnans kärlsjukdomar.

Vården följer ett program där sjukvård övervakning samt tidig aktivitet och rehabilitering är två hörnstenar. Patienterna tas om hand av ett sjukhus där bland andra läkare, sjuksköterskor, sjukgymnaster, arbetsterapeut och logoped kan ingå. Vården samordnas av en stroke- och sjukvårdsenhet.

Den nya vårdmetoden har mycket stor betydelse för att åter patienterna så god funktionsförmåga som möjligt, och för överlevnad. Det har styrts av ett 20-tal vetenskapliga studier, säger professor Kjell Anagnost.


Han är överläkare vid medicinska kliniken på Norrlands universitetssjukhus i Umeå och dransans styrelseordförande i Svenska förening för medicinsk utvärdering, SBU. Professor Kjell Anagnost är också en av de som leder den svenska slaganfall och stroke till utvecklingen av hjärnan vid slaganfall.

Här nämner han till om har stroke och blodproppar som de två vanligaste sjukdomarna som drabbas av slaganfall. Samtidigt visar att stroke och blodproppar utgör 15-20 procent av alla sjukdomar som drabbas av slaganfall. Behöver vi lära oss mer om hur de patienter som drabbas av slaganfall ska behandlas? Behöver vi lära oss mer om hur de patienter som drabbas av slaganfall ska behandlas? Behöver vi lära oss mer om hur de patienter som drabbas av slaganfall ska behandlas? Behöver vi lära oss mer om hur de patienter som drabbas av slaganfall ska behandlas?


59

Mikrostruktur: Isotropi vs. anisotropi

- Isotrop diffusion

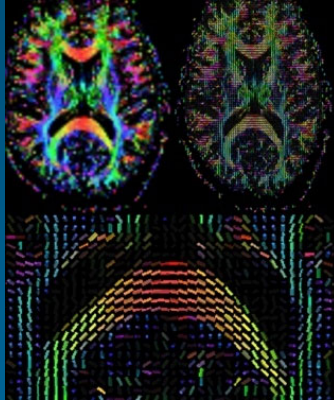


- Anisotrop diffusion

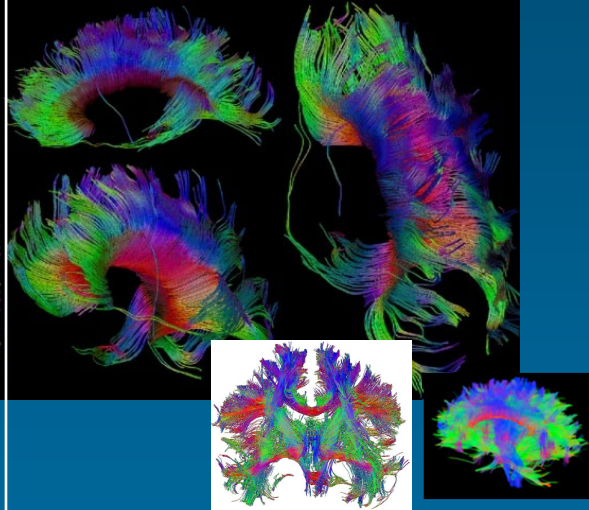


60

Huvudsakliga
diffusionsriktningar



Visualisering av buntar av
nervfibrer i vit substans ("fiber tracking")



Tillämpning: Demyelinisering

61

Perfusion - kapillärt blodflöde

62

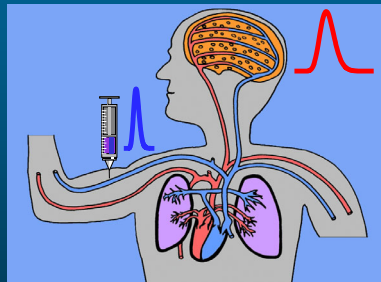
Cerebral perfusion

- Cerebral blodvolym CBV [ml/100g]
- Cerebralt blodflöde CBF [ml/min/100g]
- Medelpassagetid (mean transit time) MTT [s]

63

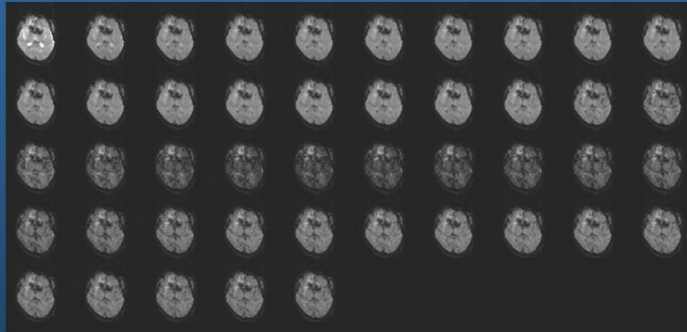
Intravaskulärt spårämne: Dynamic susceptibility contrast (DSC) MRI

- Intravenös injektion
- Snabb injektion av gadolinium-baserat kontrastmedel
- Kontrastmedlet stannar i blodbanan i hjärnan p.g.a. blod-hjärnbarriären

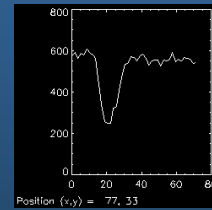


64

Intravaskulärt spårämne: Dynamic susceptibility contrast (DSC) MRI



Ett volymselement
(grå vävnad):

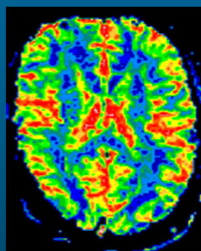


- Injektion av gadolinium-baserat kontrastmedel
- Snabb bildtagning (T_2^* -viktad) (≈ 1.5 s/bild)
- Beräkning av CBV, CBF och MTT utifrån signalkurvor över tid

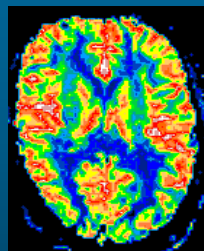
65

Normal försöksperson

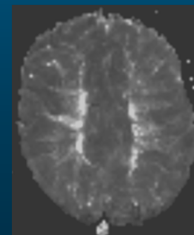
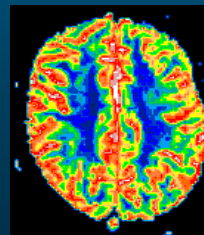
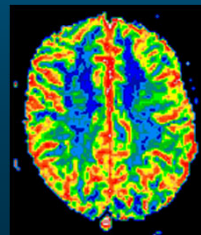
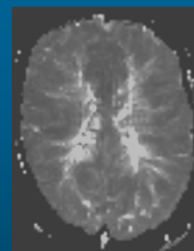
CBV



CBF



MTT



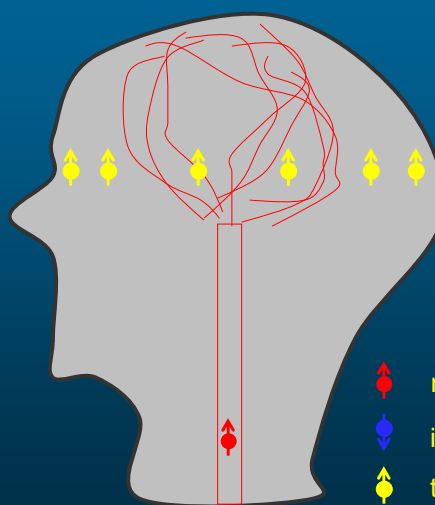
66

Arterial spin labelling (ASL)

- Helt icke-invasiv teknik – inget kontrastmedel
- Möjliggör upprepade mätningar med kort väntetid

67

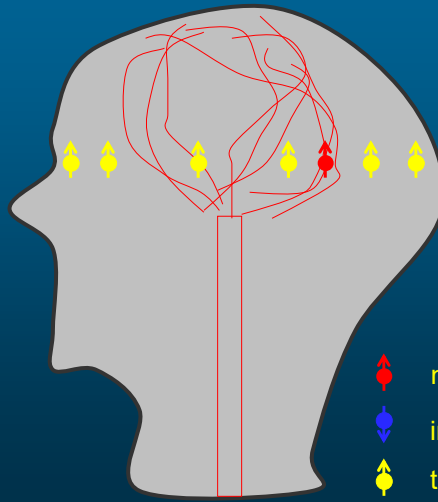
Grundprincip: Arterial spin labelling (ASL)



- non-inverted arterial spins
- inverted arterial spins
- tissue spins

68

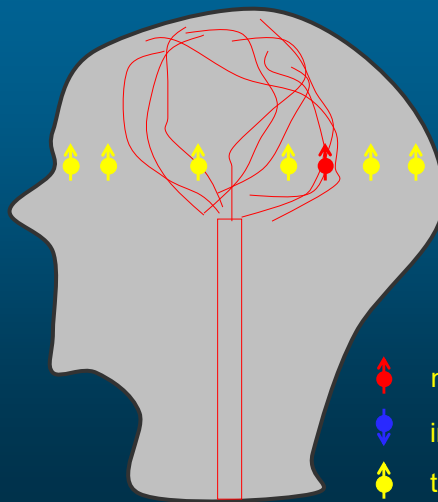
Grundprincip: Arterial spin labelling (ASL)



- ◆ non-inverted arterial spins
- ◆ inverted arterial spins
- ◆ tissue spins

69

Grundprincip: Arterial spin labelling (ASL)



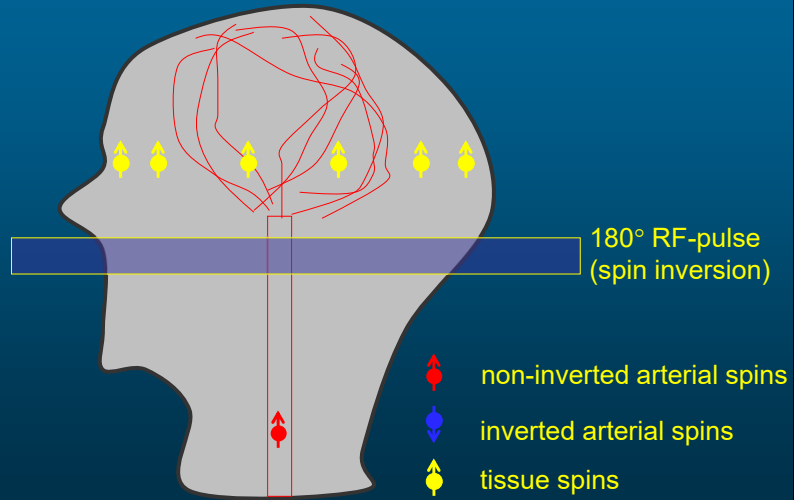
Blood-tissue water exchange

- ◆ non-inverted arterial spins
- ◆ inverted arterial spins
- ◆ tissue spins

70

Grundprincip: Arterial spin labelling (ASL)

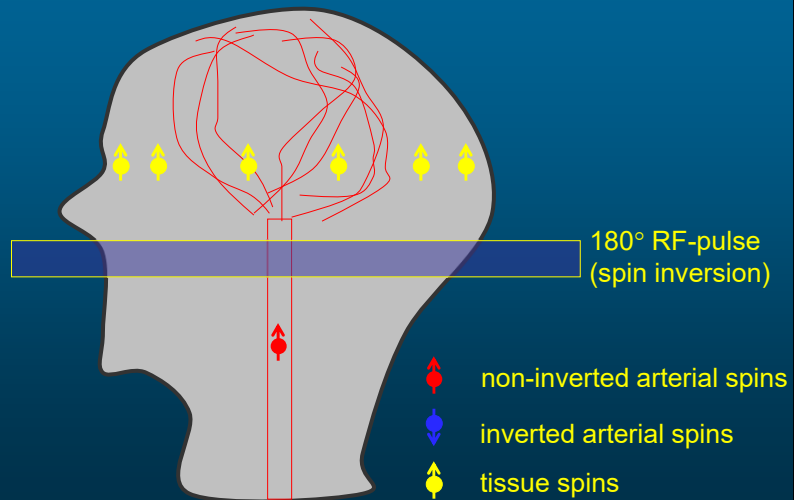
(1) Labelling experiment



71

Grundprincip: Arterial spin labelling (ASL)

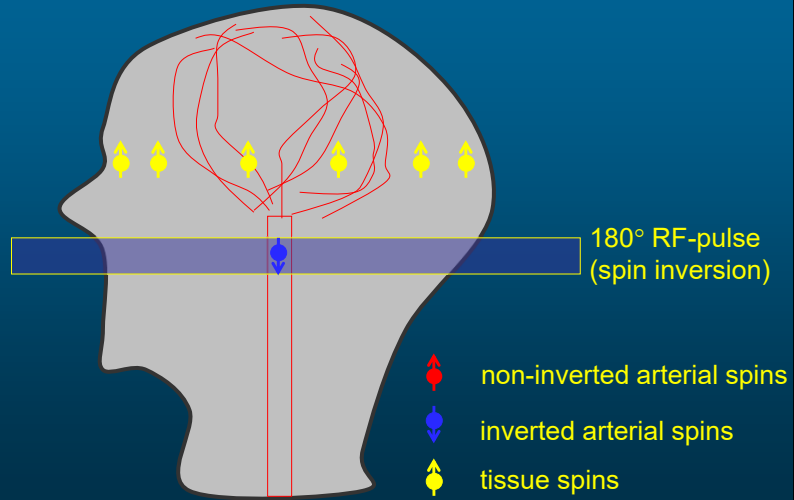
(1) Labelling experiment



72

Grundprincip: Arterial spin labelling (ASL)

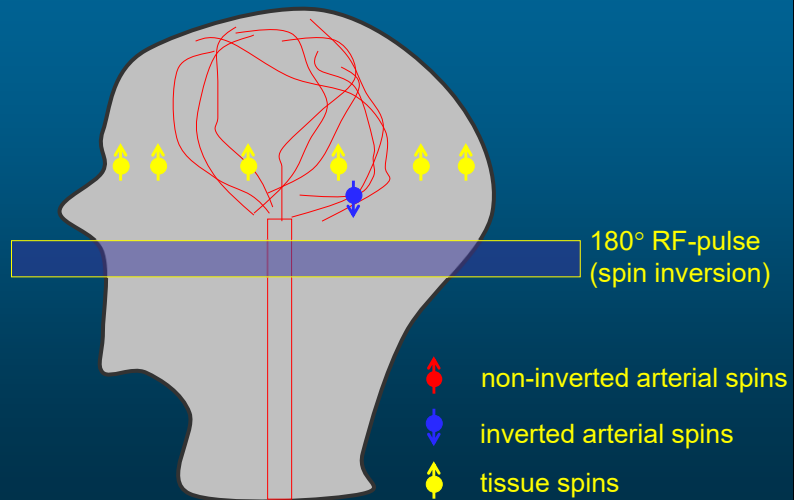
(1) Labelling experiment



73

Grundprincip: Arterial spin labelling (ASL)

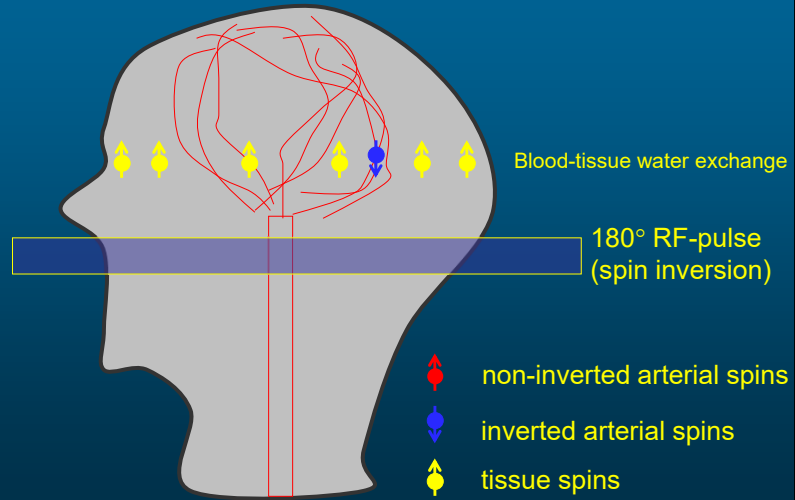
(1) Labelling experiment



74

Grundprincip: Arterial spin labelling (ASL)

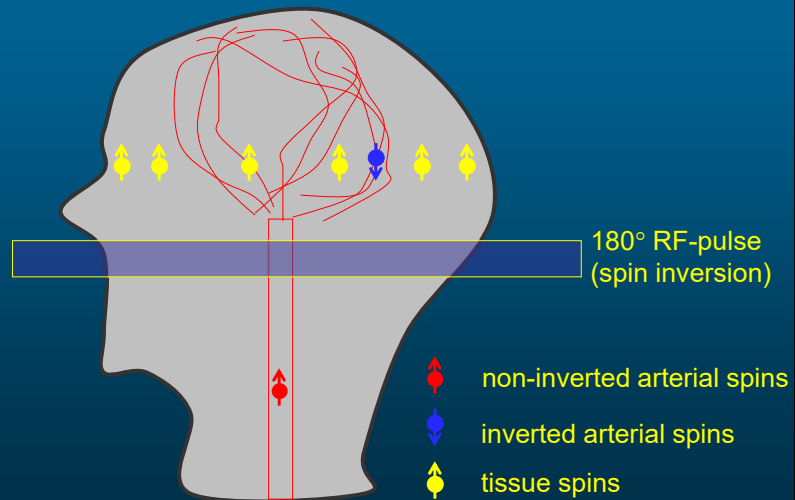
(1) Labelling experiment



75

Grundprincip: Arterial spin labelling (ASL)

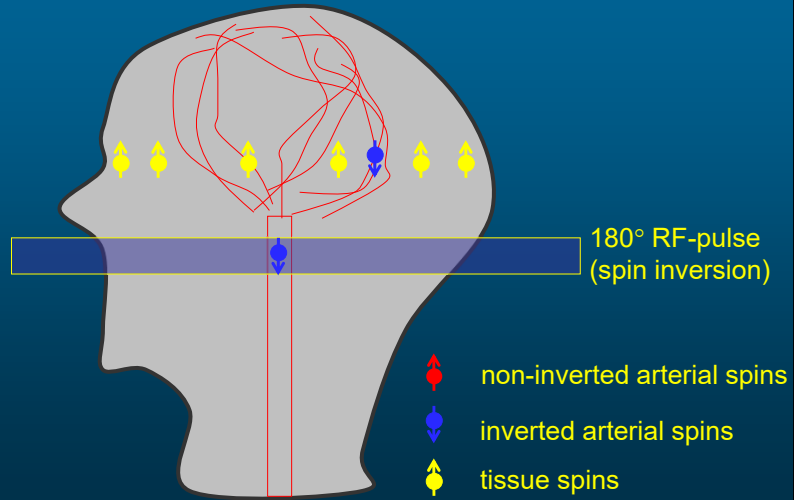
(1) Labelling experiment



76

Grundprincip: Arterial spin labelling (ASL)

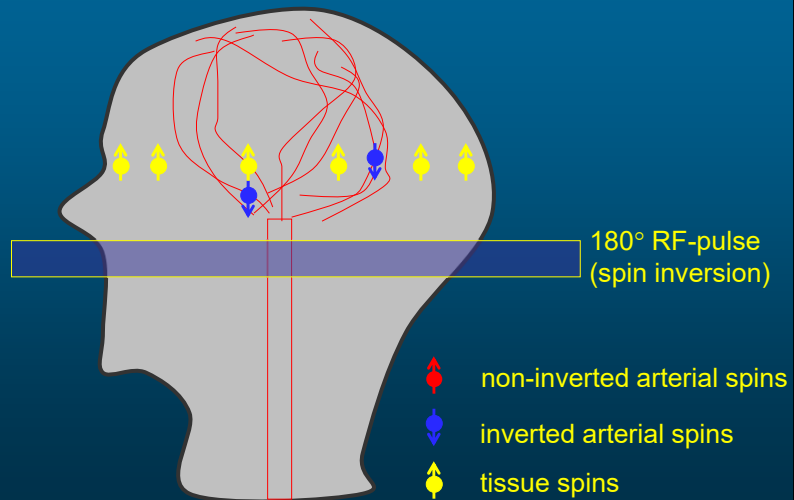
(1) Labelling experiment



77

Grundprincip: Arterial spin labelling (ASL)

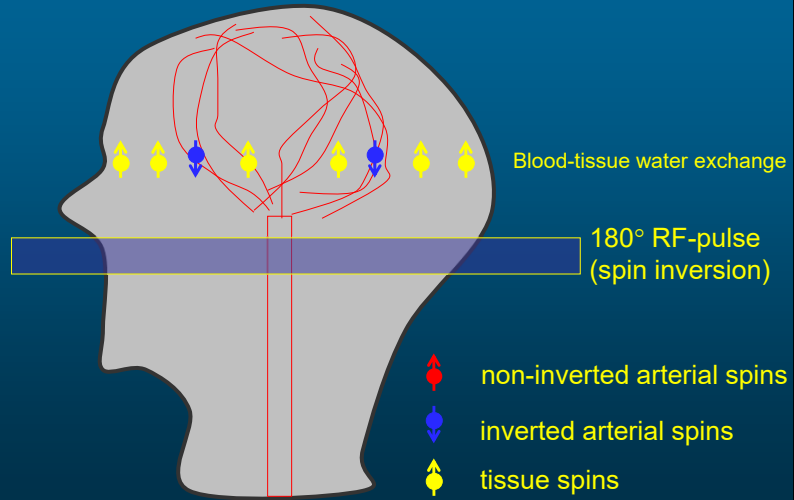
(1) Labelling experiment



78

Grundprincip: Arterial spin labelling (ASL)

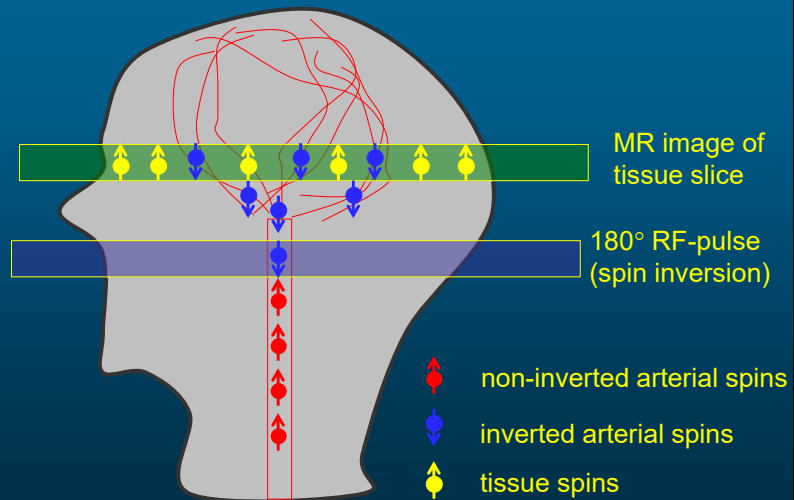
(1) Labelling experiment



79

Grundprincip: Arterial spin labelling (ASL)

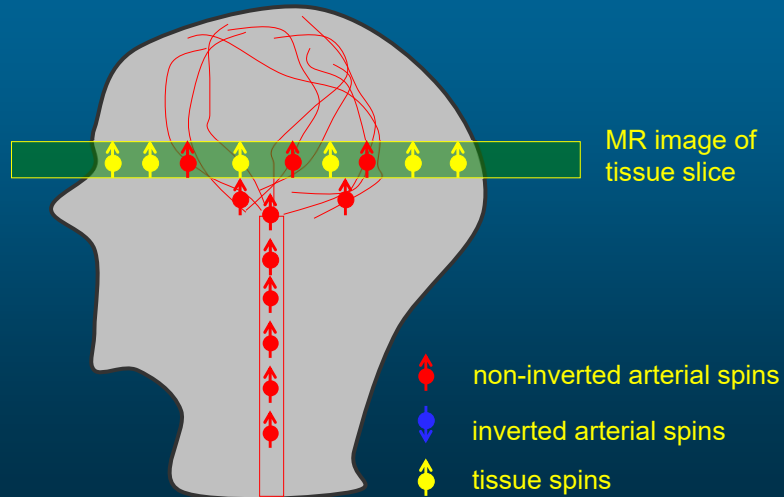
(1) Labelling experiment



80

Grundprincip: Arterial spin labelling (ASL)

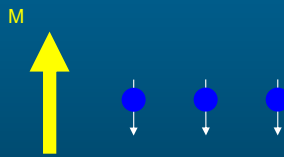
(2) Control experiment



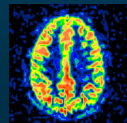
81

Grundprincip: Arterial spin labelling (ASL)

- Magnetiskt märkta vattenmolekyler (\downarrow) reducerar magnetiseringsvektorn M



- Detta leder till lägre signal i bilden – större sänkning i regioner med hög perfusion
- Subtraktion “Kontroll - Märkt” ger CBF-karta (många mätningar krävs)



82