

Fysiologia:  
Kuvantaminen ja aivojen  
sähköisen toiminnan  
tutkiminen

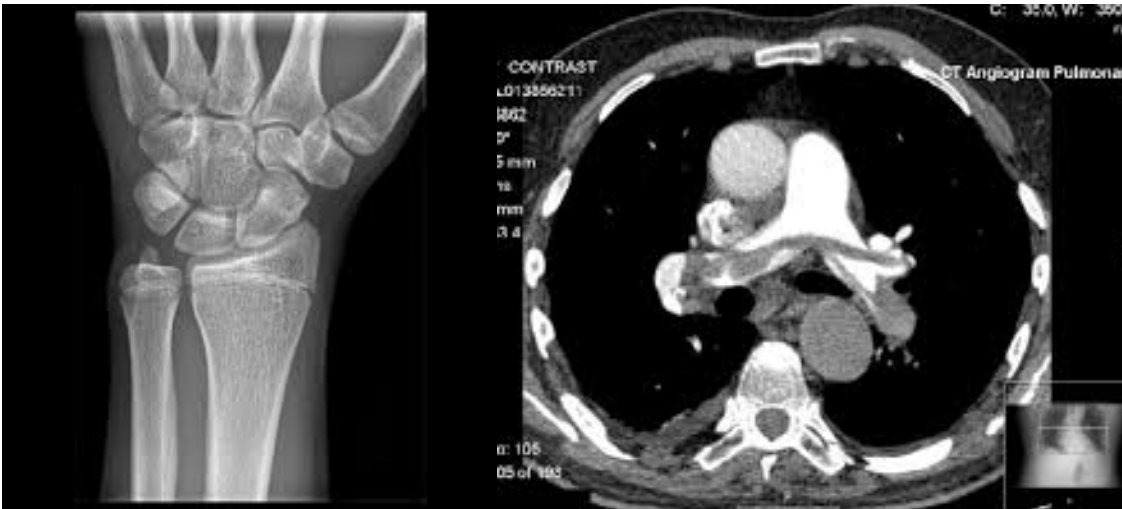
9.1.2024

# Oppimistavoitteet

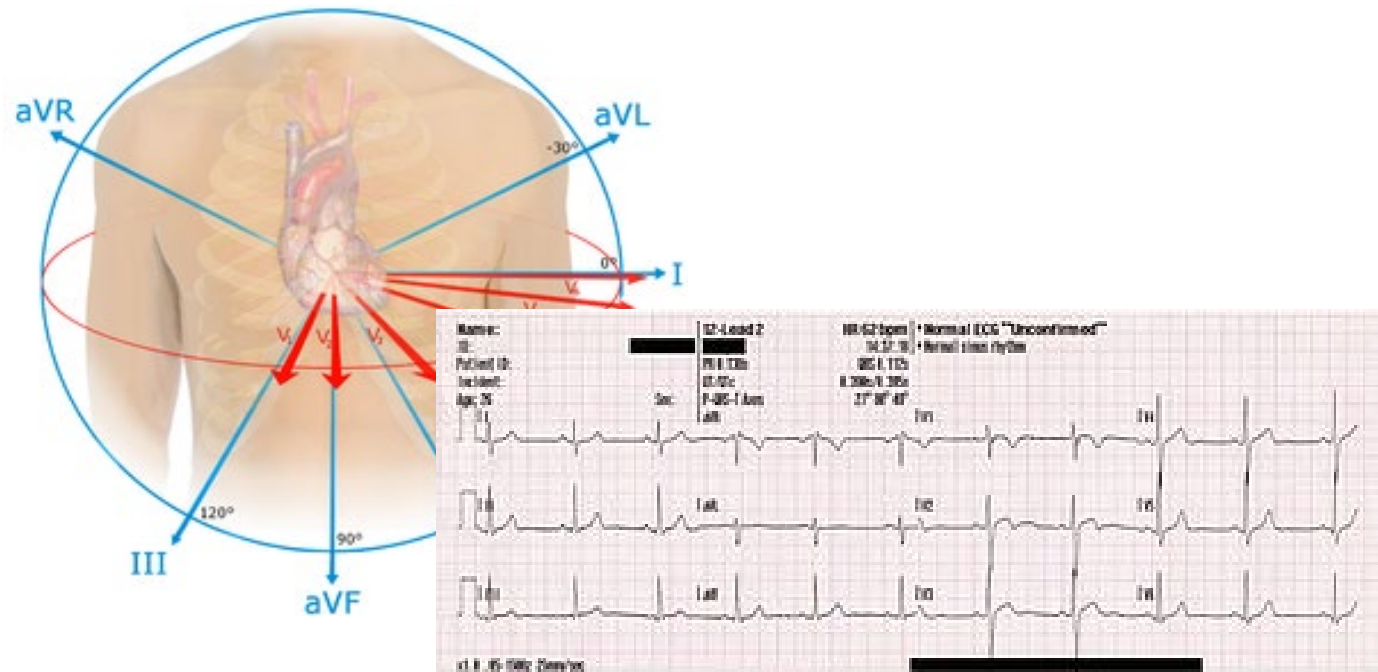
- Tunnistaa tärkeimmät fysiologisessa tutkimuksessa käytettävät kuvantamismenetelmät ja niiden edut
- Ymmärtää aivojen biosähköisten ilmiöiden tutkimisen periaatteet
  - Aivosähkökäyrä (elektroenkefalografia, EEG)
  - Aivomagneettikäyrä (magnetoenkefalografia, MEG)
  - Transkraniaalinen magneettistimulaatio (TMS)

# Fysiologisten tutkimusten rooli kasvaa jatkuvasti sekä terveen elimistön että sairauksien tutkimuksessa

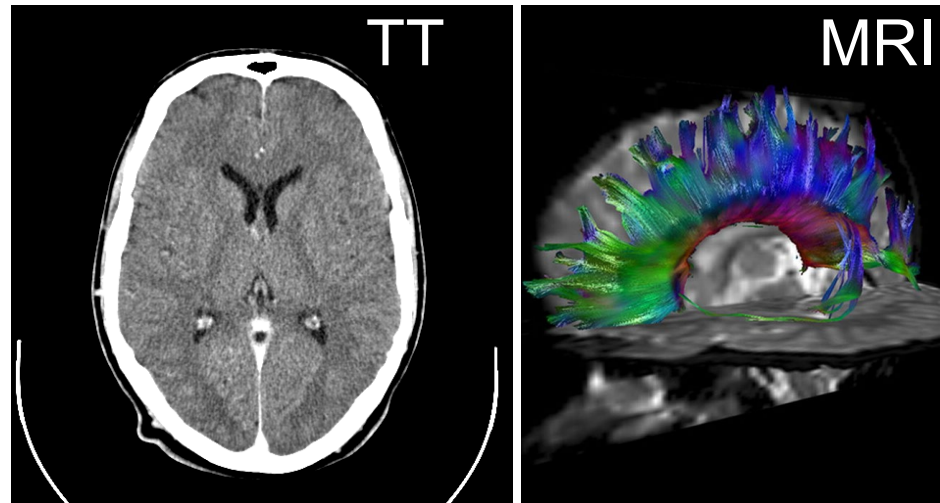
Vartalon, raajojen ja aivojen kuvantaminen  
esim. röntgenkuvaus, tietokonetomografia,  
magneettikuvantaminen



Elimistön sähköisen toiminnan mittaaminen  
esim. sydänsähkökäyrä (EKG), aivosähkökäyrä  
(EEG), lihassähkökäyrä (EMG)



# Sekä rakenteellista että toiminnallista kuvantamista tarvitaan kliinisessä diagnostiikassa

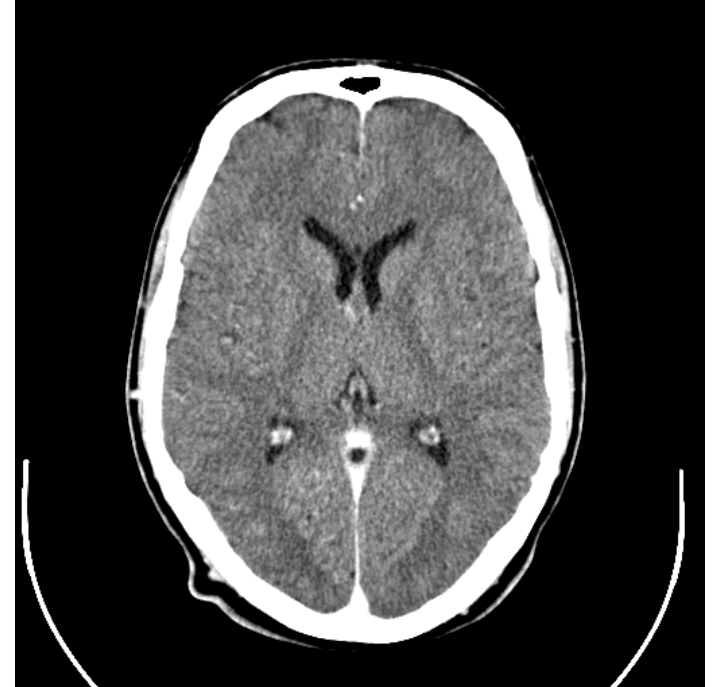


<http://thebrain.mcgill.ca> Lee et al. 2005

Tietokonetomografia (TT)  
Magneettikuvantaminen (MRI)

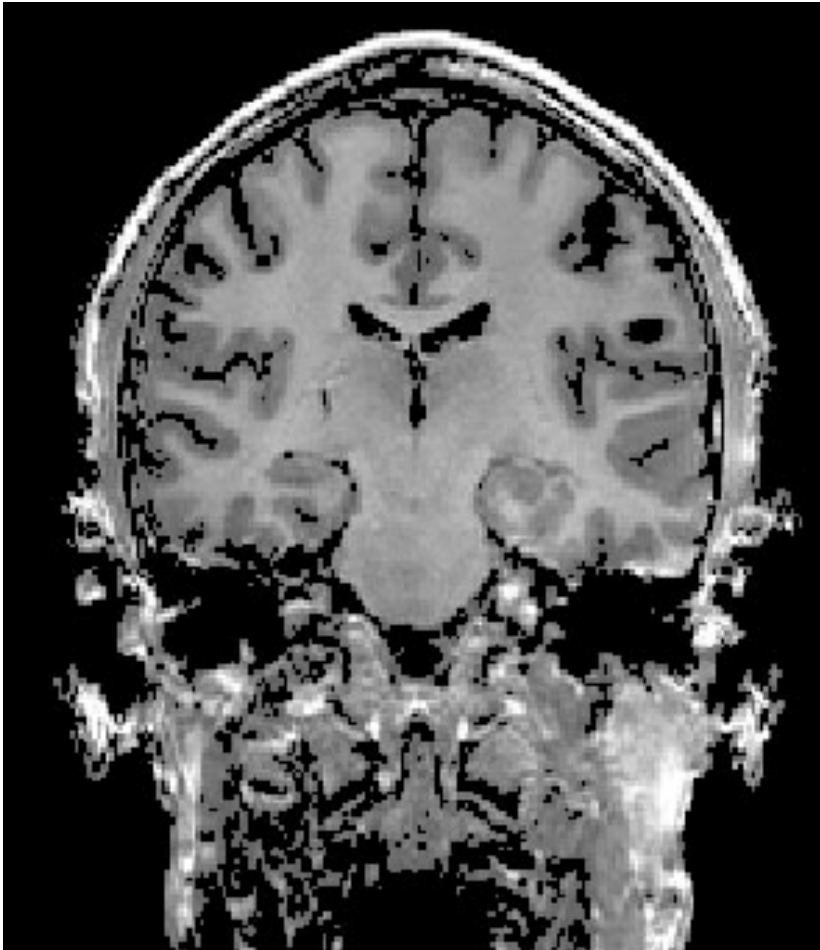
# Tietokonetomografia (TT)

- Perustuu röntgensäteilyyn
- Korkean erottelukyvyn 3D-kuvat
- Aivot, keuhkot, suolisto
- + Laajasti saatavilla, nopea, edullinen
- Ionisoiva säteily
- Rajoittunut herkkyys esim. useissa neurologissa sairauksissa



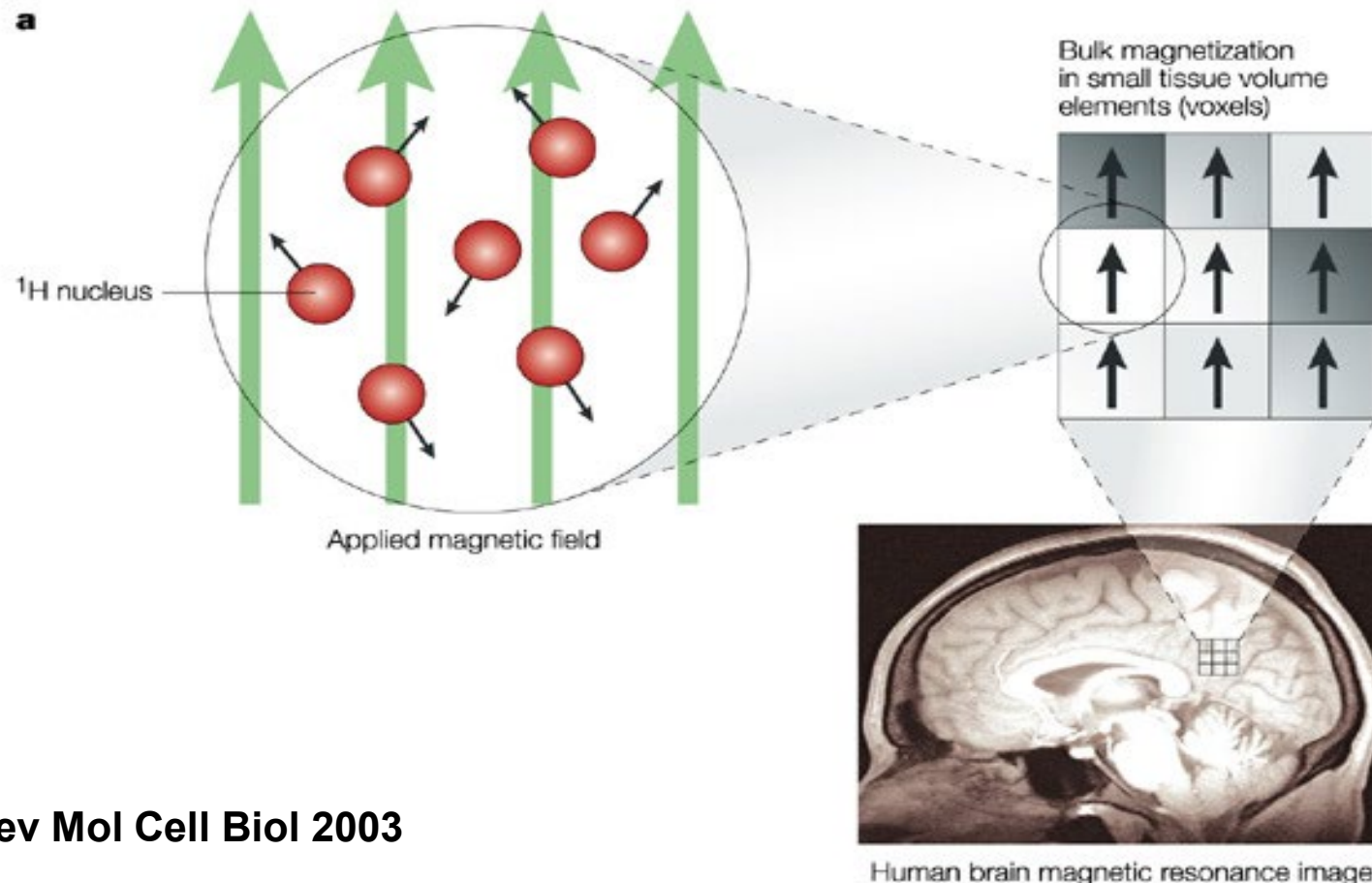
# Magneettikuvantaminen (MRI)

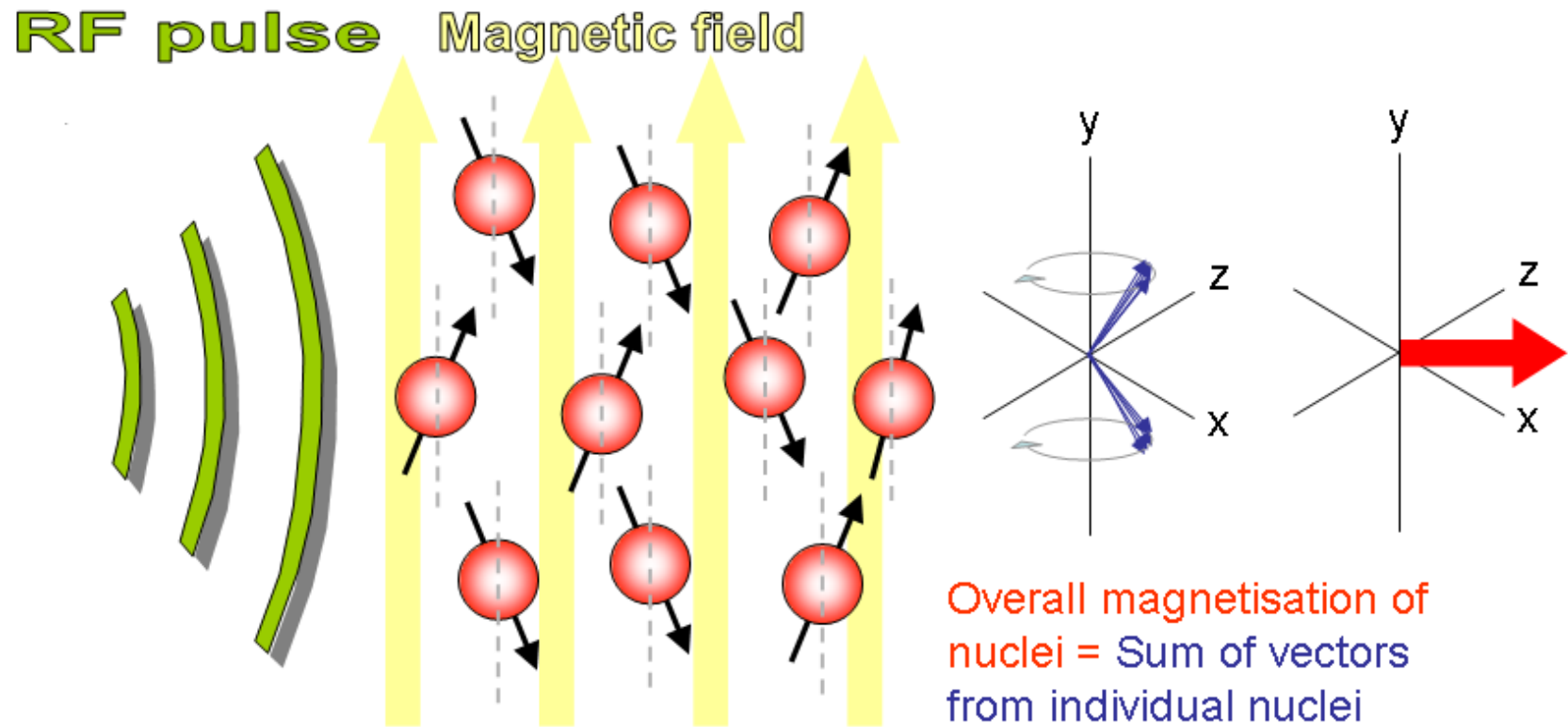
- Perustuu ydinmagneettiseen resonanssiin



# Magneettikuvantaminen (MRI)

- Ulkoisessa magneettikentässä  $B_0$  vetyionit asettuvat magneettikentän suuntaisesti





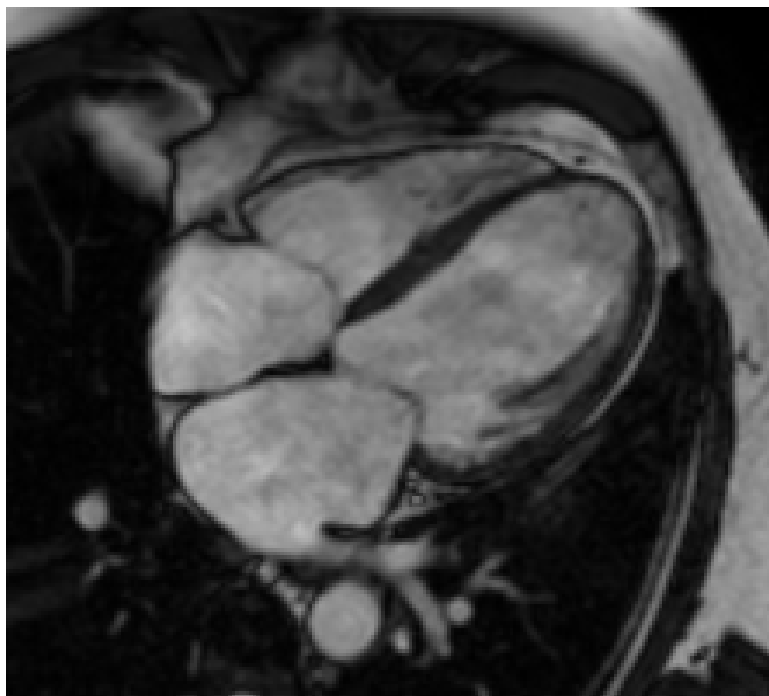
<http://physiology-physics.blogspot.com/2010/06/understanding-basic-principles-of.html>

- Radiotaajuuspulssi annetaan kohtisuorassa  $\mathbf{B}_0$  -kenttään
- Radiotaajuuspulssin jälkeen eri kudokset palaavat tasapainotilaan eri nopeuksilla → kudostenvälinen kontrasti

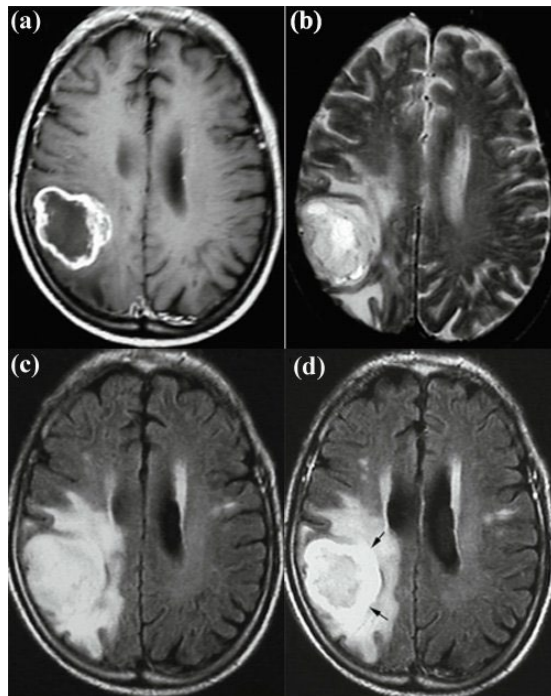
<https://www.youtube.com/watch?v=Ok9ILlYzmaY>



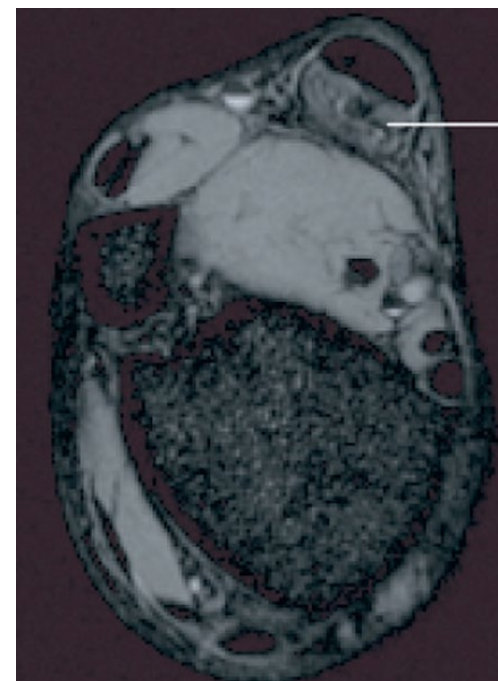
# MRI:n käyttö tarkkana ja säteilyvapaana menetelmänä lisääntyy



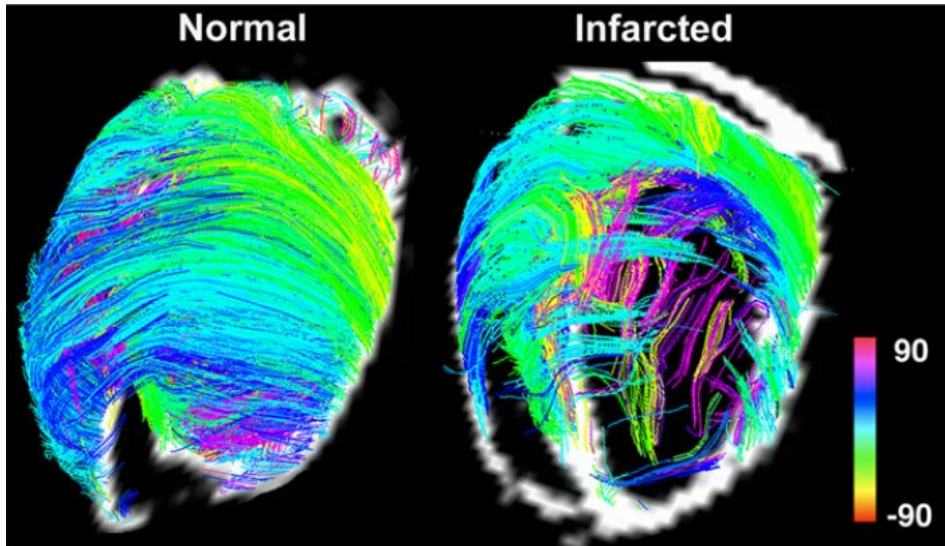
Sydän



Aivot



Lihakset ja jänteet

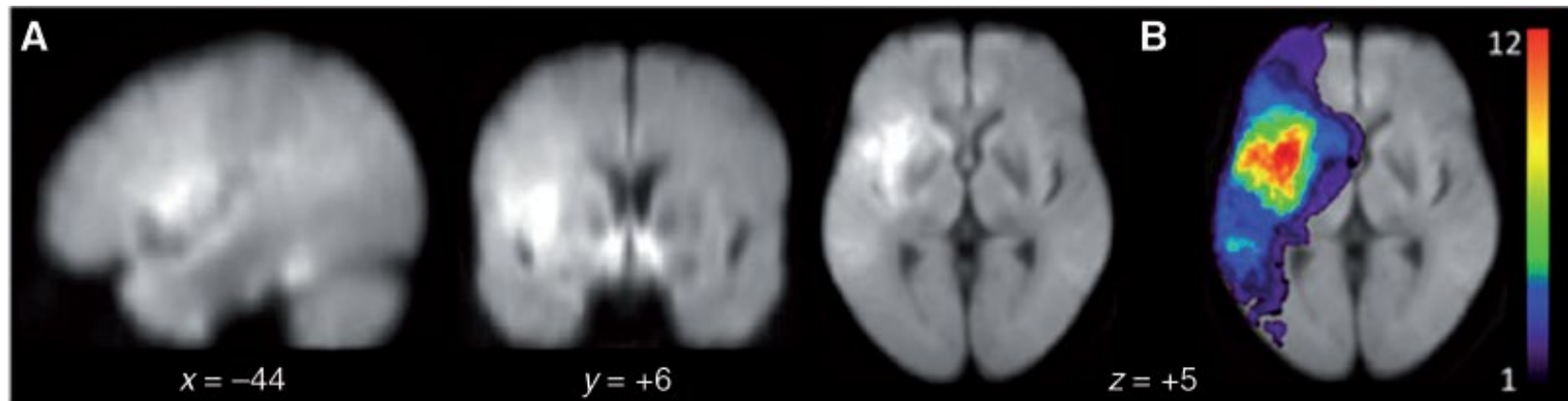


Sydän: Mekkaoui ym. NMR in Biomedicine 2015

# Traktografia

Hermoratojen visualisointi vesimolekyylien diffuusion perustuen

## Diffuusiopainotettu MRI



Solutuhon ja -turvotuksen alueella diffuusio on vähäisempää → akuutin aivoinfarktin diagnostiikka

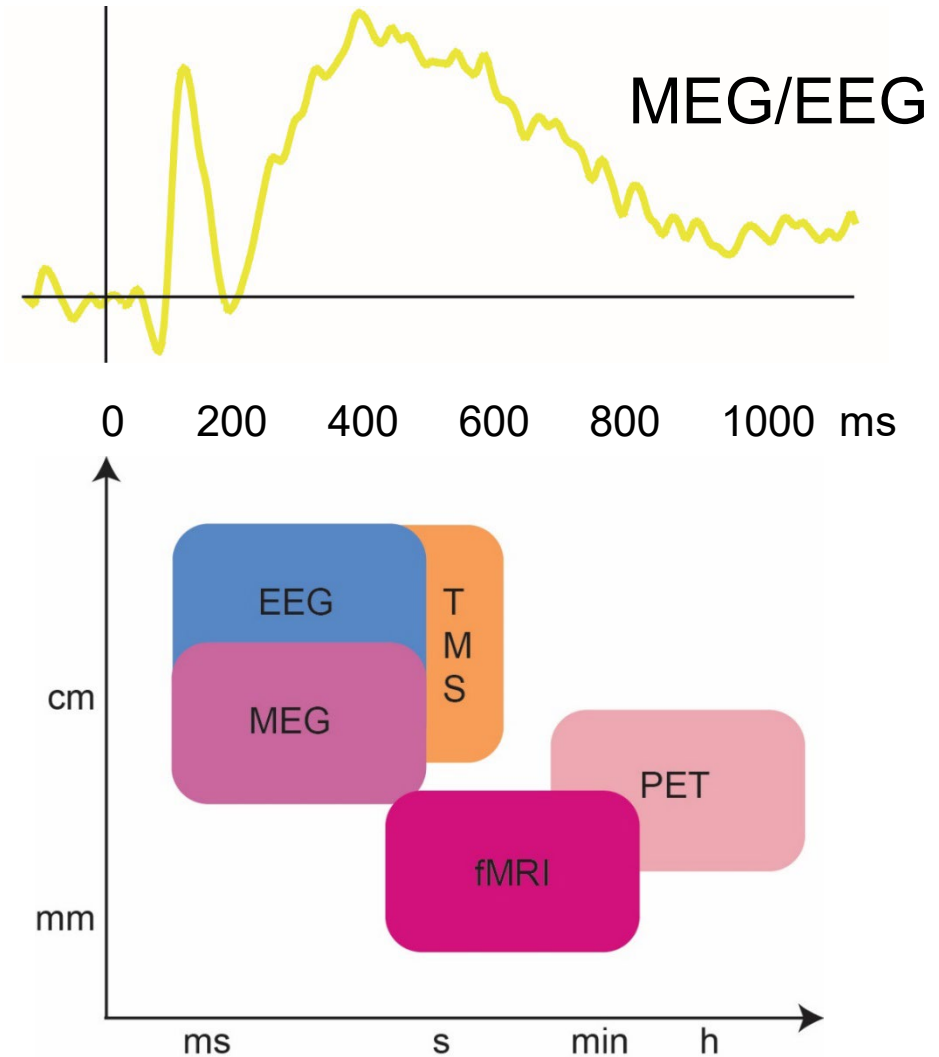
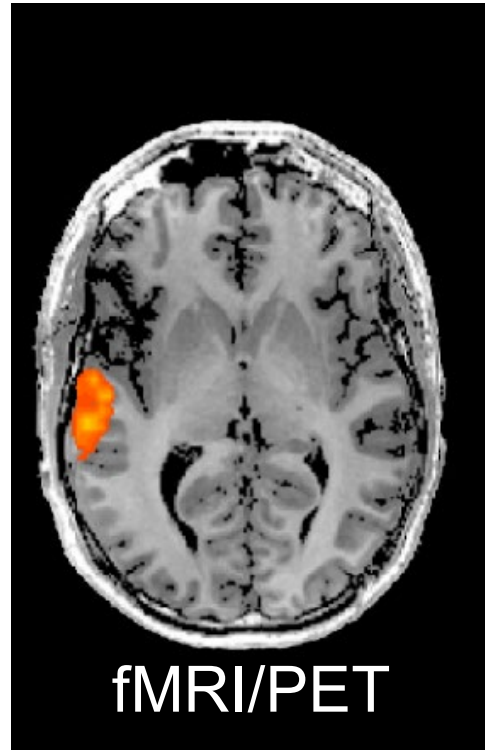
# Kaikukuvaus eli ultraäänikuvaus

- Ultraääni (> 20kHz, tyypillisesti 1-30 MHz) heijastuu eri tiheyksisten kudosten rajapinnoilta
  - Käyttöaiheita: sydän, sisäelimet, sikiö
- + Laajasti saatavilla  
+ Turvallinen  
- Rajoitetut käyttömahdollisuudet



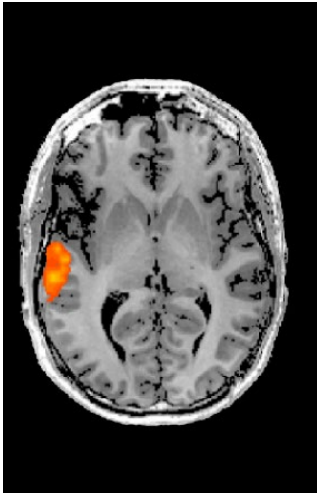
Wikipedia

# Toiminnallinen kuvantaminen

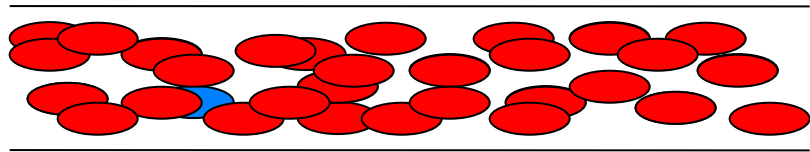


Toiminnallinen MRI (fMRI), positroniemissiotomografia (PET), elektroenkefalografia (EEG), magnetoenkefalografia (MEG), transkraniaalinen magneettistimulaatio (TMS)

# Toiminnallinen magneettikuvaus (fMRI)



- Perustuu runsas- ja vähähappisen veren erilaisiin magneettisiin ominaisuuksiin

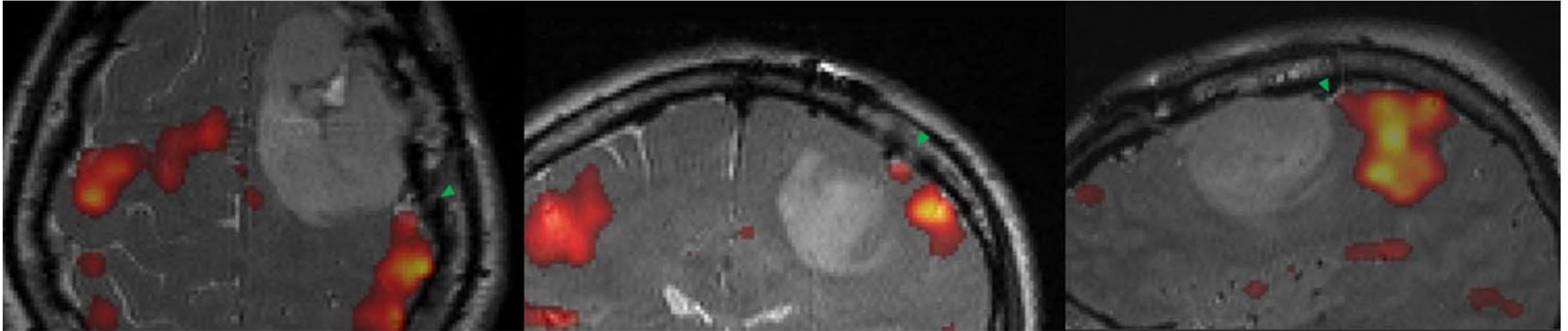


Hemoglobiini hapen  
**kanssa/ilman**

”Blood-oxygenation-level-dependent (BOLD) signal”

- Hermosolujen aktivaatio → runsashappinen (diamagneettinen) veri virtaa alueelle
- + Laajasti saatavilla
- + Erinomainen paikkatarkkuus (< mm)
- Verenvirtauksen muutokset hitaita → huono aikatarkkuus (sek)

# Kliininen toiminnallinen magneettikuvaus

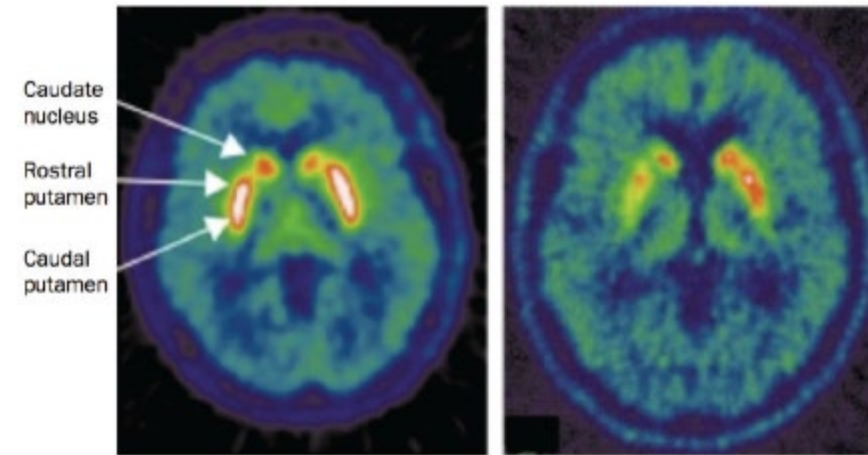


Silva ym. 2018

- Toiminnallisten alueiden kartoitus ennen leikkausta (aivokasvaimet, lääkeresistentti epilepsia)

# Positroniemissiotomografia (PET)

- Radioaktiivinen isotooppi (yleisimmin  $^{18}\text{F}$ -fluorodeoksiglukoosi) annetaan koehenkilön verenkiertoon
  - Merkkiaine hajoaa (2 min – 2 h) aktiivisella, korkean energiankulutuksen alueella
  - Hajoaminen (gammäsäteily) havaitaan vartalon ulkopuolelta PET-kameralla
- + Hyvä paikkatarkkuus (huonompi kuin TT ja MRI)
- Huono aikatarkkuus (minuutit - tunnit)
  - Säderasitus

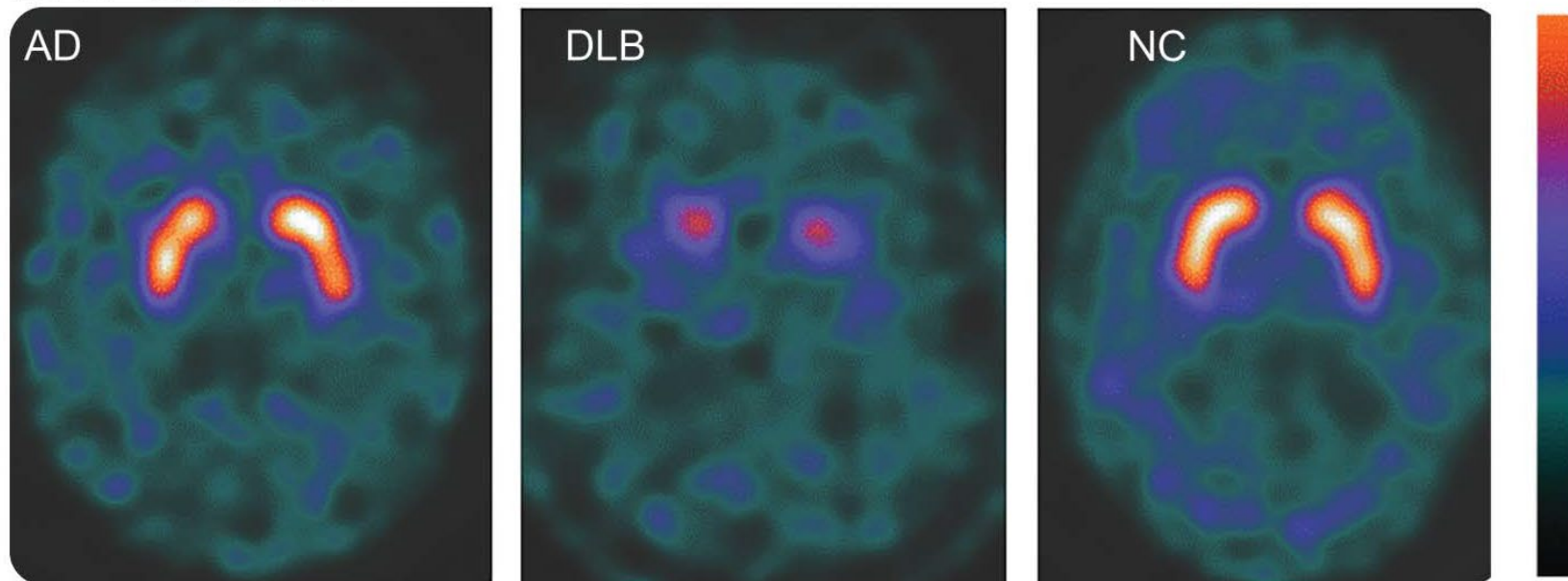


Loane ja Politis, 2011

# PET

Syöpäkuvantaminen, neurologisten sairauksien diagnostiikka  
(esim. Parkinsonin tauti, muistisairaudet)

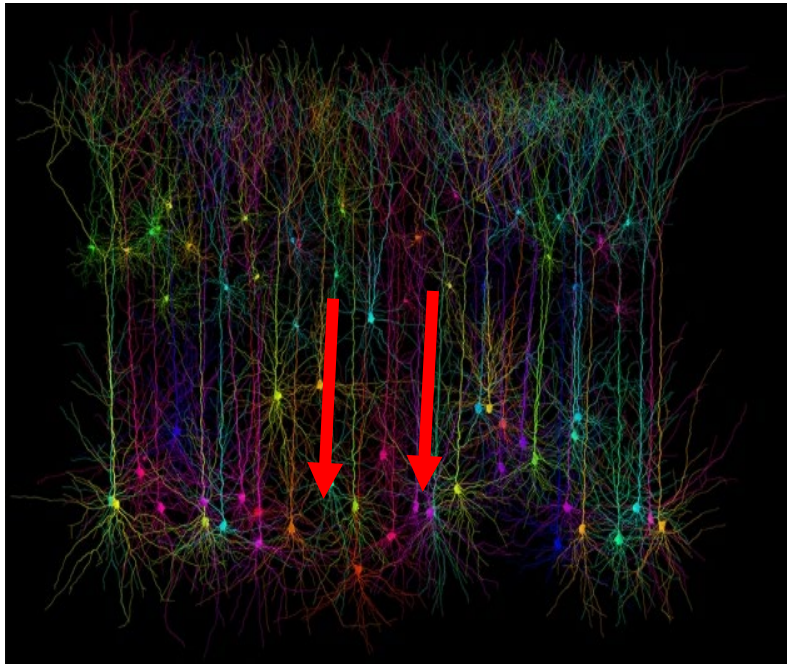
B. FP-CIT SPECT



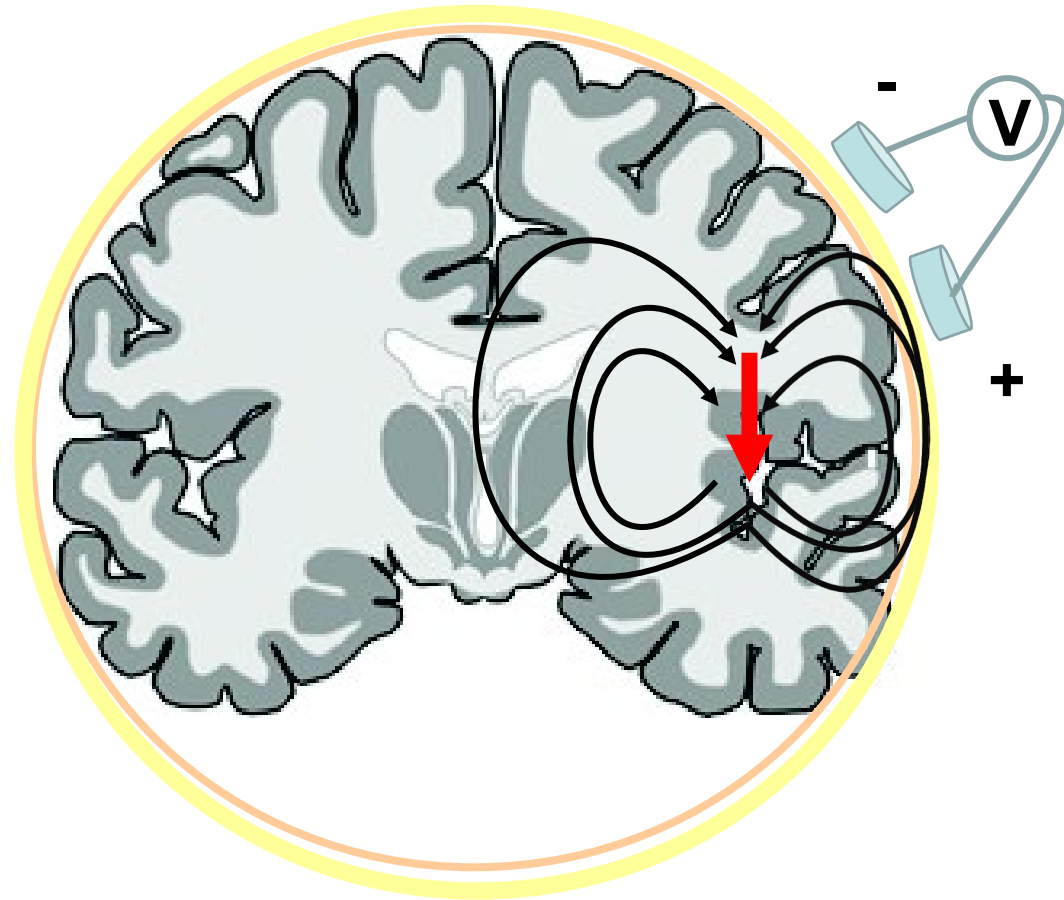
McKeith ym. 2017



# Elektroenkefalografia (EEG): Periaate

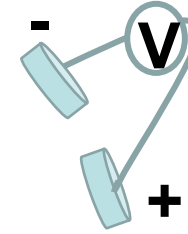


Häusser & Cuntz

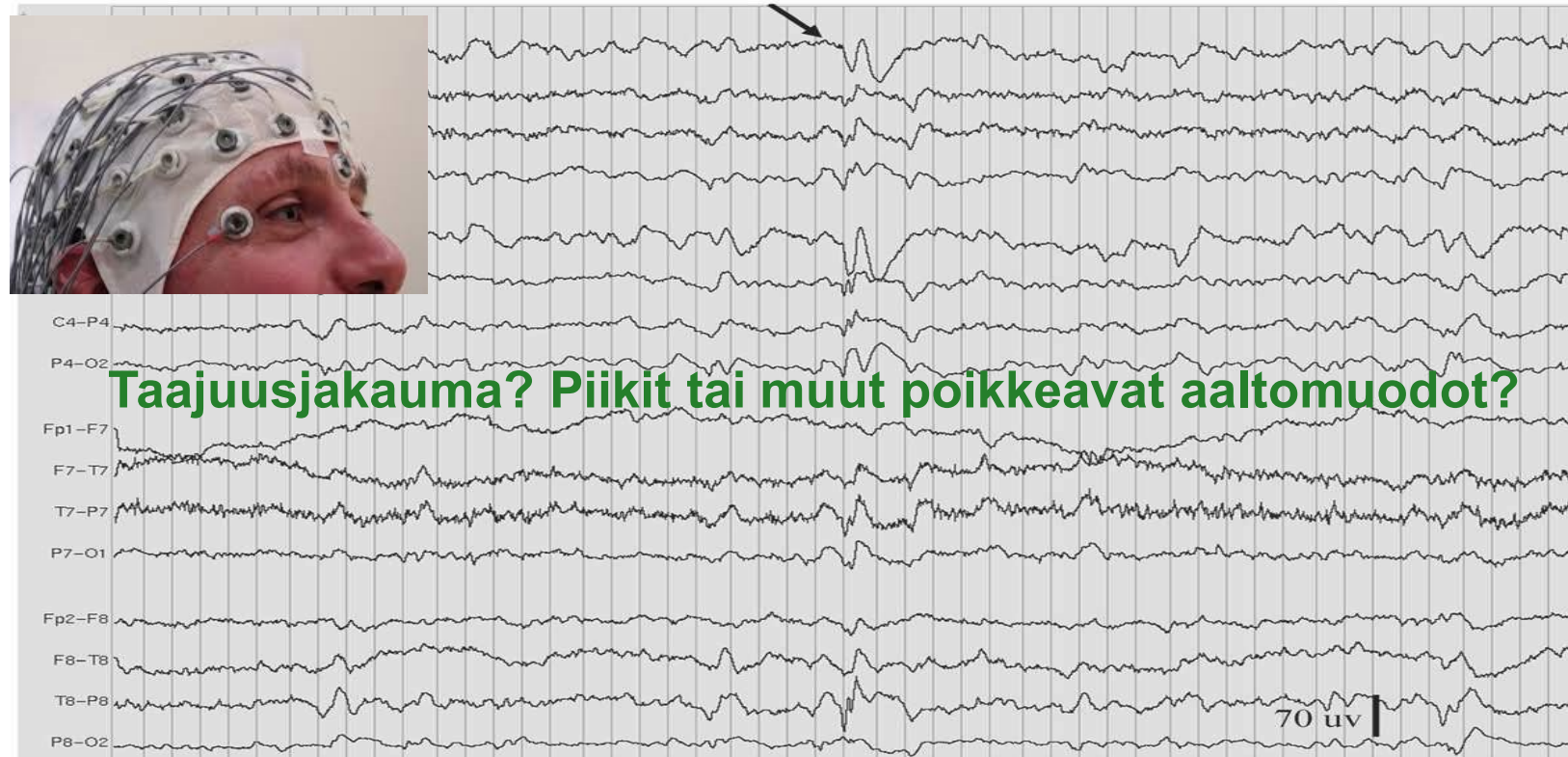


# EEG: Turvallinen, halpa ja helposti saatavilla lähes kaikkialla

Hans Berger, 1929

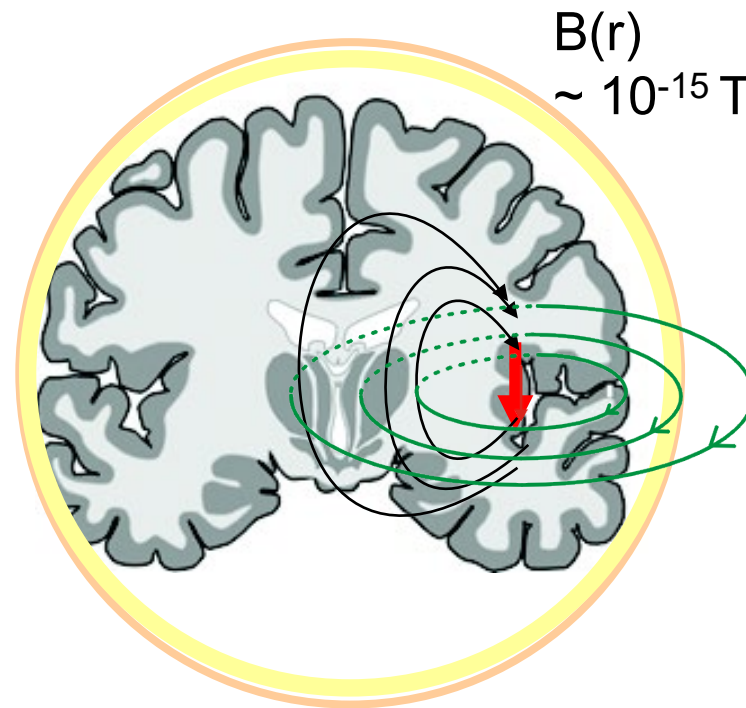


Nyt

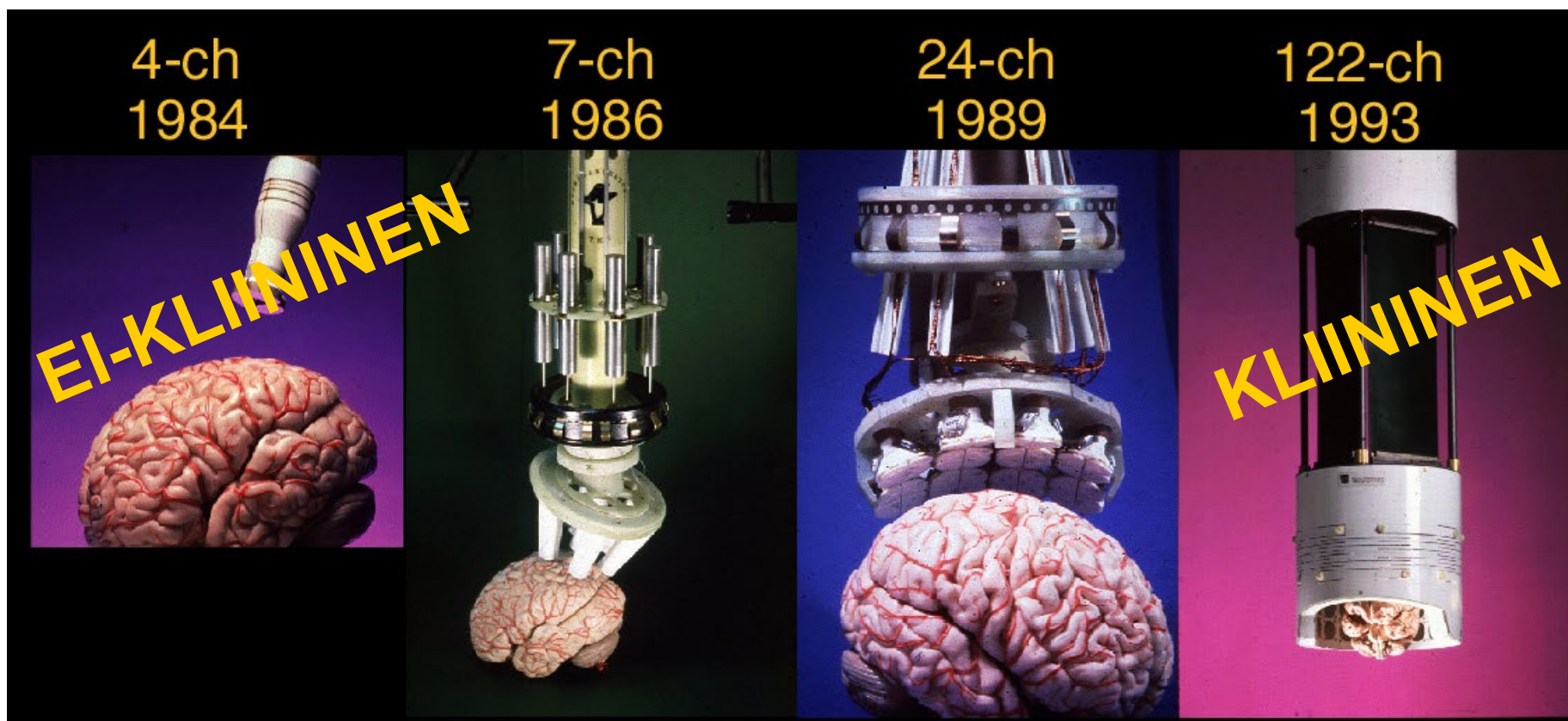


Keskushermoston sairauksien selvittely: **Epilepsia**,  
tulehdukset, unihäiriöt, nukutuksen syvyys

# Magnetoencefalografia: Periaate

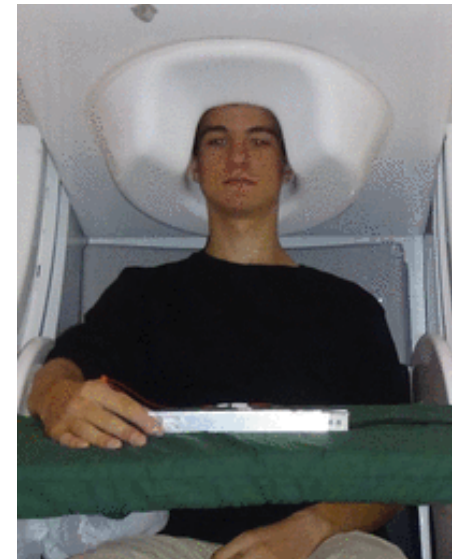
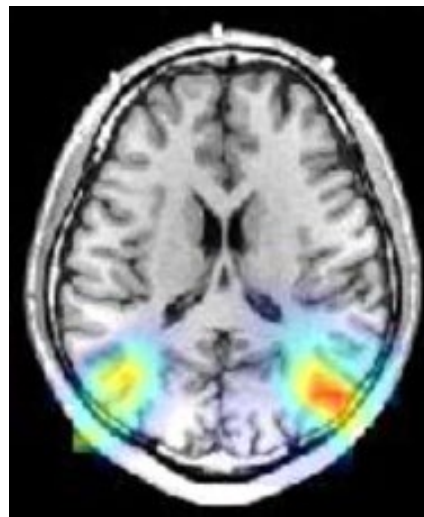
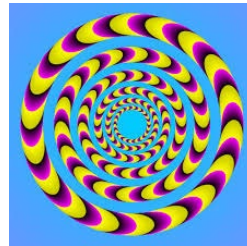
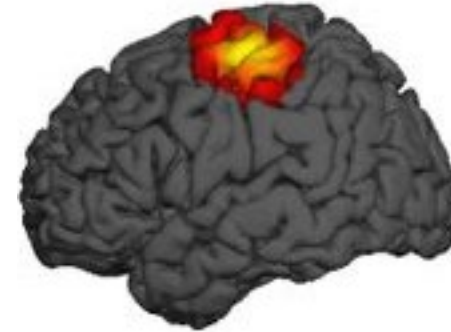


# MEG-laitekehitys Teknillisessä korkeakoulussa



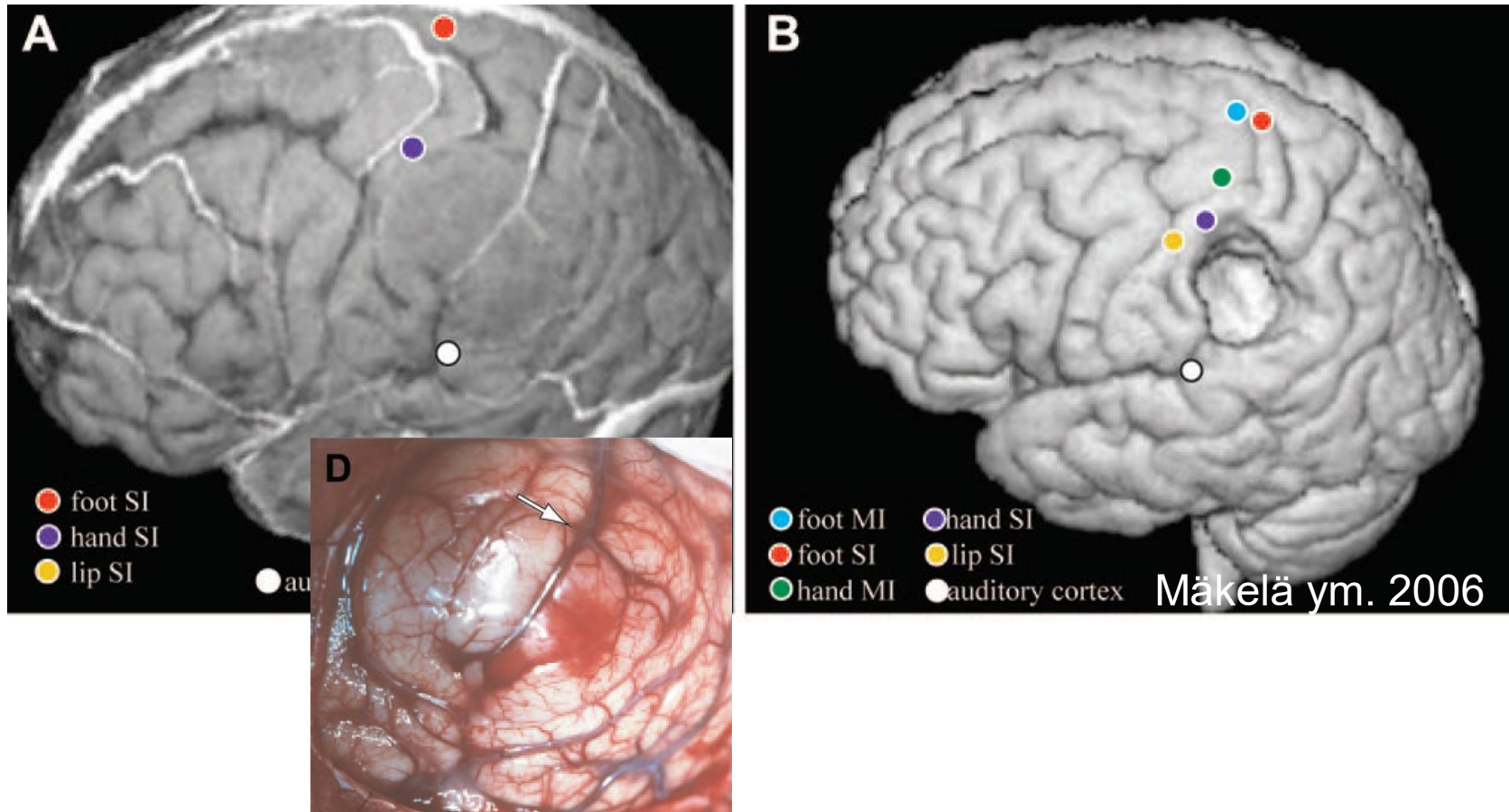
# Terveiden ihmisten fysiologian ymmärtäminen luo pohjan sairauksien ymmärtämiselle

Esimerkkinä aisti- ja liiketoimintojen kartoitus aivokuorella



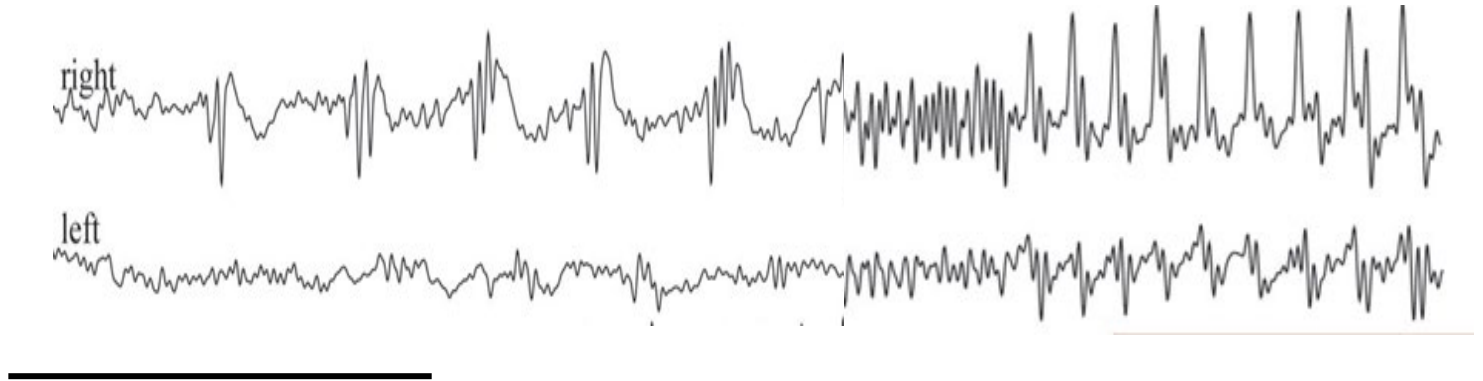
# Aivokirurgiaa edeltävät ”tiekartat”

Paikannetaan yksilöllisesti tärkeimmät toiminnalliset alueet (tässä kuuloaivokuori ja liike- sekä tuntoaivokuori)

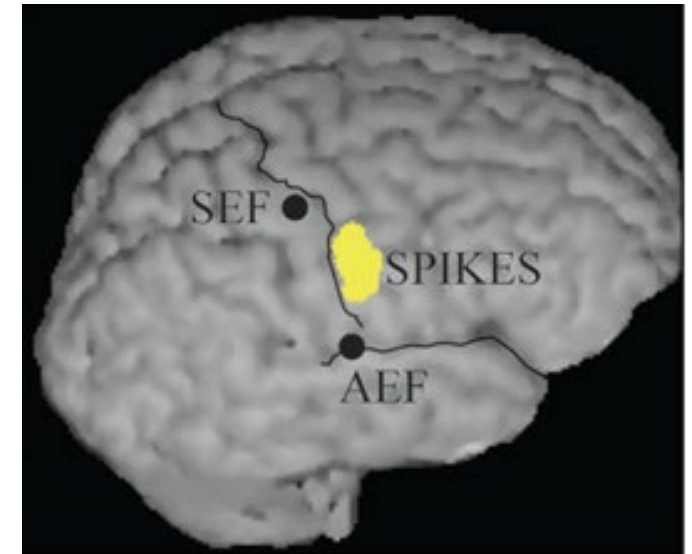


# MEG auttaa paikantamaan epileptisen alueen

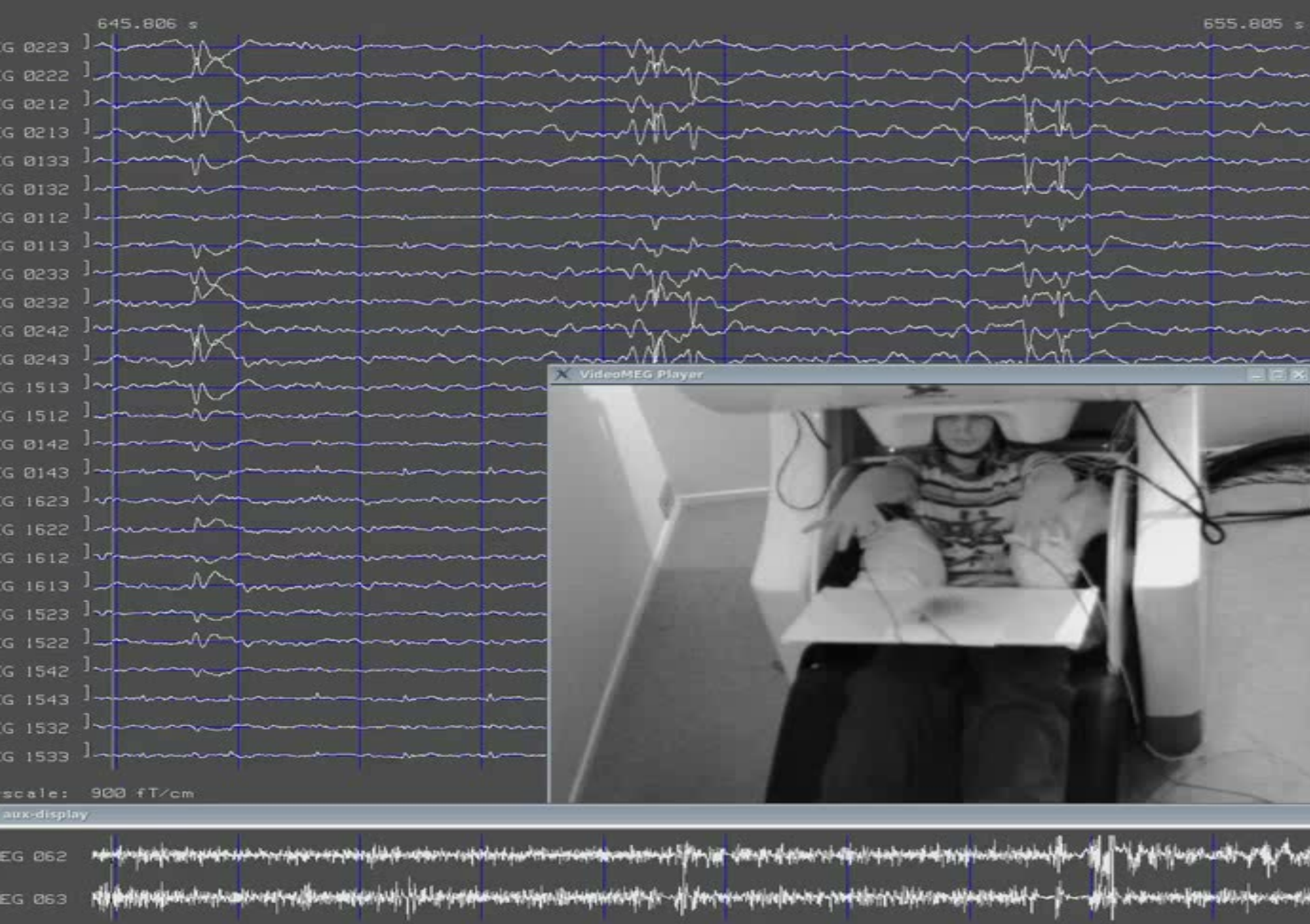
- >30% epilepsiapotilaista on kohtauksia optimaalisesta lääkityksestä huolimatta



- Epilepsiakirurgia voi auttaa:  $\frac{3}{4}$  potilaista hyötyy merkittävästi (Mohan ym. 2018)
- Kirurgin pitää tietää, mistä kohtaus alkaa
- Yksi vai monta alkukohtaa, niiden tarkat paikat ja ajallinen aktivaatiojärjestys?



Muokattu Forss ym. 1999



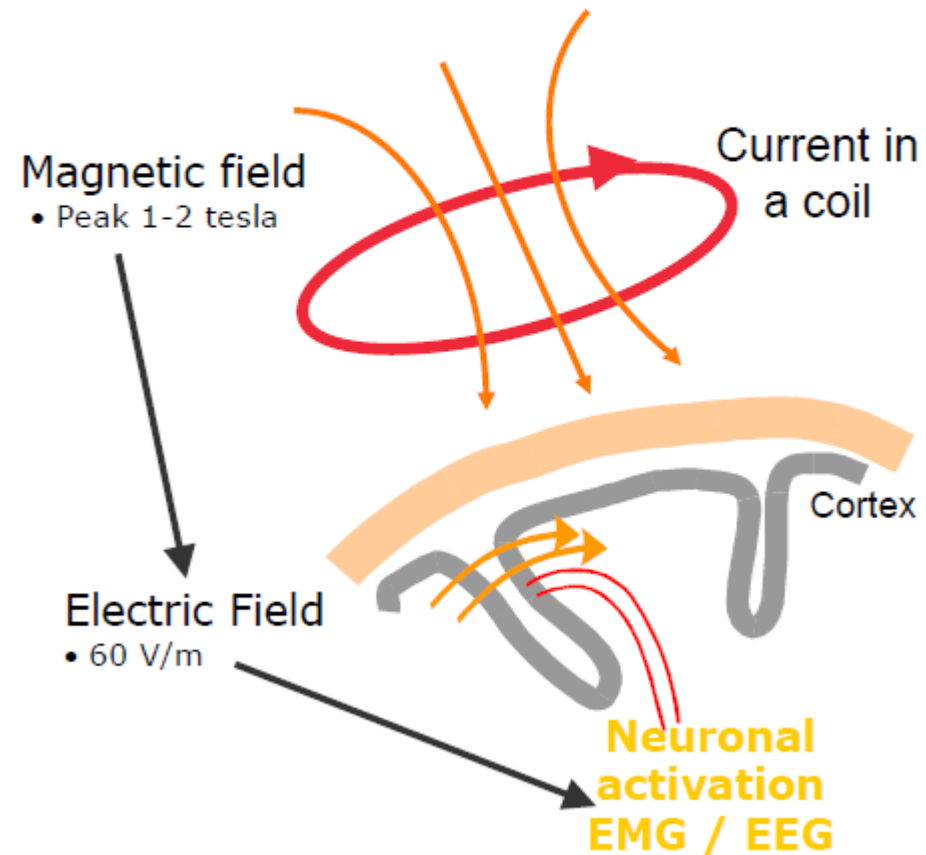
Tehnyt J. Mäkelä



# Transkraniaalinen magneettistimulaatio (TMS)

Aivokuoren stimuloiminen  
Voimakkaalla, kohdennetulla  
magneettipulssilla

Magneetikentän muutos  
synnyttää sähkökentän,  
eli aivokudos aktivoituu



# TMS

- Aivojen sähköisen toiminnan “häiritseminen” aiheuttaa fysiologisia ja käyttäytymisessä havaittavia muutoksia
- Kliinisiä käyttöaiheita: masennus, kipu, selkäydinvaurion kuntoutus, toiminnallisten alueiden kartoitus ennen kirurgiaa



# **Video example:**

## **TMS SPEECH MAPPING**

**Short samples of:**

**1: baseline naming of objects**

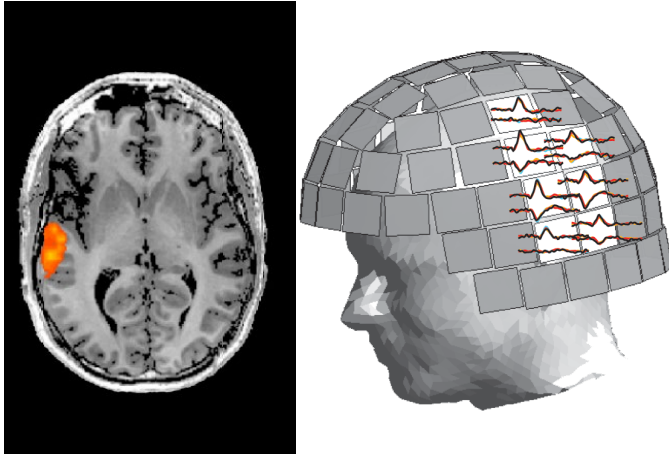
**2: object naming**

**3: baseline naming of actions**

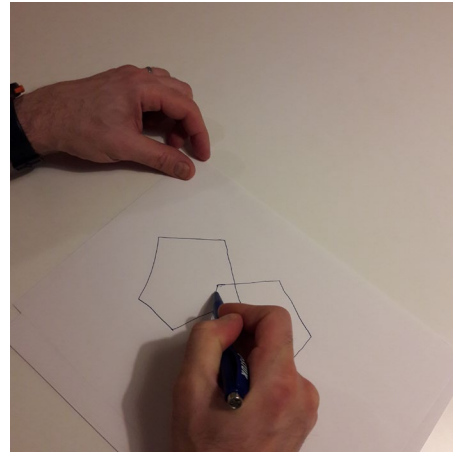
**4: action naming**

# Fysiologisen tutkimuksen tulevaisuus: Kuinka yhdistää kaikki nykyisin saatavilla oleva tieto?

Rakenteellinen ja toiminnallinen kuvantaminen



Käyttäytyminen



Muu kliininen tieto, myös genetiikka

