

# Proprioseptiikka ja cp-vamma – liikeaistin merkitys liikkumiskyvylle

Harri Piitulainen<sup>1,2,3</sup>



UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ

<sup>1</sup>**Professori** (Liikunnan neurotiede), Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto

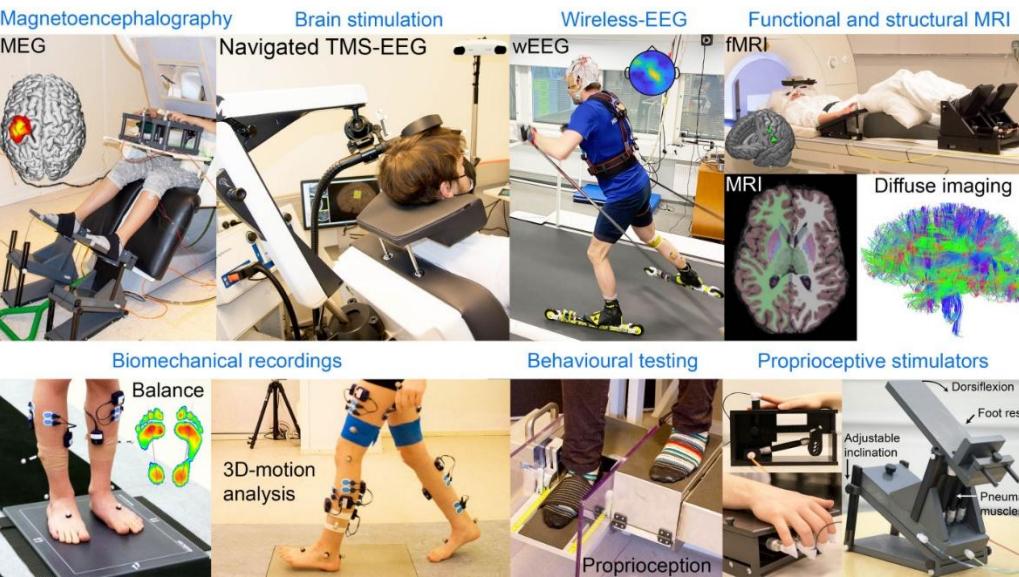


Aalto University  
School of Science

<sup>2</sup>**Vieraileva Professori**, Neurotieteen ja lääketieteellisen neurotieteen laitos, Aalto-yliopisto



<sup>3</sup>**Biomekaniikan asiantuntija**, Liikelaboratorio, Uusi Lastensairaala, Helsingin yliopistollinen sairaala



Sensorimotor Systems  
Neuroscience (MOTOR) group  
Ihmisen liikejärjestelmän neurotieteen  
tutkimusryhmä

~10 väitöskirjatutkijaa + 2 tutkijatohtoria



UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ



### Kävely & tasapaino



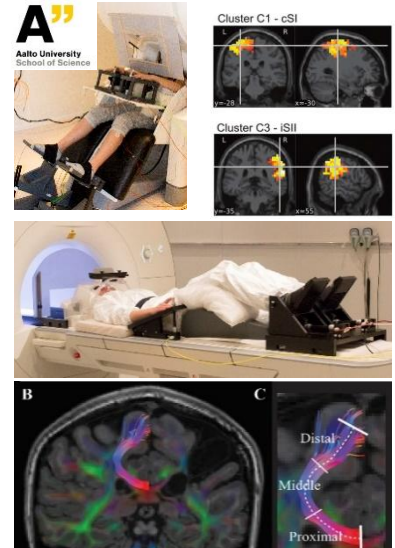
### Sensorimotoriikka



### Kognitio



### MEG & (f)MRI

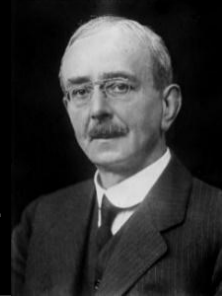


TD:  $n = 32$   
 CP:  $n = 30$

# Proprioseptiikka = liikeaisti = asento- ja liikeaisti

"Liikettä ohjaa tunne lihaksen tilasta—kuudes aisti" (Charles Bell 1826)

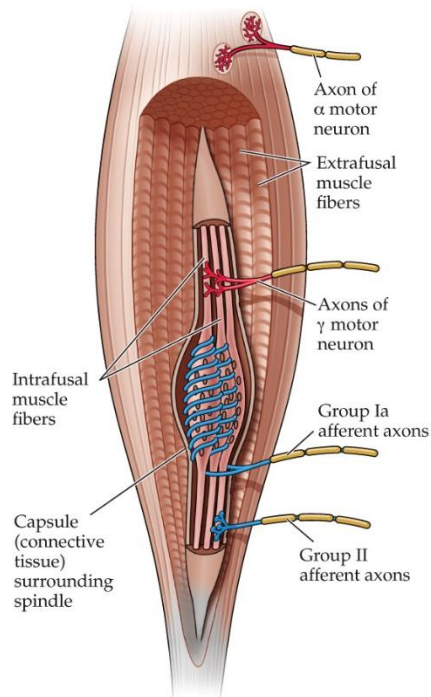
"Liikeaistissa keho itse toimii ärsykkeenä sen aistinelimille—proprioseptoreille" (Charles Sherrington 1906)



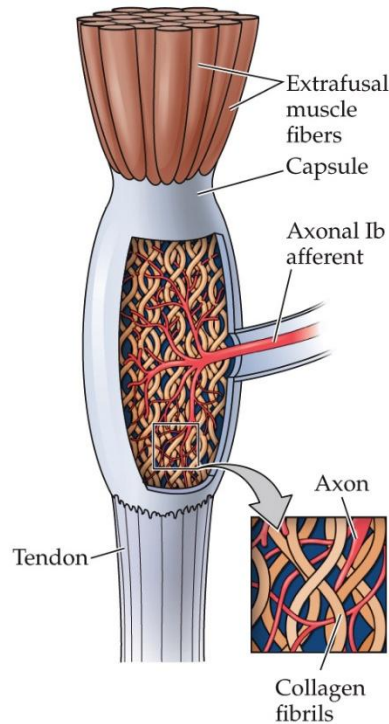
## Proprioseptorit mittaavat liikejärjestelmän **sisäistä tilaa**

- Rajattu **tietoisein aistimukseen** (ei esim. verisuonten laajeneminen jne.)
- Kehon itse tuottamat voimat
  - Liikejärjestelmä kykenee erottamaan **itse tuotetut** ja **kehoon kohdistuvat** liikkeet ja voimat toisistaan

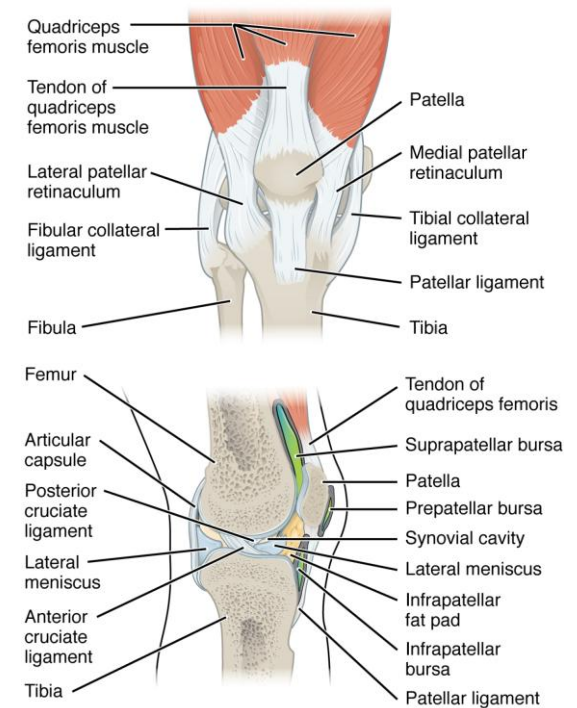
~1000 lihassukkulaa / lihas



~2000 jänne-elintä / lihas



Erilaisia nivelreseptoreja



# Liikeaistit

Ponnistelun taso



Painon tunne



Kehon asento ja liike



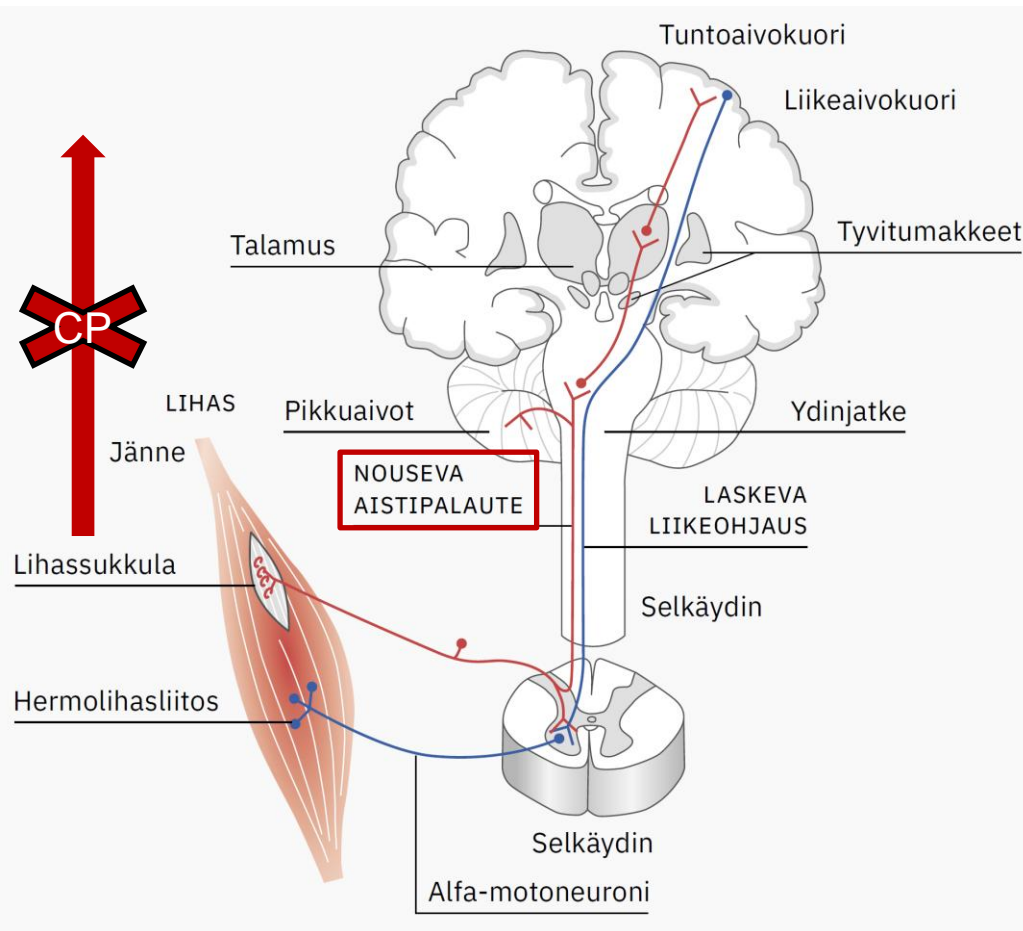
Raajojen sijainti



Kehollisuus  
Erillisuus  
Toimijuus



# Liikeaistipalautetta käsitellään laajasti aivoissa ja selkäytimessä



Aivo Aakkoset-kirja, 2021, ed. Carlson & Hari, Otava

## • Isoaivokuori

- Liikkeiden suunnittelu, suuntaus ja ajoitus

## • Tyvitumakkeet

- Liikkeiden ajoitus/aloitus

## • Pikkuaiivot

- Liikkeiden jatkuva hienosäätö tuntopalautteen avulla (ennustaa lopputulemaa ➡ nopeat korjaukset)

## • Aivorungon tumakkeet

- Perusliikkeiden ohjaus ja asennon ylläpito

## • Selkäydin

- Alempien liikehermojen säätely

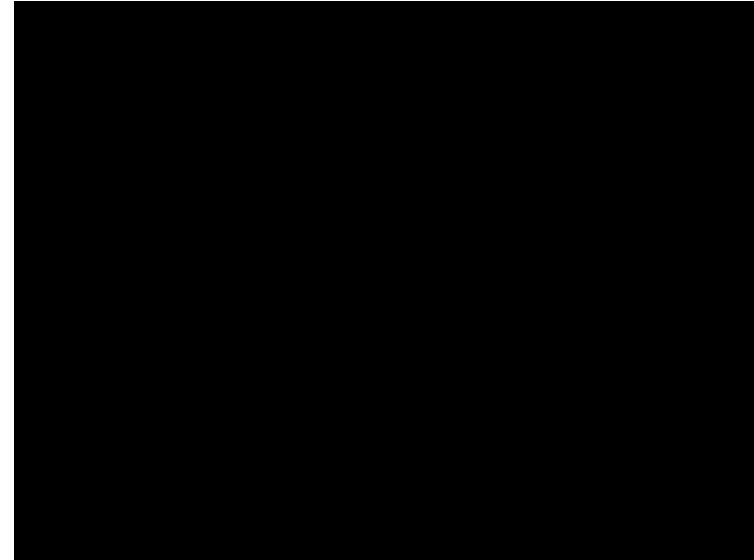
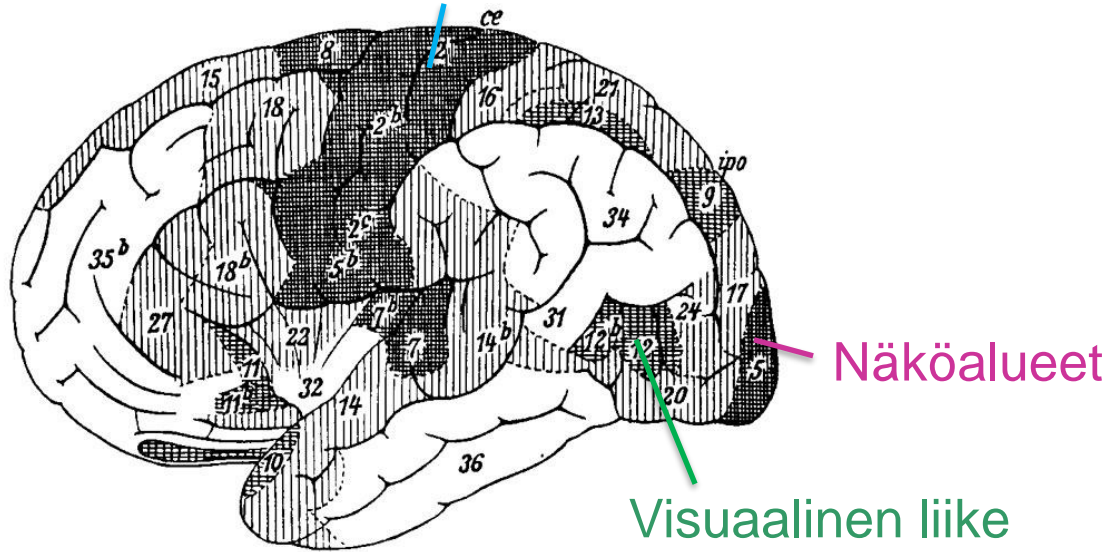
Aivoihin tulee 10 × enemmän **liike- ja tuntohermoja** kuin sieltä lähtee lihaksia ohjaavia **liikehermoja** (Schmalbruch 1986)

# Liikeaisti kehittyy varhain aivoissa – ”herkkyyskausi” –2–12 kk

- Kypsimmät alueet **tummimmalla** (hyvin myelinisoituneet)

Tunto- ja liikeaivokuoret

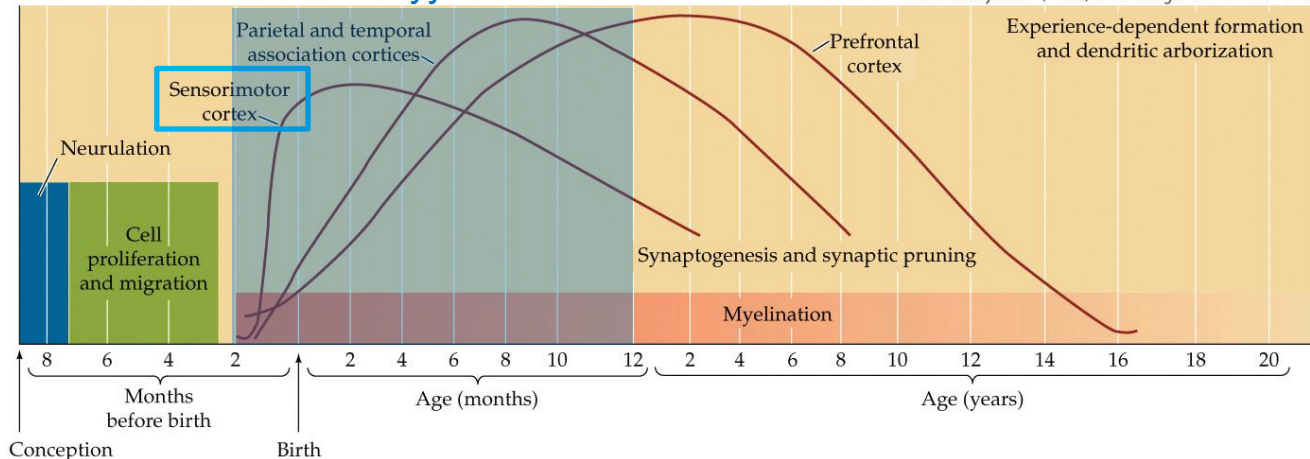
Vauva, 2 kk



Paul Flechsig 1904

Time course of myelination "Herkkyyskausi"

After Casey et al. (2005) *Trends Cogn. Sci.* 9: 104–110.

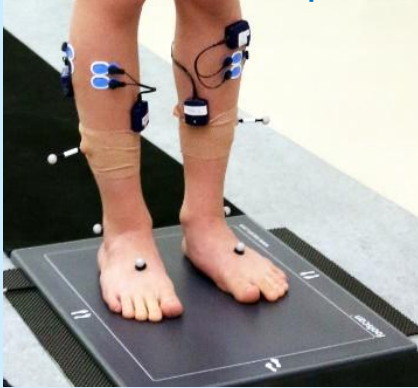


# Liikeaistia voidaan tutkia toimintakyvyn ja aivojen tasoilla

## Liikeaistiin-liittyvä toimintakyky

Staattinen tasapaino

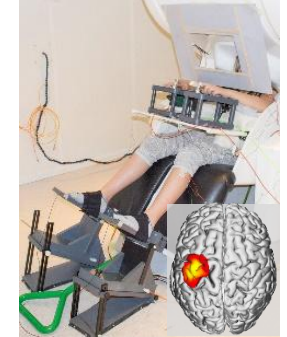
Dynaaminen tasapaino



## Aivojen liikeaistikäsittely

EEG

MEG



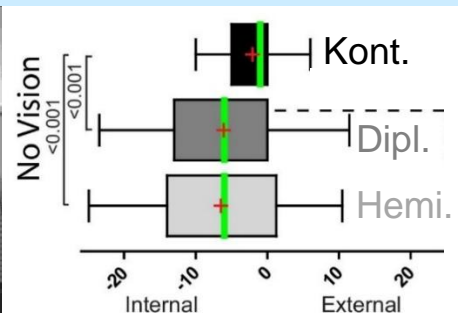
Ahtola et al. 2022 Cereb Cortex, 33: 4699–713

Piitulainen et al. 2013, 2015, 2018, 2022

## Liikeaistiin-perustuva toimintakyky

Lonkanivelen asennon toistotarkkuuden testi

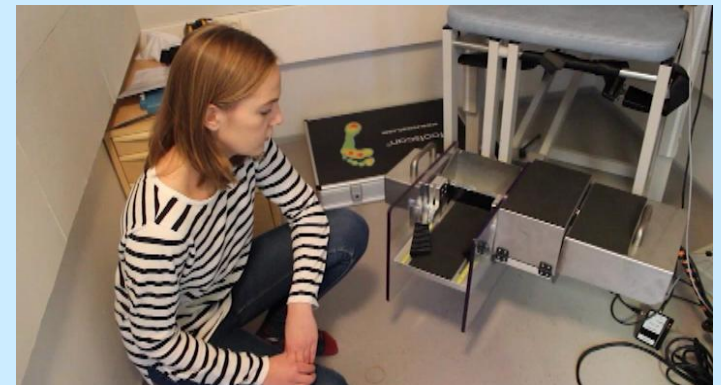
Virhe rotaatiossa (°)



Wingert et al. 2009 Arch Phys Med Rehabil 90:447–53

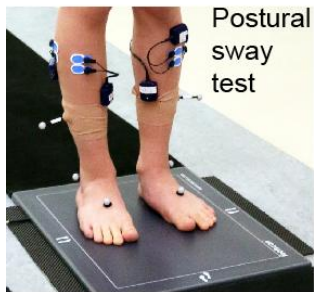
## Liikeaistimuskyky

Objektiivinen nilkan liikeaistikynnystesti

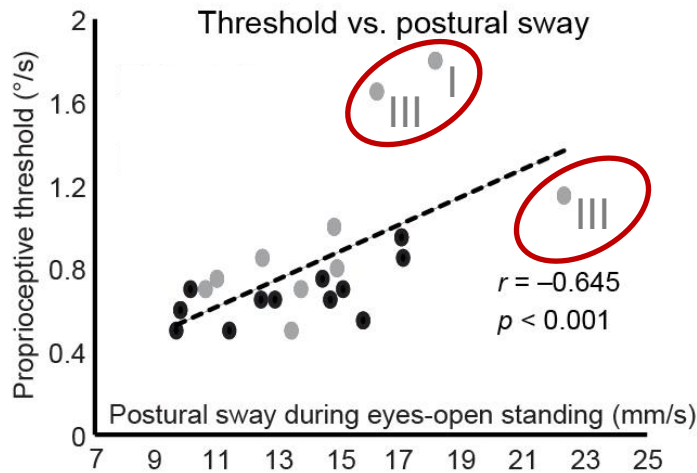
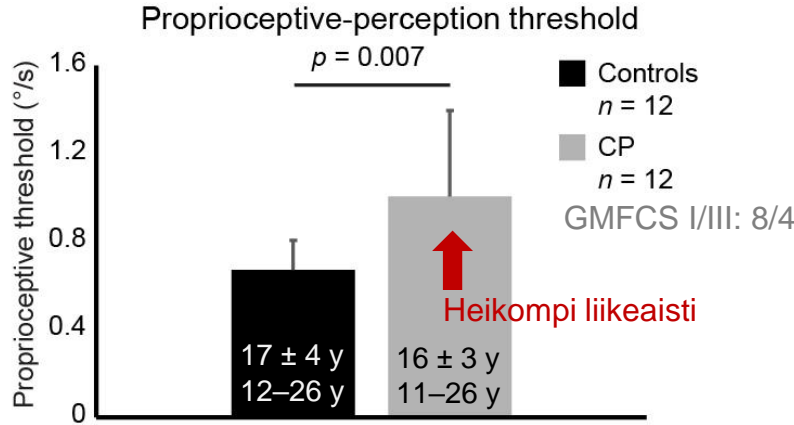


Piitulainen et al. 2021 Gait & Posture 90:188–9

# Liikeaistimuskyky oli heikentynyt osalla potilaista joilla CP-vamma



Silmät kiinni ja auki mittaukset (60 s molempia)



~0–2.5 kertaa korkeampi aistimuskyky CP-vammassa

Heikompi liikeaistikyky viittasi heikompaan tasapainoon

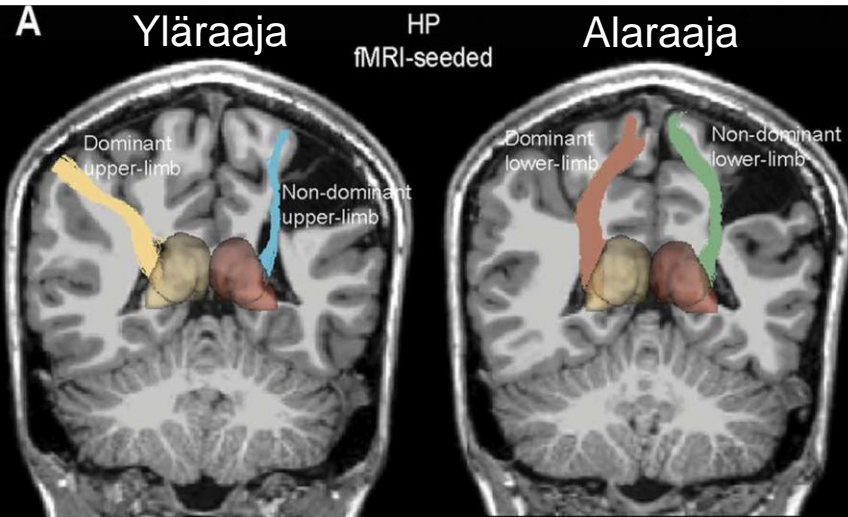
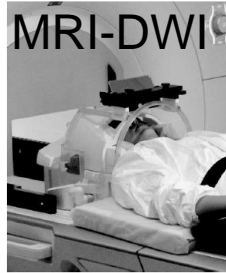


Piitulainen et al. 2023 Gait & Posture 106:165–6

- Liikeaistin vajeen tunnistaminen osaksi henkilökohtaista kuntoutusta CP-vammassa
- Lisää aineistoa/kokemusta tarvitaan: kerätään HUS Liikelaboratoriossa ja JYU:ssa

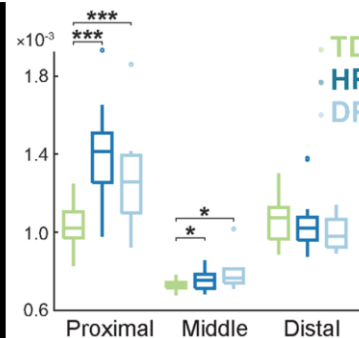
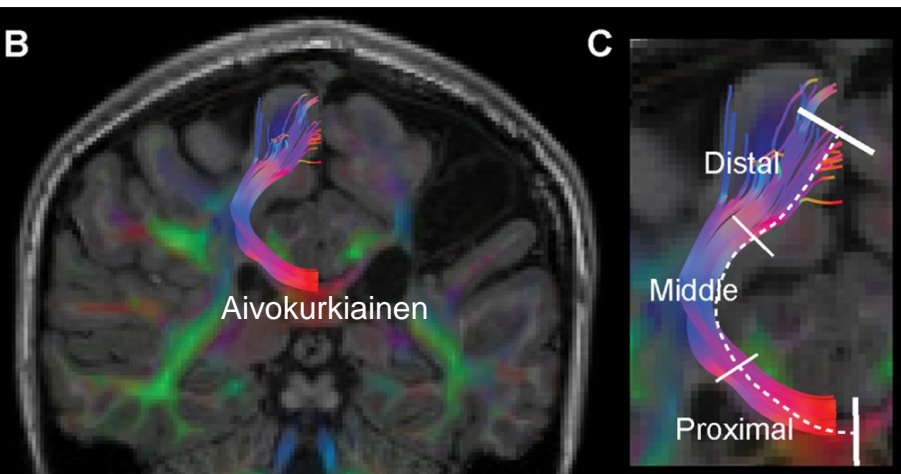
# Aivojen liikeaistia välittävät valkean aineen radat ovat heikentyneet CP-vammassa

- Kehosta aivoihin nousevat liikeaistin talamokortikaaliset radat ovat heikentyneet etenkin heikommalla puolella hemiplegisessä CP-vammassa



Jaatela J, Nurmi T, Vallinoja J, Mäenpää H, Sairanen V, Piitulainen H 2023, Cerebral Cortex, doi: [10.1093/cercor/bhad279](https://doi.org/10.1093/cercor/bhad279)

- Aivopuoliskojen väliset liikeaistinradat ovat usein heikentyneet CP-vammassa

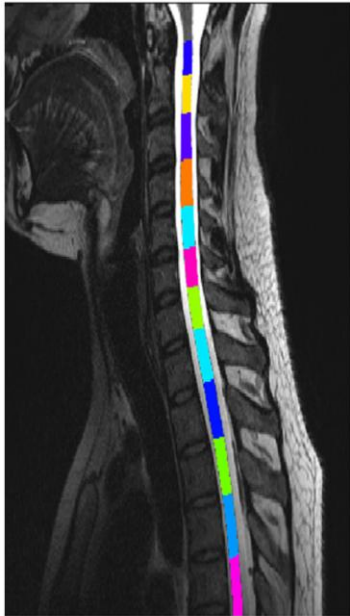


Jaatela J, Nurmi T, Vallinoja J, Mäenpää H, Sairanen V, Piitulainen H 2023, Brain Struct Funct, doi: [10.1007/s00429-023-02692-1](https://doi.org/10.1007/s00429-023-02692-1)

# Selkäytimen radat ja harmaa-aine ovat heikentyneet CP-vammassa

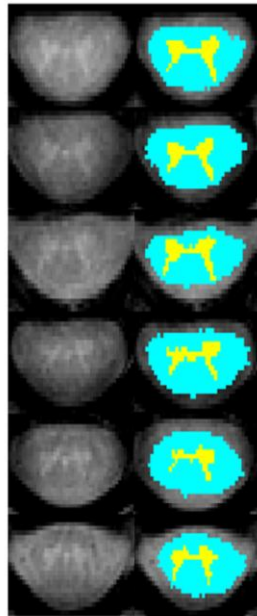
Selkäytimen harmaan ja valkean aineen **poikkipinta-ala** ↓ CP-vammassa Selkäytimen myelinisaatio

(a)

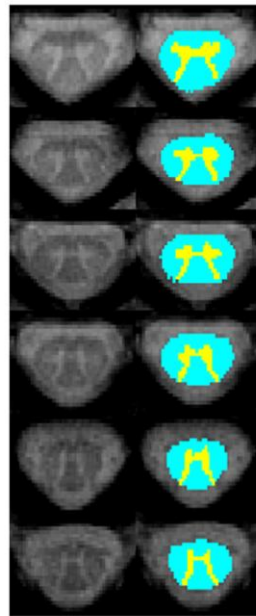


(b)

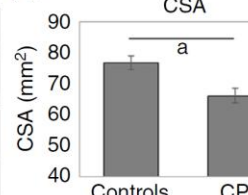
CP



TD

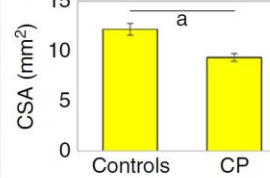


(c)

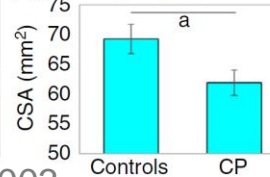


13 spastista bilateraalista aikuista (MACS I-III)

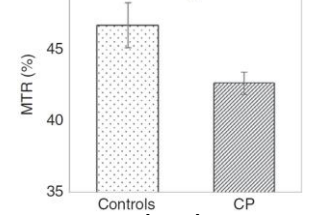
(d)



(e)

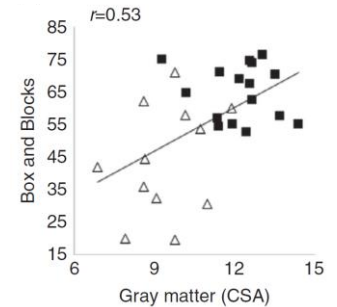


Selkäytimen myelinisaatio



MTR = magnetization transfer ratio (MRI scan)

Motorinen taito vs. poikkipinta-ala



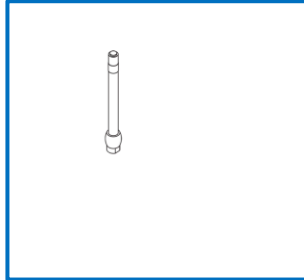
Trevarrow et al. 2021 *Dev Med Child Neurol* 63:998–1003

Vaikuttanee selkäydintason liikeohjauksen ja liikeaistin **integraation** kaikilla selkäytimen tasoilla, sekä aivoihin nousevaan **liikeaistipalautteeseen**

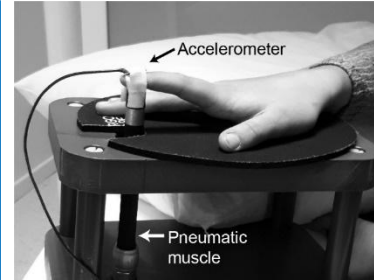
# Liikeaistinsoluja stimuloiminen aivokuvantamisessa

## Magnetoencefalografia (MEG)

Nilkan rotaatiot



Sormien liikutus



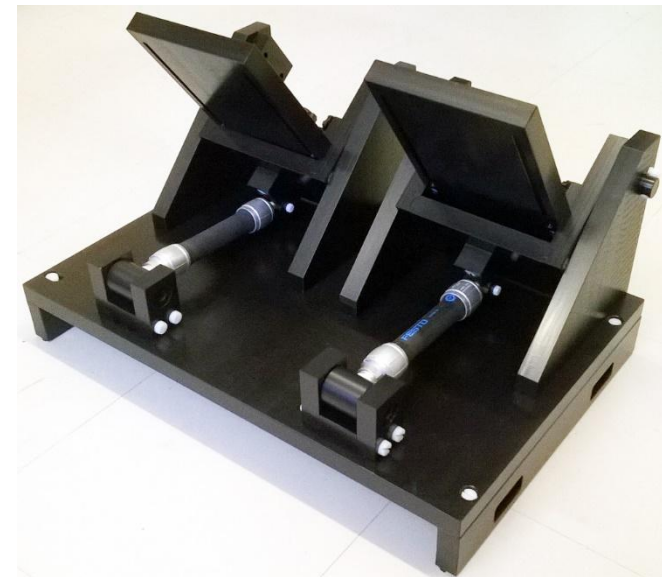
Etusormi



4 × liikettä

4 × taktilistimulaatio

## Toiminnallinen magneettikuvantaminen (fMRI)

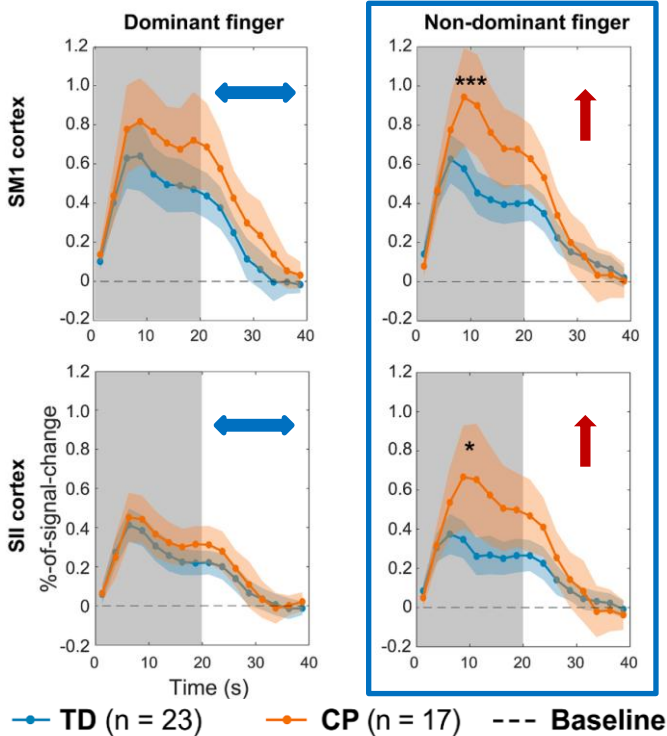


# Aivokuoren liikeaistinkäsittely on heikentynyt CP-vammassa

- Tuntoaivokuoren aktivaatio liikestimulaatiolle on voimistunut
  - Korreloi heikomman käden toimintakykyvyn kanssa



## fMRI BOLD-vasteet



Ikä: ~14 v (10-17 v)

a Proprioceptive stimulation in fMRI



c Performance tests for the hand



Non-dominant = heikompi puoli

### Johtopäätös:

Kompensaatio heikompaan sensorimotoriseen integraatioon

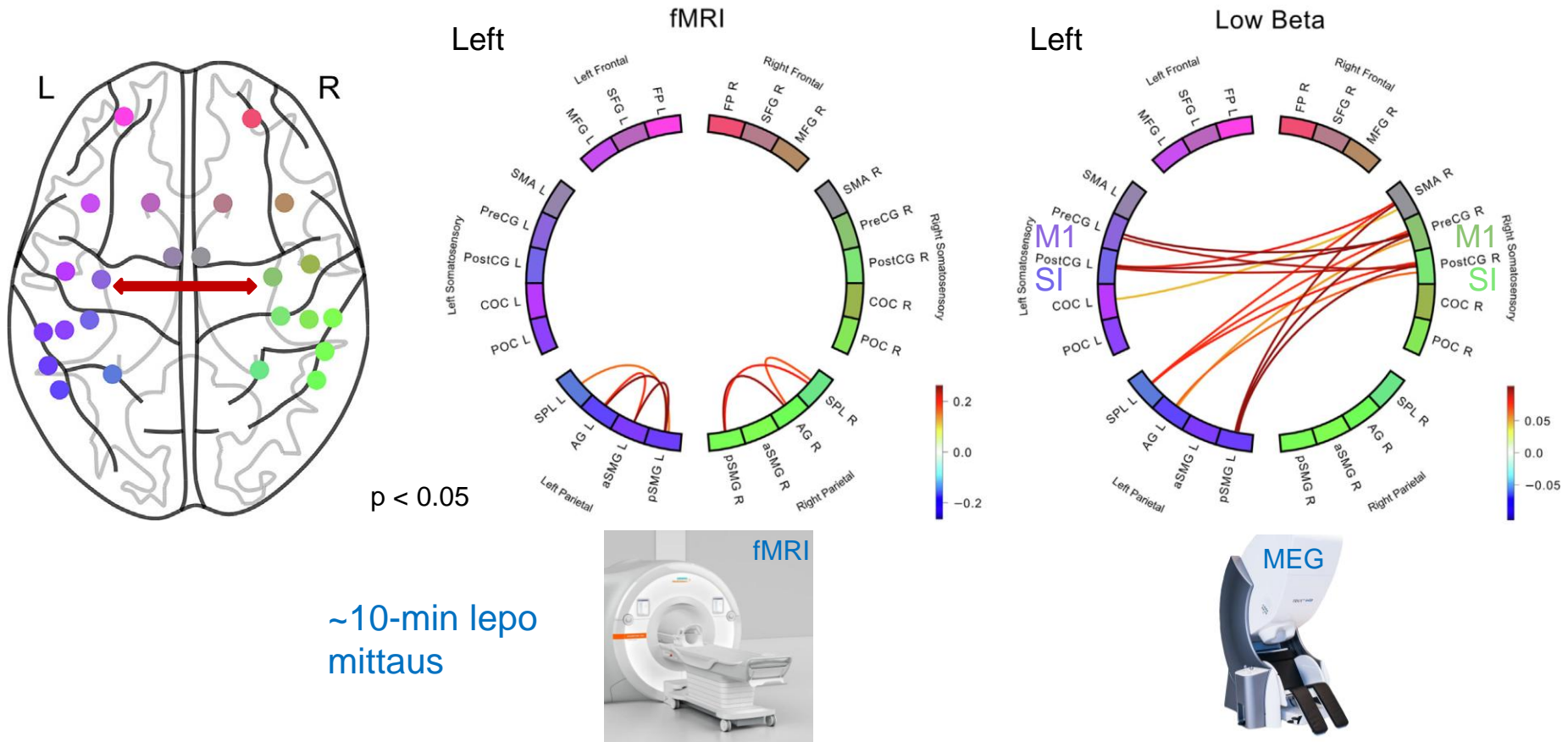
➡ Isompi hermoverkosto aktivoituu aivokuorella

# Aivojen toiminnallinen konnektiivisuus on voimistunut CP-vammassa

- **Vahvempaa** spastisessa diplegiassa verrattuna verrokkeihin (~14 v)
  - **fMRI**: päälakilohkon alueilla (eri aistien integraatio)
  - **MEG**: aivopuoliskojen välillä tunto- ja liike alueilla (bimanuaalinen liikeohjaus)
  - **Syyt**: Heikompi inhibition? Valkean aineen vauriot? Heikommat yhteydet aivokuoren ja talamuksen sekä basaaliganglioiden välillä?

## Toiminnallinen MRI

## Magnetoenkefalografia (MEG)

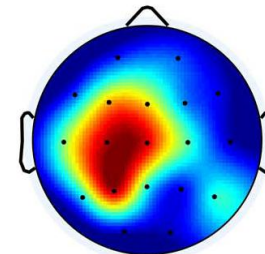


# Liikeaistiratojen ja aivokuoren häiriöitä voi tunnistaa jo vauvoilta

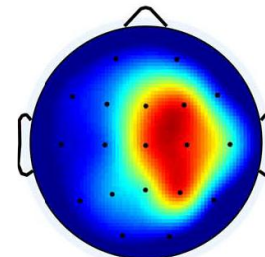
- Luonnonmukainen käden liikestimulaatio yhdistettynä EEG-mittaukseen



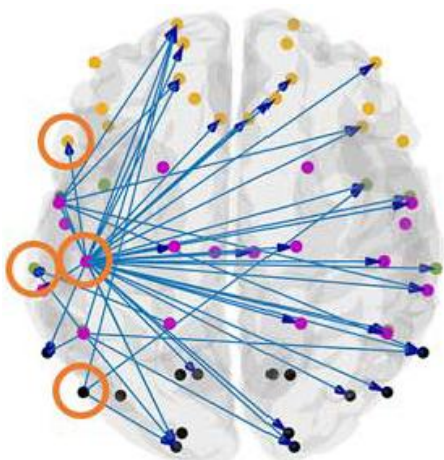
Oikea käsi



Vasen käsi



## Verkostoanalyysi



**Vaihtoehto sähköstimulaatiolle ja spesifimpi liikeaistin ongelmille**

➔ mahdollistaa varhaisen kuntoutuksen



 HUS

Sampsu  
Vanhatalo

Ahtola et al. 2022 Cereb Cortex, 33: 4699–713

# Johtopäätökset

1. **Liikeaisti** on ratkaisevan tärkeää aivojen liikeohjaukselle ja motoriselle oppimiselle
  - Miten kuntouttaa liikeaistia CP-vammassa?
  - Selittääkö liikeaistin vaje selektiivisten liikkeiden tuottamisen vaikeuden CP-vammassa?
2. Liikeaistin vajeen **tunnistaminen** (diagnosointi) ja liikeaistikyvyn **seuranta** tarkoittaisi yksilökohtaista hoitoa
  - Tarve objektiivisille ja toistettaville liikeaistimittareille
  - Keitä kuntouttaa?
3. Tiedostetun ja tiedostamattoman liikeaistin käsittelyn yhteys vielä epäselvä
  - Suurin osa aivojen liikeaistinkäsittelystä tapahtuu **tiedostamatta**
  - Liikeaistin aivoperusta tunnetaan heikosti

# Kiitos!

- **MOTOR group, Faculty of Sport and Health Sciences, Univ. Jyväskylä**

Dr. Maria Hakonen (Postdoc), Dr. Simon Schless (Postdoc), , Dr. Pedro Valadao (Postdoc), Dr. Timo Nurmi (Postdoc), Dr. Alessandra Giangrande, Toni Mujunen (PhD cand.), Maxwell Thurston (PhD cand.), Joonas Juurakko (PhD cand.), Vesa Onnia (PhD cand.), Feiyue Li (PhD cand.), Junru Chen (PhD cand.), Maija Siltala (PhD cand.), Santtu Seipäjärvi (PhD cand. at Dept. Psychology)



- **Hospital Nova, Jyväskylä**

Prof. MD Juha Paloneva, MD Urho Sompa, MD Miguél Munoz-Ruiz, MD Petteri Ahtiainen, MD Heli Ruuskanen, MD Ville Ponkilainen



- **Dept. Neuroscience and Biomedical Engineering (NBE), Aalto Univ., Espoo**

MOTOR group: Dr. Julia Jaatela, Dr. Mia Illman, Jaakko Vallinoja (PhD cand.), Parvin Shokoofeh (PhD cand.)

Collaborators: Prof. MD Synnöve Carlson, Virve Vuontela (Postdoc), Staff Sci. Mia Liljeström, Staff Sci. Mia Liljeström, Senior Lect. Linda Hendrikson



- **Motion Analysis Laboratory, New Children's Hospital, HUH, Helsinki**

MD Helena Mäenpää, MD Aulikki Lano, Dr. Juha-Pekka Kulmala, Dr. Jussi Nurminen, Dr. Andrey Zhdanov, PT Tuula Niemelä, PT Essi Martinen-Rossi, PT Piia Haakana, OT Sari Korhonen, Elina Ylitalo (PhD cand.), Jenni Suvela (PhD cand.), Mika Peltoniemi (PhD cand.), Valtteri Huttunen (PhD cand.), Sanni-Mari Kaarto (MSc cand.)



- **Laboratory for Engineering of the Neuromuscular System, Polytechnic of Turin, Italy**

Assoc. Prof. Marco Gazzoni, Assoc. Prof. Alberto Botter, Ass. Prof. Giacinto Luigi Ceron



- **Section on Functional Imaging Methods, National Institute of Mental Health, Bethesda, USA**

Prof. Peter Bandettini, Staff Sci. Laurentius Huber, Staff Sci. Tyler Morgan



[harri.t.piitulainen@jyu.fi](mailto:harri.t.piitulainen@jyu.fi)

## Funding



EMIL AALTOSEN SÄÄTIÖ



Finnish Cultural Foundation



Aivosäätiö

