

NEUROLOGISEN POTILAAN MOTORIIKAN JA SENSORIIKAN TUTKIMINEN

Laura Mattila

Anna Mäkivaara

Heini Ranta

Syventävien opintojen kirjallinen työ

Tampereen yliopisto

Lääketieteen yksikkö

Joulukuu 2015

Tampereen yliopisto
Lääketieteen yksikkö
Verkko-opetuksen kehittäminen – projektityöryhmä

LAURA MATTILA, ANNA MÄKIVAARA JA HEINI RANTA:
NEUROLOGISEN POTILAAN MOTORIIKAN JA SENSORIIKAN TUTKIMINEN

Kirjallinen työ, 59 s.
Ohjaaja: Neurologian erikoislääkäri, dosentti Marja-Liisa Sumelahti

Joulukuu 2015

Avainsanat: motoriiikka ja sen säätely, sensoriiikka, hermojohtuminen perifeerisesti ja sentraalisesti, statustutkimus

Tässä kirjallisuuskatsauksessa käsitellään motoriiikan ja sensoriiikan tutkimista, hermoratojen neuroanatomiaa ja hermoston toimintaan liittyviä säätelymekanismeja, joiden ymmärtäminen on olennaista tutkittaessa ja tulkittaessa neurologisia oireita anamneesi- ja statustutkimuksessa. Tähän kokonaisuuteen liittyy potilaan tutkimisen interaktiivinen videomateriaali Tampereen Yliopiston Learning2-ympäristössä.

Tahdonalainen motorinen viesti kulkee aivokuorelta ylemmän ja alemman motoneuronin välityksellä kohdelihakselle. Ekstrapyramidaalijärjestelmä edesauttaa liikkeiden tarkoituksenmukaista aloitusta ja liikenopeutta säätelämällä pyramidiratojen toimintaa. Myös pikkuaivojen monet ratayhteydet osallistuvat motoristen toimintojen säätelyyn. Niiden tehtävät liittyvät erityisesti liikkeen säätelyyn liikesuorituksen aikana sekä tasapainon ylläpitoon. Motorisia toimintoja tutkitaan arvioimalla tutkittavan liikkumista ja tasapainon hallintaa, tutkimalla lihasten voimaa, refleksejä ja hienomotoriikkaa erilaisin kliinisin kokein. Anatomisten rakenteiden tuntemisen ja tutkimuslöydösten perusteella voidaan päätellä vaurion tai vaurioiden taso ja tarkempi sijainti joko keskus- tai ääreishermostossa.

Erilaisia tuntoaistimuksia eli modaliteetteja ovat värinä- ja asentotunto, kipu ja syväkipu, kosketus (hipaisu ja karkea kosketus) sekä lämpötilatunto, joita aistivat iholla ja sisäelimissä erityyppiset reseptorit. Viestit kulkevat nousevina ratoina keskushermostoon eripaksuisia aksoneita pitkin selkäytimen tuntoradoissa. Aivokuorella projektioneuronien tuomat viestit tunnistetaan somatotooppisen jakauman perusteella erilaisina tuntoaistimuksina. Tuntoaistimus voi muuttua hermoston kaikilla tasoilla ja vaurion paikka voi olla perifeerisen tai sentraalisen hermon tasolla. Tieto tuntoratojen risteämisestä ja anatomisesta kulusta keskushermostossa on olennaista tasodiagnostisessa arvioissa. Vaurion paikannuksessa käytetään dermatomikarttaa, joka viittaa tunnettuun projektiotasoon selkäytimestä. Tuntohäiriön ja kivun luonnetta arvioidaan anamnestisen kuvauksen ja statuksessa havaittujen dermatomi ja modaliteettimuutosten avulla.

Alkusanat

Tämän kirjallisen työn tarkoituksena on tukea neurologisen potilaan tutkimisen opiskelua virtuaalisen aineiston statusaineiston ja verkkoympäristön neurologisten virtuaalitapausten avulla, jotka edustavat hermoston poikkeavaa toimintaa. Aineisto on osin samaa kuin virtuaalipotilasympäristössä, mutta pääasiallinen tarkoitus on keskittyä kuvaamaan niitä anatomisia seikkoja ja fysiologisia ilmiöitä, joiden pohjalta on luotu neurologisille potilaille tehtävät standardikokeet. Työ on jaettu kahteen osioon, joista ensimmäinen käsittelee hermoston motorista toimintaa ja toinen keskittyy sensoriikkaan. Lisäksi työssä on muutamia kuvia, joiden tarkoitus on havainnollistaa tekstin sisältöä ja edesauttaa oppimista.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	5
1.1 Sanastoa	5
1.2 Hermoimpulssin muodostuminen, kulku ja välittäjäaineet	7
2. MOTORIIKKA	13
2.1 Motoriikan tutkiminen ja tutkimusvälineet	13
2.2 Anatomiset rakenteet ja toiminnan säätely	13
2.2.1 Motorinen homunculus	13
2.2.2 Pyramidirata.....	15
2.2.3 Kortikobulbaarirata	18
2.2.4 Motorinen ääreishermosto	19
2.2.5 Pikkuaiivot ja ratajärjestelmät	26
2.2.6 Ekstrapyramidaalijärjestelmä ja radastot	30
2.2.7 Tasapainon säätely	35
3. SENSORIIKKA	37
3.1 Tutkimusvälineet	37
3.2 Sensoristen toimintojen säätely	38
3.2.1 Dermatomit.....	41
3.2.2 Somaattisten sensoristen reseptorien luokat.....	43
3.3. Tuntomodaliteetit	46
3.3.1 Kipu	46
3.3.2 Lämpö.....	48
3.3.3 Asentotunto	49
3.3.4 Kosketustunto	50
3.4 Selkäytimen tuntoradat	52
3.4.1 Takajuostejärjestelmä.....	52
3.4.2 Anterolateraalinen järjestelmä	54
3.5 Somatosensorinen aivokuori	56
Lähteet	57

1. JOHDANTO

1.1 Sanastoa

Alempi motoneuroni = selkäytimestä lihakseen kulkeva hermosolu

Algesia = kivuntunto

Eksitaatio = kiihottaminen, toimintaa edistävä

Ekstrafusaalisolu = lihaksen voimaa tuottava solu

Hermo-lihasliitos = α -motoneuronin aksonipäätteen ja poikkijuovaisen lihassolun välinen liitos, jonka toiminta muistuttaa synapsin toimintaa

Hyperkinesia = liikaliikunta, lihastoiminnan liikavilkkaus

Inhibitio = estäminen

Inspektio = tarkastelu, katselu

Intentiovapina = vapina jonka liikelaajuus kasvaa liikkeen kohdetta lähestyttäessä

Interneuroni = välineuroni, kahden muun neuronin välissä sijaitseva hermoradan neuroni

Intrafusaalisolu = lihaskäämin solu, jonka avulla aistitaan lihaksen venytystä

Ipsilateraalinen = samanpuoleinen

Kontralateraalinen = vastapuolinen

Kynnysjännite = jännite, joka vaaditaan reaktion aikaansaamiseksi (esim. aktiopotentiaali)

Lihaskäämi = luustolihasyiden välissä sijaitsevia, hermosyistä ja erilaistuneista lihassyistä muodostuneita aistinelimiä, jotka reagoivat impulssisarjalla lihasta venytettäessä ja aiheuttavat näin jänneheijasteet sekä vaikuttavat lihaksen jänteyteen (lihastonukseen)

Lihassukkula = ks. lihaskäämi

Neuroni = hermo

Neurotransmitteri = välittäjäaine, joka sitoutuessaan synapsiraossa spesifiin reseptoriin siirtää impulssin eteenpäin

Perseptio = aistiminen

Pleksus = hermopunos

Proprioseptori = lihas- ja jännekäameistä elimistön asentoa ja liikkeitä koskevaa tietoa välittäviä aistinreseptoreja

Pyramidirata = liikehermorata joka alkaa mm. motorisesta aivokuoresta, kulkee sisäkapselin (capsula interna) kautta, risteytyy osaksi puolelta toiselle ydinjatkeen pyramidiristeyksessä (decussatio pyramidum, dekussaatio) ja liittyy mm. selkäytimen liikehermosoluihin (alempiin motoneuroneihin)

Refraktaariaika = ilmiötä seuraava ajanjakso, jolloin ilmiön uusiutuminen ei ole mahdollinen, esim. aktiopotentiaalia seuraava aika, jonka kuluessa lihas- tai hermosolu ei pysty tuottamaan uutta aktiopotentiaalia

Rigiditeetti = kankeus, jäykkyys, tavallisesti ekstrapyramidaalihäiriöstä aiheutunut lihasjänteiden kasvu, joka ilmenee mm. tasaisena vastuksena jäsentä taivutettaessa

Sensorinen adaptaatio = aistinreseptoreiden sopeutuminen jatkuvaan ärsytykseen

Sooma = tuman ympärillä sijaitseva hermosolun pääosa

Spinaaliganglio = hermosolmu

Synapsi = hermosolujen välinen liitos, jossa impulssi siirtyy hermosta toiseen

Termoreseptori = lämpötilareseptori

Transduktio = aistireseptoriin vaikuttavan energian muuntuminen reseptorin kalvojännitteen muutoksiksi ja edelleen hermosyiden aktiopotentiaaleiksi

[1]

1.2 Hermoimpulssin muodostuminen, kulku ja välittäjäaineet

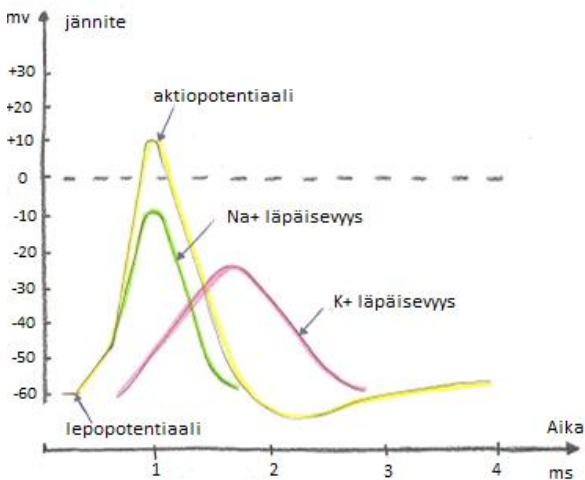
Viestit välittyvät hermostossa sekä kemiallisesti että sähköisesti. Kemiallisesta johtumisesta on kyse, kun impulssi kulkee synapsissa, eli solujen välisellä liitospinnalla hermosolusta toiseen. Sähköisesti viesti kulkee hermosolun solukalvoa pitkin leviävänä depolarisaationa eli aktiopotentiaalina. Hermojen ja hermo-lihasliitoksen välinen viestintä tapahtuu synapsissa. Muodostunut hermoimpulssi, aktiopotentiaali, etenee hermon aksonissa saltatorisesti eli hyppien (latinaksi saltare, suomeksi hypähdellä) Ranvierin kuroumasta toiseen. [2] Pitkä pyramidirata ja alempi motoneuroni, sekä sensorinen perifeerinen että sentraalinen radasto kuljettavat viestiä kullekin hermotyypille ominaisella johtonopeudella, joka vaihtelee eri aksonityyppien välillä [3]. Johtonopeus kuvaa sitä, kuinka nopeasti aktiopotentiaali kulkee hermosolussa [1]. Parhaimmillaan se voi olla jopa 120 m/s [4].

Hermoviestin normaalin kulun edellytyksenä on normaali aksoni sekä sitä ympäröivä terve myeliinivaippa. Motorisen hermo-lihasliitoksen toiminta edellyttää toimivaa välittäjäaine- ja reseptorisysteemiä [2].

Hermoimpulssin synty

Aktiopotentiaali alkaa kun hermosolu depolarisoituu, jolloin tietyt natriumkanavat aukeavat ja natriumionit pääsevät paikallisesti siirtymään solun sisäpuolelle. (Depolarisaatio tarkoittaa kalvojännitteen muuttumista positiiviseksi). Solukalvolla saavutetaan kynnysjännite, jonka seurauksena solukalvon Na⁺-läpäisevyys kasvaa nopeasti jänniteohjattujen Na⁺-kanavien auetessa, jolloin Na⁺ virtaa solukalvon sisäpuolelle ja membraanipotentiaali kohoaa edelleen. Potentiaalin noustessa noin 30 mV, solukalvon läpäisevyys natriumin suhteen pienenee, eikä natriumia pääse enää virtaamaan solun sisään. Samalla K⁺-läpäisevyys solukalvolla suurenee kaliumkanavien auetessa, jolloin kaliumionit virtaavat ulos. (Repolarisaatio tarkoittaa kalvojännitteen muuttumista takaisin negatiiviseksi.) Tämän seurauksena membraanipotentiaali alkaa laskea. Hitaat kaliumkanavat jäävät auki, jolloin kalvojännite käy negatiivisemmalla puolella kuin lepopotentiaali. (Hyperpolarisaatio, suurempi negatiivinen jännite kuin lepopotentiaalissa). K⁺ kanavat sulkeutuvat ja lepopotentiaali palautuu, mutta ionit ovat väärillä puolilla solukalvoa. Na⁺ K⁺ -pumppu palauttaa ionit omille puolilleen. [5] (Katso kuva 1: Lepopotentiaali ja kalvopotentiaalın jännitevaihtelu.)

Aktiopotentiaalia seuraa refraktaariaika, jolloin Na⁺-läpäisevyys solukalvolla on niin pieni, että uutta aktiopotentiaalia ei voi syntyä. Tätä kutsutaan absoluuttiseksi refraktaariajaksi. Kun Na⁺-läpäisevyys palaa normaaliksi, voi uusi depolarisaatio syntyä. Absoluuttista refraktaariaikaa seuraa kuitenkin vielä relatiivinen refraktaariaika, jolloin uuden aktiopotentiaalın syntymiseen tarvitaan suurempi ärsyke. [5]



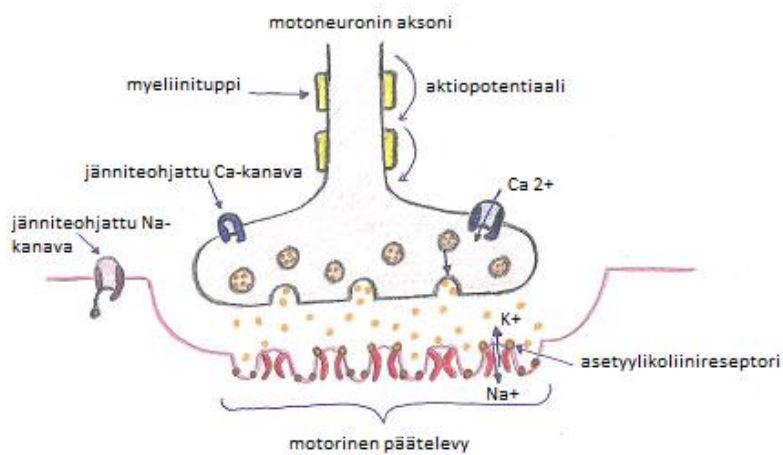
Kuva 1: Lepopotentiaali ja kalvopotentiaalın jännitevaihtelu.

Synapsi

Synapsilla tarkoitetaan kahden hermosolun tai esimerkiksi hermo- ja lihassolun välistä liitospintaa. Impulssi kulkee hermosolusta toiseen kemiallisesti välittäjäaineen avulla. Kulkeutuminen on Ca^{2+} ioneista riippuvainen tapahtuma, jossa vapautuu neurotransmitteriä (eli välittäjäainetta), joka sitoutuu postsynaptiseen eli synapsin jälkeisen solun reseptoriin. [6] (Katso kuva 2: Synapsin rakenne hermo-lihasliitoksessa.)

Samalle välittäjäaineelle on monta eri reseptoria, joihin sitoutuessaan se voi aiheuttaa monenlaista eri vastetta, toisin sanoen synapsissa reseptorityyppi määrittää, onko vaste kiihdyttävä vai inhiboiva. Jos välittäjäaine saa aikaan postsynaptisessa eli synapsin jälkeisessä solussa depolarisaation, sanotaan synapsia kiihdyttäväksi. Estävä synapsi saa aikaan kalvojännitteeseen hyperpolarisaation, jolloin aktiopotentiali on vaikeampi synnyttää. Tällöin synapsi on estävä. [6]

Synapsit summautuvat, ja jos yhteisvaikutus on riittävän eksitoiva eli kiihdyttävä, syntyy aktiopotentiali, ja impulssi kulkee eteenpäin. [5]



Kuva 2: Synapsin rakenne hermo-lihasliitoksessa.

Presynaptisesta hermosolusta vapautuu välittäjäainetta (asetylikoliini) Ca^{2+} vaikutuksesta synapsirakoon. Asetylikoliini sitoutuu postsynaptisella eli lihassolun solukalvolla sijaitseviin reseptoreihin aiheuttaen solukalvon depolarisaation. Mikäli eksitaatio on riittävä, etenee aktiopotentiaali lihassolussa eteenpäin. [7]

Keskushermoston välittäjäaineet

Taulukko 1: Keskushermoston välittäjäaineet [6]

Välittäjäaine	Vaikutuspaikka	Vaikutus
Asetylikoliini (ACh)	hermo-lihasliitos, synapsirako, aivojen kolinergiset neuronit	parasympaattisen hermoston tärkein välittäjäaine aivoissa vireystilan ja tarkkaavaisuuden säätely, muisti ja oppiminen
Glutamaatti	keskushermosto	keskushermoston tärkein eksitatorinen eli stimuloiva välittäjäaine hermoyhteyksien voimistuminen ja heikentyminen esim. hippokampuksessa -> assosiaatiot ja ehdollistuminen
GABA (gamma-aminovoihappo)	keskushermosto	tärkein keskushermoston inhibitorinen eli estävä välittäjäaine hermoverkkojen interneuroneissa inhiboivana osana hypotalamuksen hormonierityksen ja toiminnan

		säätelijä muisti, oppiminen
Dopamiini	keskushermosto, corpus striatum	motoriikan säätely ekstrapyramidaaliradan kautta, kognitiivisten prosessien käsittely
ATP	selkäytimen motoneuronit ja gangliot	eksitatorinen välittäjäaine

2. MOTORIIKKA

2.1 Motoriikan tutkiminen ja tutkimusvälineet

Hyvään neurologiseen statukseen kuuluu kattava anamneesi ja statustutkimus. Inspektiossa nähdään potilaan liikuntamalli ja liikkeiden nopeus, askellus sekä tasapainon hallinta käännöksissä. Huomio kiinnitetään liikkeiden symmetriaan. Kehon rakennetta inspektoitaessa huomioidaan lihasten koko, mahdollinen hypertrofia tai atrofiat. Motoriikkaa tutkitaan tarkemmin voima- ja liiketestein, joilla mahdollinen vauriokohta paikallistetaan ja saadaan käsitys tasodiagnostisesta säätelystä. [3]

Statustutkimus alkaa kävelymallin havainnointina jo tutkittavan siirtyessä käytävältä tutkimuhuoneeseen. [3] Tutkimuhuoneesta tulisi löytyä taso, jossa voi tutkia esimerkiksi refleksit ja alaraajojen toimintoja ja voimatasoa potilaan istuessa tai maatessa. Tutkimusvälineistä tärkein on refleksivasara. Optimaalinen refleksivasara heijasteiden tutkimisessa on pitkävirtainen, noin 20 cm pitkä sekä mahdollisimman painava. [6] Kärjen on hyvä olla terävä, jotta se osuu tarkasti tutkittavaan jänteeseen.

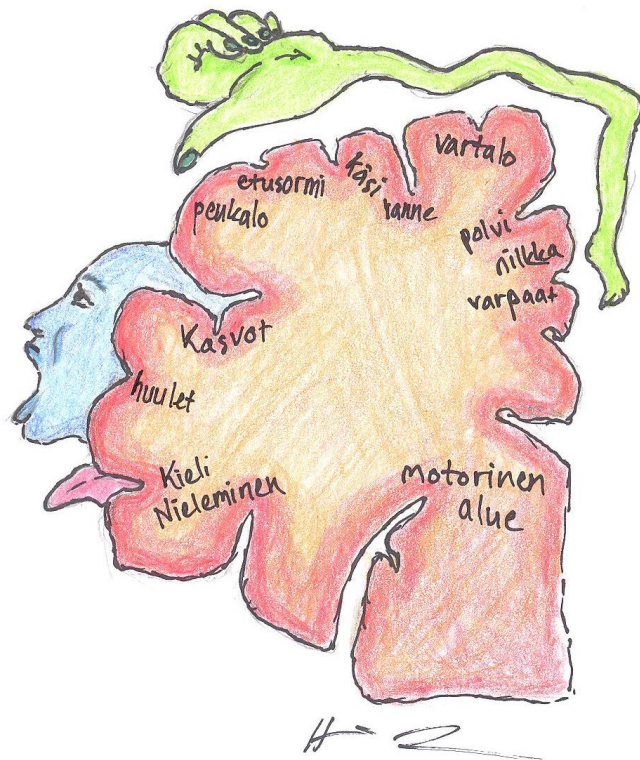
Yksityiskohtainen statustutkimus on esitelty Motoriikan tutkimus - virtuaalimateriaalikansiossa Tampereen Yliopiston Learning2 - ympäristössä neurologian oppialan alla.

2.2 Anatomiset rakenteet ja toiminnan säätely

2.2.1 Motorinen homunculus

Motoristen toimintojen säätely aivojen motorisella kuorella noudattaa somatotopiaa, jossa alaraajojen, käden ja kasvojen alueen motoriikka säätelee kuorikerroksen määritelty alue. Motorinen homunculus

(homunculus, pikku ihminen) kuvaa primaarisen motorisen aivokuoren (Brodmannin alue 4) aivopuoliskon säätelemän vastakkaisen puolen (kontralateraalisten) kehonosien hermotusalueen laajuutta. Kuvassa 3 on esitetty oikean hemisfäärin alue frontaalitasossa leikattuna. Jokaisella kehonosalla on oma alueensa tässä aivokartassa. [8]



Kuva 3: Motorinen homunculus.

Joillakin vartalonosilla on suhteettoman suuri edustus pinta-alallisesti verrattuna kehon normaaleihin mittasuhteisiin. Näitä alueita ovat esimerkiksi kieli, huulet, kasvot ja käsi, erityisesti peukalo. Vartalolla itsessään on varsin pieni edustus motorisella kartalla. Syy tähän löytyy hermotuksesta: monimutkaisia liikesarjoja suorittavat ja runsaasti hermotetut vartalonosat vaativat enemmän tilaa, enemmän neuroneja ja yhteyksiä aivokuorelta. [8]

2.2.2 Pyramidirata

Pyramidirata eli kortikospinaalirata muodostuu useista pitkistä hermosoluista, joiden tumake sijaitsee aivokuorella ja päätesynapsi alhaalla selkäytimessä harmaan aineen etusarvessa. Ennen synapsia aksonit kulkevat alaspäin valkeassa aineessa.

Hierarkia: Kyseessä on ylempi motoneuroni, joka välittää viestiä alemmalle motoneuronille [6]

Sijainti: Keskushermosto

Tehtävä: Tahdonalainen liikesuoritus, välittää lihaksen supistumiskäskyä. Lihaksen voiman ja tonuksen säätely.

Välittäjäaine: Asetyylikoliini

Kulku: Lähtee kortikaalisesti ja kulkee selkäytimen etusarveen.

Testaaminen: Tutkitaan lihasten voimataso, lihaksen tonus eli jänneys, heijastekaaren toiminta eli refleksit ja tarkastetaan Babinskin merkki. Poikkeavasta lihasjänteystä pyramidiradan vauriossa käytetään termiä spastisuus.

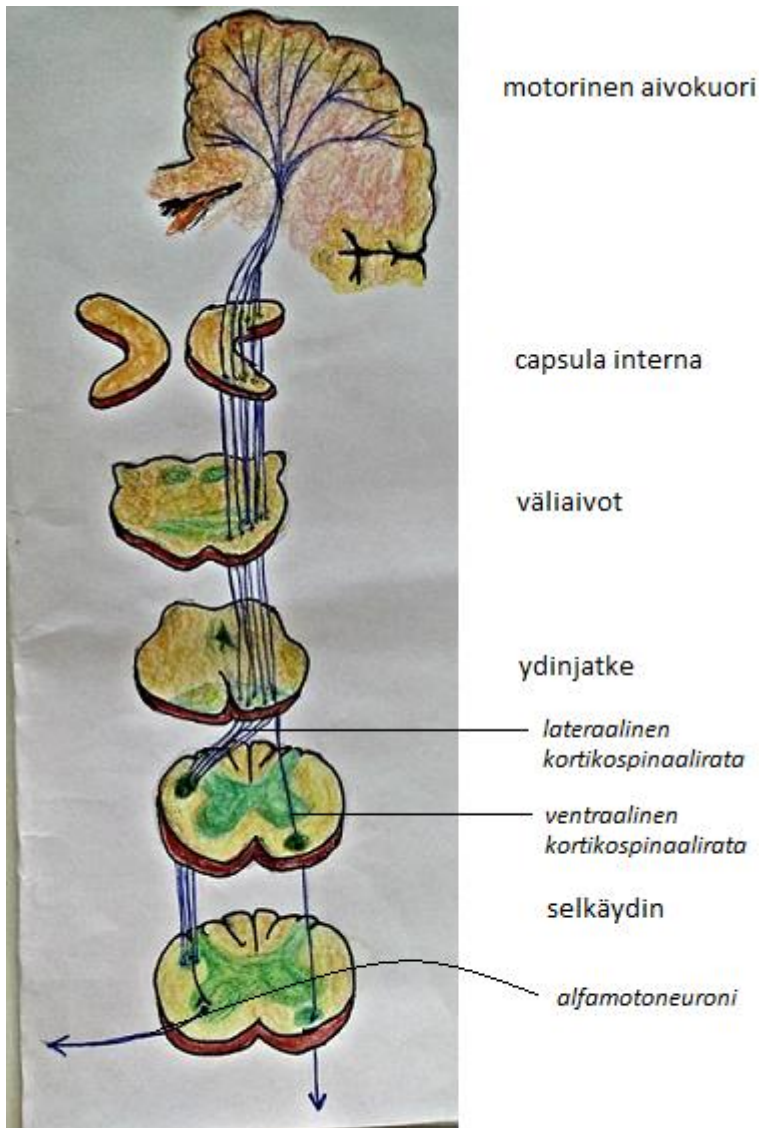
Ylemmän motoneuronin kulku keskushermostossa

Pyramidiradan neuronit alkavat aivojen primaariselta liikeaivokuorelta (M1) ja premotoriselta aivokuorelta, johon kuuluvat SMA (supplementary motor area) ja PMA (premotor area) ja päättyvät medullassa (selkäytimessä) etusarveen. Aivokuorelta laskeutuvat hermot kulkevat capsula internan kautta ydinjatkeeseen (medulla oblongata), jossa 90 % risteää vastakkaiselle puolelle muodostaen lateraalisen kortikospinaaliradan [6]. Osa säikeistä (10 %) kulkee risteämättä selkäytimen valkean aineen etupuolella muodostaen ventraalisen kortikospinaaliradan (myös nimitystä anteriorinen kortikospinaalirata käytetään). [6][9] Kuvassa 4 esitellään yksinkertaistettu mallinnus laskeutuvan radan kulusta keskushermostossa.

Lateraalisen ja ventraalisen kortikospinaaliradan topografinen sijainti selkäytimen valkeassa aineessa on esitetty kuvassa 5. Lateraalisen radan risteämisen vuoksi oikealta aivopuoliskolta lähtenyt liikehermosignaali päättyy hermottamaan kehon vasenta puolta. Tämä voidaan havaita esimerkiksi toispuolisissa aivovaurioissa, jotka ilmenevät mm. vastakkaisen puolen raajojen tahdonalaisen liikkeen

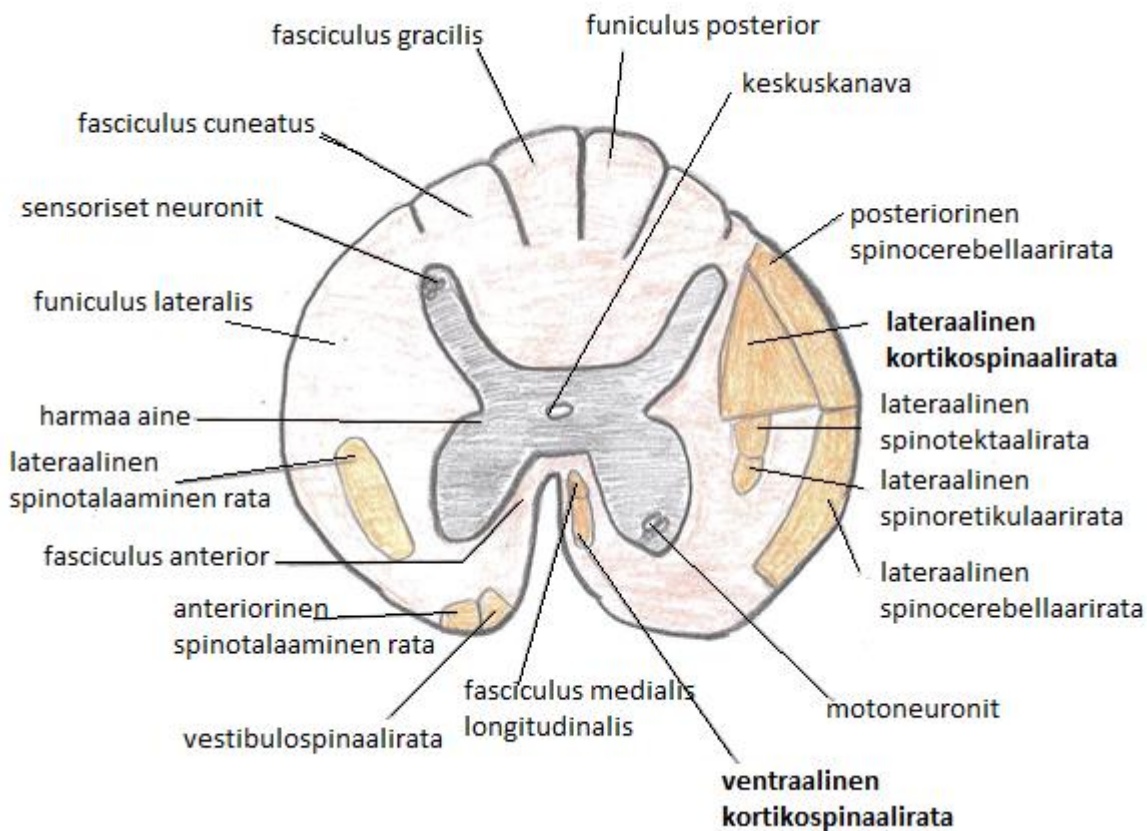
häiriöinä. [6] Ventraalinen kortikospinaalirata laskeutuu ipsilateraalisesti, eli samalla puolella selkäytimessä.

Selkäytimen etusarvessa on radan ainoa synapsi, jossa pyramidiradan neuronin liittyminen välityksellä joko suoraan alfa-motoneuroniin harmaan aineen etusarvessa tai välineuroniin [6]. Välineuroni on muita hermosoluja toisiinsa yhdistävä hermosolu [2].



Kuva 4: Kortikospinaaliradat.

Kuvassa on tasoleikattu, yksinkertaistettu malli lateraalista ja ventraalista kortikospinaaliradasta. Radan tarkempi topografinen kulku on esitetty useissa neuroanatomian oppikirjoissa.



Kuva 5: Selkäytimen poikkileikkaus.

Kuvassa on selkäytimen poikkileikkauskuva. Valkeassa aineessa kulkevat laskevat motoriset ja nousevat sensoriset radat. Aivoista selkäyttimeen laskeutuvat motoriset radat nimetään lähtö- ja päätetason mukaan, esimerkiksi kortikospinaalinen rata (pyramidirata). Samalla periaatteella nimetään pikkuaivoista ja tyvitumakkeista lähtevät motoriset radat.

Sensoriset radat ovat selkäytimessä nousevia, ja ne nimetään samalla tavalla lähtö- ja päätetason mukaan, esimerkiksi spinotalaaminen rata.

Termillä ylempi motoneuroni tarkoitetaan pyramidirataa. Ylempi sensorineuraalinen rata tarkoittaa sensoristen projektioneuroneiden kulkua keskushermostossa.

2.2.3 Kortikobulbaarirata

Hierarkia: Kyseessä on ylempi motoneuroni

Sijainti: Keskushermosto

Tehtävä: Tahdonalainen liikesuoritus, välittää kasvojen alueen lihasten supistumiskäskyä

Välittäjäaine: Asetyylikoliini

Kulku: Lähtee kortikaalisesti ja laskeutuu aivorungon motorisiin tumakkeisiin

Testaaminen: Tutkitaan kasvojen lihasten sekä nielu- ja kielilihasten voimataso

Kortikobulbaarirata alkaa otsalohkon primaariselta motoriselta aivokuorelta läheltä lateraaliuurretta, jossa jokaisella kasvojen alueella on oma alueensa edustettuna liikeaivokuoren tietyssä kohdassa. Rata risteää osittain ja vastaa tällöin joidenkin vastakkaisten kasvoalueiden hermotuksesta. Kortikobulbaarinen ylemmän motoneuronin säätely on kuvattu tarkemmin Verkko-oppimisprojektin AIVOHERMOT-osiossa.

Rata päättyy synapsiin keskiaivoissa, aivosillassa tai ydinjatkeessa sijaitseissa parillisissa, molemminpuolisissa aivohermotumakkeissa. Suurin osa kortikobulbaariradan aksoneista kulkee bilateraalisesti aivohermotumakkeisiin. Kuitenkin aksonit, jotka päättyvät kasvojen alaosaan hermottavien aivohermojen tumakkeisiin, kulkevat unilateraalisesti.

Aivohermotumakkeista lähtee alempi liikehermo, joka kuljettaa viestin tumakkeesta kasvolihaksen hermolihasliitokseen, jossa asetyylikoliini vapautuessaan aiheuttaa lihaksen supistumisen.

Aivohermotumakkeista lähtee alempi liikehermo, joka kuljettaa viestin tumakkeesta samalle puolelle kasvolihaksen hermolihasliitokseen, jossa asetyylikoliini vapautuessaan aiheuttaa lihaksen supistumisen. Esimerkiksi oikean puolen kasvohermotumakkeesta lähtee hermotus oikean puolen lihaksiin, samalla periaatteella kuin ääreishermit kulkevat selkäytimestä saman puolen lihakseen. [9]

2.2.4 Motorinen ääreishermosto

Hierarkia: Kyseessä ovat alemmat α - ja β -motoneuronit.

Sijainti: Neuronit lähtevät selkäytimestä harmaan aineen etusarvesta saman puolen raajojen tai vartalon (vatsan ja selän) lihaksiin.

Tehtävä: Tahdonalainen liikesuoritus pyramidiradan ja ylempien kortikaalisten neuronien säätelyn alaisena, refleksikaaren afferentit neuronit.

Välittäjäaine: Asetyylikoliini

Kulku: Selkäytimen etusarvesta (α - ja γ -motoneuronit) synapsiin hermo-lihasliitoksessa.

Testaaminen: Sekä pyramidi- että perifeerinen motorinen hermo vastaavat lihasten supistumisesta, jota testataan kehon lihasten voimatestein. Jännerefleksien, lihastonuksen ja Babinskin merkin testaus täydentävät tukimusta.

Yksittäisen tai useamman perifeerisen motorisen hermon tutkiminen arvioidaan tarvittaessa. Jos kyseessä on esimerkiksi S1- hermon pinne välilevyn pullistumisesta johtuen, tutkitaan S1 alueen hermottamat lihakset molemmin puolin. Testattaessa tutkitaan varvaskävely (mm. tibialis, gastrocnemius ja soleus) sekä akillesheijaste.

α -motoneuroni

Alfamotoneuronit hermottavat luurankoliuksia saaden aikaan liikkeen.

Alfamotoneuronin koko vaikuttaa sen aktivaatiokynnykseen: pienillä neuroneilla kynnysjännite on pienempi, jolloin se aktivoituu matalammalla ärsyketaajuudella, suurilla alfamotoneuroneilla kynnysjännite on verraten suuri ja ne aktivoituvat suuremmilla ärsyketaajuuksilla.

Pienet neuronit hermottavat tyyppin 1 lihassoluja, jotka supistuvat hitaasti, tuottavat vain pientä voimaa ja väsyvät hitaasti. Suuret alfamotoneuronit hermottavat tyyppin 2 lihassoluja, niillä on suuret ja nopeasti johtavat aksonit, jotka johtavat nopeasti supistuviin, suurta voimaa tuottaviin ja nopeasti väsyviin lihaksiin.

[5]

Lihassupistuksen voimakkuus määräytyy siis kahdella mekanismilla: yksittäisen motorisen yksikön kasvanut ärsyketaajuus synnyttää suuremman supistuksen kuin matala ärsyketaajuus ja kun ärsyketaajuus kasvaa riittävän suureksi, värvätään useampia motorisia yksiköitä. [5]

Taulukko 2: Kehon tärkeimmät lihasryhmät, niiden motorinen ääreishermostus ja selkäydintaso. [9]

Lihask tai lihasryhmä	Ääreishermo	Hermottava juuri tai juuret
<i>Pallea ja rintakehä:</i>		
Pallea	N. phrenicus	C3-C4
Lapaluuhun liittyvät	N. suprascapularis, N. thoracicus longus	C4-C6, C5-C7
M. pectoralis major	N. pectoralis lateralis, N. pectoralis medialis	C5-Th1 C5-Th1
<i>Yläraaja:</i>		
M. deltoideus	N. axillaris	C5-C6
M. biceps brachii	N. musculocutaneus	C5-C6
M. brachioradialis	N. radialis	C5-C6
M. triceps brachii	N. radialis	C6-C8
Ranteen ja sormien ojentajat	N. radialis	C6-C8

M. supinator	N. radialis	C5-C7
Ranteen ja sormien koukistajat	N. medianus, N. ulnaris	C6-Th1 C6-Th1
M. pronator teres	N. medianus	C6-C7
M. thenar, M. hypothenar, interosseus lihakset	N. medianus, N. ulnaris	C8-Th1
Vatsalihakset:		
Ylemmät		Th6-Th9
Alemmat		Th10-L1
Alaraaja:		
Reiden lähentäjät	N. obturatorius	L2-L4
Reiden loitontajat	N. glutealis superior	L4-S1
Reiden koukistajat	N. femoralis	L2-L4
Reiden ojentajat	N. glutealis inferior	L5-S2

Polven ojentajat	N. femoralis	L2-L4
Tibialis anterior	N. peroneus profundus	L4-S1
Varpaiden ojentajat	N. peroneus profundun	L4-S1
M. peroneus	N. peroneus superficialis	L4-S1
M. gastrocnemius, M. soleus	N. tibialis	L5-S2
Varpaiden koukistajat	N. tibialis	L5-S2

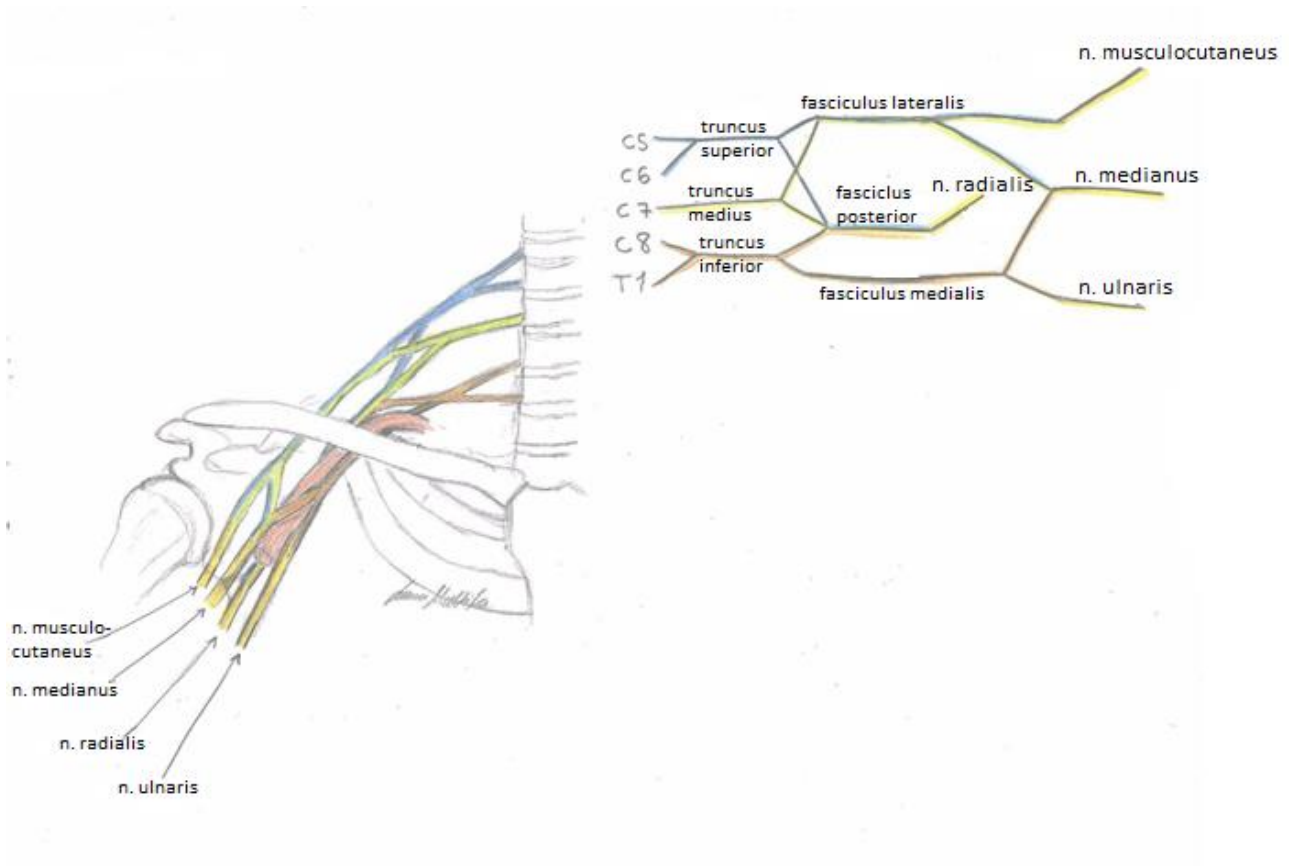
γ-motoneuroni

Gammamotoneuronit hermottavat lihaskäärejä muodostavia intrafusaalisoluja [5]. Lihaskäämin keskellä on sensorinen pääte, jonka toiminta kiihtyy intrafusaalisäikeiden venyessä. Tällä mekanismilla lihaskäämi aistii lihaksen venytystä. Sensorinen impulssi lihaksen venytyksestä välittyy takajuuren kautta alfa-motoneuroniin ja aikaansaa lihaksen supistumisen. Tämä mekanismi pyrkii pitämään lihaksen pituuden vakiona. Herkkyyden säätely tapahtuu intrafusaalisäikeiden jännitystä muuttamalla: sensorinen ärsyke laukeaa sitä helpommin, mitä suurempi lihassukkulan sisäinen jännitys on. [6]

Pleksukset

Pleksus (= plexus) on hermosolujen aksonien muodostama yhdistelmä, jonka ne muodostavat järjestäytyessään yhtenäiseksi kompleksiksi. Hermostossa on kolme tärkeää somaattista pleksusta: plexus brachialis, plexus lumbalis ja plexus sacralis. [5]

Plexus brachialis muodostuu spinaalihermoista tasoilta C5-T1 ja siitä haarautuvat tärkeimmät yläraajaa hermottavat hermot. (Katso kuva 6: Plexus brachialis.) Plexus lumbalis muodostuu tasolta L1-L4 lähtevistä spinaalihermoista. Plexus sacralis muodostuu tasolta L4-S3 lähtevistä spinaalihermoista ja se muodostaa tärkeimmät alaraajaa hermottavat hermot. [1]



Kuva 6: Plexus brachialis.

Truncus superior lähtee C5-C6 juurista, truncus medius C7 juuresta ja truncus inferior juurista C8-T1. Fasciculus lateriksessa on aksoneja truncus superiorista ja mediuksesta. Kaikki kolme truncusta ovat muodostamassa fasciculus posterioria. Fasciculus mediuksen kaikki aksonit tulevat truncus inferiorista. Fasciculus posteriorista saa alkunsa nervus radialis ja fasciculus lateraliksesta nervus musculocutaneus. Nervus ulnaris lähtee fasciculus medialiksesta. Nervus medianus muodostuu fasciculus lateraliksesta ja fasciculus medialiksesta tulevista aksoneista. [10]

2.2.5 Pikkuaivot ja ratajärjestelmät

Hierarkia: Keskushermostotason liikesäätely. Pikkuaivoihin tulee afferentteja neuroneita mm. aivokuorelta ja tasapainojärjestelmästä, efferenttejä neuroneita lähtee säätelemään pyramidiradan avulla motorisia liikkeitä.

Sijainti: Keskushermosto

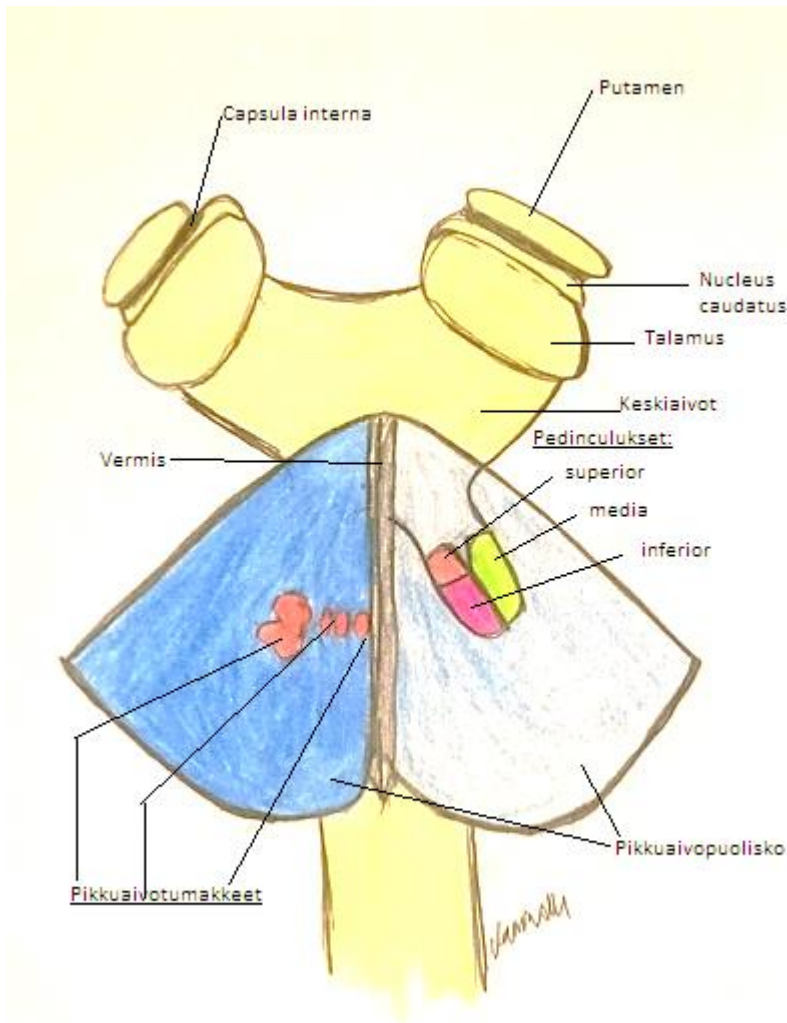
Tehtävä: Tasapainon ylläpito, ipsilateraalinen liikelaajuuksien, tarkkuuden ja rytmin säätely liikesuorituksen aikana, liikesarjojen oppiminen.

Välittäjäaine: GABA, glutamaatti, aspartaatti [11]

Testaaminen: Rombergin ja Unterbergin kokeet, sormi-nenänpääkoe, kantapää-polvikoe, diadokokineesi, kävelyn tarkkaileminen, viivakävely, tasapainon horjutuskoe ja pään nykäisykoe. Poikkeavia löydöksiä ovat esimerkiksi ataksia eli liikkeen tai kävelyn kömpelyys ja dysmetria eli liikesuorituksen epätarkkuus.

Pikkuaivojen keskeisimmät tehtävät liittyvät tasapainon ylläpitoon ja liikkeiden hienosäätöön. Pikkuaivot saavat tietoa proprioseptoreista, jotka välittävät tietoa kehon osien asennoista, sekä tasapainoelimistä ja näköjärjestelmästä. Näiden impulssien avulla pikkuaivot korjaavat lihaksiston vastavaikuttajaparien tonusta eli jännitystilaa siten, että tasapaino säilyy. Pikkuaivot aktivoituvat myös opeteltaessa monimutkaisia liikesarjoja.[6]

Pikkuaivot koostuvat kahdesta hyvin poimuttuneesta hemisfääristä sekä vermiksestä. Kolme parillista pedunculusta (pedunculus cerebellaris superior, media ja inferior) yhdistää pikkuaivot tumakkeisiin, joiden kautta neuronit eri puolilta keskushermostoa kulkevat pikkuaivoihin ja sieltä pois (kuva 7: Pikkuaivojen rakenteita). Pikkuaivoihin lähetetään hermotusta premotoriselta alueelta, primaariselta motoriselta alueelta sekä supplementaariselta motoriselta alueelta. Näiden lisäksi myös somatosensorinen aivokuori sekä parietaaliset assosiaatioalueet lähettävät hermotusta pikkuaivoihin. Etuosaan hermotus tulee selkäytimestä ja takaosaan aivokuorelta. Informaatio kulkee aivorungon tumakkeiden kautta. Toispuoleinen pikkuaivohäiriö aiheuttaa liikehäiriöitä samalle puolelle kehoa, missä vaurio sijaitsee (säätely on ipsilateraalista). Tämä johtuu siitä että selkäyttimeen laskeutuvat radat eivät risteä aivorungossa, toisin kuin isoavokuorelta lähtevät pyramidiradat.[6]



Kuva 7: Pikkuaivojen rakenteita.

Pedunculus cerebellaris superiorin kautta kulkee suurin osa pikkuaivojen väliaivoihin lähtevistä säikeistä.

Pedunculus cerebellaris median kautta kulkee vastakkaiselta aivopuoliskolta säikeitä pikkuaivoihin.

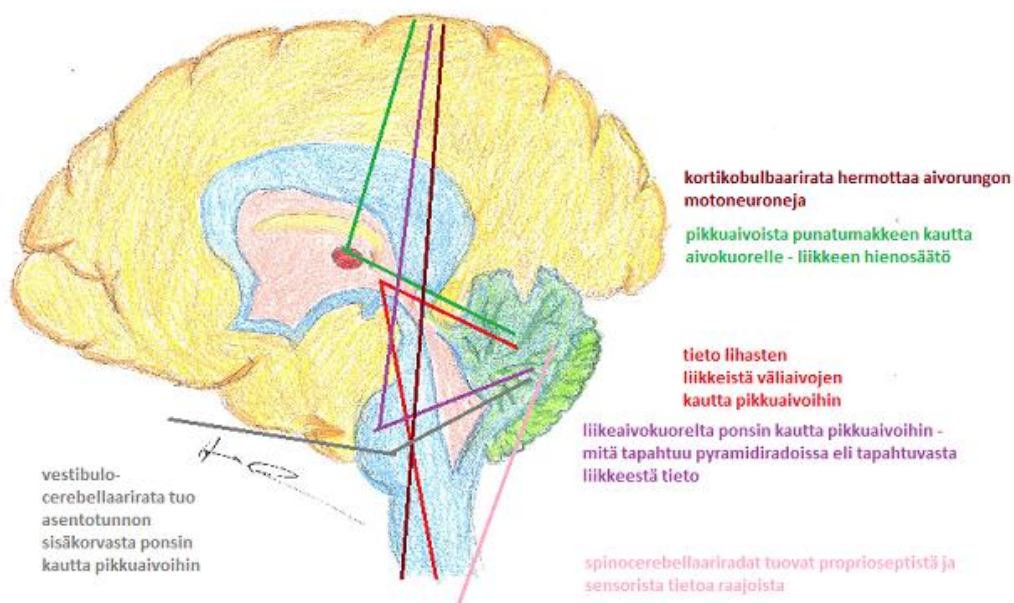
Pedunculus cerebellaris inferior vastaanottaa ipsilateraalisesti kehon proprioseptiivistä tietoa.

Pikkuaivotumakkeet ovat harmaata ainetta pikkuaivojen valkoisen aineen seassa. Ne yhdistelevät tietoa kontralateraalilta kiipeäviltä säikeiltä ja sammalsäikeiltä sekä inhibitorisilta Purkinjen säikeiltä ja lähettävät tietoa pikkuaivoista pedunculusten kautta muualle aivoihin. [9]

Pikkuaivot toimivat tahdonalaisen liikkeen säätelyssä pääasiassa liikkeen aikana. Tieto liikkeen aloittamisesta tulee pikkuaivoille pyramidiradan kautta. Kutakin pyramidiradan ylemmää motoneuronia vastaa useat muut neuronit, jotka vievät tiedon ylemmän motoneuronin aktivoitumisesta punatumakkeen

tai aivosillan tumakkeiden kautta pikkuaivoihin. Pikkuaivot saavat myös proprioseptiivista- eli asentotuntoinformaatiota. Tämän tiedon avulla ne rekisteröivät asennon muutoksia ja sopeuttavat liikkeiden ohjausta saadun informaation perusteella tarkoituksenmukaiseksi. Pikkuaivot osallistuvat myös silmänliikkeiden säätelyyn. [6] (Katso kuva 8: Pikkuaivoradat.)

Isoaivokuori saa tiedon tasapainon häiriintymisestä hieman myöhässä, mistä johtuu se, että kaatumisen tiedostaa vasta kun se on jo käynnissä. [6]



Kuva 8: Pikkuaivoradat.

Kuvassa näkyy joitakin tärkeitä pikkuaivoista lähteviä ja sinne saapuvia hermoratoja. Useat saapuvat ja lähtevät radat ovat monimutkaisia lukuisine yhteyksineen ja tehtävineen. Tämän yksinkertaistetun kuvan tarkoitus on havainnollistaa, miten pikkuaivot osallistuvat viesteihin, jotka lähtevät aivokuorelta, palaavat sinne ja hermottavat osin itsenäisesti joitakin toimintoja.

Esimerkkejä pikkuaivojen poikkeavasta toiminnasta

- 1) Kyvyttömyys muodostaa sulavia liikkeitä. Useat liikesarjat muodostuvat monen kehonosan yhteispelistä, mitä pikkuaivot koordinoivat. Pikkuaivovauriossa kehonosien yhteispeli ei toimi, vaan liike täytyy ikään kuin pilkkoa osiin. Esimerkiksi sormi-nenänpääkokeessa potilas liikuttaa ensin olkapäätään, sitten kyynärvarttaan ja lopuksi rannetta sen sijaan että liikuttaisi niitä kaikkia tilanteen vaatimalla tavalla sulavasti. Kävellessä askellus voi olla haparoivaa ja kömpelö. Liikehäiriöitä kuvataan termillä ataksia.
- 2) Intentiovapina. Kohdetta lähestyessä käsi alkaa vapista, vaikka olisi sitä ennen suunnannut kohteeseen suoraviivaisesti.
- 3) Dysdiadokokinesia. DDK testaa nopeaa kämmenen rytmistä kääntelyä toisen päällä, ja pikkuaivopotilailla on vaikeuksia suorittaa kyseistä liikettä. Liikelaajuuksien ja liiketarkkuuden hallinnointi vaikeutuu ja nähdään myös dysmetriaa.
- 4) Vaikeudet motorisessa oppimisessa, mm. VOR (vestibulo-okulaarinen refleksi) ei toimi. [12] Vestibulo-okulaarinen refleksi ilmenee siten, että päätä käännettäessä silmät liikkuvat vastakkaiseen suuntaan, jolloin katsottava kohde pysyy vakaana verkkokalvolla. Tämän refleksiradan häiriö voi aiheuttaa esimerkiksi patologista nystagmusta. [13]

2.2.6 Ekstrapyramidaalijärjestelmä ja radastot

Hierarkia: Keskushermostotason liikesäätely. Ratayhteydet tyvitumakkeiden välillä ja niistä nousevat ja laskevat radat selkäyttimeen

Sijainti: Keskushermosto

Tehtävä: Lihastonuksen ja motoriikan säätely yhteistyössä pyramidiradan kanssa

Välittäjäaine: Asetyylikoliini, dopamiini

Testaaminen: Sormi-nenänpääkoe, kantapää-polvikoe, diadokokineesi, Rombergin koe, kävelyn tarkkaileminen. Akinesia (käytettyjä termejä ovat myös hypokinesia ja bradykinesia) eli liikkeen aloituksen hitaus, toimintojen hidastuminen ja liikelaajuuksien vaikeus, rigiditeetti eli lihasjänteiden nousu hammasratas- tai lyijyputkimaisesti ja lepovapina ovat tyypillisiä merkkejä vauriosta ja ne voivat esiintyä toispuoleisina. Kävelymalli muuttuu lyhytaskeliseksi ja laahustavaksi, ryhti on etukumara ja myötäliikkeet puuttuvat. Erityisesti käännöksissä tulee esiin apuaskelleita.

Ekstrapyramidaalijärjestelmäksi kutsutaan tyvitumakkeiden keskusten ja ratojen muodostamaa rakennetta, joka säätelee saman puolen pyramidiradan toimintaa. Järjestelmä huolehtii tasapainoheijasteiden ylläpidosta, lihastonuksen säätelystä ja myötäliikkeistä osallistumalla vartalon ja raajojen proksimaaliosien motoriikan säätelyyn. Se säätelee liikkeen aloitusta ja liikesuorituksen nopeutta.

Tyypillisiä poikkeavia liikesuorituksen aikana ilmeneviä löydöksiä ovat liikkeen aloituksen hitaus, liikesuorituksen vaikeus ja hitaus. Levossa saattaa ilmetä lepovapinaa ja liiketestauksissa todetaan lihasten rigiditeetti. [3]

Ekstrapyramidaaliradat

Ekstrapyramidaaliradat ovat liikkeen säätelyyn, tasapainon ja asennon ylläpitämiseen sekä esimerkiksi katseen kohdistamiseen osallistuvia ratoja.

Retikulospinaaliradat alkavat aivosillan ja medullan retikulaaritimakkeista. Aivosillan tumakkeista lähtevät viestit eksitoivat ekstensoreita eli tasapainoa ylläpitäviä lihaksia, kun taas medullasta lähtevät viestit inhiboivat ekstensoreita ja eksitoivat fleksoreita. Nämä toimivat siis vastavaikuttajina. Ratojen tehtävänä on "feedforward": mahdollisen tulevan tasapainohäiriön ennakointi. Ponsin retikulaaritimakkeesta lähtee mediaalinen retikulospinaalirata ja medullan retikulaaritimakkeesta lähtee lateraalinen retikulospinaalirata. Tumakkeet saavat hermotusta aivokuorelta, joka näin ollen osallistuu asennon ja tasapainon ylläpitoon.[9]

Vestibulospinaalirata lähtee aivorungossa sijaitsevasta nucleus vestibulariksesta ja toimii yhdessä mediaalisen retikulospinaaliradan kanssa. Tehtävänä on "feedback": liikkeen muokkaus liikkeestä saadun, mm. vestibulaarisen palautteen mukaan. Vestibulaarisesta tumakkeesta kulkee viesti selkäyttimeen ja tämän seurauksena asentoa korjataan, jos siinä havaitaan pientäkään epävakausta. Rata pitää myös pään ja niskan alueen vakaana kun vartalo liikkuu.[9]

Colliculospinaalirata alkaa keskiaivoissa sijaitsevasta colliculus superiorista, jonka jälkeen se risteää. Rata hermottaa niskan lihaksia tarkoituksenaan pään kääntäminen siten, että fovea saadaan suunnattua haluttuun kohteeseen.[9]

Rubrospinaalirata lähtee keskiaivojen nucleus ruberista ja risteää toiselle puolelle keskiaivoja. Sen jälkeen se laskee aivorunkoon, josta se yhdessä lateraalisen kortikospinaaliradan kanssa vie informaatiota alempiin motoneuroneihin. Suurin osa punatumakkeen eli nucleus ruberin neuroneista ei projisoi selkäyttimeen, joten tämän radan merkitys on luultavasti ihmisillä vähäinen.[9]

Tyvitumakkeet, substantia nigra ja ekstrapyramidaalijärjestelmä

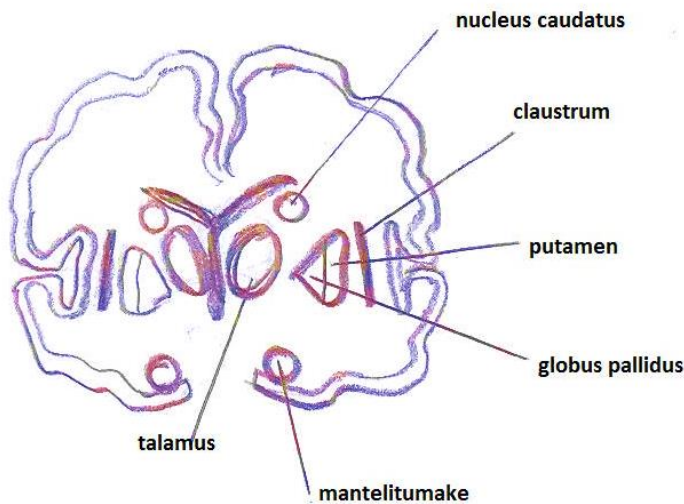
Tyvitumakkeet ovat anatomisesti syvällä isoaivoissa sijaitsevia harmaan aineen tumakkeita.

Tyvitumakkeisiin kuuluvat nucleus caudatus, putamen (näistä käytetään yhteisnimitystä striatum), globus pallidus, claustrum ja amygdala eli mantelitumake. [6] (Katso kuva 9: Tyvitumakkeiden anatominen sijainti aivojen syvissä osissa.)

Ekstrapyramidaalinen säätely on tyvitumakeyhteyksien toiminnallisuutta kuvaava käsite, ja tähän säätelyyn osallistuvat tyvitumakkeisiin kuulumattomista rakenteista substantia nigra, joka säätelee striatumin toimintaa tehostamalla globus palliduksen vaikutusta. [6] Käsitelty tieto kulkee takaisin motoriselle

aivokuorelle talamokortikaalista radastoa pitkin, jolloin pyramidiradan ylemmät motoneuronit aktivoituvat ohjatussa järjestyksessä. [6]

Aivojen syvien osien tumakkeet osallistuvat liikkeiden säätelyyn. Ne aktivoituvat hieman ennen näkyvää liikettä. Toiminnallisten kuvantamistutkimusten perusteella oletetaan, että tyvitumakkeet suunnittelevat liikkeiden osat ja säätelevät ne tarkoituksenmukaiseen järjestykseen. Tyvitumakkeet osallistuvat luultavasti myös uusien liikesarjojen oppimiseen. [6]



Kuva 9: Tyvitumakkeiden anatominen sijainti aivojen syvissä osissa.

Mantelitumake kuuluu limbiseen järjestelmään. Claustrumin toiminnasta ei juurikaan tiedetä. [6] Nucleus caudatuksesta ja putamenista käytetään yhteisnimitystä striatum eli aivojuovio. Nucleus caudatuksesta ja putamenin välissä on capsula interna, jossa kulkevat aivokuoren laskevat ja nousevat radat. [6]

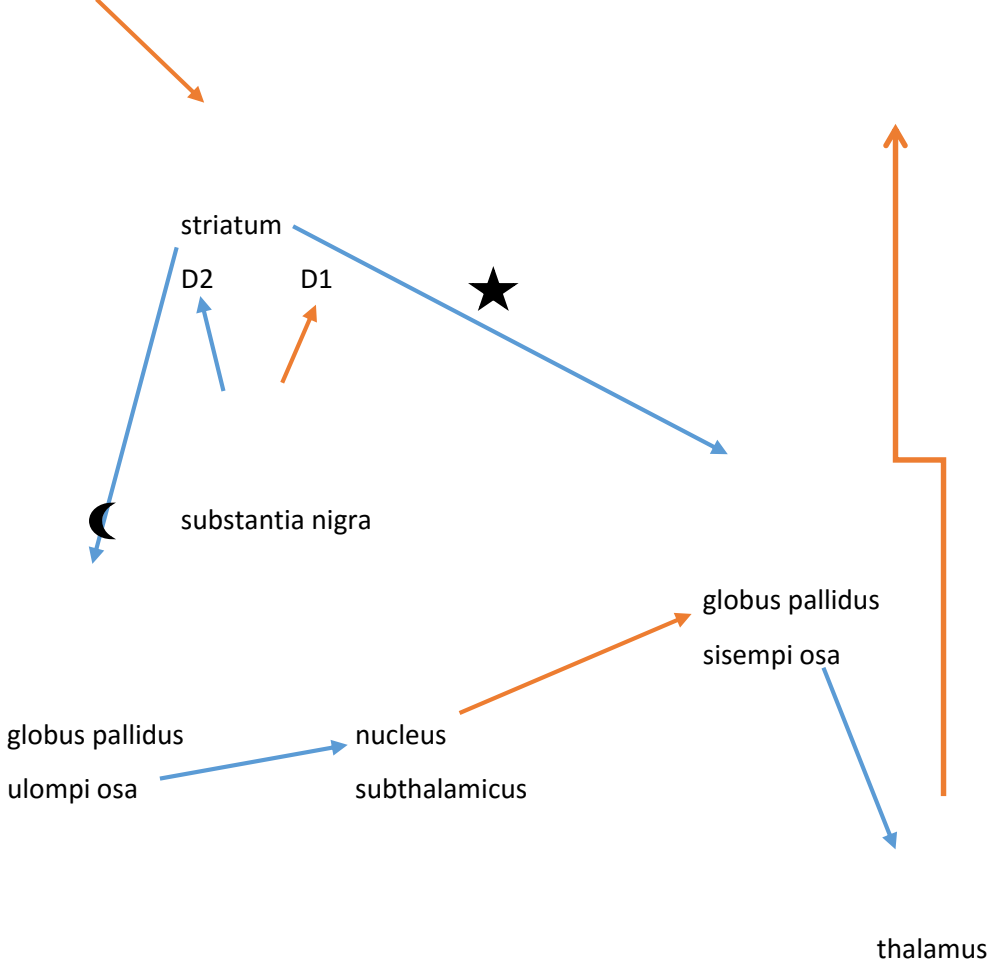
Striatum (eli nucleus caudatus ja putamen) sekä globus pallidus kuuluvat ekstrapyramidaalijärjestelmään. Ne osallistuvat liikkeiden ja tonuksen säätelyyn. Myös alempana aivorungossa sijaitseva substantia nigra eli mustatumake, joka ei näy tässä kuvassa, kuuluu keskeisesti ekstrapyramidaalijärjestelmään, mutta se ei anatomisesti kuulu tyvitumakkeisiin. [6]

Lukuun ottamatta näkö- ja kuuloaluetta, striatum saa informaatiota kaikkialta aivokuorelta. Kukin

striatumin neuroni vastaanottaa informaatiota monelta aivokuoren neuronilta.

Striatum välittää tiedon globus palliduksen kautta talamuksen ventrolateraalisiin tumakkeisiin. Impulssi voi kulkea joko suoraa tai epäsuoraa reittiä pitkin. Suora reitti kulkee suoraan globus palliduksen sisempään osaan. Epäsuora reitti kulkee ensin globus palliduksen ulompaan osaan, kiertää nucleus subthalamicuksen kautta ja päätyy lopulta myöskin globus palliduksen sisempään osaan. Suoran ja epäsuoran radan vaikutukset talamokortikaaliseen impulssivirtaan ovat päinvastaiset: suora rata lisää impulssivirtaa ja epäsuora vähentää sitä. Tämä johtuu kiihdyttävien ja estävien impulssien keskinäisistä suhteista. Käsitelty tieto kulkee takaisin motoriselle aivokuorelle talamokortikaalista radastoa pitkin, jolloin pyramidiradan ylemmät motoneuronit aktivoituvat ohjatussa järjestyksessä. [6] (Katso kuva 10: Tyvitumakkeiden keskinäiset suhteet.)

aivokuori: motorinen alue, somatosensorinen alue ja kaikki assosiaatioalueet



★ suora rata

☾ epäsuora rata

Kuva 10: Tyvitumakkeiden keskinäiset suhteet.

Kuvassa kiihdyttävät radat on merkitty oranssilla, ja estävät radat on merkitty sinisellä. Suora rata kulkee suoraan globus palliduksen sisempään osaan. Epäsuora rata kulkee ensin globus palliduksen ulompaan osaan, kiertää nucleus subthalamicuksen kautta ja päättyy lopulta myös globus palliduksen sisempään osaan. Suora rata lisää impulssivirtaa talamuksesta korteksille ja epäsuora vähentää sitä.

Dopamiinireseptorit D1 stimuloivat GABA-ergisiä neuroneita ja siten suosivat suoraa reittiä, jolloin

impulssivirta korteksille kasvaa ja liike lisääntyy. D2- reseptorit inhiboivat GABA-ergisiä neuroneita, jolloin epäsuoran reitin inhibitorinen vaikutus talamukseen vähenee. Dopamiinin vaikutus on siis eksitatorinen suoran reitin kautta ja liikkeen inhibitiota vähentävä epäsuoran reitin kautta. [6]

Ekstrapyramidaaliratojen toimintojen vaurioista ovat esimerkkinä Parkinsonin ja Huntingtonin taudit, joissa tyvitumakkeiden toiminta häiriintyy. [6] Parkinsonin taudissa substantia nigra vaikutus striatumiin heikkenee, jolloin loppujen lopuksi talamuksesta aivokuorelle saapuva informaatio heikkenee. Tämän aiheuttaa rigiditeettiä ja vapinaa sekä motorisen toiminnan vähenemistä. Huntingtonin taudissa nucleus caudatus surkastuminen vaurioittaa epäsuoraa rataa, mikä aiheuttaa hyperkinesiaa eli liikesuorituksen ylivilkastumista. [6]

2.2.7 Tasapainon säätely

Tasapainon säätelyyn osallistuu kolme sensorista järjestelmää: sisäkorvan tasapainoelin (kaarikäytävät), näköaisti ja ihon sekä lihasten proprioceptorien kautta välittyvä asentotunto. Näistä saapuva tieto yhdistellään pikkuaivoissa, joista lähtee impulsseja lihaksiin sopeuttamaan asento vastaamaan tapahtuvia muutoksia. Pikkuaivoihin kulkevat tasapainosta kertovat signaalit kulkevat pääasiassa aivorungon vestibulaariturmakkeen kautta vermikseen ja flokkulonodulaariseen lohkoon, joiden vaurioituminen johtaa tasapainohäiriöön. [6] (Katso kuva 11: Tasapainojakkara.)

Seisomatasapainon säätelyssä tarvitaan kaikkien motoristen järjestelmien, pyramidi-, ekstrapyramidaali- ja pikkuaivojärjestelmien, sekä sensorisen järjestelmän toimintoja. [6]

Potilaan tasapainon tutkimiseen käytetään yleisiä kokeita, joita käytetään myös pikkuaivo- ja ekstrapyramidaaliperäisten häiriöiden tutkimiseen: Rombergin ja Unterbergin kokeet, viivakävely ja tandemkävely sekä tasapainon horjutuskoe. Vaikea tasapainohäiriö tulee esiin jo välittömässä inspektiossa potilaan seisoessa ja kävellessä vastaanotolle. On kuitenkin otettava huomioon, että koska tasapainon ylläpito koostuu kolmesta sensorisesta komponentista, täytyy varsinaisten tasapainokokeiden tulokset yhdistää anamneesin tietoihin liitännäisoireista (kuten asentoriippuvuus ja pahoinvointi) sekä tehdä koordinaatiokokeita ja selvittää aivohermojen toimintakyky. Näiden avulla on mahdollista selvittää, missä komponentissa vika sijaitsee. [6]

Ikääntymisen myötä normaalilöydöksenä havaittu huojunta lisääntyy. Tasapainotestissä poikkeava löydös on selvä kaatumistaipumus, joka voi tulla esiin myös tasapainoa istuen testatessa.



Kuva 11: Tasapainojakkara.

Aivot saavat kolmesta eri järjestelmästä tietoa kehon asennosta ympäristöön nähden. Sisäkorvan kaarikäytävät, näköaisti ja lihasten proprioceptorit kukin viestittävät asennosta ja sen muutoksista aivoille, jossa tapahtuu toiminnanohjaus ja sopeutuminen muuttuviin tilanteisiin. Jos yksikin järjestelmä vaurioituu, seuraa siitä tasapainohäiriöitä. Ajan kuluessa aivot kuitenkin kykenevät mukautumaan vaillinaiseen informaatioon ja jonkin verran korvaamaan jonkin osan funktiota kompensatiomekanismeilla.

3. SENSORIIKKA

3.1 Tutkimusvälineet

Sensoriikan tutkimuksessa koko vartalo käydään läpi systemaattisesti testaten eri tuntomodaliteetteja dermatomi- ja ihohermotusalueita tutkien. Esimerkiksi tuntopuutokset tietyssä kehonosassa tietynlaisessa kosketuksessa johdattelevat arvioon vaurion tasosta ja laajuudesta. [2]

Tuntotestauksessa käytetään kevyen kosketuksen tutkimiseen pientä sivellintä tai pumpulipuikkoa, kahden pisteen erottelussa harppia, teräväpäisiä puutikkuja tai omia sormia. Terävätunnossa käytetään halkaistua puutikkua ja vibraatio- eli värinätunnossa äänirautaa C128. [3] Asentotuntoa testataan esimerkiksi varpaan asentoa liikutellen. Vibraatiotunnon testauksessa käytetään äänirautaa (C128). Kylmä- ja lämpötunnon testauksessa tutkimusvälineenä on esimerkiksi viileä refleksivasaran varsi, jota voi lämmittää lämpötuntemusta testattaessa.

Poikkeavuutena voidaan havaita paikallista joko ihohermon, dermatomin tai kehon alueelle sijoittuvaa tuntoaistimuksen heikkenemistä (hypoestesia) tai korostumista (hyperestesia).

Parestesia-termi kuvaa tuntemusta, jossa koetaan kihelmöintiä, pistelyä tai tunnottomuutta keholla.

Algesia tai hyperalgesia tarkoittavat kiputuntemuksen herkistymistä.

3.2 Sensoristen toimintojen säätely

Ihon ja sisäelinten sensoriset reseptorit aistivat kosketuspinnassaan ympäristön kanssa muutoksen, joka voi olla fyysinen tai kemiallinen. Tämä muutos aikaansaa potentiaalimuutoksen reseptorissa eli reseptoripotentiaalin. [14]

Tavat, joilla reseptorit voivat aktivoitua, ovat: (1) mekaaninen venytys, joka kohdistuu reseptorin membraanin ja saa aikaan ionikanavien avautumisen; (2) jonkin kemikaalin sitoutuminen membraanille joka avaa kanavat; (3) membraanin läpäisevyyden muuttuminen lämpötilan muutoksen takia ja (4) elektromagneettisen säteilyn vaikutukset, kuten valo retinan reseptoreissa, joka saa aikaan ionien läpäisevyyden muuttumisen reseptorimembraanilla. [14]

Säikeet kulkevat takasarvea pitkin selkäyttimeen, josta ne jakautuvat kolmeen eri ratajärjestelmään riippuen aktivoituneesta reseptorista, eli mitä tuntomodaliteettia impulssi edustaa. Radat kulkevat reseptoreista somatosensoriselle aivokuorelle järjestäytyneinä kukin omaan kohtaansa selkäydintä. Ne menevät matkallaan väliaivojen ja talamuksen läpi, joka on tärkein sensoristen impulssien säätelykeskus. Aivoissa säikeet säilyttävät spatiaalisen järjestyksensä ja vievät viestin kukin omaan kohtaansa aivokuorella, jolloin aistimus on mahdollista paikantaa. [14]

Huomionarvoinen seikka on, että mikä tahansa ärsyke, joka stimuloi tuntoradan reseptoria saaden aikaan potentiaalimuutoksen ja impulssin, saa aikaan kyseiselle reseptorille ja tuntoradalle ominaisen tuntemuksen. Esimerkiksi vapaat hermopäätteet ärtyvät voimakkaasta lämpötilan vaihtumisesta tai ihon ja sitä kautta hermopäätteen mekaanisesta vaurioitumisesta yhtä lailla ja aiheuttavat kipuaistimuksen. [14]

Tuntoradassa on peräkkäin kolme neuronin. [15] Primaarinen sensorisen neuronin sooma on spinaaligangliossa tai aivohermosolmussa. Soomassa on neuronin tuma ja suuri osa muista soluelimistä. Impulssi saapuu soomaan neuronin tuojahaarakkeita eli dendriittejä pitkin ja lähtee soomasta viejähaaraketta eli aksonia pitkin. [15] Tuntosyiden dendriitit voivatkin olla pitkiä (vertaa: jalkapohjan kipu, jota aistivan vapaan hermopäätteen sooma on vasta selkäydinhermon takajuuren gangliossa). [14]

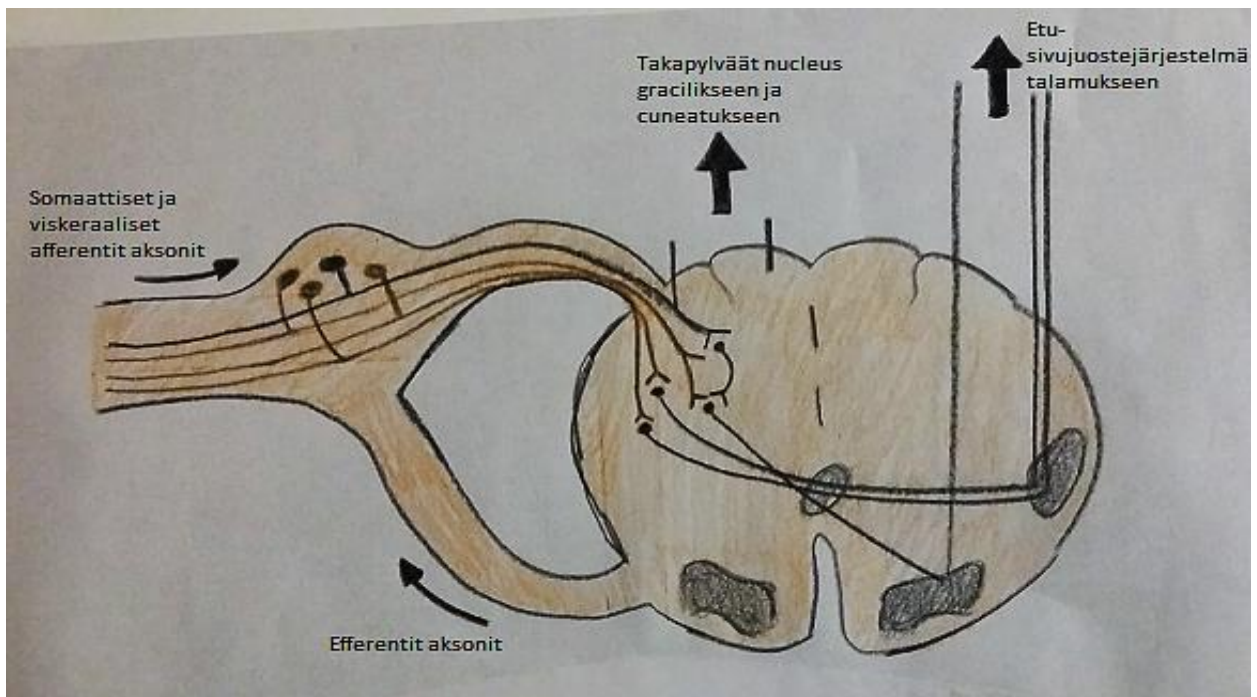
Primaarisen neuronin sooma sijaitsee takajuuressa. Impulssi kulkeutuu kyseisen neuronin aksonia pitkin selkäytimen takasarveen. [6] Synapsi seuraavaan neuroniin eli sekundaariseen neuroniin on selkäytimestä tai ydinjatkeessa. [16] (Katso kuva 12: Poikkileikkaus selkäytimestä.)

Selkäytimen somatosensoriset nousevat radat välittävät impulssin talamuksen aivoihin. Somatosensorisia nousevia ratoja on kolme erilaista. Kipu- ja lämpöaistimukset kulkevat lateraalista spinotalaamista rataa pitkin. Osa paine- ja kosketusaistimuksista, erityisesti kevyestä kosketuksesta informoivat impulssit kulkevat ventraalista spinotalaamista rataa pitkin. Nämä radat risteävät selkäytimen vastakkaiselle puolelle ja kulkevat näin ollen selkäytimessä kontralateraalisesti. [6]

Proprioseptisiä aistimuksia ja värinäntuntoaistimuksia välittävät radat sekä osa paine- ja kosketusaistimuksia välittävistä radoista eivät risteä selkäytimessä. Kyseiset radat kulkevat siis selkäytimessä ipsilateraalisesti. Näitä alaraajasta saapuvia ratoja kutsutaan mediaaliseksi takajuosteeksi. Yläraajasta saapuvia ratoja kutsutaan lateraaliseksi takajuosteeksi. [6]

Sekundaarisen neuronin sooma on siis selkäytimessä tai ydinjatkeessa. Kolmannen neuronin sooma on talamuksessa. Talamuksessa olevasta soomasta kolmannen hermon aksoni kulkee somatosensoriselle aivokuorelle. [15] Siellä syntyy tarkka ja tietoinen aistimus. Aivokuorella sijaitsevat projektioalueet muodostavat sensorisen homunculuksen.[14]

Aistimukset eivät aina perustu reseptorien toimintaan, vaan kaikki aistiradan varrelta nousevat impulssit aiheuttavat aistimuksia, tästä esimerkkinä aavesärky amputoidussa raajassa [17]. Jotkin tiedostamattomat aistimukset johtavat esim. heijastekaaren motoriseen aktivoitumiseen eli refleksiin. Monet kehon sisäiset tapahtumat, kuten verenpaineen nousu, aistitaan paineeseen reagoivilla reseptoreilla ja impulssiin vastataan aivojen säätelykeskuksesta ylemmän kortikaalisen tason sitä tiedostamatta. [14]



Kuva 12: Poikkileikkaus selkäytimestä.

Selkäytimessä nähdään kaksi sensorista afferenttia nousevaa rataa: etu-sivujuostejärjestelmä, jossa kulkee nosiseptinen aistitunto, lähinnä lämpöaisti ja takapylväät, joissa kulkee kosketus-, vibraatio-, proprioseptiikka eli asento- ja liiketunto.

Sensoristen toimintojen säätely: adaptaatio ja reseptiivinen kenttä

Adaptaatio

Jatkuvalla stimulaatiolla reseptori vähitellen turtuu ärsykkeeseen ja lähettää impulsseja harvemmin ja matalalla amplitudilla. Lopulta impulssien lähetys lakkaa ja aistimusta ei enää aktiivisesti tunneta. Nopeasti adaptoituvat reseptorit aistivat helposti nopeasti vaihtuvia ärsykeitä, esimerkiksi korkeataajuisia värinää, kuten Meissnerin keräset. Membraanin saavutettua tasapainotilan nopeasti tiettyssä asennossa saa kalvon fysikaalinen muutos toiseen suuntaan aikaan jälleen suuren joukon aktiopotentiaaleja. Hitaasti adaptoituvat reseptorit kertovat esimerkiksi kehon asennosta ulkomaailmaan. Impulsseja syntyy jatkuvasti, vaikka stimulaatio pysyisi samanlaisena, jolloin keho ei missään vaiheessa ”unohda, missä asennossa on”.

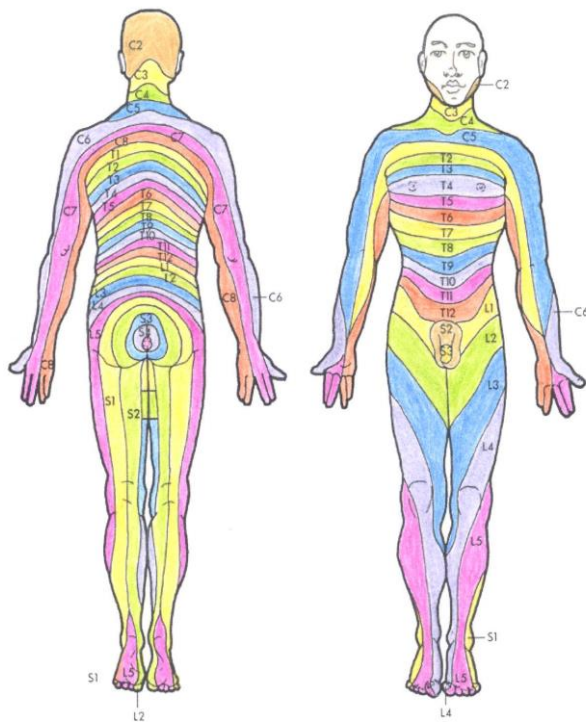
[5]

Reseptiivinen kenttä

Reseptiivinen kenttä tarkoittaa aluetta, jolta tietty neuronit kerää informaatiota useiden reseptorien kautta [5]. Jotkut ihoalueet on niin tiheästi hermotettu, että reseptiiviset kentät osuvat päällekkäin. Näistä reseptoreista lähtevät afferentit neuronit kuitenkin inhiboivat toisiaan ja samalla ikään kuin terävöittävät rajojaan. Tällaisilla ihoalueilla tuntoaistimusten erottelu- ja paikannuskyky on erityisen suuri. Reseptiivisen kentän suuruudella on myös käänteinen yhteys reseptorin projektioalueeseen somatosensorisella aivokuorella, eli sensoriseen homunculukseen. [17] Tämä tarkoittaa sitä, että mikäli neuronin reseptiivinen kenttä on suuri, sen saama edustusalue aivokuorella on pieni. Jos taas neuronin reseptiivinen kenttä on pieni, se vastaanottaa tarkkaa sensorista informaatiota ja saa aivokuorelta suuren edustusalueen.

3.2.1 Dermatomit

Kehon alue, jonka tietty sensorinen hermojuuri kattaa, on nimeltään dermatomi. Dermatomit menevät osittain päällekkäin, minkä vuoksi tietyn hermon/hermojuuren vaurioituminen ei aiheuta täydellistä tuntepuutosta kyseisellä dermatomialueella. Kosketus-, paine- ja värinätunnon sensorisessa hermotuksessa esiintyy tätä päällekkäisyyttä enemmän kuin kipu- ja lämpötunnon. Tästä johtuen kiputunnon tutkiminen antaa tarkinta tietoa hermojuuren vauriosta ja sen tasosta. [9] (Katso kuva 13: Dermatomit.)



Kuva 13: Dermatomit eli somaattisen sensorisen perifeerisen hermotuksen muodostamat ihoalueet.

Kuvassa näkyy eri värein merkittynä ihoalueet ja niitä vastaavat selkäydintasot, joihin kyseisten ihoalueiden tuntohermot menevät. Esimerkiksi käsivarren takaosan ihopinnan reseptoreista lähtee sensorinen hermo selkäydintasolle C7, ja vaurio tällä tasolla aiheuttaa tuntopuutoksen kyseiseltä ihoalueelta.

Tuntokynnys

Tuntokynnys kuvaa sitä, kuinka pieni ärsyke voidaan kokea tuntoaistimuksena. Toisin sanoen se kertoo sensoristen reseptorien määrästä ihoalueella. Tuntokynnystä kuvaa myös aistimuksen projektioalue sensorisella aivokuorella. Yksittäisen ruumiinosan sama alue sensoriselta aivokuorelta riippuu siitä, kuinka paljon kyseisellä alueella on sensorisia reseptoreja: tiheästi hermotetut alueet saavat ison osan aivokuorelta, kun taas alueilla, joilla reseptoripäätteitä on harvemmin, on pienempi osuus (vertaa motoriseen homunculukseen).

3.2.2 Somaattisten sensoristen reseptorien luokat

Taulukko 3: Aksonien luokitus perustuu kokoon ja johtumisnopeuteen. A on nopein ja suurin aksoni, C läpimitaltaan pienin (ei myelinisoitunut) ja hitain. Mekanoreseptorit liittyvät yleensä A- luokan aksoneihin. A- luokka on jaoteltu vielä johtumisnopeuden perusteella luokkiin α (nopein), β ja δ (hitain).

Myös lihasten afferentit aksonit on jaettu neljään luokkaan: I (nopein), II, III ja IV (hitain).

[Purves D, Augustine GJ, Fitzpatrick D, et al., editors (2001) Neuroscience. 2nd edition. Sunderland (MA): Sinauer Associates]

reseptori- tyyppi	anatomiset erityispiirteet	aksoni- tyyppi	reseptorin sijainti	tunto- modaliteetti	adap- taatio nopeu- s	aktivaatio- kynnyks
vapaat hermo- päätteet	lähes erilaistumat- tomat vapaat hermo-päätteet	C, A δ	kaikkialla ihossa	kipu, lämpö, karkea kosketus	hidas	korkea
Meissnerin keräset	kapseloitunut, dermiksen nystyjen välissä	A β	paksussa, karvattomassa ihossa (erityisesti sormenpäät)	dynaaminen: kosketus ja paine	nopea	matala
Pacinian keräset	sipulimainen kuorikerros	A β	ihonalaiskudos, membrana interossea, sisäelinten kalvot	dynaaminen:s yvä paine, värinä	nopea	matala

Merkelin levyt	kapseloitunut, yhteydessä peptidiä vapauttaviin soluihin	A β	kaikkiällä ihosta, karvafollikkelit	staattinen: kosketus ja paine	hidas	matala
Ruffinin keräset	kapseloituneet ihon venymislinjoihin	A β	kaikkiällä ihosta	ihon venyminen	hidas	matala
Lihaskäähmit	erilaistuneet reseptorit	Ia ja II	lihakset	lihaksen pituus	hidas ja nopea	matala
Golgin jänne-elimet	erilaistuneet reseptorit	Ib	jänteet	lihaksen jännitys	hidas	matala
Nivelreseptorit	minimaalisesti erilaistuneet reseptorit	-	nivelet	nivelen asento	nopea	matala

Aksonityypit

Taulukko 4: Aksonityypit.

[Purves, Dale & Augustine George J. & Fitzpatrick, David & Hall, William C. & LaMantia Anthony Samuel & White Leonard E. (2012) Neuroscience, 5th Edition. Massachusetts: Sinauer Associates Inc., 193.]

Sensorinen toiminto	Reseptorityyppi	Aksonityyppi	Läpimitta	Johtumisnopeus
Asentotunto	Lihassukkula	I α	13-20 μ m	80-120m/s
Kosketus	Merkel, Meissner, Pacinian, Ruffini	A β	6-12 μ m	35-75m/s
Kipu, lämpötila	Vapaat hermopäätteet	A δ	1-5 μ m	5-30m/s
Kipu, lämpötila, kutina	Myelinisoitumattomat vapaat hermopäätteet	C	0,2-1,5 μ m	0.5-2m/s

3.3. Tuntomodaliteetit

3.3.1 Kipu

Kipuaisti varoittaa liian voimakkaista ärsykkeistä ja näin ollen mahdollisesta tai jo alkaneesta kudostuhosta. Monet erilaiset ärsykkeet vaikuttavat kipureseptoreihin. Mekaaniset nosiseptorit reagoivat suureen paineeseen. Termaaliset nosiseptorit reagoivat yli 45 °C:n ja alle 10 °C:n lämpötilaan. Kemiaalisia ärsykeitä aistivat kipureseptorit reagoivat useisiin erilaisiin kemiallisiin aineisiin. Kyseisiä nosiseptoreja aktivoivia aineita ovat esimerkiksi vetyionit, kaliumionit, bradykiniini ja histamiini. [7] Kipureseptorit eli nosiseptorit ovat vapaita hermopäätteitä. Nosiseptoreita on ihossa, limakalvoissa, monien sisäelinten pintakalvoissa, luukalvoissa sekä jänteiden ja nivelten alueella. [15]

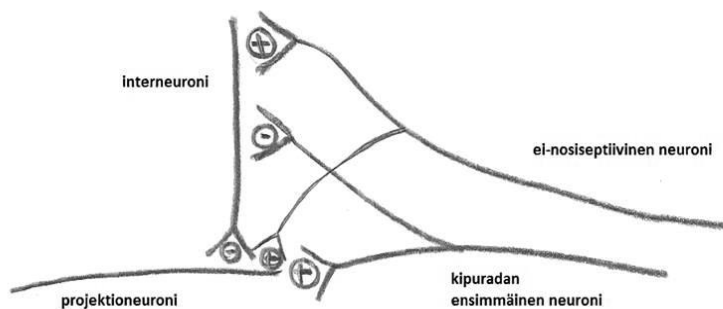
Kudosvaurion aiheuttaman stimuluksen ja kivun subjektiivisen tuntemisen välillä oleva tapahtumasarja voidaan jakaa neljään vaiheeseen: transduktioon, transmissioon, modulaatioon ja perseptioon. Transduktiossa kudokseen kohdistuva mekaaninen, kemiallinen tai lämpöenergian aiheuttama ärsyke johtaa aktiopotentiaalisen syntymiseen. Aktiopotentiaalisen taajuus kertoo ärsykkeen voimakkuuden. Transmissiossa viesti välittyy hermosoluja pitkin niille aivojen alueille, joiden aktivoituminen johtaa kivun aistimiseen. Modulaatio on kivun muuntelua keskushermostossa. [18] Modulaatiossa kipuradan viereisissä hermoradoissa alas- tai ylöspäin kulkevat impulssit vaikuttavat kipuimpulssin etenemiseen [15]. Viimeinen vaihe on perseptio, jossa kipua välittävien neuronien aktivoituminen aiheuttaa subjektiivisen tuntemuksen. Vielä ei kuitenkaan tarkalleen tiedetä, miten aivojen subjektiivinen kipuaistimus syntyy. [18]

Kipuviesti kulkee lateraalista spinotalaamista rataa pitkin. [6]

Kipuradan ensimmäisen neuronin sooma on selkäytimen takajuuren gangliossa. Neuronin jatkaa kulkuaan takajuuren kautta selkäyttimeen. Selkäytimen takasarvessa on ensimmäinen synapsi, jossa viesti välittyy ensimmäiseltä neuronilta projektioneuronille eli kipuradan toiselle neuronille, eksitatoriselle interneuronille tai inhibitoriselle interneuronille. Projektioneuroni välittää kipuviestin korkeampiin keskushermoston osiin. Projektioneuroni risteää selkäytimen toiselle puolelle, jatkaa kulkuaan anterolateraalisesti ja päättyy lopulta aivorungon tai talamuksen tumakkeeseen. Projektioneuronit muodostavat näin selkäytimen kipua välittävät spinotalaamiset radat. Kipuradan toinen synapsi on talamuksen tumakkeessa, josta viesti välittyy etuaivokuorelle ja somatosensoriselle aivokuorelle. [19]

Eksitatoriset interneuronit välittävät viestin kivusta projektioneuroneille, muille interneuroneille tai

selkäydinheijasteita välittäviin motorisiin hermoihin. Inhibitoriset neuronit osallistuvat kivun kontrolliin. [19] Nämä neuronit aktivoituessaan estävät projektioneuronin toimintaa ja näin ollen kipuviestin kulkeutumista. Kipuradan ensimmäinen neuronin estää inhibitorisen interneuronin toimintaa, kun taas useat hermot stimuloivat inhibitorista interneuronia. Kipuradan hermon, interneuronin ja näihin kahteen vaikuttavan hermon aktiivisuuksien suhteesta riippuu aktivoituuko projektioneuroni. Tätä kutsutaan porttikontrolliteoriaksi (Kuva 14: Porttikontrolliteoria). [6] Esimerkkinä tästä on luonnollinen kivunlievitys akupunktiolla. Kosketus- ja painehermosyyt lähettävät inhiboivia viestejä viereisiin kipua aistiviin neuroneihin ja näin syrjäyttävät kivun tuntemisen. [17]



Kuva 14: Porttikontrolliteoria.

Kipuradan ensimmäinen neuronin tuo kipuimpulssin välittääkseen sen projektioneuronille joka viestittää kivun ylemmälle keskushermostoon. Kivun välittymiseen vaikuttaa kuitenkin myös interneuroni ja mahdollisesti myös ei-nosiseptiivinen neuronin. Interneuronin pääasiallinen tehtävä on inhiboida projektioneuronia estäen kivun välittymisen. Tämä tilanne tulee esiin jonkin muun ärsykkeen häiritessä kivun kulkeutumista (ei-nosiseptiivisen neuronin eksitoiva vaikutus interneuronin inhiboivaan vaikutukseen). Kipusignaalin ollessa riittävän voimakas, inhiboi ensimmäinen neuronin interneuronia ja eksitoiva vaikutus projektioneuronin on suuri. Tällöin kipuviesti välittyy nopeasti keskushermostoon.

3.3.2 Lämpötila

Ihon lämpimän- ja kylmänreseptorit aistivat lämpötilaa. Kyseiset reseptorit eivät jakaudu iholle tasaisesti, vaan ihossa on noin millimetrin suuruisia alueita, jotka ovat erityisen herkkiä joko lämpimälle tai kylmälle. [7] Kylmänreseptoreita on enemmän kuin lämpimänreseptoreita. [17] Lämpimänreseptorit aktivoituvat 30 °C:n lämpötilassa ja niiden aktiivisuus nousee 44–46 °C:een asti. Tätä korkeammissa lämpötiloissa lämpimänreseptoreiden aktiivisuus laskee jyrkästi ja lämpötila aistitaan kipuna nosiseptoreiden välityksellä. [7]

Kylmänreseptoreiden aistima lämpötilan vaihteluväli on laajempi. Kylmänreseptorit ovat hyvin heikosti aktiivisia jo 40 °C:n lämpötilassa. Niiden aktiivisuus kasvaa lämpötilan laskiessa 24-28°C:n alapuolelle. Alle 10 °C:n lämpötilassa kylmänreseptoreiden aktivaatio lakkaa. [7] Kylmänreseptorit reagoivat etenkin lämpötilan alenemiseen [1].

Termoreseptorit reagoivat jo hyvin pieneen lämpötilan muutokseen. Pitkän, jatkuvan ärsytyksen aikana taas termoreseptorit adaptoituvat. [7]

Termoreseptorit ovat vapaita hermopäätteitä. Termoreseptoreiden aksonit ovat joko myeliinitupettomia C-säikeitä tai A δ -säikeitä, joilla on vain ohut myeliinikerros. [7] Viesti ihon lämpötilasta keskushermostolle kulkee lateraalista spinotalaamista rataa pitkin. Kyseistä rataa pitkin kulkee myös kiputunto. [6]

3.3.3 Asento

Asentoa aistivia reseptoreja on lihaksissa, jänteissä ja nivelissä. Asentotunto- eli proprioseptisen järjestelmän avulla voidaan aistia omien raajojen ja kehonosien asentoa. Matalan kynnyksen mekanoreseptorit, joihin luokitellaan kuuluviksi lihaskäämi, Golgin jänne-elin ja nivelten reseptorit, välittävät jatkuvaa tietoa raajojen ja kehonosien asennoista. Tämä tieto on tärkeää esimerkiksi suoritettaessa monimutkaisia liikkeitä. Myös pään asennon aistiminen on erityisen merkityksellistä, ja tässä tapauksessa proprioseptorit toimivat yhdessä sisäkorvan vestibulaarijärjestelmän kanssa. Näin pystytään saamaan mahdollisimman tarkkaa informaatiota pään asennosta ja liikkeestä. [9]

Lihaskäämit ovat hyvin tärkeä osa asentotuntojärjestelmää, ja ne viestivät keskushermostolle lihaksen pituuden muutoksista. Lihaskäämejä on muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta lähes kaikissa poikkijuovaisissa lihaksissa. Ne koostuvat 4-8:sta intrafusaalisesta lihassäikeestä, jotka sijaitsevat sidekudoskapselin sisällä lihaksessa ja ovat ekstrafusaalisäikeiden (lihaksen voimaa tuottavat solut) ympäröimänä. Sensoriset hermot ovat kiertyneet intrafusaalisäikeiden ympärille. Ne pystyvät siis aistimaan intrafusaalisäikeen ja täten koko lihaksen venytystä. Kun lihas venyy, intrafusaalisäikeiden jännitys laukaisee aktipotentiaaleja sensorisissa hermopäätteissä, jolloin tieto lihaksen venytystä välittyy aivoihin. Intrafusaalisäikeisiin kiertyviä aksonityyppejä on kahdenlaisia, tyypit Ia ja II. Tyypin Ia aksonit välittävät tietoa raajojen dynamiikasta eli liikkeen suunnasta ja nopeudesta, kun taas tyypin II aksonit välittävät tietoa staattisista asennoista. [9]

Intrafusaaliset lihassäikeet ovat itsenäisestikin supistumiskykyisiä lihassäikeitä, joten niillä on myös motorista hermotusta. Niitä hermottavat γ - motoneuronit. Intrafusaalisäikeet eivät itsessään juurikaan lisää lihaksen voimantuottoa, mutta γ -motoneuronien aiheuttama intrafusaalisäikeiden supistus säätelee lihaskäämin sensorisen järjestelmän herkkyyttä. [9]

Lihasten lisäksi myös jänteissä on asentoa aistivia reseptoreja, Golgin jänne-elimä, jotka viestittävät keskushermostolle lihaksen jännitystilaa. Nämä muodostuvat ryhmän Ib afferenteista aksoneista, jotka ovat jakautuneet jänteeseen kollageenisäikeiden joukkoon. [9]

Edellä mainittujen tekijöiden lisäksi myös näköaistilla on suuri merkitys kehon asentojen havainnoimisessa. [9]

Asentotuntojärjestelmän viestit kulkevat takajuostejärjestelmää pitkin (Katso selkäytimen tuntoradat-takajuostejärjestelmä). Kasvojen alueen asentotuntojärjestelmän informaatio kulkee kuitenkin eri rataa, trigeminotalaamista järjestelmää pitkin (Katso aivohermot -virtuaalipotilas). Radan kulusta johtuen, toisen puolen poikittainen vaurio hermojuuren yläpuolella aiheuttaa saman puolen asento- ja värinäätunnon heikentymisen. [6]

3.3.4 Kosketus

Kosketusta aistivia reseptoreita ovat Merkelin kiekot sekä Meissnerin, Pacinian ja Ruffinin keräset. Tyypin A β aksonit välittävät kosketusinformaatiota keskushermostoon. Yksi vaikuttava tekijä kosketuksen aistimisessa on reseptorin reseptiivinen kenttä, eli se ihoalue, jolta yksi neuroni vastaanottaa informaatiota. Niissä kehonosissa, joissa kosketustunto on herkkä, reseptoreilla on pienet reseptiiviset kentät, eli ne vastaanottavat informaatiota verraten pieneltä ihoalueelta. [9]

Kahden pisteen erotuskyky on yksi tuntoaistin herkkyyteen vaikuttava tekijä. Se kertoo pienimmän etäisyyden, jolta kaksi samanlaista kosketusärsykettä on aistittavissa erillisinä. Tämä etäisyys on pienin sormenpäissä yms. kehonosissa, joissa kosketustuntoaisti on erityisen herkkä. Sen sijaan esimerkiksi selässä kaksi pistettä voidaan aistia erillisinä vasta kun ne ovat usean senttimetrin päässä toisistaan. [9]

Merkelin solut ovat hitaasti adaptoituvia, ja niitä on erityisen runsaasti sormenpäissä. Merkelin solujen tehtävä sensorisen tiedon välittäjänä on osittain epäselvä, mutta niillä on erittäin tarkka spatiaalinen erotuskyky ja ne ovat erityisen herkkiä aistimaan pisteitä, kulmia ja kaaria, joten niiden tehtävä lienee muotojen ja pinnan laadun aistiminen. [9]

Meissnerin solut ovat nopeasti adaptoituvia ja niitä on iholla hyvin tiheästi. Niillä on kuitenkin suuremmat reseptiiviset kentät kuin Merkelin levyillä, joten niiden spatiaalinen tarkkuus on heikompi. Meissnerin keräset välittävät tietoa erityisesti suhteellisen matalataajuisesta värähtelystä, jota syntyy, kun iholla liikkuu karkea objekti. [9]

Pacinian keräset ovat nopeasti adaptoituvia, ja ne aistivat erityisesti nopeataajuisista värähtelyä. [9]

Ruffinin keräset ovat hitaasti adaptoituvia reseptoreita. Niiden tehtävät ovat hiukan epäselviä, mutta ilmeisesti ne liittyvät ainakin ihon venymisen aistimiseen. [9]

Kosketus- ja värinäaistimukset välittyvät keskushermostoon takajuostejärjestelmää pitkin (katso selkäytimen tuntoradat- takajuostejärjestelmä). Kasvoista tuleva informaatio välittyy kuitenkin trigeminotalaamista rataa pitkin. [9]

3.4 Selkäytimen tuntoradat

Selkäytimessä säikeet jakautuvat kolmeen eri ratajärjestelmään riippuen aktivoituneesta reseptorista eli siitä mitä tantomodaliteettia impulssi edustaa. Osa radoista risteää, jolloin kehon oikealta puolelta tulevat ärsykkeet kulkevat vasemmalle aivopuoliskolle ja päinvastoin.

Mediaalinen rata eli takajuostejärjestelmä (dorsal column/medial lemniscus -rata), kuljettaa mekanoreseptoriaistimuksia, mm. tarkkaa paikannusta vaativaa kosketus- ja asentotuntoa, vibraatio- ja painetuntoa.

Anterolateraalinen rata kuljettaa ärsykkeen paikallistamisen ja intensiteetin kannalta karkeampaa informaatiota kuten kipu-, lämpötila-, kutina- ja seksuaaliaistimuksia.

Lateraalinen rata jää selkäydintasolle synapsoiden siellä välineuronien kanssa ja osallistuu selkäydinrefleksien toimintaan joidenkin hermosyiden jatkaessa pikkuivoihin.

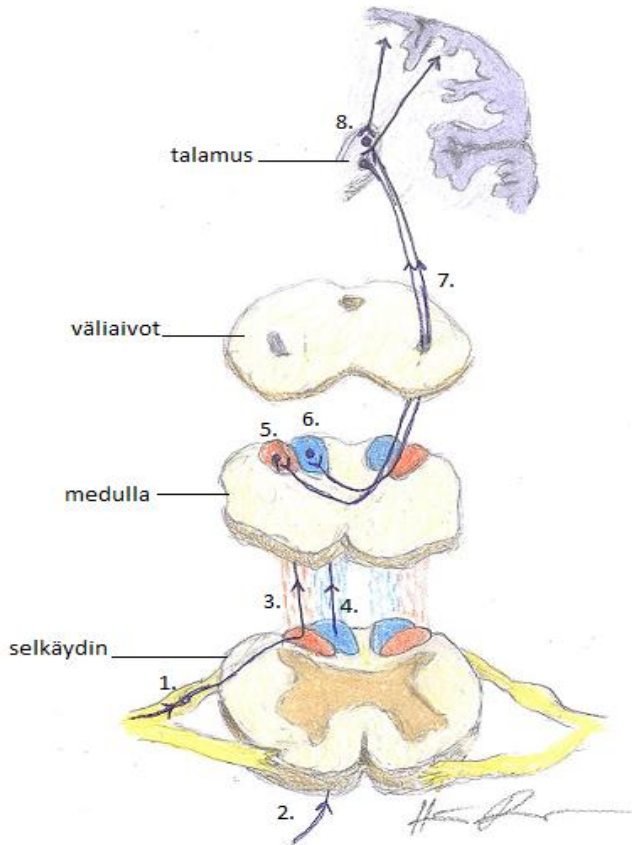
3.4.1 Takajuostejärjestelmä

Takajuostejärjestelmässä kulkee informaatio ihon mekanoreseptoreista eli tieto kosketuksesta, värinästä ja paineesta sekä asentotuntojärjestelmästä saapuva informaatio.

Takajuostejärjestelmän kulku

Reseptorin aktivoituminen aikaansaa aktiopotentiaalin tuntohermossa, joka kulkee selkäytimen takasarven kautta selkäyttimeen, jossa se jatkaa kulkuaan risteämättä takajuosteessa. Radan ensimmäinen synapsi on vasta ydinjatkeessa, jonka jälkeen rata risteää kulkien medial lemniskuksen kautta talamukseen, jossa on radan toinen synapsi. Kolmas neuroni projisoi somatosensoriselle aivokuorelle. [16]

Takajuostejärjestelmä on spatiaalisesti hyvin järjestäytynyt. Alavartalosta säikeet kulkevat ensin mediaalisemmin ja risteämisen jälkeen lateraalisemmin kuin ylävartalosta tulevat. Sama järjestys säilyy somatosensorisella aivokuorella, jossa aistimus paikannetaan (katso kuva 15: Takajuostejärjestelmä). [16]



Kuva 15: Takajuostejärjestelmä

1. Afferentti neuroni tulee kädestä (numero 3) takajuuriganglion kautta selkäyttimeen muodostamatta synapseja ja nousee samanpuoleisessa takapylväessä.
2. Afferentti neuroni alemmaa vartalosta (numero 4) tulee Fasciculus gracilista eli mediaalista takajuostetta pitkin.
3. Neuroni kädestä jatkaa Fasciculus cuneatusta eli lateraalista takajuostetta pitkin medullaan asti lateralisemmin kuin jalasta tuleva = spatiaalisuus.
4. Fasciculus gracilis kulkee selkäytimessä mediaalisemmin.
5. Nucleus cuneatus aivorungossa: ensimmäinen synapsi.
6. Nucleus gracilis aivorungossa: ensimmäinen synapsi.
7. Synapsin jälkeen radat risteävät (medullassa) ja kulkevat Medial lemniscusta pitkin väliaivojen läpi talamukseen.
8. Toinen synapsi talamuksessa, jossa spatiaalisuus säilyy: kädestä tullut kolmas neuroni projisoi vastaavalle somatosensorisen aivokuoren osalle ja jalasta tullut neuroni sitä vastaavalle osalle.

Spatiaalisuus säilyy, vaikka tarkasteltaisiin samasta raajasta tulevaa informaatiota. Tällöin radat kulkevat samassa fasciculuksessa, mutta ylempää tuleva aistimus kulkee hieman lateralisemmin ja päättyy hieman eri kohtaan aivokuorelle. [16]

3.4.2 Anterolateraalinen järjestelmä

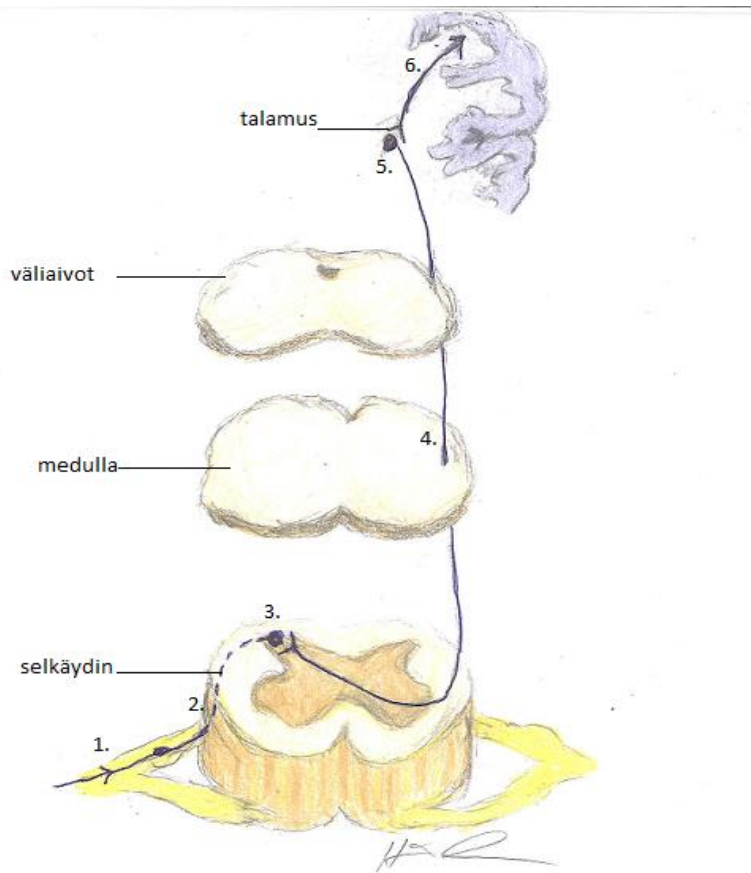
Anterolateraalinen radasto kuljettaa monia eri tuntomodaliteetteja: kipu, kylmä ja lämpö, karkea kosketus, paine ja kutina.

Anterolateraalisen järjestelmän kulku

Sensorinen ärsyke saa esimerkiksi kipureseptorissa aikaan impulssin, joka kulkee synapsoimatta selkäyttimeen takajuuren läpi. Sieltä impulssi jatkaa Lissauerin rataa pitkin hiukan ylöspäin valkeassa aineessa ja synapsoi sitten harmaan aineen takasarvessa. Tämän jälkeen rata risteää ja jatkaa kulkuaan anterolateraalisesti valkeassa aineessa. Toinen synapsi sijaitsee talamuksessa jonka jälkeen aistimus paikantuu somatosensoriselle aivokuorelle. [16] (Katso kuva 16: Anterolateraalinen järjestelmä.)

Anterolateraalinen rata on johtumisnopeudeltaan hitaampi kuin takajuostejärjestelmä, sekä spatiaaliselta tarkkuudeltaan huonompi. Järjestelmä myös välittää huonommin aistimuksen intensiteettiä ja heikosti nopeasti muuttuvia tai toistuvia signaaleja. [16]

Kaiken kaikkiaan anterolateraalinen rata kuljettaa varsin karkeaa informaatiota. [16]



Kuva 16: Anterolateraalinen järjestelmä

1. Aistimus tulee takajuurta pitkin selkäyttimeen.
2. Lissauerin rata: afferentti neuronin kulkee selkäyttimeessä hiukan ylöspäin (tai alaspäin) ennen synapsia harmaan ytimen takasarvessa. Tästä syystä selkäydinvauriosta kipu- ja lämpötila - aistimukset menetetään matalammalla tasolla kuin tarkka kosketustunto.
3. Ensimmäinen synapsi. Tässä kohdassa afferentti neuronin voi myös synapsoida muiden välineuroneiden kanssa: erityisesti paikalliset refleksit tuottavat neuronit sekä kivun säätelyä välittävät laskeutuvat radat.
4. Toinen neuronin (sekundaarinen afferentti) risteää selkäytimen vastakkaiselle puolelle anterolateraalisesti = lateraalinen spinotalaaminen rata.
5. Toinen synapsi sijaitsee talamuksessa
6. Kolmas neuronin projisoi somatosensoriselle aivokuorelle mahdollistaen aistimuksen paikantamisen.

[16]

3.5 Somatosensorinen aivokuori

Tuntemukset tunnistetaan ja paikallistetaan sensorisella aivokuorella. Normaalisti kehon tuntoaistimukset ovat symmetrisiä.

Keskiurteen posteriorisella puolella gyrus postcentraliksessa parietaali- eli päälaenlohkossa sijaitsee primaarinen somatosensorinen aivokuori, jota kutsutaan myös nimellä S1. Tämä alue voidaan jakaa neljään pienempään osaan, joita kutsutaan Brodmannin alueiksi 3a, 3b, 1 ja 2. Jokaisella näistä alueista on edustettuna koko keho alueittain somatotooppisena karttana. Somatotooppinen kartta kuvaa sitä, mille alueelle S1:llä kehon eri alueilta tulevat sensoriset viestit paikantuvat. Esimerkiksi keskivartalon alueelta sensoriset viestit saapuvat S1:n mediaaliosaan, kun taas esimerkiksi leuan alueelta tulevat aistimukset paikantuvat S1:n lateraaliosaan. Eri kehonosien saama edustusalue somatosensoriselta aivokuorelta vaihtelee sen mukaan, miten suuri tuntosensoritiheys kyseisellä alueella on. Tätä kehonosien tuntoaistin herkkyyttä toisiinsa suhteutettuna kuvaa myös sensorinen homunculus. Sensorisessa homunculusessa esimerkiksi huulet ja kädet ovat suhteettoman suuret, johtuen näiden alueiden tiheästä sensorisesta hermotuksesta.

Kaikilla Brodmannin alueilla eri kehonosat ovat järjestäytyneet topografisesti samantyyppisellä tavalla, eli eri kehonosat paikantuvat alueilla 3a, 3b, 1 ja 2 lähes samoihin kohtiin. Kuitenkin näillä alueilla on tutkimuksissa osoitettu olevan erilaisia tehtäviä sensoristen aistimusten tulkinnassa.

Sensorinen informaatio lähtee primaariselta sensoriselta aivokuorelta ylemmille aivokuoren tasolle, esimerkiksi sekundaariselle somatosensoriselle aivokuorelle (S2). Kyseiseen aivokuoren osaan saapuu informaatiota kaikilta neljältä S1:n Brodmannin alueilta. Sekundaarisella somatosensorisella aivokuorella yhdistellään S1:ltä tulevia viestejä.

[9]

Lähteet

- [1] MOT- sanakirja
- [2] Sand, O., Sjaastad, O., Haug, E. & Bjålie J. (2007) Ihminen. Fysiologia ja anatomia. Suomentanut Lääketieteellinen käännöstoimisto Oy/ Raila Hekkanen. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- [3] Saha, H., Salonen T. & Sane T. (2009) Potilaan tutkiminen. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim.
- [4] Rosenberg, P., Alahuhta, S., Lindgren, L., Olkkola K. & Ruokonen, E. (2014) Anestesiologia ja tehohoito.
- [5] Benarroch, E., Westmoreland, B., Daube, J., Reagan, T. & Sandok, B. (1999) Medical Neurosciences. An Approach to Anatomy, Pathology and Physiology by Systems and Levels, Fourth Edition. Rochester: Mayo Foundation.
- [6] Soinila, S. & Kaste, M. (2015) Neurologia. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim
- [7] Boron, W., & Boulpaep, E. (2005) Medical Physiology. Updated Edition. Philadelphia: Elsevier Inc.
- [8] Ilmoniemi, Risto: Aivojen rakenne ja toiminta (Neurotieteiden kurssin verkkosivut) <http://www.biomag.hus.fi/braincourse/L8.html>. haettu 17.12.2015
- [9] Purves, Dale & Augustine George J. & Fitzpatrick, David & Hall, William C. & LaMantia Anthony Samuel & White Leonard E. (2012) Neuroscience, 5th Edition. Massachusetts: Sinauer Associates Inc.
- [10] Plexus Brachialiksen alkuperäiskuva: <http://www.rms-gs.de/.../index-Datei.../anatomie/pics/Abb3.1.jpg>. Haettu 14.10.2015.
- [11] Swenson, Rand (2006) Review of clinical and functional neuroscience: Chapter 8B, Cerebellar systems. https://www.dartmouth.edu/~rswenson/NeuroSci/chapter_8B.html; haettu 3.11.2015
- [12] Knierim, James (1997) Neuroscience online. <http://neuroscience.uth.tmc.edu/s3/chapter05.html> haettu 3.11.2015
- [13] Jutila, Topi ja Hirvonen, Timo P. (2013) Katsaus: Nystagmus, Lääketieteellinen Aikakauskirja Duodecimin verkkojulkaisu. http://www.duodecimlehti.fi/web/guest/arkisto?p_p_id=Article_WAR_DL6_Articleportlet&p_p_action=1&p_p_state=maximized&viewType=viewArticle&tunnus=duo10932 haettu 17.12.2015
- [14] Hall, J. & Guyton, A. (2011) Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology. Twelfth Edition. Philadelphia: Elsevier Inc.
- [15] Hiltunen, E., Holmberg, P., Jyväsjärvi, E., Kaikkonen, M., Lindblom-Yläne, S., Nienstedt, W., Wähälä, K. Galenos: Johdanto lääketieteen opintoihin. 1–4. painos. Helsinki: WSOY pro Oy, 218
- [16] Swenson, Rand (2006) Review of clinical and functional neuroscience: Chapter 7A, Somatosensory systems. https://www.dartmouth.edu/~rswenson/NeuroSci/chapter_7A.html haettu 3.11.2015
- [17] Nienstedt, W., Hänninen, O., Arstila, A. & Björkvist S-E. (1997) Ihmisen fysiologia ja anatomia. Helsinki: WSOY.

[18] Kalso, E., Haanpää, M., Vainio, A. (2009) Kipu. Aistimuksesta tuntemukseksi: kipujärjestelmä kokonaisuutena. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim.

[19] Kalso, E., Kontinen, V. (2009) Kipu. Kivun fysiologia ja mekanismit. Kipuviestin välittyminen keskushermostossa. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim.