

x

The
epi-
pi-
ur-
e-
ca-
nit-
b-
e-
di-
sp-

NBC-C2300 Biologinen psykologia


Iiro P. Pöykköläinen, professori

*Brain and Mind Laboratory
Lääketieteellisen tekniikan ja laskennallisen tieteen laitos
Aalto Yliopiston perustieteiden korkeakoulu*

1

Aivojen ja hermoston anatomiaa


- On välttämätöntä tuntea jonkin verran aivojen anatomiaa sillä biologisen psykologian kirjallisuus perustuu suurelta osin siihen, miten kognitiiviset prosessit yhdistetään eri anatomisiin rakenteisiin. Aivojen anatomian oppimista monimutkaistaa se että tietyillä aivoalueilla on useita nimiä
- Esimerkiksi aivojen aluetta, joka käsittelee visuaalista informaatiota, voidaan kutsua primaarisesti näköaivokuoreksi, juovikkaaksi aivokuoreksi ja V1:ksi
- Lisäksi joissakin tapauksissa on erimielisyyttä siitä, missä eri alueiden rajat kulkevat. Esimerkiksi aivojen etummainen kärki (engl. frontal pole) on joidenkin määritelmien mukaan vain aivojen etupään kärki ja toisten määritelmien mukaan suhteellisen suuri osa aivojen etupäästä
- Syyt tähän ovat osittain historiallisia, sillä eri näytteitä ja tekniikoita käyttävät tutkijat ovat päätyneet hieman erilaisiin määritelmiin.


15.1.2024
2

2

Aivojen ja hermoston anatomiaa

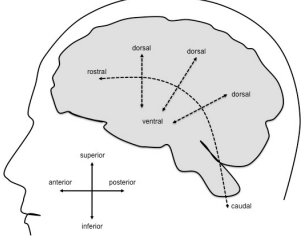
- Kaksi aivoa ei ole koskaan rakenteellisesti identtiset. Jopa identtisillä kaksosilla on eroja aivojen poimuttuneisuudessa
- Toiminnan lokalisointi anatomiaan vaihtelee yksilöiden välillä vielä enemmän kuin anatominen vaihtelu.
- Lisäksi on oltava varovainen, kun anatomisia rakenteita verrataan eri lajien välillä, sillä toiminnallisia ja rakenteellisia eroja on huomattavia, vaikka monet rakenteet ovat identtisiä.
- Aivojen anatomian perusterminologian oppimiseksi on ensin opittava koordinaattijärjestelmä(t), jota käytetään eri aivorakenteiden sijaintien määrittelyssä.


15.1.2024
3

3

Aivojen koordinaattijärjestelmät

Eläinkokeista tunnetussa koordinaattijärjestelmässä, rostral-caudal-akseli (eli pään vs. hännän suunta) on ihmisillä kaareva, toisin kuin anterior-posterior-koordinaattiakseli, joka on suora





15.1.2024
4

4

Aivojen koordinaattijärjestelmät


- Aivokuvantamisessa on vielä toinenkin koordinaattijärjestelmä, joka ilmoittaa suunnat, joita pitkin kolmiulotteisen aivotilavuuden läpi viipaloitavat kuvat suuntautuvat
- Sagittaali viittaa kuviin, jotka on otettu kohtisuoraan aivojen vasen-oikea -akseliin nähden (eli kun aivoja tarkastellaan sivulta). Aksiaalinen (tai poikittainen) viittaa kuviin, jotka on otettu kohtisuoraan superior-inferior-akseliin nähden, ja koronaalinen viittaa siihen, että kuva on otettu kohtisuoraan anterior-posterior-akseliin nähden
- Kuvien vasen ja oikea puoli on usein merkitty, koska on olemassa kaksi konventiota: radiologisen konvention mukaan aksiaal- / koronaalikuviissa aivojen vasen puoli sijaitsee kuvan oikealla puolella ja päinvastoin (eli ikään kuin katsottaisiin kuvaa alhaalta päin eikä pään yläosasta aksiaalikuviissa). Neurologisessa konventiossa aivojen vasen puoli on kuvan vasemmalla puolella ja aivojen oikea puoli kuvan oikealla puolella


15.1.2024
5

5

Keskushermosto ja ääreishermosto

- Aivot ovat osa laajempaa hermostoa, joka ulottuu kaikkiin kehon osiin
- Hermosto voidaan jakaa keskushermostoon (CNS), joka koostuu aivoista ja selkäytimestä, ja ääreishermostoon, joka koostuu aistijärjestelmien hermosoluista, kuten soluista, jotka reagoivat, kun jokin koskettaa ihoa, ja erityyppisistä soluista korvissa, jotka ovat herkkiä äänille.
- Toisin kuin neuronit, jotka tuovat tietoa aisteista keskushermostoon, motoriset neuronit kuuluvat keskushermostoon, sillä näiden neuronien solurungot ovat keskushermostossa


15.1.2024
6

6

Autonominen hermosto: sympaattinen ja parasympaattinen

- Autonominen hermosto jaetaan **sympaattiseen** ja **parasympaattiseen** järjestelmään (<https://www.youtube.com/watch?v=DPWEh7gbu4>)
- Sympaattisella hermostolla on elimistöön kiihdyttävä vaikutus, joka saa aikaan niin sanotun "pakene tai pakene" - tai stressireaktion; sydän lyö nopeammin ja voimakkaammin, keuhkot työskentelevät kovemmin saadakseen enemmän happea, silmän pupillit laajenevat, verenpaine nousee ja ruoansulatuskanavan toiminta hidastuu. Esim. Beta-salpaaja lääkityksellä voidaan vaimentaa sympaattisen hermoston toimintaa
- Parasympaattisen hermoston aktivoituminen vaikuttaa kehoon päinvastaisesti, rauhoittavasti

7

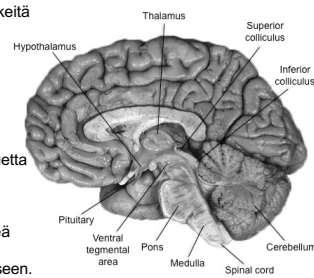
Aivojen karkeat anatomiset jaot

- Aivot voidaan jakaa evolutiivisesti vanhempiin ja nuorempiin rakenteisiin
- Evolutiivisesti vanhemmat rakenteet sijaitsevat aivojen mediaalisissa ja inferiorisissa osissa, jotka näkyvät parhaiten aivojen keskisagittaalikuvasssa
- Selkäytimestä aivojen tyvässä ulottuu niin sanottu aivorunko, joka käsittää useita erillisiä anatomisia rakenteita
 - Aivorungon kaudaalisisimmasta osasta alkava, aivorungon ja selkäytimen yhdistävä medulla oblongata säätelee elintärkeitä elintoimintoja, kuten sydämen sykettä ja hengitystä
 - Medullaa ylempänä sijaitseva aivosilta (pons) välittää sensorisia ja motorisia syötteitä, ja on elintärkeä vireystilan ja unen säätelyssä

8

- Aivosillan yläpuolella, tectumiksi kutsutussa rakenteessa on inferior- ja superior-colliculi, jotka ovat erittäin tärkeitä rakenteita kuulo- ja näkö tiedon varhaisessa käsittelyssä (ja superior-colliculuksen tapauksessa myös yhdistämisessä).

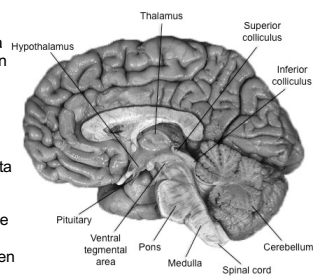
- Toinen aivosillan yläpuolella sijaitseva rakenne on tegmentum ("keskiaivojen peite"). Ventraalista tegmentaalista aluetta on tutkittu intensiivisesti tietyn neurokemiallisen välittäjäaineen, dopamiinin, lähteenä, joka on liitetty aivojen palkitsemispiiriin, joka on tärkeä motivaation kannalta ja jolla on myös osuutta huumeriippuvuuden kehittämiseen.



9

- Pikkuaivot sijaitsevat aivosillan takana. Pikkuaivot ovat rakenne, jonka on todettu osallistuvan hyvin opittujen motoristen sekvenssien, kuten kokeneen golfarin suorittaman golfsvingin, koordinointiin ja ajoitukseen. Pikkuaivojen vaurioituminen aiheuttaa puutteita hienomotorisessa koordinaatiossa, tasapainossa ja motorisessa oppimisessa

- Pikkuaivot saavat syötteitä aivojen sensorisilta ja motorisilta aivokuorialueilta ja lähettävät tuotoksia niin sanottujen syvien ytimien kautta talamukseen ja aivokuorialueille (erityisesti premotorisille ja motorisille). Pikkuaivoilla on lisäksi tärkeä rooli tarkkaavaisuuden ja tunteiden säätelyssä

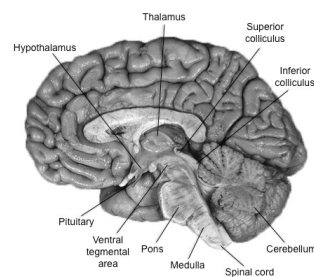


10

- Talamus on erittäin tärkeä rakenne, jonka kautta suurin osa aistitiedoista kulkee aivokuorelle ja aivokuorelta aistijärjestelmiin

- Hypotalamus säätelee hormonien eritystä aivolisäkkeen (pituitary) kautta.

- Jos ihmisillä olisi vain evoluutionaarisesti vanhimmat rakenteet, meiltä puuttuisi se, mikä tekee meistä ihmisiä: kyky järjellä, muistaa, suunnitella tulevaisuutta, tuntea muita, olla sosiaalinen, huumorintaju jne.



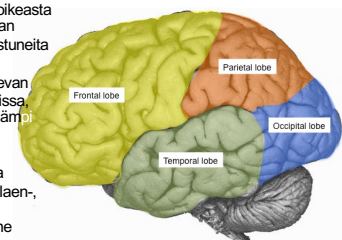
11

Isot aivot

- Isot aivot koostuvat vasemmasta ja oikeasta aivopuoliskosta, jotka näyttävät olevan jossain määrin toiminnallisesti erikoistuneita

- Esim. vasen aivopuolisko näyttää olevan tärkeämpi puheen ja kielen toiminnoissa, kun taas oikea aivopuolisko on tärkeämpi tilan hahmottamisessa ja musiikissa

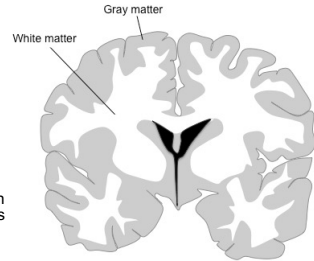
- Kumpikin aivopuolisko voidaan jakaa edelleen neljään lohkokseen: otsa-, päälaen-, ohimo- ja takaraivolohkoihin niiden kallonluiden perusteella, joiden alla ne sijaitsevat



12

Harmaa ja valkea aine

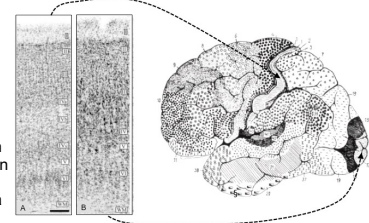
- Isot aivot koostuvat harmaasta ja valkoisesta aineesta. Valkoinen aine koostuu hermosolujen aksoneista, jotka kuljettavat hermoimpulsseja pidempiä matkoja. Myeliiniiksi kutsuttu rasvainen aine ympäröi aksoneita, jolloin signaalit kulkevat jopa 10 kertaa nopeammin
- Aivokuoren (eli aivojen pinnan) muodostava harmaa aine koostuu kuudesta hermosolukerroksesta, joissa on myeliinittomia kuituja. Aivokuoren paksuus vaihtelee aivojen osasta riippuen 2-4 mm:n välillä ollen useinmiten noin 3 mm



13

Brodmannin soluarkkitehtoniset alueet

- Aivokuori voidaan jakaa alueisiin aivokuoren kerrosten koostumuksen hienojakoisten erojen perusteella: niiden paksuuteen ja kussakin kerroksessa olevien neuronien tyyppiin
- Näitä eroja kartoittamalla saksalainen neurologi Korbinian Brodmann pystyi määrittelemään alueet, jotka tunnetaan vielä nykyäänkin Brodmannin alueina
- Brodmannin alueita käytetään edelleen tänä päivänä

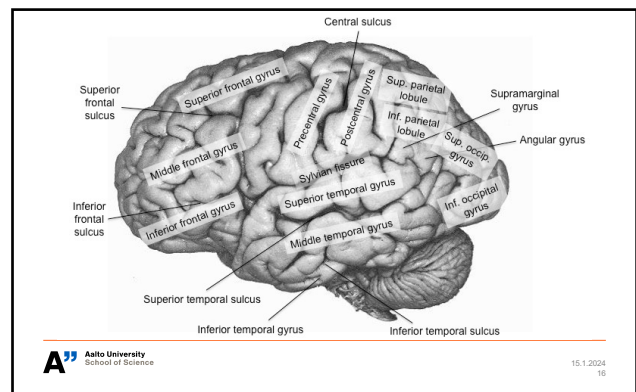


14

Aivokuori koostuu harjanteista (gyri) ja uurteista (sulci)

- Aivopuoliskojen lohkot koostuvat harjanteista ja uurteista, jotka muodostavat aivokuoren poimuttuessa minkä ansiosta on mahdollista "pakata" enemmän aivokuorta kallon sisällä olevaan rajalliseen tilaan
- Aivokuoren pinta-ala on jopa 2000 cm². Uurteet muodostavat lohkojen väliset anatomiset rajat. Otsa- ja päälaenlohkoja erottaa toisistaan keskusuurte, jonka etu- ja takapuolella sijaitsevat precentraalinen harjanne ja postcentraalinen harjanne
- Sylviiin fissura puolestaan muodostaa rajan ohimo- ja otsalohkojen sekä takimmaisesta ohimo- ja alemman parietaaliaivokuoren välille
- Useat harjanteet ja uurteet on nimetty sen perusteella, missä lohkossa ne sijaitsevat ja mikä on niiden suhteellinen sijainti lohkon sisällä superior-inferior-ulottuvuudessa

15

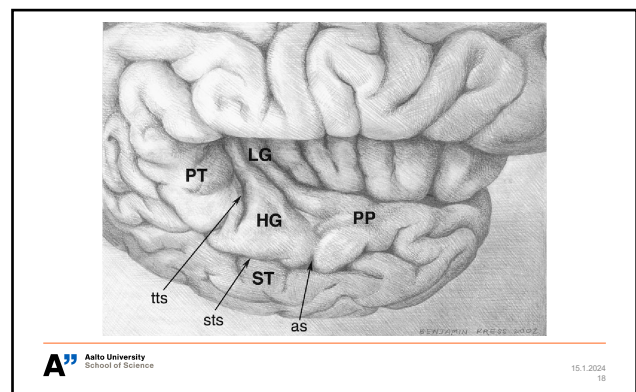


16

Aivokuori koostuu harjanteista (gyri) ja uurteista (sulci)

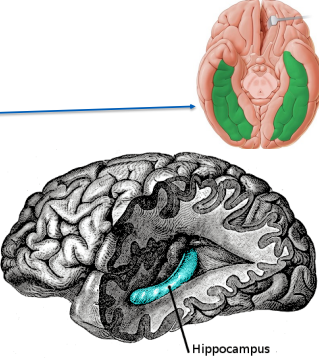
- Kun otsa- ja päälakilohkot nostetaan pois ohimolohkon päältä ja katsotaan Sylviiin uurteeseen, siellä on useita poikittaisia harjanteita ja uurteita, jotka kulkevat kohtisuoraan Sylviiin fissuuraan nähden.
- Näistä takimmaisoin on planum temporale, joka on yhdistetty äänen sijainnin käsittelyyn, ja sen etupuolella on Heschlin harjanne, jonka mediaalisimmat kaksi kolmasosaa muodostavat primaarisen kuuloaivokuoren (jonne suurin osa kuulojärjestelmän syötteistä saapuu ensin).
- Näiden etupuolella sijaitsevat Heschlin sulcus, insula (joka ulottuu ohimolohkosta otsalohkon alaosaan) ja planum polare

17



18

- Temporaalilohkon alaosassa, inferiorisen temporaalilohkon ja inferiorisen takaraivolohkon risteyskohdassa sijaitsee occipito-temporal fusiform gyrus, joka sisältää kasvojen näkemisen suhteen herkkiä soluja
- Ohimolohkon mediaalisiin osiin siirryttäessä löytyy entorinaalinen aivokuori, joka kulkee anterior-posterior-suuntaisesti, ja sen yläpuolella on hippokampus, joka on muistojen koodaamisen kannalta erittäin tärkeä rakenne



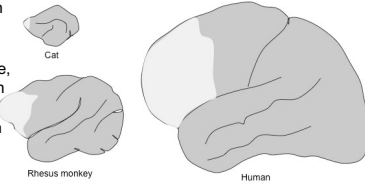
Hippocampus

A Aalto University School of Science

19

Otsalohkot

- Otsalohko on aivorakenne, joka on kasvanut ihmisellä eniten muihin lajeihin verrattuna
- Otsalohkoivokuori on erityisen tärkeä motoriselle koordinaatiolle, mutta myös korkeamman asteen kognitiivisille ja emotionaalisille toimintoille, kuten tavoitteellisen toiminnan suunnittelulle ja sosiaaliselle kognitiolle eli sille, miten havaitsemme toisten aikomukset ja sopeutamme oman käyttäytymisemme niiden mukaisesti



Cat
Rhesus monkey
Human

A Aalto University School of Science

20

Otsalohkot

- Otsalohkossa on myös harjanteita ja uurteita, jotka eivät noudata superior-inferior-nimikkeistöä. Gyrus inferioris frontalis muodostuu kahdesta pienemmästä harjanteesta, joista takimmaista kutsutaan nimellä pars triangularis ja etummaista nimellä pars opercularis
- Yhdessä nämä harjanteet on erityisesti vasemmassa aivopuoliskossa yhdistetty puheen tuottamiseen mutta myös puheen havaitsemiseen, ja niitä kutsutaan myös Brocan alueeksi.
- Otsalohkon etukärkeä kutsutaan frontal pole:ksi, mutta ei ole varmaa yksimielisyyttä siitä, kuinka laajan alueen tämä käsittää
- Suunnilleen keskellä lateraalipinnalla olevaa otsalohkon aluetta kutsutaan dorsolateraaliseksi prefrontaaliseksi aivokuoreksi, joka on tärkeä alue tarkkaavaisuus- ja volitionaalisten toimintojen kannalta

A Aalto University School of Science

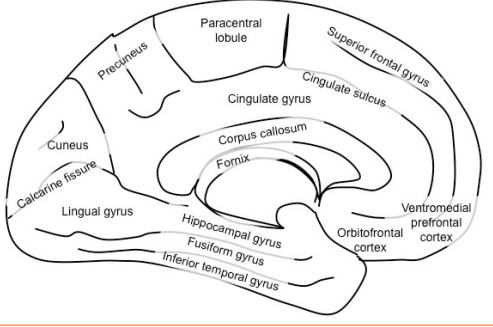
21

Otsalohkot

- Kun kurkistetaan aivopuoliskon toiselle (mediaaliselle) puolelle, löytyy aivopuoliskojen väliseen halkeamaan hautautuneena niin sanottu täydentävä motorinen alue mediaalisen otsalohkon ylemmässä osassa, mikä on erittäin tärkeä motoristen sekvenssien suunnittelun kannalta.
- Muita merkittäviä aivoalueita ovat muun muassa ventromediaalinen prefrontaalinen aivokuori, jolla on tärkeä rooli sosiaalisessa kognitiossa ja tämän alueen takana otsalohkon ventraali-mediaali-basaalipuolella sijaitsee niin sanottu orbitofrontaalinen aivokuori, joka on tärkeä tunteiden säätelyssä
- Otsalohkon mediaaliseen osaan ulottuvaa pihipoimua (cingulate gyrus) ei useinkaan pidetä osana neokorteksia, koska se eroaa mikroanatomisesti muista aivokuoren alueista, vaan pikemminkin osana niin sanottua limbistä järjestelmää. Anteriorinen pihipoimu on liitetty tiedonkäsittelyyn, joka tapahtuu silloin, kun eri lähteistä tai haluttujen vastausten välillä olevat tiedot ovat ristiriidassa keskenään

A Aalto University School of Science

22



A Aalto University School of Science

23

Tunto- ja motoriset aivokuoret

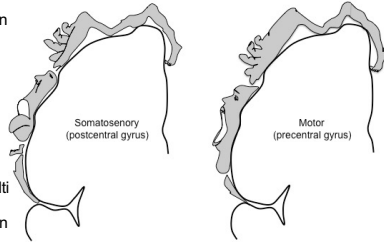
- Otsalohkon takaosassa on primaarinen motorinen aivokuori, ja otsalohkon ja päälakilohkon erottavan keskussulcusin toisella puolella on primaarinen somatosensorinen aivokuori (eli paineen/kosketuksen, lämmön/kylmän ja kivun aistiminen).
- Nämä harjanteet/poimut sisältävät kehon topografisia representaatioita, joita kutsutaan vastaavasti motorisiksi ja somatosensorisiksi homunkuluksiksi joissa kehon alueet ovat suhteettomasti edustettuina vastaten hienomotorisen koordinaation ja tuntoaistin erottelukyvyn astetta

A Aalto University School of Science

24

Tunto- ja motoriset aivokuoret

- Eri ruumiinosien taktiillista erottelukykä voidaan testata niin sanotulla kahden pisteen erottelukykytestillä.
- Voit kokeilla tätä itse koskettamalla ihoasi samanaikaisesti kahden vierekkään asetetun lyijykynän kärjillä. Kun kosketat sormeasi, kynänkärjet voivat olla suhteellisen lähellä toisiaan ja silti voit tuntea ne erillisinä, kun taas jos kosketat jalkaasi, kynänkärjen on oltava paljon kauempana toisistaan, jotta voit tuntea ne erillisinä



25

Päälaenloikko (parietal lobe)

- Sen lisäksi, että primaarinen somatosensorinen aivokuori sijaitsee post-central poimussa parietaaliloikon eturajalla, joka sisältää edellä esitetyn somatosensorisen homunculuksen, parietaalisen aivokuoren lateraalaisella-posteriorisella puolella ovat inferior parietal- ja superior parietal-alueet, jotka on yhdistetty tilan hahmottamiseen sekä toimintojen hahmottamiseen ja toteuttamiseen tilassa
- Ylemmän ja takimmaisen ohimolohkon ja alemman parietaaliloikon välisessä risteyksessä on poimuja, jotka on nimetty supramarginaaliseksi poimuksi ja kulmapoimuksi.
- Parietaaliloikon mediaalisissa osassa sijaitsevat pihtipoimun taaempi osa sekä precuneus.

26

Takaraivolohko (occipital lobe)

- Aivojen takaosassa sijaitseva takaraivolohko on erityisen tärkeä silmistä talamuksen kautta sinne välittyvän visuaalisen tiedon käsittelyssä. Primaarinen näköaivokuori sijaitsee takaraivolohkon mediaalisella puolella, niin sanotun kalkariiniuurteen sisällä
- Cuneus sijaitsee calcarine fissurea ylempänä takaraivolohkon mediaalisella puolella, ja lingual gyrus sijaitsee calcarine fissurea alempana.
- Takaraivolohkon lateraali-inferioripuolella on funktionaalisesti määritelty anatominen alue, jota kutsutaan lateraaliseksi takaraivokompleksiksi (lateral occipital complex) ja jonka on raportoitu sisältävän hajautettuja representaatioita erilaisista havaintokohteista

27

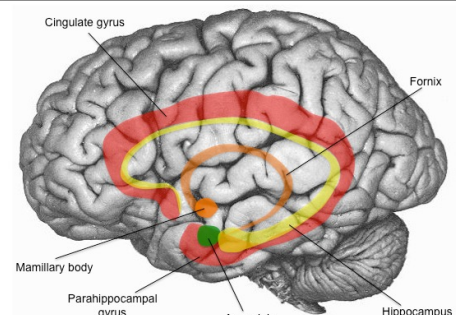
Aivopuoliskojen alapuolella: limbisen järjestelmä ja tyvitumakkeet

- Limbisen järjestelmä on kokoelma aivorakenteita, jotka sijaitsevat aivan aivopuoliskojen alapuolella - termi limbisen tulee latinankielisestä sanasta "limbus", joka tarkoittaa "rajaa".
- Sen sijaan, että ne olisivat yhtenäinen toiminnallinen järjestelmä (kuten aikoinaan oletettiin), limbiseen järjestelmään kuuluvat aivorakenteet palvelevat varsin erillisiä toimintoja.
- Pihtipoimu on limbisen järjestelmän ylin rakenne, ja se muodostaa yhdessä parahippokampaalisen poimun ja dentate poimun kanssa niin sanotun limbisen lohkon. Pihtipoimun alapuolella sijaitseva corpus callosum koostuu hermoradoista, jotka yhdistävät molemmat aivopuoliskot. Myös anterior ja posterior commissurat palvelevat tätä tehtävää.

28

- Hippokampus on limbisen järjestelmän rakenne, joka on erittäin tärkeä muistitoimintojen kannalta. Hippokampuksen etukärjessä (kahdensuuntaisesti, kuten aivojen anatomiassa yleensä) sijaitsee mantelilumake eli amygdala. Amygdalan on havaittu olevan ratkaisevassa asemassa tunteiden käsittelyssä, eli toiminto, jonka taustalla limbisen järjestelmän ajateltiin aikoinaan olevan kokonaisuutena
- Tyvitumakkeet ovat toinen ryhmä aivokuoren alapuolisia rakenteita, jotka sijaitsevat otsalohkojen alapuolella. Tyvitumakkeet ovat vastuussa liikkeiden hallinnasta, liikkeiden/toimien aloittamisesta ja myös korkeammista kognitiivisista toimintoista
- Tyvitumakkeet ovat yhteydessä muihin aivorakenteisiin, kuten prefrontaalisiiin aivokuorialueisiin ja talamukseen. Yhdessä näiden rakenteiden kanssa Tyvitumakkeet muodostavat toiminnallisen verkon, joka vastaa toiminnan valinnasta monien mahdollisten vaihtoehtoisten toimintojen joukosta

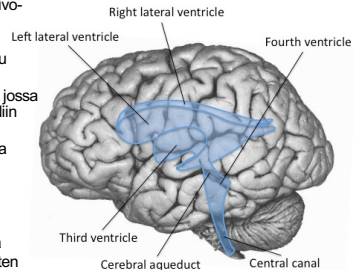
29



30

Aivokammiot

- Aivokammiojärjestelmä koostuu aivoselkäydinnesteen täyttämistä onteloista. Ne ovat merkittäviä maamerkkejä aivoissa. Se koostuu keskuskanavasta, joka kulkee selkäytimestä ylös aivojen tyvelle, jossa se sulautuu aivojen akveduktiin. Niin sanottu kolmas kammiot ja molemminpuolisesti vasen ja oikea sivukammio sijaitsevat aivojen akveduktin yläpuolella.
- Kammioiden epänormaali laajentuminen on vahva merkki patologiasta, joka voidaan havaita neurokuvantamismenetelmillä, kuten magneettikuvauksella.



31

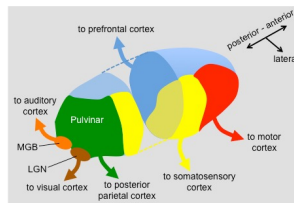
Aivojen sisäiset hermoratayhteydet

- Kasvavassa määrin tiedostetaan, että aivojen kytkeytyvyydellä (eli valkoisessa aineessa kulkevilla radoilla) on tärkeä rooli ajattelussa ja tunteissa.
- Tämä johtuu siitä, että kognitiivisten prosessien taustalla on yleensä aivoalueiden verkosto, joka on monimutkaisten vuorovaikutusten ja muiden aivoalueiden moduloinnin kautta kognitiivisten prosessien taustalla.
- Aivoissa on erityyppisiä yhteyksiä. Aistielimistä lähtee nousevia ratoja, jotka kulkevat aivorungon ja talamuksen tiettyjen tumakkeiden kautta aivokuorelle useiden synapsien kautta.
- Toisaalta aivokuorelta talamukseen ja muihin aivokuoren alapuolisiin rakenteisiin laskevia yhteyksiä on kertaluokkaa enemmän kuin nousevia yhteyksiä, minkä ansiosta aivokuori voi moduloida alemman asteen alueilla tapahtuvaa prosessointia, joka on merkityksellistä mm. valikoivan huomion kannalta.
- Aivokurkainen (corpus callosum) yhdistää aivopuoliskot toisiinsa. Ns. U-radat yhdistävät vierekkäiset aivokuoren alueet toisiinsa. Yhteyksien tiheys tai lukumäärä ei välttämättä määrää yhteyksien voimakkuutta vaan tämä riippuu kemiallisesta välittäjäaineesta ja reseptorin tyypistä.

32

Talamus

- Talamus on aivokuoren alapuolinen rakenne, joka on tiiviisti yhteydessä aivokuoreen. Talamus koostuu useista tumakkeista. Talamuksen takaosat ovat yhteydessä aivokuoren takaosiin ja etuosat aivokuoren etuosiin.
- Talamuksen tumakkeista keskimäinen polvitumake (MGB), yhdistää talamuksen kuuloaivokuoreen ja ulompi polvitumake (LGN) yhdistää talamuksen näköaivokuoreen.
- Talamuksessa on myös tumakkeita, jotka auttavat säätämään vireystilaa ja tukevat korkeampia kognitiivisia toimintoja. Talamus on yhteydessä myös motoriseen ja prefrontaaliseen aivokuoreen.



33

Lopuksi, anatomian osalta

- Aivojen anatomian riittävä tuntemus on edellytys kognitiivisen neurotieteen syvälliselle ymmärtämiselle.
- Vaikka anatominen nimikkeistö, jossa on useita synonyymejä, voi aluksi olla hämmentävä ja eri rakenteiden muotoja ja sijainteja voi olla vaikea hahmottaa, koska ne sijaitsevat oudon muotoisessa kolmiulotteisessa kallonontelossa, ei kestä kauaa tottua aivojen anatomian muuttamiin perusasioihin.
- Aivojen eri koordinaatistojen ja pääjakojen tunteminen auttaa jo kognitiivisen neurotieteen kirjallisuutta lukiessa. On hyvä tapa pysähtyä tarkistamaan, missä eri aivojen alueet, jotka mainitaan, sijaitsevat, kun lukee alan kirjallisuutta.
- Loppujen lopuksi kognitiivisen neurotieteen opiskelijan kannalta huomionarvoista ei ole anatomia sinänsä, vaan eri rakenteiden (rakenteiden verkostojen) rooli sellaisissa mentaalisisäisissä toiminnissa kuin muisti, päätöksenteko ja tunteet.

34

Hermosolut – ajattelun rakennuspalikat

35

Gliasolut

- Kuten mikä tahansa muu ihmiskehon kudos, myös aivojen anatomiset rakenteet koostuvat erityyppisistä soluista. Suurinta osaa näistä soluista kutsutaan gliasoluiksi (suomeksi voinee kääntää esim. tukisolut). Gliasolujen päättarkoituksena on tukea aivojen rakennetta ja aineenvaihdunnan toimintaa. Gliasoluja on erityyppisiä.
- Gliasoluista astrozyytit auttavat muodostamaan niin sanotun veriaivoesteen, joka estää ei-toivottujen hiukkasten pääsyn aivoihin. Veriaivoeste on esteenä myös silloin, kun kehitetään keskushermostoon kohdistuvia lääkkeitä, sillä lääkemolekyylit on kuljettava sen läpi, jotta ne voivat vaikuttaa keskushermostossa.

36

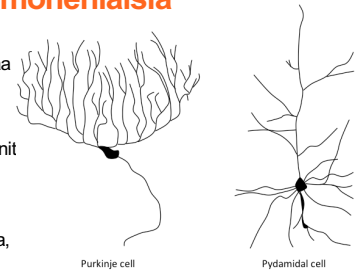
Gliasolut

- Toinen gliatyyppejä, oligodendrosyytit, nopeuttaa hermosolujen signaalinvälitystä kertaluokkaa nopeammin kietomalla aksoneit (eli hermoimpulssin viejähaarakeita) myeliinitupen sisään
- Perifeerisessä hermostossa niin sanotut Schwannin solut palvelevat samaa tarkoitusta. Toisin kuin yksittäinen Schwannin solu, joka päällystää vain yhden aksonein, yksittäinen oligodendrosyytti voi kuitenkin päällystää myeliinillä jopa useita kymmeniä aksoneja.
- Mikroglia on kolmas keskushermoston gliatyyppejä, jonka tehtävänä on puhdistaa aivot poistamalla kuollutta kudosta ja täyttämällä näin syntyneet tyhjät tilat

37

Hermosoluja on monenlaisia

- Vaikka hermosoluja eli neuroneja on aivoissa 10 kertaa vähemmän kuin gliasoluja, voidaan sanoa, että neuronit ovat kognition alkeisrakennuspalikoita; neuronit välittävät ja käsittelevät tietoa aivoissa, mikä mahdollistaa havaitsemisen ja ajattelun
- Hermosoluja hyvin monenlaisia, kuvassa kaksi esimerkkiä

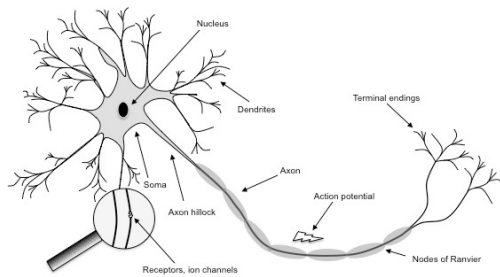


Purkinje cell

Pyramidal cell

38

Hermosolun eri osat



39

Dendriitit eli tuojahaarakkeet vastaanottavat syötteitä muilta neuroneilta

- Joillakin neuroneilla, pikkuaivojen Purkinje-soluilla, voi olla tuhansia dendriittejä, jotka vastaanottavat syötteitä muilta neuroneilta.
- Syötteet välittyvät vastaanottavaan neuroniin signaalia välittävän neuronin päätepisteiden ja vastaanottavan neuronin dendriittien välisissä kosketuspisteissä, joita kutsutaan synapseiksi.
- Signaalia vastaanottavaa neuronin kutsutaan postsynaptiseksi neuroniksi ja signaalia lähettävää neuronin presynaptiseksi neuroniksi.
- Presynaptinen hermosolu välittää syötteen vapauttamalla välittäjäaineita synaptiseen rakkoon. Tämän jälkeen välittäjäaine sitoutuu reseptoriproteiineihin postsynaptisen neuronin dendriitin pinnalla.

40

Dendriitit eli tuojahaarakkeet vastaanottavat syötteitä muilta neuroneilta

- Kun välittäjäaineet sitoutuvat postsynaptisen solun reseptoreihin, ionikanavat avautuvat ja/tai sulkeutuvat välittäjäaineen tyypistä ja reseptorin tyypistä riippuen, mikä vaikuttaa ionien virtaukseen soluun ja solusta.
- Koska ionit ovat joko negatiivisesti tai positiivisesti varautuneita, niiden liikkuminen kanavien läpi muuttaa hermosolun kalvopotentiaalia, ja silloin kun vaikutus on depolarisoiva, se voi levitä dendriittia pitkin aina aksoneikkulaan asti, jossa syntyy hermosolun signaali, jota kutsutaan aktiopotentiaaliksi.

41

Sooma vastaa solun aineenvaihdunnallisesta toiminnasta

- Neuronin dendriitit yhdistyvät solun soomaan. Neuronin sooma on samanlainen kuin minkä tahansa muun solun sooma. Se sisältää ytimen ja vastaa solun aineenvaihdunnasta. Ilman soomaosaa neuroni ei pystyisi ylläpitämään itseään, sillä hermosolun viestinvälityksen mahdollistavan lepokalvopotentiaalin ylläpitäminen vaatii jatkuvasti energiaa.
- Dendriittejä pitkin kulkevat depolarisaatiomuutokset siirtyvät sooman kalvon läpi sooman tyvessä sijaitsevaan aksoneikkulaan. Aksoneikkulassa määräytyy, lähettääkö neuroni hermoimpulssin aksoniaan pitkin postsynaptisten neuronien dendriitteihin.

42

Aksonikukkula, aksoni ja aktiopotentiaali

- Sooman juuressa on niin sanottu aksonikukkula, jossa hermoimpulssi (aktiopotentiaali) alun perin syntyy.
- Hermosolun kalvopotentiaalissa on kynnysarvo, joka on saavutettava aksonikukkulassa depolarisoivien vaikutusten summautumisella; kun kynnysarvo on saavutettu, syntyy yksittäinen toimintapotentiaali, joka kulkee aksonin pituutta pitkin päätepäätteisiin.
- Ranvierin solmut, jotka muodostuvat aksonia myeliinitupen sisään kietovista gliasoluista, nopeuttavat aktiopotentiaalien etenemistä.

43

Aksonikukkula, aksoni ja aktiopotentiaali

- Kun aktiopotentiaali saavuttaa viejähaarakkeiden päätepisteet, kemiallinen välittäjäaine vapautuu rakkuloista joihin välittäjäaine varastoidaan synaptiseen rakoon ja postsynaptisten solujen dendritteihin.
- Vaikutus postsynaptiseen soluun voi olla eksitatorinen (eli depolarisoiva) tai inhibitorinen (eli hyperpolarisoiva) riippuen välittäjäaineen tyypistä ja reseptorin tyypistä.
- Vaikka tietty esisynaptinen solu vapauttaa tyypillisesti vain yhden tyypistä välittäjäainetta, tietyssä postsynaptisessa solussa on useita erilaisia reseptoreita.
- On myös autoreseptoreita, joihin vapautuva välittäjäaine sitoutuu presynaptisen solun päätepisteissä. Nämä autoreseptorit antavat palautetta presynaptiselle hermosolulle, säädellen välittäjäaineen vapautumista.

44

Hermosolujen signaloinnin perusteet

- Jotta voidaan ymmärtää, miten neuronit vastaanottavat, integroivat ja välittävät tietoa, on ymmärrettävä muutamia perusmekanismeja, jotka mahdollistavat hermosignaalien välittämisen.
- Ensimmäinen keskeinen mekanismi on niin sanottu lepokalvopotentiaalın muodostuminen/ylläpito. Lepokalvopotentiaali mahdollistaa nopeat paikalliset muutokset kalvopotentiaalissa, jotka tapahtuvat depolarisaation aikana.
- Kun depolarisaatio summautuu ja leviää aksonikukkulaan, syntyy kaikki tai ei mitään -aktiopotentiaali (jota kutsutaan myös hermoimpulssiksi). (https://www.youtube.com/watch?v=W2hHt_PXe5o)

45

Hermosolun lepokalvopotentiaali ja Na⁺/K⁺-pumppu

- Neuronin kyky viestiä muiden neuronien kanssa riippuu niin sanotun lepokalvopotentiaalın jatkuvasta ylläpitämisestä.
- Tämä tarkoittaa, että solunulkoisen ja solunsisäisen tilan välillä on noin 30-70 mV:n sähköinen potentiaaliero, jolloin solunsisäinen on negatiivisempi kuin hermokalvon solunulkoisen puoli.
- Lepokalvopotentiaalia ylläpitää niin sanottu Na⁺/K⁺-pumppu, joka kuljettaa aktiivisesti kaksi K⁺-ionia solunulkoisesta tilasta solunsisäiseen tilaan ja kolme Na⁺-ionia solunsisäisestä tilasta solunulkoiseen tilaan.
- Koska paljon suuremmat, negatiivisesti varautuneet proteiinit/anionit eivät pääse kulkemaan hermosolukalvon ionikanavien läpi, syntyy negatiivinen potentiaaliero (eli muodostuu kalvon lepopotentiaali).

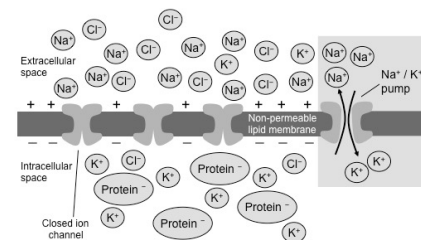
46

Hermosolun lepokalvopotentiaali ja Na⁺/K⁺-pumppu

- Toisaalta Na⁺ vetää puoleensa kohti solunsisäistä tilaa sekä konsentraatiogradienttinsa että sähköisen gradienttinsa ansiosta, mutta se ei pääse solukalvon läpi, elleivät sen läpi päästävät ionikanavat avaudu.
- Tämä mahdollistaa sen, että hermokalvo voi siirtyä hyvin nopeasti negatiivisesta lepokalvopotentiaalista positiiviseen kalvopotentiaaliin (eli kun Na⁺-ille läpäisevät ionikanavat avautuvat). Tätä ilmiötä kutsutaan depolarisaatioksi

47

Hermosolun kalvon lepopotentiaali ja Na⁺/K⁺-pumppu <https://www.youtube.com/watch?v=tzF2Wv6KL>

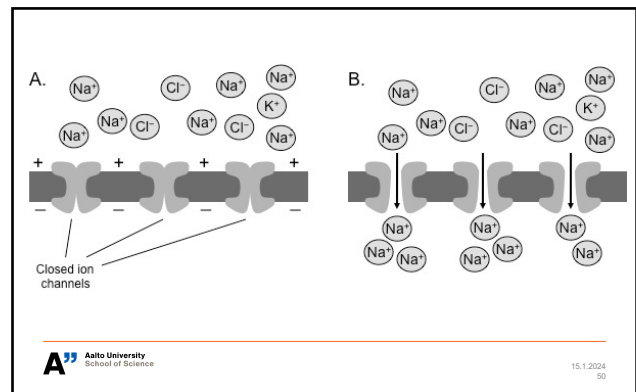


48

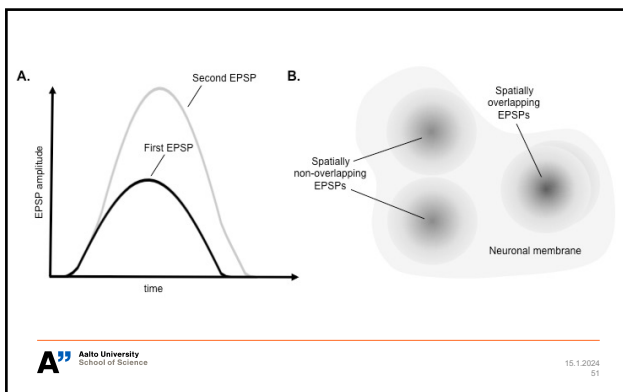
Depolarisaatio ja hyperpolarisaatio

- Hyperpolarisaatio on depolarisaation vastavoima. Hyperpolarisaatio tapahtuu, kun ionikanavat, jotka mahdollistavat negatiivisesti varautuneiden ionien sisäänvirtauksen (tai joissakin tapauksissa positiivisesti varautuneiden ionien ulosvirtauksen pitoisuusgradienttiaan pitkin), avautuvat.
- Näiden kanavien avautuminen käynnistyy, kun tietyt välittäjäaineet sitoutuvat tiettyihin reseptoreihin. Hyperpolarisaatiota kutsutaan myös inhibitoriseksi postsynaptiseksi potentiaaliksi (IPSP).
- IPSP:t kohdistuvat usein pikemminkin solurunkoon kuin distaalisii dendritteihin, jolloin ne estävät tehokkaammin depolarisaation indusoimien EPSP:iden siirtymisen distaalisista dendriteistä aksonikumpareeseen.

49



50



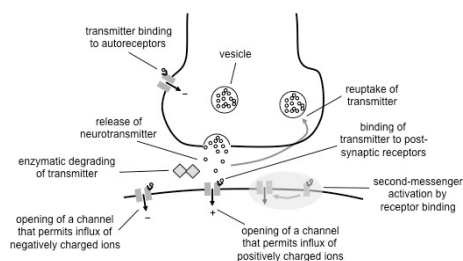
51

Aktiopotentialin syntyminen

- Kun kalvopotentiaaliero pienenee aksonikukkulassa -50 mV:iin (tyypillisissä neuroneissa, joiden lepokalvopotentiaali on -70 mV) EPSP:iden aiheuttaman depolarisaation kasautumisen vuoksi, niin sanotut jänniteohjatut ionikanavat avautuvat ohimenevästi.
- Tämä johtaa Na⁺:n ja/tai Ca²⁺:n nopeaan sisäänvirtaukseen, ja kalvopotentiaali muuttuu nopeasti positiiviseksi (toisin kuin negatiivinen lepokalvopotentiaali).
- Ilmiö on hyvin ohimenevä, sillä jänniteohjatut kanavat sulkeutuvat nopeasti ja Na⁺/K⁺-pumppu palauttaa kalvon lepopotentialin.
- https://www.youtube.com/watch?v=W2hHt_PXe5o
- Useimmat hermosolut voivat laukaista aktiopotentialin 200-300 kertaa sekunnissa

52

Kemiallinen viestintä synapsissa



53

Kemiallinen viestintä synapsissa

- Reseptorin tyyppi määrää, millainen vaikutus välittäjäaineella on postsynaptiseen neuronin.
- On reseptoreita, jotka ovat suoraan kytkeytyneet ionikanaviin. Tällaiset reseptorit voivat aiheuttaa hyvin nopeasti joko depolarisaation (kun ne on kytketty ionikanaviin, jotka sallivat positiivisesti varattujen ionien sisäänvirtauksen) tai hyperpolarisaation (kun ne on kytketty ionikanaviin, jotka sallivat positiivisesti varattujen ionien sisäänvirtauksen).
- Näiden reseptorien lisäksi on reseptoreita, jotka moduloivat ionikanavia epäsuorasti niin sanottujen toisilähettimekanismien kautta. Vaikutukset ovat tällöin hitaampia ja pitkäkestoisempia kuin suoraan ionikanaviin kytkeytyneiden reseptorien tapauksessa. Autoreseptorit muodostavat vielä yhden reseptorityypin, jotka yleensä säätelevät välittäjäaineen vapautumista presynaptisesta solusta.

54

Kemiallinen viestintä synapsissa

- Usein keskushermostoon vaikuttavat lääkkeet kohdistuvat tiettyihin reseptoreihin.
- Sitoutumalla tiettyyn reseptoriin lääkkeet voivat saada aikaan saman vaikutuksen kuin endogeeniset välittäjäainemolekyylit, tehostaa välittäjäaineiden vaikutuksia tai estää reseptoreita ja siten estää välittäjäaineita sitoutumasta reseptoriin ja ionikanavia avautumasta.
- Neurotransmitterien tavoin vaikuttavia lääkkeitä kutsutaan agonisteiksi ja reseptoreita salpaavia lääkkeitä antagonisteiksi. Lisäksi erotetaan toisistaan kilpailevat ja ei-kilpailevat antagonistit, mikä kuvastaa lääkkeiden tehoa syrjäyttää endogeeninen välittäjäaine reseptorista
- Huomaa myös, että autoreseptorien antagonismi johtaa välittäjäaineen määrän lisääntymiseen synapsissa raossa vähentämällä välittäjäaineen vapautumista estäviä takaisinkytkentävaikutuksia.

55

Kemiallinen viestintä synapsissa

- Vapautunut hermovälittäjäaine puhdistuu synapsista pois kahdella mekanismilla: välittäjäainetta otetaan aktiivisesti takaisin presynaptiseen neuronin ja on olemassa erityisiä entsyymejä, jotka hajottavat välittäjäaineita
- Nykyaikaiset masennuslääkkeet vaikuttavat estämällä serotoniiniksi kutsutun välittäjäaineen (tunnetaan myös nimellä 5-hydroksitryptamiini) takaisinottoa presynaptiseen soluun, mikä lievittää serotoniinin puutetta, johon kliininen masennus on liitetty.
- Asetyylikoliinieraasi hajottaa asetyylikoliiniksi kutsuttua välittäjäainetta. Koska asetyylikoliinia puuttuu Alzheimerin tautia (yksi tärkeimmistä demensioista) sairastavilta potilailta, asetyylikoliinieraasin estäjät ovat osoittautuneet tehokkaiksi näiden potilaiden tilan parantamisessa lisäämällä asetyylikoliinin määrää synapseissa

56

Yleisimmät välittäjäaineet

- Aivojen yleisimmät välittäjäaineet ovat aminohapot glutamaatti ja gamma-aminovoihappo (GABA).
- Glutamaatti on yleisin kiihdyttävä välittäjäaine, joka sitoutuu useisiin reseptorityyppeihin, joista ehkä tunnetuin on N-metyyli-D-aspartaattireseptori (NMDA-reseptori). NMDA-reseptorit ovat erittäin tärkeitä oppimisen ja plastisuuden kannalta.
- GABA puolestaan on yleisin inhiboiva välittäjäaine. GABA-reseptoreita on erityyppisiä. Tunnetuimpia ovat GABA_A-reseptori, joka on suoraan kytketty ionikanavaan, joka avautuessaan sallii Cl⁻-n sisäänvirtauksen soluun, mikä johtaa hyperpolarisaatioon, ja GABA_B-reseptorit, jotka toimivat toisolähettimekanismilla.
- Kehittyvässä hermostossa sekä joissain rakenteissa kuten striatumissa GABA aiheuttaa kuitenkin depolarisaatiota

57

Yleisimmät välittäjäaineet

- Asetyylikoliini, dopamiini, noradrenaliini ja serotoniini ovat erittäin tärkeitä ja laajalti tutkittuja välittäjäaineita, joilla on keskeinen rooli kognitiivisissa toiminnoissa, kuten oppimisessa, muistissa ja valikoivassa tarkkaavaisuudessa.
- Asetyylikoliini oli ensimmäinen neurotransmitteri, joka löydettiin. Varhaisissa tutkimuksissa havaittiin, että motoneuronien vapauttama asetyylikoliini saa lihakset supistumaan.
- Aivoissa asetyylikoliinilla on suuri merkitys plastisuudelle ja uusien muistojen muodostumiselle.
- Katekoliamiinit dopamiini ja noradrenaliini ovat puolestaan tärkeitä tarkkaavaisuustoiminnoille.

58

Yleisimmät välittäjäaineet

- Serotoniini (jota kutsutaan myös 5-hydroksitryptamiiniksi tai 5-HT:ksi) on yhdistetty vireystilan säätelyyn, ja sen puutteella on keskeinen rooli mielialahäiriöissä
- Lisäksi on olemassa lukuisia muita välittäjäaineita, myös peptidejä, joilla on keskeinen vaikutus kognitioon. Esimerkkinä tästä voidaan mainita endogeeniset opiaatit (joita kutsutaan myös opioideiksi), kuten beeta-endorfiini, jotka vaikuttavat syvällisesti tunteisiin ja motivaatioon, ja niiden on ehdotettu olevan keskeisessä asemassa riippuvuuskien, kuten alkoholismien, kehittämisessä

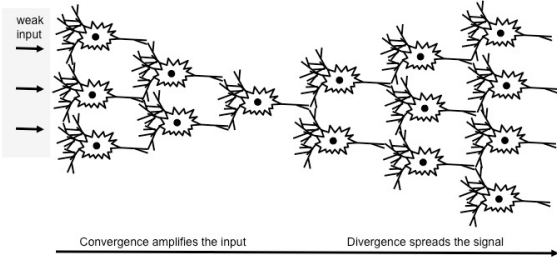
59

Hermosolut muodostavat verkostoja

- Se, että hermosolut vaikuttavat toisiinsa, muodostaa perustan toiminnallisille hermoverkoille. On olemassa muutamia periaatteita ja ilmiöitä, jotka ovat merkityksellisiä sen ymmärtämiseksi, miten neuroniverkot toimivat.
- Jos esimerkiksi vain muutama aistineuron aktivoituu, kun verkkokalvolle säteilee valopiikku, näiden neuronien ulostulon on vahvistuttava, jotta ne voivat vaikuttaa riittävään määrään aivojen neuroneja.
- Toisaalta heikosti valaistuissa olosuhteissa useiden aistineuronien tulo on integroitava, jotta heikkoja näköärsykeitä voidaan havaita.
- Näitä kahta ilmiötä kutsutaan konvergenssiksi ja divergenssiksi.

60

Hermosolut muodostavat verkostoja

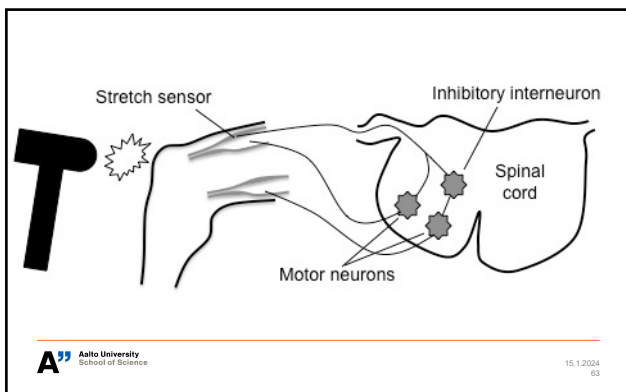


61

Hermosolut muodostavat verkostoja

- Muita havainto- ja kognitiivisten toimintojen kannalta merkityksellisiä verkkotason ilmiöitä ovat hermosolupopulaatioiden oskilloiva aktiivisuus ja se, miten hermosolupopulaatiot moduloivat toisiaan inhiboivien ja eksitoivien yhteyksien kautta käyttäytymisen säätelyyn.
- Jälkimmäisestä yksinkertaisena esimerkkinä se, miten inhibition ja eksitaatio vaikuttavat polven refleksi reaktiossa.
- Kun polveen lyödään vasaralla, venytys saa tietyt neuronit depolarisoitumaan, jolloin aktiopotentiaalit lähtevät selkäyttimeen. Selkäytimessä nämä signaalit depolarisoivat motorisia neuroneja, jotka hermottavat jalan ojentajalihaksia, jolloin jalka supistuu.
- Jos antagonistinen fleksorilihas ei kuitenkaan rentoutuisi samaan aikaan, refleksi ei toimisi. Venytysherkkä neuronit kiihdyttää selkäytimessä taivuttajalihasta hermottavaa motoneuronia inhiboivaa interneuronia.

62



63

Hermosolut muodostavat verkostoja

- Inhibitoristen interneuronien mahdollistama hermosolupopulaatioiden oskillaatio eri taajuuksilla on ilmiö, joka on herättänyt paljon kiinnostusta. Tietoisuuden ja oskillaatorisen toiminnan välille on oletettu yhteyksiä.
- Aivan kuten edellä kuvattu signaalien divergenssi, useiden neuronien aktiivisuuden ajallinen synkronointi (vaiheiden lukittuminen) mahdollistaa populaatiosignaalin syntyminen (ajallisen synkronoinnin vuoksi).
- Aivoalueiden välisen oskillaatioaktiivisuuden vaihelukitus voisi selittää sen, miten anatomisesti erillisillä alueilla tapahtuva havaintokohteiden eri piirteiden (kuten omenan punaisen värin, ominaismuodon ja tekstuurin) rinnakkainen prosessointi sidotaan yhteen, jotta kohteen koherentti havaitseminen olisi mahdollista.

64

Keinotekoiset hermoverkot

- Hermosolujen verkostomainen toiminta on aikoinaan innoittanut keinotekoisien hermoverkkojen keksimiseen TKK:n professori Teuvo Kohosen toimesta
- <https://www.youtube.com/watch?v=rEDzUT3ymw4>
- Nykyään keinotekoisia hermoverkkoja käytetään laajalti hyvin erilaisissa sovelluksissa

65

Yhteenveto: hermosolut

- Ihmisäivoissa on valtaisa määrä neuroneja joiden dynaamisen vuorovaikutuksen ja verkostoitumisen kautta mahdollistuvat mm. havaitseminen, ajattelu, tunteet ja tietoisuus.
- Lepokalvopotentiaalini ylläpitäminen mahdollistaa nopean depolarisaation ja siten hermosolujen signaalinvälityksen
- Toisaalta kokonaisneuronipopulaatioita voidaan estää laukaisemasta toimintapotentiaaleja vapauttamalla GABA:n kaltaisia välittäjäaineita, jotka johtavat hyperpolarisaatioon
- Kemiallinen viestinvälitys mikroskooppisen pienissä pre- ja postsynaptisten neuronien välisissä kosketuspisteissä, synapseissa, on lukuisten keskushermostoon vaikuttavien lääkkeiden kohde

66