

NBE-C2300 Biologinen psykologia


Iiro P. Paakkiläinen, professori

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

1

Luento 5:

- **Kieli**
- **Toiminnan ohjaus**


 5.2.2024 2

2

Kieli on monipuolinen taito

Ihmisen kieli on monipuolinen taito. Voidakseen viestiä tehokkaasti ihmisen on tunnettava eri sanojen merkitykset (semanttinen tieto) ja hallittava kielioppi riittävästi, jotta hän voi järjestää sanat ymmärrettävällä tavalla.

Lisäksi lukemisen ja kirjoittamisen edellytyksenä on myös ortografinen (miten sanat kirjoitetaan) ja fonologinen (miten sanat äännetään) tietämys. Tässä suhteessa eri kielten välillä on vaihtelua, sillä englannin kielessä on huomattavaa monitulkintaisuutta (koska kirjoitettu muoto ja ääntäminen eivät vastaa yksi yhteen) ja esim. suomessa kirjoitettu muoto ja ääntäminen vastaavat yksi yhteen.

 5.2.2024 3

3

Kieli on erityinen ihmislaajin ominaisuus


On sanottu usein, että kaikista lajeista ihminen on ainoa, joka kykenee abstraktiin kielelliseen viestintään.

Jossain määrin on kiistelty siitä, onko kieli vain ihmiselle ominaista (eli onko "puhe erityinen") ja onko muilla eläimillä kielen kaltaisia kommunikatiivisia kutsuja ja eleitä.

Osoituksia kielellisestä kyvystä muilla lajeilla on saatu tutkimuksissa, joissa kädellisille opetettiin viittomakieltä mutta tämä ei vastaa ihmisen käyttämän kielen abstraktia ja monimutkaista ilmaisua.

Delfiineillä on myös todettu olevan kieltä ainakin alkeellisesti vastaavaa viestintää.

<https://www.youtube.com/watch?v=Y5JqEopnC9w>

 5.2.2024 4


4

Kielen behavioraalisia tutkimuksia

Ihmiskielen sanavarasto (jota kutsutaan myös "mentaaliseksi sanastoksi") on erittäin laaja, ja sanojen määrä vaihtelee kielestä riippuen kymmenistä tuhansista satoihin tuhansiin.

Sanaston suhteellinen koko riippuu siitä, miten lasketaan ja minkälainen kieli on kyseessä, esimerkiksi lasketaanko vain juurisnat (jolloin niin sanotut eristävät kielet näyttävät olevan muita kieliä suurempia) vai lasketaanko vain nykyisin käytetyt sanat.

Kunakin ihmiskielen sanavarasto on kuitenkin erittäin rikas, mutta jokainen sana on suhteellisen helposti saatavilla, koska sanoja tuotetaan ja ymmärretään noin kolme sekunnissa (yksittäisen sanan keskipituudessa on tietenkin vaihtelua kielten välillä).

 5.2.2024 5


5

Kielen behavioraalisia tutkimuksia

On havaittu, että arkielämässä useammin käytetyt sanat löytyvät nopeammin kuin harvemmin käytetyt sanat.

Useammin käytetyt sanat myös kehittyvät hitaasti. Esimerkiksi sanat "kaksi" ovat eurooppalaisissa kielissä melko samanlaisia, sen sijaan sanat "hännälle" ovat melko erilaisia.

Usein esiintyvien sanojen lisäksi sanat, jotka ovat ääntämiseltään ainutlaatuisempia, omaksutaan nopeammin kuin sanat, jotka ovat akustisesti vähemmän ainutlaatuisia (esimerkiksi englannin kielen sanat "eight", "late" ja "rate" kuulostavat samalta; homofonit, kuten "too" ja "two", ovat tästä myös hyvä esimerkki).

 5.2.2024 6

6

Kielen behavioraalisia tutkimuksia

Käyttäytymistutkimukset ovat osoittaneet, että semanttisesti lähellä toisiaan olevat sanat näyttävät olevan lähellä toisiaan myös aivojen representaatioiden tasolla. Priming-tutkimukset perustuvat koeasetelmaan, jossa kaksi sanaa esitetään peräkkäin. Ensimmäinen sana on prime ("alustaja") ja toinen sana on testisana. Testisana on joko oikea sana tai epäsana.

Koehenkilöiden tehtävänä on painaa mahdollisimman nopeasti reaktioaikapainiketta, jos he arvioivat testisanan olevan oikea sana.

Jos ensimmäinen sana on semanttisesti lähellä testisanaa, reaktioajat ovat nopeampia kuin jos nämä kaksi eivät ole semanttisesti yhteydessä toisiinsa. Esimerkiksi kuorma-auto ja rekka -pari johtaa nopeampiin reaktioihin kuin ruusu ja auto -pari.

7

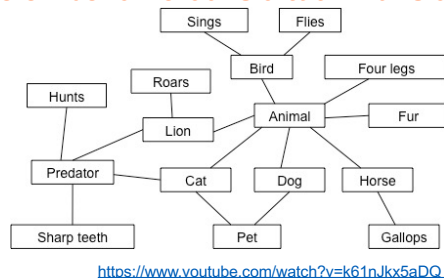
Kielen behavioraalisia tutkimuksia

Näiden tutkimusten tulosten perusteella on voitu rakentaa sanojen semanttisia verkkoja, joissa semanttiset käsitteet ovat verkon solmuja ja solmujen välillä on linkkejä, jotka kuvaavat solmujen välisiä semanttisia yhteyksiä.

Verkossa oleva etäisyys (eli kahden käsitteen välisten linkkien määrä) kuvastaa etäisyyttä semanttisessa avaruudessa. Oletetaan, että sanan tai käsitteen esittäminen johtaa aktivoitumisen leviämiseen koko semanttiseen verkkoon, mikä selittää priming-vaikutukset.

8

Kielen behavioraalisia tutkimuksia



<https://www.youtube.com/watch?v=k61nJkx5aDQ>

9

Kielen hermostollinen perusta

Suuri osa siitä, mitä nykyään tiedämme kielen hermostollisesta perustasta, perustuu tutkimuksiin, joissa neuropsykologisilla testipatteristoilla tutkitaan kielihäiriöitä aivovauriopotilaille.

Potilastutkimuksissa on esimerkiksi osoitettu, että puhumista, ymmärtämistä, lukemista ja kirjoittamista, säätelevät osittain erilaiset hermostolliset mekanismit, ja jokainen näistä kyvyistä voi aivovaurion jälkeen häiriintyä erikseen.

On esimerkiksi aivovaurioituneita potilaita, jotka pystyvät kirjoittamaan ajatuksiaan paperille, mutta eivät pysty lukemaan, mitä he itse juuri kirjoittivat.

Ranskalainen lääkäri Broca ensimmäisenä kuvasi potilaan, joka pystyi aivovaurion jälkeen lausumaan vain yhden sanan "tan".

10

Kielen hermostollinen perusta

Hänen potilaansa kykeni edelleen ymmärtämään puhetta, vaikka hän oli menettänyt kykynsä puhua. Kun potilas oli myöhemmin kuollut, Broca suoritti ruumiinavauksen selvittääkseen, mitkä aivojen osat olivat vaurioituneet. Paljastui vaurio joka käsitti suunnilleen vasemmanpuoleisen alemman otsalohkopoimun pars triangularis ja pars opercularis osat. Tämä on tullut laajalti tunnetuksi Brocan alueena.

Tämän varhaisen havainnon jälkeen afasiaa, jossa puheen tuottaminen on estynyt, kutsutaan Brocan afasiaksi (afasia tarkoittaa "ei puhetta" ja dysfasia viittaa lievempään tilaan ja/tai tilaan, joka koskee kehittyviä aivoja).

11

Kielen hermostollinen perusta

Myöhemmissä potilastutkimuksissa Brocan alueen vaurioihin on liittynyt myös häiriöitä kyvyssä tuottaa kieliopillisesti oikeita lauseita. Nämä potilaat saattavat esimerkiksi jättää lauseesta "Ulkona on pimeää" pois sanan "on" ja lausua vain "ulkona pimeää". Lisäksi, vaikka potilaiden pitäisi toistaa lause, kun se esitetään heille, he eivät välttämättä pysty toistamaan lausetta oikein, vaan lausuvat vain "ulkona pimeää".

Pian Brocan havaintojen jälkeen itävaltalainen lääkäri Carl Wernicke raportoi potilaansa vasemman ohimolohkon aivovauriosta, johon liittyi kyvyttömyys ymmärtää puhetta (Wernicke, 1874). Tähän liittyi sujuvan mutta käsittämättömään puheen tuottamiseen ("parafasiat"), joka johtui puheäänteiden ja kokonaisten sanojen korvaamisesta.

12

Kielen hermostollinen perusta

Toisin kuin Brocan alueen vaurioista kärsivät potilaat, nämä potilaat voivat kuitenkin tuottaa kieliopillisesti ehjiä lauseita, joissa on vain vähän järkeä. " *I was over in the other one, and then after they had been in the department, I was in this one* " on esimerkki Wernicken afasiasta kärsivän potilaan tuottamasta lausetyypistä. Nämä potilaat näyttävät lisäksi ymmärtävän huonosti, että muilla on vaikeuksia ymmärtää heidän puhettaan.

13

Kielen hermostollinen perusta

Kun huomattavalle määrälle potilaita tehtiin Brocan ja Wernicken alueiden kartoitus, joka perustui leikkausta edeltävään sähköiseen stimulaatioon, havaittiin, että puheen tuottamisen (jota testattiin nimeämistehtävällä) ja ymmärtämisen kannalta kriittiset alueet olivat yksittäisillä potilailla tarkemmin lokalisoituneita kuin mitä aiempien aivoleesiopotilailla tehtyjen tutkimusten perusteella on luultu.

Testattujen kielellisten toimintojen kannalta kriittisiksi katsottujen alueiden tarkassa sijainnissa oli myös huomattavaa yksilöiden välistä vaihtelua. Tämä yksilöiden välinen vaihtelu aivotointojen lokalisoinnissa on yksi suurimmista haasteista myös neurokuvantamistutkimuksissa, joissa tiettyjen tehtävien aikaisia aktiivisuksille tarkastellaan ryhmätasolla.

14

Kielen hermostollinen perusta

Carl Wernicken ja Paul Brocan havaintojen innoittamana toinen neurotieteilijä Norman Geschwind kehitti myöhemmin vaikutusvaltaisen mallin puheen havaitsemisesta ja tuottamisesta. Tämä malli on Wernicke-Geschwind-malli.

Mallissa oletetaan, että kun ihminen kuuntelee puhuttuja sanoja, syöte kulkee primaarisen kuuloaivokuoren kautta Wernicken alueelle, jossa tapahtuu kuullun ymmärtäminen. Wernicken alue välittää puhussaan tietoa arcuate fasciculusta pitkin Brocan alueelle, joka muuntaa syötteet puheen motorisiksi käskyiksi, jotka käynnistävät motorisen järjestelmän kautta tarvittavan artikulaatioiden sarjan.

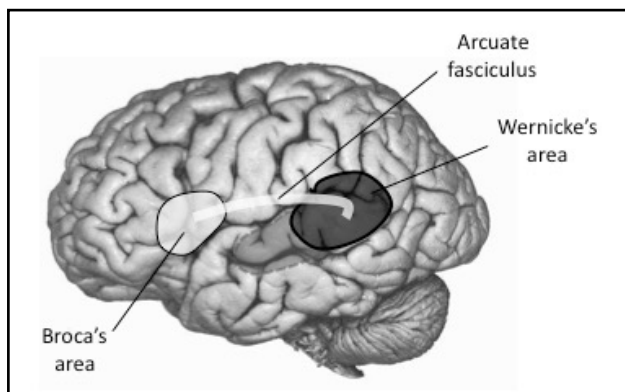
15

Kielen hermostollinen perusta

Lukeminen puolestaan edellyttää tiedon siirtymistä näköaivokuorelta Wernicken alueelle. Wernicken alueen ja tiettyjen muiden aivoalueiden välisten yhteyksien katkaisemisen malli ennustaa johtavan tiettyihin kielellisiin häiriöihin, kuten lukutaidottomuuteen.

Toinen oire, josta kärsivät potilaat, joilla Brocan ja Wernicken alueita yhdistävä rata, nimeltään arculae fasciculus, on kyvyttömyys toistaa kuulemaansa. Tätä erityisongelmaa kutsutaan johtumisafasiaksi. Nykyään tiedetään, että Wernicke-Geschwindin malli on liian yksinkertainen, mutta se toimii hyvänä esimerkkinä siitä, miten teoreettisen mallin avulla voidaan muodostaa testattavia hypoteeseja kognitiivisessa neurotieteessä.

16



17

Vasen aivopuolisko ja kieli

Brocan ja Wernicken (ja myös myöhempien tutkijoiden) havainnot ovat osoittaneet, että kielelliset häiriöt seuraavat pääasiassa vasemman aivopuoliskon vaurioista. Vasemman ja oikean aivopuoliskon roolien erot ovatkin selkeä havainto potilastutkimuksissa. Suurimmalla osalla potilaista (> 90 %) vasen aivopuolisko hallitsee kielenkäyttöä. Tämä luku tosin riippuu kätisyydestä: 50 prosentilla vasenkätisistä oikea aivopuolisko on puheen hallitseva aivopuolisko.

Vaikka joissakin tutkimuksissa on todettu, että kielellinen lateralisaatio on voimakkaampaa miehillä kuin naisilla, tämä ei ilmiönä näytä olevan konsistentti.

18

Vasen aivopuolisko ja kieli

Aivovaurioituneilla potilailla saadut havainnot vasemman aivopuoliskon kielellisestä dominanssista saavat tukea niin sanotussa Wada-testissä tehdyistä havainnoista. Tässä testissä rauhoittavaa barbituraattia annetaan sisäisten kaulavaltimoiden kautta yhteen aivopuoliskoon kerrallaan. Tämä johtaa kohteena olevan aivopuoliskon inaktivoitumiseen, mikä mahdollistaa kummankin aivopuoliskon kielellisten kykyjen testaamisen erikseen. Näissä tutkimuksissa on havaittu, että vasemman aivopuoliskon inaktivointi johtaa puheen ja kielen ymmärtämisen menetykseen paljon useammin kuin oikean aivopuoliskon inaktivointi.

19

Vasen aivopuolisko ja kieli

Neurokuvantamistutkimuksissa aivopuoliskojen väliset erot kielitehtävien aikana tapahtuvan aivotoiminnan laajuudessa ovat toisinaan olleet yllättävän vähäisiä. On kuitenkin löydöksiä, jotka viittaavat siihen, että kun hyödynnetään erityyppisten kielitehtävien yhdistelmää, neurokuvantamistulokset antavat samankaltaisia kielilateralisointituloksia kuin voitaisiin ennustaa potilas- ja Wada-testitulkimusten tulosten perusteella.

Vaikka vasen aivopuolisko on kielellisten toimintojen kannalta merkittävämpi kuin oikea valtaosalla henkilöistä, oikealla aivopuoliskolla on ainakin alkeellisia kielellisiä kykyjä ja se osallistuu kielen prosessointiin. Lisäksi oikea aivopuolisko on merkittävämpi mm. emotionaalisen prosodian ja laulamisen kannalta.

20

Kieli voi häiriintyä useilla eri tavoilla

Klassisten Brocan ja Wernicken afaasioiden lisäksi on muitakin tapoja, joilla puhe- ja kielitoiminnot voivat häiriintyä aivovaurion jälkeen. Puhdas sanakuurous viittaa tilaan, jossa potilaan auditiivinen erottelukyky on suhteellisen säilynyt, mutta hän ei pysty ymmärtämään sanoja/puheäänteitä. Neuroanatomisesti puhdas sanakuurous on yhdistetty keskimmäisen ohimolohkon vaurioon, mutta se voi johtua myös aivojen alueiden välisen yhteenkytkennän vaurioitumisesta.

Anomialla tarkoitetaan tilaa, jossa potilas ei kykene muistamaan sanoja ja nimiä; toisin kuin Brocan afasiaa sairastavien potilaiden nimeämisvaikeudet, anomiasa ei välttämättä ole kielioppiongelmia, ja potilaat pystyvät kiertoteitse kuvaamaan, mitä he tarkoittavat.

21

Kieli voi häiriintyä useilla eri tavoilla

Aleksialla tarkoitetaan lukemisvaikeutta, joka johtuu aivovauriosta, joka on tyypillisesti kohdistunut puhetta hallitsevaan vasempaan aivopuoliskoon, ja samanlaisia ongelmia (vaihtelevan vaikeusasteen) esiintyy myös lukihäiriössä.

Agrafialla puolestaan tarkoitetaan kyvyttömyyttä (tai vaikeutta) kirjoittaa, jota ei voida selittää älykkyyden yleisellä heikkenemisellä, halvaantumisella tai muulla toissijaisella vammalla.

Sanojen sujuvuuden häiriö, testi, jossa koehenkilöä pyydetään tuottamaan tietyn lyhyen ajan kuluessa mahdollisimman monta sanaa, jotka alkavat tietyllä kirjaimella, on tyypillisesti seurausta otsalohkon vauriosta, ja se ilmenee puheen köyhtymisenä.

22

Kieli voi häiriintyä useilla eri tavoilla

Määritellyllä kirjaimella alkavien sanojen puute, säännön rikkominen (toisinaan jollain muulla kirjaimella alkavien sanojen tuottaminen) ja perseveraatiovirheet (saman sanan toistaminen) ovat kukin ongelmia, joita ilmenee tässä tehtävässä otsalohkopotilailla.

Aivovauriolöydöksiä tukevista neurokuvantamistutkimuksissa havaittiin terveillä koehenkilöillä aktiivisuutta vasemmassa alemmassa otsalohkon gyrusissa, anteriorisessa cingulaarisessa gyrusissa ja ylemmässä otsalohkon sulcusissa sanojen sujuvuustehävän aikana, toisin kuin sanojen toisto- ja antonyymimuodostustehtävissä

23

Oikea aivopuolisko ja kieli

Suurin osa kieliongelmista on tyypillisesti seurausta vasemman aivopuoliskon vammoista, mutta oikean aivopuoliskon, erityisesti otsalohkon, vaurio voi johtaa prosodian puuttumiseen. Tämä tarkoittaa sitä, että potilas puhuu tasaisella, ei-emotionaalilla äänellä, eikä tunneilmaisua, kuten huudahduksia ja tunnesävyjä, ole.

Jotkut potilaat, joilla on vaikea Brocan afasia, eivät kykene puhumaan, mutta pystyvät kuitenkin kommunikoimaan ajatuksiaan sujuvasti laulamalla.

Kieli- ja puhehäiriöiden laaja kirjo kuvaa kielitaidon monitahoista luonnetta; yhden ainoan kielitoiminnon sijasta on useita toimintoja, joita ainakin osittain hoitavat eri aivoalueet ja/tai erilliset aivoalueverkostot.

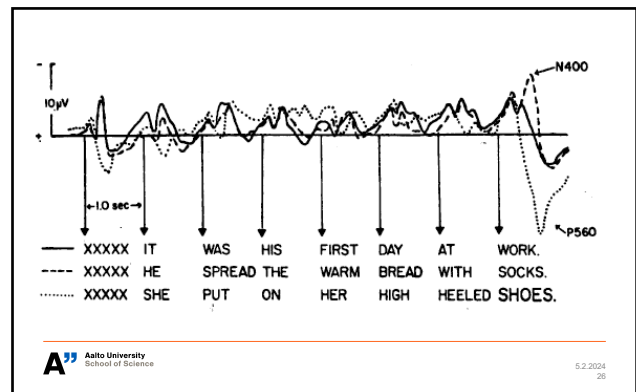
24

Semanttinen epäjohdonmukaisuus saa aikaan N400-vasteen

Nauhoittamalla elektroenkefalogrammijaksoja, jotka oli ajallisesti sidottu lauseen sanojen alkamiseen, Marta Kutas ja Steven Hillyard havaitsivat vasteen joka alkoi noin 250 ms:n kohdalla ja saavutti huippunsa noin 400 ms:n kohdalla, kun lauseessa esiintyi semanttisesti inkongruentti sana (esim. "Hän otti kulauksen lähettimestä").

Tämä nk. N400-vaste syntyyne semanttisten ennusteiden muodostamisen tuloksena kontekstin ja edeltävien sanojen perusteella aivoalueiden verkostossa, johon kuuluvat keskimäinen ohimolohko, etummainen ohimolohko, angulaariopimu ja alempi otsalohko

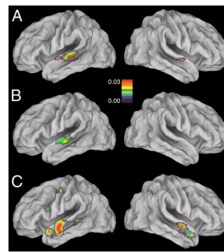
25



26

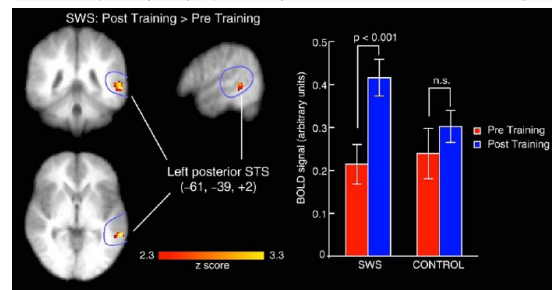
Puheäännet aktivoivat ohimolohkon anterioriset ja lateraaliset osat

Aivokuvantamistutkimuksissa aivojen herkkyys ei-verbaaliselle vs. verbaaliselle ärsykkeelle aktivoi alueita, jotka sijaitsevat primaarisen kuuloaivokuoren etu- ja ventraalipuolella ohimolohkon lateraalipinnalla, toisin kuin ohimo-paraetaalikuoren risteyksessä, jota on perinteisesti pidetty Wernicken alueena. Nämä havainnot vastaavat melko hyvin sitä, mitä Wernicke alun perin kuvasi puheen reseptiiviseksi alueeksi; vasta myöhemässä kirjallisuudessa temporaali-parietaalinen risteys on nimetty Wernicken alueeksi.



27

Sine-wave speech (SWS) <https://www.youtube.com/watch?v=GCITIKKAhVE>



28

Puheen havaitsemisen motorinen teoria

Puheen havaitsemisen aikana tapahtuva posteriorinen temporaalinen / parietaalinen aktivoituminen saattaa johtua puheäänien kartoittamisesta motoriseen tietoon siitä, miten puheäänien artikuloidaan.

Tämä tapahtuu luultavasti rinnakkain sen kanssa, että puheäänien analysoidaan kuuloaistin piirteiden perusteella primaarisen kuuloaivokuoren etupuolella / ventraalisesti.

Puheen havaitsemisen motorinen teoria juontuu 1960 luvulta ja primaarisen kuuloaivokuoren posterioriset alueet, inferiorinen parietaalilohko ja otsalohkon motoriset alueet näyttävät olevan olennaisia puheen prosessoinnissa joka perustuu siihen että puheäänien kartoitetaan artikulaatiokoodiin

29

Puheen havaitsemisen motorinen teoria

Puheenäänteiden spektrogrammeista on helppo nähdä, että puheäänien, joita kutsutaan foneemeiksi, eivät ole muuttumattomia, vaan niiden spektrotemporaalinen koostumus riippuu foneettisesta kontekstista, jossa ne lausutaan. Tätä ilmiötä kutsutaan yhteisartikulaatioksi.

Esim. /s/ on akustisesti erilainen sanoissa "seat" ja "suit". Koska /s/ ei edellytä huulten käyttöä, viereisten äänteiden ääntämiseen liittyvät huulien liikkeet (kuten huulten pyöristäminen /u:/n aikana sanassa suit) voivat alkaa /s:/n aikana.

Samoin /p/ sanassa "port" on melko erilainen kuin /p/ sanassa "sport", mutta /p:/n foneettinen identiteetti säilyy.

30

Puheen havaitsemisen motorinen teoria

Kehityksen aikana vauva saa ajallisesti samanaikaisia visuaalisia, auditiivisia ja motorisia syötteitä puheen havaitsemisen aikana koska pienillä vauvoilla on taipumus yrittää jäljitellä hoitajiensa puhetta samalla, kun he tarkkailevat hoitajan kasvoja.

Nämä syötteet konvergoituvat takimmaisilla temporaalialueilla pikemminkin kuin anteriorisilla/ventraalisilla alueilla kuulo-, näkö- ja motoristen järjestelmien anatomisen yhteenkytkeytyneisyyden vuoksi.

Tämä voi johtaa siihen, että primaarisen kuuloaivokuoren takimmaisten alueiden hermosolujen reseptiiviset kentät muokkautuvat siten, että ne havaitsevat äänipiirteitä jotka korreloivat motoristen ja visuaalisten vihjeiden kanssa

31

Puheen havaitsemisen motorinen teoria

Visuaalinen puhe (huulten ja kielen asento) voi antaa täydentävää informaatiota, joka auttaa erottamaan auditiivisen puheen erityisesti meluisissa olosuhteissa ja ristiriitainen visuaalinen informaatio voi tuottaa illusorisia puhehavaintoja

<https://www.youtube.com/watch?v=2k8fHR9jKVM>

Joidenkin puheäänteiden osalta kielen asento ja huulten muodot välittävät vähemmän monitulkintaista tietoa kuin itse puheäännet.

Tämän vaikutuksen alkuperä on todennäköisesti visuaalis-auditiivisessa vuorovaikutuksessa jo primaarisella kuuloaivokuorella ja puheen motorisella järjestelmällä on ehdotettu olevan keskeinen rooli myös audiovisuaalisessa puheen integroinnissa.

32

Käsitteiden taustalla on hajautettuja representaatioita

Neurokuvantamistutkimukset, ovat tuottaneet tuloksia jotka tukevat ajatusta siitä että kielen taustalla ovat useista aivoalueista ja/tai prosessointivirroista koostuvat verkostot.

Eri käsitteitä (esim. asunnot vs. työkalut) vastaavat aktiivisuusmallit toistuvat johdonmukaisesti eri koehenkilöillä ja eri kielillä.

Kielelliset representaatiot aivoissa eivät rajoitu yhteen ainoaan aivokuoren "kielialueeseen", vaan kielellisten representaatioiden taustalla on toimintaa useilla eri aivoalueilla.

Esimerkiksi työkalujen käsitteisiin liittyy aivoalueiden aktivoituminen, joita hyödynnetään motorisen työkalujen käytön aikana.

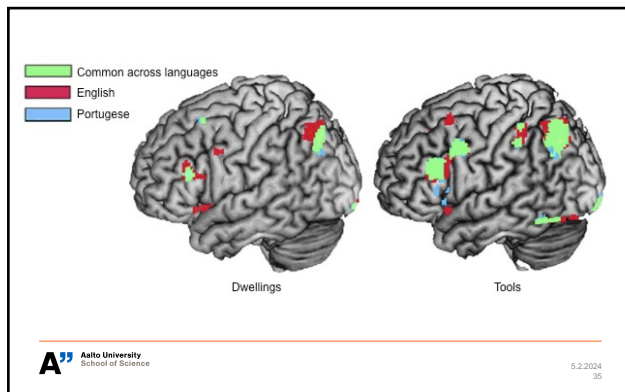
33

Käsitteiden taustalla on hajautettuja representaatioita

Tämä viittaa siihen, että käsitteelliset representaatiot ovat ainakin jossain määrin ruumiillistuneita (embodied). Lisäksi se, että semanttisesti samankaltaiset käsitteet (kuten asunnot ja työkalut) aktivoivat samankaltaisia malleja hajautetuilla alueilla, selittää mahdollisesti tulokset käyttäytymistutkimuksista, joissa semanttisesti samankaltaiset sanat pohjustivat toistensa käsittelyä.

Näyttää siltä, että semanttisesti samankaltaiset käsitteet ovat representoituneet vierekkäin myös aivokuorella (ehkä osittain niiden ruumiillisuuden tavoista johtuen), ja näin ollen aktivaation leviäminen voi alentaa kynnystä myöhemmin esitetyn semanttisesti liittyvän käsitteen käsittelylle.

34



35

Käsitteiden taustalla on hajautettuja representaatioita

Hajautettuja representaatioita mitaamalla voidaan myös "lukea ajatuksia". Kun aivojen aktiivisuus on ensin mitattu käsitteiden esittämisen aikana eri muodoissa (esim. sana- ja kuvamuodossa) toiminnallisen magneettikuvauksen avulla, voidaan koneoppimisalgoritmeja käyttää löytämään yhteisiä, käsitteitä edustavia, hajautettuja representaatioita.

Myöhemmissä mittauksissa koehenkilön ajattelimia käsitteitä voidaan tunnistaa (eli "lukea ajatuksia") hajautettujen representaatioiden mittauksen avulla.

36

Yhteenveto: Kieli

Kieli on ainutlaatuinen inhimillinen kyky. Se mahdollistaa abstraktin ajattelun, yhteisten käsitteiden, monimutkaisten sosiaalisten vuorovaikutussuhteiden, kehityneiden kulttuurien syntyminen.

Kielen häiriöt potilailla, joilla oli fokaalisia aivovaurioita, antoivat ensimmäiset havainnot kielen hermostollisesta perustasta.

Nykyaikaiset aivokuvantamiskokeet ovat paljastaneet useita aivoalueita ja rinnakkaisia prosessointipolkuja, jotka käsittelevät puheääniä.

Puheen motoristen sekvenssien tunteminen vaikuttaa puheen tuottamisen lisäksi myös puheen havaitsemiseen.

Käsitteet ovat representoitu aivoissa hajautettuina aktiivisuussalleina.

Kieli tukee muita kognition osa-alueita, kuten käyttäytymistä ohjaavien tavoitteiden muotoilua ja ongelmanratkaisua

37

Toiminnan ohjaus

- Toiminnan ohjauksella tarkoitetaan erilaisia korkeamman asteen kognitiivisia toimintoja, jotka mahdollistavat organisoidun ja tavoitehakuksen käyttäytymisen. Tarkastellaan tätä ensin kahden esimerkkipotilaan kautta:

- A on saanut aivovamman liikenneonnettomuudessa. Sairaalassa hän näyttää toipuvan hyvin. Hän pystyy suoriutumaan suhteellisen hyvin tavanomaisista älykkyysosumäärätesteistä sekä muista kliinisessä neuropsykologisessa tutkimuksessa käytettävistä testeistä, kuten muisti- ja tarkkaavaisuustesteistä. Sairaalasta päästyään ilmenee kuitenkin yllättäviä ongelmia. Sukulaiset alkavat valittaa, että potilaan käytös vaikuttaa impulsiiviselta ja arvaamattomalta: hän myy yllällisen kotinsa muutamalla tuhannella, unohtaa maksaa kaupasta ottamiaan tavaroita ja päätyy riitoihin ystäviensä ja naapureidensa kanssa.

38

Toiminnan ohjaus

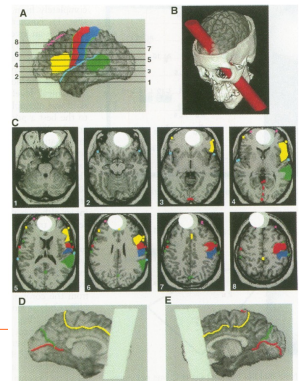
- Toiminnan ohjauksella tarkoitetaan erilaisia korkeamman asteen kognitiivisia toimintoja, jotka mahdollistavat organisoidun ja tavoitehakuksen käyttäytymisen. Tarkastellaan tätä ensin kahden esimerkkipotilaan kautta:
 - B saa aivohalvauksen. Alkuvaiheen toipumisen jälkeen hänen suoriutuua yllättävän hyvin tavanomaisista kliinisistä neuropsykologisista testeistä. Ei kuitenkaan kestä kauan, ennen kuin hänen omainsensa alkavat valittaa potilaan kotona osoittamasta apatiasta ja aloitekyvyttömyydestä. Hän ei kykene aloittamaan ja toteuttamaan mitään käyttäytymistä yksin. Jos häntä kuitenkin ohjataan ja valvotaan käyttäytymisessä, kuten aamiaisen valmistamisessa ja syömisessä, hän suoriutuu tehtävistä ilman suurempia ongelmia.

39

Toiminnan ohjaus

Näille esimerkkipotilastapauksille on yhteistä se, että molemmilla on ongelmia toiminnan ohjauksessa, jotka ovat usein seurausta aivojen otsalohkojen, erityisesti otsalohkojen etuosien, vaurioista.

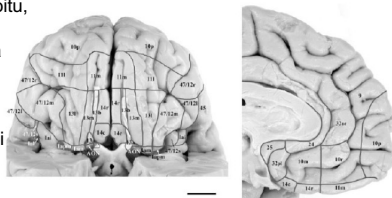
Oheisessa kuvassa on ensimmäinen dokumentoitu otsalohkovauriopotilas jolla ilmeni potilasesimerkki A:n kaltaisia oireita otsalohkovaurion jälkeen.



40

Prefrontaalikorteksi on hyvin heterogeeninen aivojen osa

Myöhemmin on dokumentoitu, että otsalohkot näyttelevät olennaista roolia erilaisissa toiminnan ohjaukseen liittyvissä toiminnoissa, ml. sosiaalinen kognitio. Prefrontaalinen aivokuori ei ole anatomisesti ja toiminnallisesti yhtenäinen



41

Prefrontaalikorteksi on hyvin heterogeeninen aivojen osa

On kuitenkin tärkeää pitää mielessä, että prefrontaalinen aivokuori ei voi yksinään selittää toiminnan ohjausta; prefrontaalisen aivokuoren rooli on pikemminkin olla keskeinen solmukohta toiminnan ohjauksen yhdessä mahdollistavien aivoalueiden verkostossa.

Prefrontaalisen aivokuoren kytkeytymismalli soveltuu ihanteellisesti tähän tehtävään, koska siinä on vastavuoroisia yhteyksiä useimpiin muihin aivoalueisiin. Näin ollen ei ole yllättävää, että prefrontaalisen aivokuoren ja muiden aivojen välisten yhteyksien vaurioituminen johtaa toiminnan ohjauksen häiriöihin.

42

Toiminnan ohjauksen osatekijät

Toiminnan ohjaus on "sateenvarjokäsite" jonka alla on useita toimintoja, esimerkiksi tavoitteiden ja suunnitelmien asettaminen sekä toimien asianmukainen järjestäminen näiden tavoitteiden saavuttamiseksi.

Toinen tärkeä kyky on inhibioida kilpailevia toimintamalleja, jotka häiritsisivät tavoitteeseen pääsemistä. Kyky estää epäolennaisten ärsykkeiden käsittely on myös valikoivan tarkkaavaisuuden osa-alue, samoin kyky valita ja käsitellä merkityksellistä materiaalia on keskeinen työmuistin osa-alue. Valikoivaa tarkkaavaisuutta ja työmuistia pidetäänkin usein toiminnan ohjauksen tärkeinä osatekijöinä.

Myös sisäistä puhetta ja kykyä itsereflektioon pidetään toiminnan ohjauksen komponentteina.

43

Toiminnan ohjauksen osatekijät

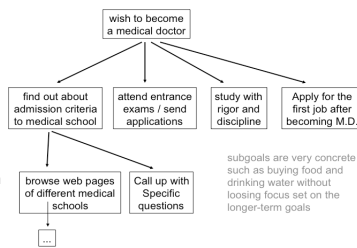
- Hierarkkisesti matalimmalla tasolla motorinen suoritus, liikkeiden ohjaaminen ja sekvensointi voidaan myös katsoa kuuluvan toiminnan ohjaukseen, näin myös sen takia että liikesevksensä suunnittelevat alueet mahdollistavat myös mentaalisen suunnittelun.
- Muistia ajateltaessa skeemat ovat myös keskeinen toiminnan ohjauksessa ja tunteet ruokkivat motivaatiota, joka on ratkaisevan tärkeää tavoitteiden asettamisessa ja sinnikkyudessa niiden saavuttamiseksi.
 - Itse asiassa ihmisellä on hyvin vähän tavoitteita tai ajattelua jotka eivät jotenkin nivoutuisi tunteisiimme.
- Päätöksenteko on myös läheinen osa toimeenpanevia toimintoja.

44

Toiminnan ohjauksen osatekijät

Jotta ihminen voisi saavuttaa minkä tahansa tärkeän päämäärän elämässään, hänen on asetettava tavoitteiden

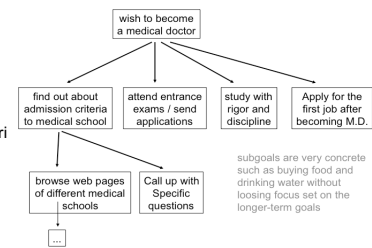
hierarkia, jossa hierarkkisesti korkeimmat tavoitteet ulottuvat paljon pidemmälle aikavälille kuin pienet osatavoitteet, jotka liittyvät esimerkiksi päivittäiseen selviytymiseen, kuten ruoan ostamiseen kaupasta ja aterian syömiseen.



45

Toiminnan ohjauksen osatekijät

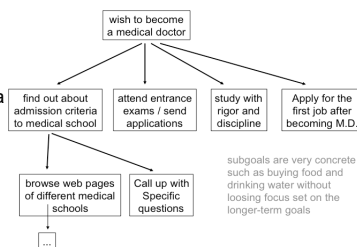
Kuviossa hahmotellussa esimerkissä halu päästä lääkäriksi edustaa korkeakouluopiskelijan pidemmän aikavälin tavoitetta. Tästä yleistavoitteesta seuraavat osatavoitteet ovat eri lääketieteellisten oppilaitosten sisäänpääsyaatimusten selvittäminen, hakemusten lähettäminen, pääsykokeisiin osallistuminen ja opintoihin keskittyminen sisäänpäästyään



46

Toiminnan ohjauksen osatekijät

Motivaatiotekijät auttavat ylläpitämään hierarkkisesti korkeamman tason tavoitteita. Joidenkin motivaatio ryhtyä lääkäriksi saattaa johtua halusta auttaa sairaita lapsia, kun taas toisella voi olla halu saada arvostettu ammatti. Motivaatiotekijät voivat myös muuttua, esim. syöpäpotilaisiin tutustua voi syttyä motivaatio haluta auttaa heitä



47

Kilpailevien impulssien vaimentaminen

Kilpailevien impulssien ehkäisy on tärkeä osa toiminnan ohjausta.

Tätä on tutkittu mm. reaktioaikatehtävillä, joissa koehenkilön on painettava nappia heidän nähdessään yhdenlaisia ärsykeitä ja olla painamatta nappia toisenlaisia ärsykeitä nähdessään (ns. Go/NoGo tehtävät). Toinen on pysäytyssignaalitehtävä, jossa pysäytyssignaali annetaan lyhyillä viiveillä kohdeärsyksen esittämisen jälkeen. Pysäytysprosessin kesto on inhibitiokyvyn mittarina.

Puute kyvyssä estää kilpailevia reaktioita, joka johtuu usein otsalohkovauriosta, erityisesti oikean otsalohkon alemmissa osissa, ilmenee jokapäiväisessä elämässä kyvyttömytenä keskittyä samanaikaisesti tehtäviin ja löyhinä assosiaatioina. Käyttäytyminen on näillä potilailla vahvasti ärsykeveetoista

48

Kilpailevien impulssien vaimentaminen

Epäonnistuminen kilpailevien impulssien inhiboinnissa aiheuttaa vaikeuksia tehtävien oikeassa järjestyksessä suorittamisessa pidemmän aikavälin tavoitteiden saavuttamiseksi.

Esim. ateriaa valmistellessaan potilas saattaa saada kilpailevan impulssin katsoa televisiota jota ei pysty tukahduttamaan, ja sen jälkeen jonkin muun impulssin, jolloin hän ei saa illallisen valmistelua päätökseen.

Lasten ADHD:ssa on ominaista kyvyttömyys estää häiritseviä ärsykeitä ja neuropsykologisessa tutkimuksessa ADHD-potilaat muistuttavat tämän osalta otsalohkovaurioisia. ADHD-lapsille on olennaista, että koulun oppimisympäristössä on mahdollisimman vähän häiritseviä ärsykeitä. Tämä auttaa heitä säilyttämään tarkkaavaisuutensa.

49

Kyky ottaa palaute joustavasti huomioon ja mukauttaa käyttäytymistä

Usein tulee tilanteita, joissa jotain tulee eteen, eikä nykyistä tavoitetta ole enää mahdollista jatkaa. Päätös valita vaihtoehtoinen reitti töihin odottamattoman ruuhkan vuoksi (esim. tien tukkivan onnettomuuden vuoksi) on tavallinen esimerkki tästä. Terve ihminen voi nopeasti keksiä vaihtoehtoisen ajoreitin, kääntyä sivukadulle ja onnistua saapumaan (enemmän tai vähemmän) ajoissa töihin. Tämä edellyttää alkuperäisen suunnitelman hylkäämistä ja uuden reitin valitsemista liikenneonnettomuuden kiertämiseksi, mutta yleinen korkeamman asteen tavoite eli ajoissa töihin pääseminen ei kuitenkaan muutu.

50

Kyky ottaa palaute joustavasti huomioon ja mukauttaa käyttäytymistä

Elämäntavoitteisiin voi kohdistua myös sellaista palautetta, joka edellyttää tavoitteiden mukauttamista.

Jos esimerkiksi on päättänyt hankkia tohtorin tutkinnon yhdestä arvostetuimmista lääketieteellisistä tiedekunnista, mutta ei pääse sinne, mutta tulee valituksi johonkin muuhun lääketieteelliseen tiedekuntaan, voi olla mahdollista muuttaa suunnitelmia ja aloittaa opinnot muualla sen sijaan, että tuhlaa aikaa valmistautumiseen uudelleenhakuun.

On hyvä huomata, että radikaalit muutokset elämäntavoitteissa voivat aiheuttaa stressiä, vaikka ne johtuisivat myönteisistä tapahtumista, kuten kymmenien miljoonien lottovoitosta.

51

Perseveraatio: kyvyttömyys mukauttaa käyttäytymistään

Joillakin otsalohkovauriopotilailla on ongelmia kyvyssä mukauttaa suunnitelmiaan negatiivisen palautteen perusteella. Tätä erityisongelmaa kutsutaan perseveraatioksi

Huom. perseveranssilla tarkoitetaan sitä vastoin tyyppillisesti asianmukaisesti määrätietoista ja sitkeää tärkeiden tavoitteiden tavoittelua.

Positroniemissiotomografiatutkimukset päävammapotilailla ovat viitanneet siihen, että dorsolateraalisen prefrontaalisen aivokuoren ja striatum vaurioituminen aiheuttaa perseveraatiohäiriötä.

52

Motorinen järjestelmä tukee toiminnan ohjausta

Toiminnan toteuttamisen hierarkkisesti alimmalla tasolla ovat yksittäiset motoriset teot (esim. raajan liikuttaminen, esineen tavoittelu ja puhuminen). Aivojen motorinen järjestelmä ei kuitenkaan rajoitu vain yksinkertaisten motoristen toimintojen suorittamiseen.

Otsalohkoissa on takaoisista-etuosiin suuntautuva aivojen alueiden hierarkia, joka vastaa yhä monimutkaisemmista motorisista sekvensseistä; tällä hierarkkisesti järjestäytyneellä aivokuoren motorisella järjestelmällä on havaittu olevan tärkeä rooli useissa kognitiivisissa toiminnoissa, kuten puheen havaitsemisessa.

53

Motorinen järjestelmä tukee toiminnan ohjausta

Motorinen järjestelmä tukee motorista mielikuvitusta ja tavoitteiden saavuttamisen suunnittelua, eli tämä tapahtuu osittain samoilla aivoalueilla, jotka toteuttavat motorisia sekvenssejä.

Prefrontaalista aivokuoresta, basaalganglioista ja talamuksesta koostuva monimutkainen aivoalueiden verkosto on vastuussa toteutettavan toiminnan valinnasta ja kilpailevien toimintojen estämisestä.

Parkinsonin tautia sairastavat potilaat, jotka ovat menettäneet suurimman osan substantia nigraa striatumiin kulkevista dopaminergisistä syötteistä, kärsivät kyvyttömyydestä käynnistää liikkeitä, mutta myös kognitiivisesta joustamattomuudesta.

54

Motorinen järjestelmä tukee toiminnan ohjausta

Erityisesti Parkinsonin tautia sairastavilla on ongelmia siirtyä joustavasti "kognitiivisesta mallista" ("cognitive set") toiseen.

Termi kognitiivinen malli viittaa tässä yhteydessä kognitiivisessa neurotieteessä toimintatapaan, joka sisältää samanaikaisen tavoitteen ja aktiiviset skeemat, jotka ohjaavat käyttäytymistä kohti tavoitetta.

Tahmeus kognitiivisen mallin vaihtamisessa Parkinson-potilailla johtuu puutoksista prefrontaalisen aivokuoren ja striatumin välisessä hemoviestinnässä, dopamiini välittäjäainetta käyttävien hermoratojen vaurioituttua

55

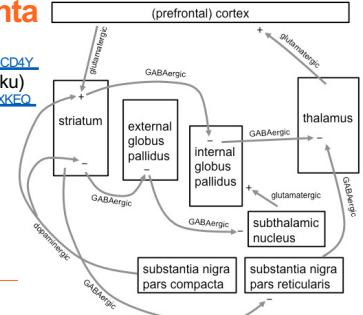
Tyvitumakkeet (basal ganglia) ja toimintojen valinta

Direct pathway (suora polku)

<https://www.youtube.com/watch?v=c-mhDChCDMY>

Indirect pathway (epäsuora polku)

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



56

Päätöksenteko

Eläinkokeissa päätöksentekoa on tutkittu vaihtelemalla todennäköisyyttä saada ruoka- tai juomapalkkioita.

Ihmisillä päätöksentekoa on useimmiten tutkittu taloudellisten päätösten tekemisen yhteydessä; koehenkilöt ovat saaneet rahallisia voittoja tai kärsineet tappioita eri todennäköisyyksillä riskinoton tason mukaan.

Myös sosiaaliset palkkiot ja rangaistukset ovat olleet tutkimuksen kohteena ja näyttää siltä että neuronaiset mekanismit ovat pitkälti samat. Tällaisissa kokeissa päätöksentekoon on huomattu liittyvän useita aivoalueita; arvostus on yhdistetty ventromediaalisen prefrontaalisen aivokuoren ja striatumin toimintaan, ja valintojen tekeminen on yhdistetty aktiviteettiin lateraalisisillä prefrontaalisilla ja parietaalisilla alueilla. Anterior insula puolestaan liittyy riskien havainnointiin

57

Valikoiva tarkkaavaisuus, työmuisti ja toiminnan ohjaus

Valikoiva tarkkaavaisuus ja työmuisti ovat keskeisiä tavoitteen kannalta merkityksellisen tiedon suodattamisessa ja aktiivisessa käsittelyssä.

Työmuistin roolia havainnollistavat esim. tilanteet, joissa on suunniteltava mielessään etukäteen tärkeä kokous. Tiedot muiden osallistujien persoonallisuuksista ja odotettavissa olevista näkökannoista on haettava ja niitä on käsiteltävä aktiivisesti, jotta tilanteesta voidaan muodostaa synteesi ja laatia asianmukainen neuvottelustrategia.

Dorsolateraalinen prefrontaalinen aivokuori on yhdistetty valikoivaan tarkkaavaisuuteen ja työmuistiin, ne ovat kuitenkin riippuvaisia laajemmista aivoalueiden verkostoista, joihin kuuluu prefrontaalisen aivokuoren alueiden lisäksi esimerkiksi parietaalilohkon alueita.

58

Muistin skeemat ja toiminnan ohjaus

Muistin representaatiot (skeemat) mahdollistavat pitkäkestoisten muistojen tallentamisen; vain merkittävimmät yksityiskohdat tarvitsee koodata kustakin tapahtumasta, sillä mieleen palautuksen yhteydessä tapahtuma rekonstruoidaan uudelleen haettaessa skeemoihin perustuvan yleisen tietämyksen ja tapahtumaan liittyvien harvojen merkittävien yksityiskohtien perusteella.

Vastaavasti merkityksellinen tieto aktivoituu skeemojen muodossa, kun suunnitellaan tulevaisuutta ja organisoidaan käyttäytymistä tiettyjen tavoitteiden saavuttamiseksi. Muistin ensisijainen tarkoitus on auttaa ennustamaan, mitä seuraavaksi tapahtuu erityisesti aikomiemme toimien seurauksena.

59

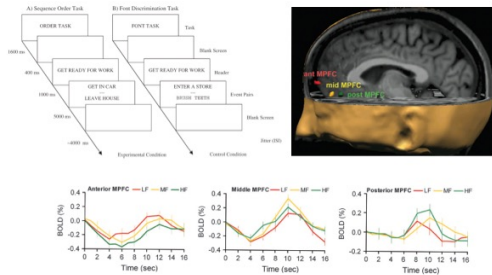
Muistin skeemat ja toiminnan ohjaus

Eräissä kokeissa koehenkilöt käsitelivät kuvauksia jokapäiväisen elämän tapahtumista aivokuvantamisen aikana. Päivittäisten elämäntapahtumien osatekijöitä (esim. "nouse autoon", "kaada muret lautaselle", "herää" ja "lähde talosta") järjestettiin kokeessa ajallisesti. Virinnyttä aivoaktivaatioita verrattiin samojen tekstien aikaansaamaan aktivaatioon, kun koehenkilöt kiinnittivät huomiota tekstin kirjaintyyppiin.

Elämäntapahtumien esiintymistiheys (eli se, kuinka tyypillisiä tai harvinaisia ne ovat) siirsi aktivaation painopistettä anterior-posterior-suunnassa ventromediaalista prefrontaalista aivokuorta pitkin. Harvinaisempien elämäntapahtumien käsittely herätti vasteita anteriorisemmillä alueilla. Yleisesti ottaen prefrontaalisella aivokuorella näyttää olevan posteriorisesta anterioriseen hierarkkinen eteneminen, jossa anteriorisemmat alueet käsittelevät monimutkaisempia tapahtumia.

60

Muistin skeemat ja toiminnan ohjaus



61

Informaation prosessointi ajan yli ja toiminnan ohjaus

Kyky integroida tietoa ajan yli on tärkeää elämäntapahtumien hahmottamisen kannalta. Esimerkiksi tervehtittäessä henkilöä, jota et ole nähnyt vähään aikaan tapahtuu useimmiten ensimmäisen katsekontaktin ottaminen, tervehtiminen nyökkäämällä tai kättä heiluttamalla, käveleminen toisiaan kohti, sekä lyhyt keskustelu siitä, miten asiat ovat olleet. Kaikki tämä tapahtuu muutamassa minuutissa, ja ihmisen on säilytettävä tietoa vuorovaikutuksen aikana ja tulkittava kasvojen ilmeitä ja sanottavaa kehittyvän tilanteen perusteella.

62

Informaation prosessointi ajan yli ja toiminnan ohjaus

Aivojen temporaalisten reseptiivisten ikkunoiden hierarkia on osoitettu tutkimuksissa, joissa on tarkasteltu, minkä aivoalueiden toiminta samankaltaistuu ajan yli koehenkilöillä, kun he kuuntelevat äänikirjaa, joka tarina on sekoitettu kappale-, lause- tai sanatasolla. Havaittiin, että mitä enemmän ajallinen rakenne säilyi, sitä enemmän etummaisesta otsalohkon alueilla havaittiin korreloivaa aktiivisuutta koehenkilöiden välillä. Nämä havainnot viittasivat siihen, että anterioriset prefrontaaliset aivokuoren alueet ovat erityisen tärkeitä tiedon integroimisessa pidemmällä aikajänteellä, mikä mahdollistaa kokonaisten virkkeiden ja kappaleiden tapahtumien hahmottamisen.

63

Toiminnan ohjauksen arviointi neuropsykologisilla testeillä

Erlaisia neuropsykologisia testejä on kehitetty mittaamaan toiminnan ohjauksen eri osa-alueita.

Perinteiset älykkyyssomäärrätestit, joita käytetään laajalti aivovaurion jälkeisten kognitiivisten puutteiden neuropsykologisessa arvioinnissa, eivät useinkaan osoita mitään poikkeavaa potilailla, joilla on prefrontaalisen aivokuoren vaurio.

Tämä herkkyyden puute on johtanut testien kehittämiseen, jotka mittaavat toiminnan ohjausta ja prefrontaalista aivovauriota.

64

Stroop väri-sana-interferenssi tehtävä

Tehtävänä luetella millä värillä kukin värisana on kirjoitettu, mikä edellyttää yliopitun responsin eli värin nimen lukemisen inhibointia. Suorituksen hitaus ja interferenssi virheet (värin nimeämisen sijaan sanan lukeminen) paljastavat ongelmat.

BLUE	RED	YELLOW	ORANGE
GREEN	BLUE	PURPLE	RED
PURPLE	YELLOW	RED	BLUE
ORANGE	BLUE	YELLOW	RED
RED	GREEN	ORANGE	BLUE
PURPLE	YELLOW	BLUE	ORANGE

65

Stroop väri-sana-interferenssi tehtävä

- Tehtävän aikana on havaittu anteriorisen pihpiopimun (joka liittyy myös yleisemmin tilanteisiin, joissa on käsiteltävä ristiriitaista tietoa), insulan, talamuksen ja somatosensorisen aivokuoren aktivoituminen. Nämä aktivaatiot heijastavat oletettavasti tehostettuja ponnisteluja vahvojen oppitujen assosiaatioiden aiheuttamien häiriöiden voittamiseksi. Lisäksi anteriorisen temporaalisen ja rostroventraalisen prefrontaalisen aivokuoren aktivaatioita on havaittu Stroopin interferenssitehtävän aikana.
- Nämä ja muut vastaavat neurokuvantamislöydökset viittaavat siihen, että toiminnan ohjaus on riippuvainen laajemmista aivoalueiden verkostoista kuin vain prefrontaalisista kortikaalialueista, vaikka prefrontaaliset kortikaalialueet ovatkin kriittisiä solmukohtia näissä verkostoissa.

66

Sanasujuvuustehtävä

Sanasujuvuustehtävässä koehenkilöitä (tai potilaita) ohjeistetaan tuottamaan lyhyessä ajassa mahdollisimman monta sanaa, jotka alkavat tietyllä kirjaimella, esimerkiksi s-kirjaimella, tuottamatta ihmisten nimiä ja toistamatta mitään tiettyä sanaa. Tämänkin voit helposti testata itse. Anna itsellesi kaksi minuuttia aikaa keksiä niin monta s-kirjaimella alkavaa sanaa kuin pystyt.

Tyypillisiä puutteita, joita prefrontaalisen aivokuoren vaurioista kärsivillä potilailla esiintyy, ovat sekä tuotettujen sanojen vähäisyys että sääntörikkomukset, joissa he saattavat alkaa yhdistää tuottamia sanoja löyhästi toisella kirjaimella alkaviin sanoihin (esim. "lyhyt, sivu, seinä, pähkinä, omena...") ja/tai osoittaa perseveratiota (esim. "lyhyt, sivu, pian, aurinko, aurinko, aurinko...")

67

Sanasujuvuustehtävä

Terveillä vapaaehtoisilla tehdyissä neurokuvantamiskokeissa on raportoitu, että anteriorinen pihtipoimu, alempi ja keskimäinen otsalohkopoimu, sekä pikkuaivot aktivoituvat verbaalisen sujuvuuden tehtävän suorittamisen aikana.

On olemassa erityyppisiä sanasujuvuustehtäviä, esimerkiksi tehtävänä voi olla tuottaa sanoja tietyistä kategorioista, kuten autoista, hedelmistä ja huonekaluista jota verrataan ylioppitujen sekvenssien lausumiseen (esimerkiksi vuoden kuukaudet tai aakkosten kirjaimet).

Takimmainen parietaaliivokuori aktivoitui, kun koehenkilöt vaihtelivat nopeasti erityyppisten verbaalisen sujuvuuden tehtävien välillä.

68

Wisconsin korttilajittelutehtävä

Niin sanottu Wisconsinin korttilajittelutesti (WCST) on ehkäpä laajimmin käytetty (ja yksi herkimmistä) neuropsykologisista toiminnan ohjauksen testeistä.

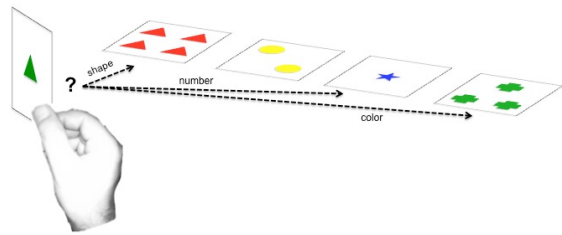
WCST:ssä koehenkilöille esitetään neljä esimerkkikorttia, jotka eroavat toisistaan niihin painettujen geometristen muotojen lukumäärän, tyyppin ja värin perusteella.

Koehenkilön tehtävänä on arvata, mikä ominaisuuksista; väri, muoto vai lukumäärä, on luokittelun perusteena. Kokeen suorittaja on valinnut koehenkilölle kertomatta yhden näistä oikeaksi lajittelukriteeriksi.

Sitten koehenkilö alkaa arvailla sovitamalla kortteja yksi kerrallaan (korttipinosta) eteensä pöydällä oleviin neljään korttiin, kunnes hän löytää oikean lajittelukategorian.

69

Wisconsin korttilajittelutehtävä



70

Wisconsin korttilajittelutehtävä

Sitten testissä tapahtuu kriittinen käänne; ilman ennakkovaroitusta kokeen suorittaja vaihtaa vastaavuuskriteerin toiseen, esimerkiksi muotoon. Kun koehenkilö, joka on oppinut luokittelemaan värin perusteella, jatkaa värikriteerin mukaista luokittelua, hänelle kerrotaan että väärin meni.

Kun näin tapahtuu, terveet koehenkilöt ovat tyypillisesti aluksi hämmentyneitä, mutta pystyvät nopeasti ymmärtämään, että lajittelukriteeri on muuttunut, ja oppivat uuden luokitteluperiaatteen kokeilemalla ja erehtymällä.

Muutaman oikean kokeilukerran jälkeen kokeen suorittaja vaihtaa jälleen vastaavuuskriteeriä, ja uudelleenoppimisprosessi toistuu.

71

Wisconsin korttilajittelutehtävä

Potilaat, joilla on prefrontaalisen aivokuoren (erityisesti dorsolateraalisen aivokuoren) vaurio, menestyvät huonosti WCST:ssä. Vaikka prefrontaalisen aivokuoren vaurioituneet potilaat saavuttavat kategoriat (eli oppivat luokittelusääntöä) hitaammin kuin terveet kontrolliryhmät, he pystyvät usein saavuttamaan ensimmäisen kategorian.

Heillä on kuitenkin tyypillisesti vaikeuksia, kun vastaavuuskriteereitä muutetaan yhtäkkiä. Kun kategorisointisääntöä on muutettu, prefrontaalisen aivokuoren vaurioituneet potilaat tekevät perseveraatiovirheitä. Perseveraatio ilmenee WCST:ssä toistuvina yrityksinä jatkaa sovitamista vanhoilla kriteereillä (esimerkkitapauksessa väri), vaikka potilas saa negatiivista palautetta jokaisesta yrityksestään.

72

Wisconsin korttilajittelutehtävä

Aivokuvantamiskokeissa on selvitetty aivojen aktivoitumista WCST:n eri vaiheiden suorittamisen aikana terveillä vapaaehtoisilla. Prefrontaalisen aivokuoren, basaalganglioiden ja talamuksen aktivaatioita havaitaan, kun esitetään negatiivista palautetta, joka merkitsee tarvetta siirtyä uuteen vastauskategoriaan.

Tämä on varsin johdonmukaista prefrontaalisen kortikaalisen aivokuoren ja basaalganglio-talamus-silmukan roolin kanssa paitsi liikkeiden käynnistämässä myös mentaalisten toimintamallien vaihtamisessa.

Lisäksi esiintyy työmuistiin liittyviä aktivaatioita, dorsolateraalilla prefrontaalilla aivokuoren alueilla, kun koehenkilöt yrittävät liittää palautteen edeltäviin tapahtumiin.

5.2.2024
73

73

Havainnointi luonnollisessa ympäristössä: usean tehtävän testi

Toiminnan ohjauksen testit kuten WCST, eivät aina pysty havaitsemaan aivoaurion aiheuttamia puutteita. On kuvattu potilaita, jotka suoriutuvat kvantitatiivisista neuropsykologisista testeistä normaalia paremmin, mutta joiden kyky organisoida elämäänsä on vakavasti heikentynyt.

Käyttäytymisen havainnointi ja potilaiden omaisten haastattelut ovat siksi erittäin tärkeä lisätiedon lähde esimerkiksi siitä, onko potilaan käyttäytyminen muuttunut impulsiivisemmaksi jokapäiväisessä elämässä tai puuttuuko potilaalta aloitteellisuus.

Omaiset kuvaavat usein, että potilaan persoonallisuus on muuttunut onnettomuuden jälkeen ja haastattelussa paljastuu erityisongelmia potilaan jokapäiväisessä elämässä.

5.2.2024
74

74

Havainnointi luonnollisessa ympäristössä: usean tehtävän testi

On myös olemassa luonnollisessa ympäristössä suoritettavia testejä, jotka ovat erittäin herkkiä havaitsemaan toimeenpanotoiminnan puutteita. Niin sanotussa usean tehtävän testissä potilaiden on suoritettava useita melko yksinkertaisia mutta avoimia tehtäviä 15-30 minuutin aikana (esim. ostoskekkussa maidon ostaminen, kirjeen postitus postimerkkien oston jälkeen jne).

Tyypillisesti havaitaan, että potilaat, joilla on puutteita toiminnan ohjauksessa, käyttäytyvät epäjärjestelmällisesti ja päätyvät käyttämään testiin liikaa aikaa. Otsalohkopotilaiden osoittamat ongelmat usean tehtävän testissä näyttävät johtuvan kyvyttömyydestä aktivoida viiveen jälkeen uudelleen aiemmin syntyneitä aikoja silloin, kun ärsyketilanne ei anna niistä suoraa signaalia.

5.2.2024
75

75

Toiminnan ohjauksen neurokemia

Dopamiinin osallistumisesta toiminnan ohjaukseen on saatu paljon näyttöä. Parkinsonin tautia sairastavilla potilailla on puutteita toimeenpanotoiminnoissa. Erityisesti heillä on ongelmia mentaalisten mallien vaihtamisessa ja he kärsivät perseveraatiosta otsalohkon testeissä, kuten WCST:ssä ja verbaalissa sujuvuudessa, ilman että älykkyyssosamäärän tai tunnistamismuistin testeissä olisi havaittavissa mitään heikkenemistä.

Toiminnan ohjauksen puutteet riippuvat taudin etenemisvaiheesta. Varhaisessa vaiheessa dopaminerginen vajuus rajoittuu striatumiin, mutta myöhemmin se leviää mesokortikaaliseen dopamiinirataan. Tämä johtaa prefrontaalisen aivokuoren dopamiinitasojen vähenemiseen, ja pidemmälle edenneissä tapauksissa esiintyy laajempaa kirjoa ja vakavampia puutteita toiminnan ohjauksessa.

5.2.2024
76

76

Toiminnan ohjauksen neurokemia

Toisin kuin Parkinsonin taudissa, skitsofreniaa sairastavilla potilailla on liikaa dopaminergistä toimintaa, jota hoidetaan dopamiinitoimintaa estävillä tai vähentävillä lääkkeillä. Sairaudessa esiintyy erityisesti tarkkaavaisuuteen ja toiminnan ohjauksen puutteita, jotka korreloivat myös sairauden tunnun puuttumisen kanssa.

Dopamiinijärjestelmään vaikuttavien lääkkeiden antaminen aiheuttaa myös muutoksia toiminnan ohjauksessa. Esim. kun annettiin pieniä annoksia dopamiini-D2-reseptoriantagonistia haloperidolia, D2-autoreseptorit salvattiin, mikä johti dopamiinin kohonneisiin pitoisuuksiin synapsissa raossa. Tehtävän kannalta merkityksettömät äänet häiritsivät vähemmän, mutta kun häiriintyminen tehtävässä tapahtui, toipumisaika pidentyi. Näihin käyttäytymiseen liittyviin havaintoihin liittyvät hitaammat sähkömagneettiset uudelleen suuntautumismasteet.

5.2.2024
77

77

Toiminnan ohjauksen neurokemia

Koska aivojen välittäjäaineet ovat tiiviisti sidoksissa toisiinsa, voidaan sanoa, että melkein minkä tahansa tärkeimmän välittäjäainejärjestelmän vakava häiriö on haitaksi toiminnan ohjaukselle.

Esim. glutamaattitoiminnan estäminen N-metyyli-D-aspartaatti (NMDA) -reseptorien kautta ketamiinilla vaikuttaa haitallisesti WCST-suoritukseen.

Bentsodiatsepiinit, jotka tehostavat gamma-aminovoihapon (GABA) vaikutuksia GABA-A-reseptoreihin ja siten aiheuttavat hyperpolarisaatiota neuroneissa lisääntyneen Cl-virtauksen kautta, tuottavat kognitiivisia puutteita rauhoittamalla koehenkilöitä. Toisaalta ahdistuneisuushäiriöistä kärsivillä potilailla bentsodiatsepiinien vaikutukset voivat olla hyödyllisiä lisäämällä näiden potilaiden kykyä keskittyä tehtäviin.

5.2.2024
78

78

Toiminnan ohjaus: yhteenvetoa

Toiminnan ohjauksen ansiosta ihminen voi asettaa mielekkäästi tavoitteita, jotka ulottuvat tärkeistä pidemmän aikavälin elämäntavoitteista, kuten pyrkimyksestä lääkäriksi, välivaiheen tavoitteiden, kuten lääketieteen opintoihin hakeutumisen selvittämisen, kautta hyvin lyhyen aikavälin tavoitteisiin, kuten nälkäisenä aterian hankkimiseen. Tähän liittyy kyky valita tietty käyttäytyminen tai kognitiivinen malli (cognitive set) ja tukahduttaa muut kilpailevat toimintamallit, vaihtaa sopivasti toimintamallien (tai tehtävien) välillä ja myös kyky ottaa palaute huomioon, kun esteitä ilmenee. Toiminnan ohjauksen epäonnistuminen on perusongelma monissa neurologisissa ja psykiatrisissa häiriöissä. Aivojen alue, joka useimmiten liittyy toimeenpanotoimintoihin, on prefrontaalinen aivokuori.

79

Toiminnan ohjaus: yhteenvetoa

On kuitenkin tärkeää pitää mielessä, että prefrontaalinen aivokuori koostuu useista alueista, joilla on toiminnallista erikoistumista. Prefrontaalinen aivokuori olisi pikemminkin nähtävä keskeisenä solmukohtana aivoalueiden verkostossa, jotka säätelevät toiminnan ohjausta, kuin erillisenä toiminnan ohjauksen taustalla olevana aivorakenteena.

Yksi esimerkki tästä on tarkkaavaisuuden painopisteen vapaaehtoinen siirtäminen tehtävästä toiseen, johon liittyy dorsolateraalisen prefrontaalisen aivokuoren ja posterioristen parietaalialueiden monimutkainen verkosto.

Toinen hyvä esimerkki on aivojen verkosto, joka koostuu prefrontaalisista aivokuoriaalueista, tyvitumakkeista sekä talamuksesta, jonka avulla ihminen voi joustavasti vaihtaa toimintasuunnitelmaa.

80

Toiminnan ohjaus: yhteenvetoa

Eri välittäjäaineista dopamiini on se, jolla on selkein yhteys toiminnan ohjaukseen, erityisesti siihen, miten ihminen pystyy valitsemaan ja vaihtamaan toimintasuunnitelmia joustavasti.

Dopamiini on kuitenkin nähtävä keskeisenä välittäjäaineena, joka vaikuttaa muihin välittäjäaineisiin, eikä niinkään erillisenä järjestelmänä, joka yksinään olisi toimeenpanotoimintojen taustalla. Minkä tahansa tärkeimmän välittäjäaineen poistaminen käytöstä vaikuttaisi häiritsevästi toimeenpanotoimintoihin, koska välittäjäainejärjestelmät ovat tiiviissä vuorovaikutuksessa toistensa kanssa.

Lopuksi on hyvä muistaa, että toimeenpanotoiminnot ovat moninainen joukko korkeamman asteen kognitiivisia kykyjä, kuten valikoiva tarkkaavaisuus, työmuisti, tunteet, motivaatio ja sosiaalinen kognitio.

81