

Näkötiedon käsittely aivokuoressa

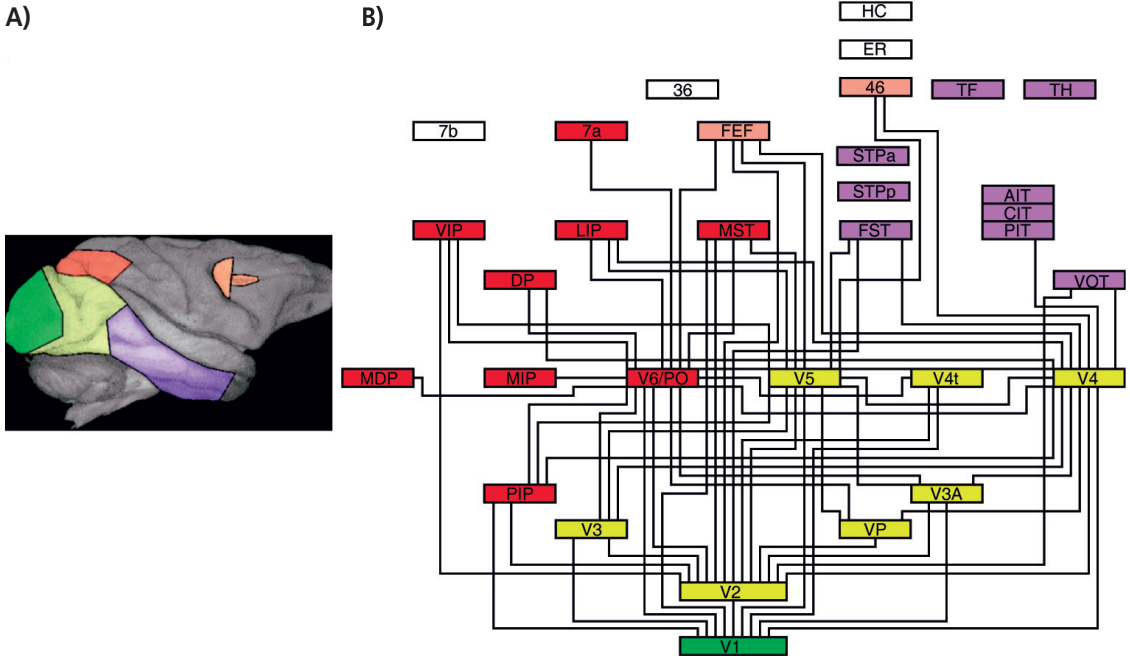
Verkkokalvolle saapuva kaksiulotteinen kuva valoisuuseroista ja väreistä sisältää huomattavan määrän tietoa ympäristöstämme. Ympäristön esineiden ja tilan mallintaminen tästä kuvasta edellyttää monipuolista tiedonkäsittelyä, johon luonto on kehittänyt hämmästyttävän tehokkaan ratkaisun. Biologinen näköjärjestelmä suoriutuu tehtävästä sekunnin osissa valikoimattomassa, kohinaisessa ja jatkuvasti vaihtelevassa visuaalisessa ympäristössä. Hinta on kuitenkin kova, sillä jopa kolmannes aivokuorestamme tarvitaan näkö-tiedon käsittelyyn. Toiminnalliset kuvantamismenetelmät ovat kypsyneet merkittäviksi työkaluiksi näköjärjestelmän systeemitason tutkimuksessa, ja edessämme on nyt lukuisia erillisiä toiminnallisia alueita sisältävä kokonaisuus, jonka tietojenkäsittelyn periaatteita opettelemme ymmärtämään. Potilastyössä aivoperäiset näköhäiriöt tulisi tunnistaa, jotta niitä ei pidettäisi suorituskyvyn yleisenä heikkenemisenä tai psykogeenisina oireina.

Näkeminen on useimmille meistä itsestään selvää, ja näköhavainnon monimutkaisuutta voi olla vaikea huomata. Vaikka terävät rajapinnat on mahdollista havaita mekaanisilakin näköjärjestelmillä, näkemisen seuraava vaihe eli visuaalisten objektien (esineet, kasvat, tms. kokonaisuudet) erottaminen taustasta erityisesti luonnollisessa ympäristössä on huomattavasti vaikeampaa. Tässä vaiheessa tarvitaan useita paikallisia prosesseja ja tiedon keräämistä laajoilta alueilta näkökentästä (yleiskatsaus esim. Palmer 1999). Paikalliset valoisuuserot kertovat pintojen kirkkaudesta, esineiden välisten rajojen suunnista tai varjoista. Syvyystietoon vaikuttavat kahden silmän horisontaalinen dispariteetti eli verkkokalvoille projisoituvien kuvien poikkeaminen toisistaan vaakasuunnassa ja myös monet yhden silmän kautta tulevat vihjeet, kuten perspektiivi, esineiden suhteelliset koot ja varjot. Esineen väri ja liike tulkitaan suhteessa ympäröivään kuvatietoon. Hahmon-tunnistuksessa tarvitaan ennakkotietoa tunnistettavasta kohteesta, ja sitä hyödynnetään todennäköisesti jo signaalinkäsittelyn varhaisvaiheessa. Järjestelmän suorituskyky on päätä hui-

maava. Jo 150 millisekuntia luonnollisen kuvan esittämisen jälkeen herätepotentiaalit eroavat toisistaan hahmon luokan perusteella (Thorpe ym. 1996). Tehtävän vaikeutta kuvaa näköjärjestelmän monimutkainen rakenne.

Toiminnallisen anatomian pääpiirteet

Makakiapinalla on tunnistettu yli 30 aivokuorialuetta jotka osallistuvat näkö-tiedon käsittelyyn. Ihmisellä määrä lienee suunnilleen sama, mutta vasta osa näistä alueista on kartoitettu (kuva 1) (Felleman ja Van Essen 1991). Näkö-tietoa prosessoii ihmisellä noin kolmannes aivokuoresta. Van Essen (2003) arvioi kuvantamistutkimusten perusteella näköjärjestelmän kattavan aivokuoresta 27 %. Kuulon osuudeksi hän arvioi 8 %, tunnon 7 %, ja motoriikan 7 %. Tämä tarkoittaisi, että näkö-tiedon käsittelyyn osallistuu noin 850 cm²:n pinta-ala aivokuorta. Se sisältää noin 9 x 10⁹ neuronina, jotka kuuluvat noin 1,2 x 10⁶ kolumniin (suunnilleen 0,3 mm²:n pinta-alan kattava toiminnallinen yksikkö; tiedot kokonaisuudesta) (Mountcastle 1998).



KUVA 1. A) Makakiapinan näkö tiedon käsittelyyn osallistuvat aivokuoriaalueet. Vihreä = ensimmäinen näköaivokuori (V1), keltainen = muut takaraivolohkon sekä sen ja ohimolohkon rajoilla olevat alueet, liila = alemmat ohimolohkon alueet, vaaleanpunainen = päälakilohkon alueet, oranssi = otsalohkon alueet. B) Kaavio apinan näköaivokuoriaalueista. Alueiden väriyty vastaa A-kuvan värikoodausta anatomisen sijainnin mukaan. Alueiden V1, V2, V4, V5 ja V6/PO anatomiset yhteydet toisiinsa ja muihin näköaivokuoriaalueisiin on merkitty viivoin (mukailtu Fellemanin ja Van Essenin (1991) artikkelista). Anatomisessa hierarkiassa matalalla olevat alueet ovat kuvassa alhaalla ja ylempät tasot ylhäällä. Kuvassa vasemmalla olevat alueet (mm. V5, V6/PO, PIP, MDP, MIP, DP, VIP, LIP, MST, FEF ja 7a) ovat osa takaraivolohkosta päälaki- ja otsalohkoon vievää dorsaalirataa. Kuvassa oikealla olevat alueet kuuluvat ventraalirataan (esim. V4, AIT, CIT ja PIT) ja johtavat ohimolohkon alaosiin. Osa alueista on polysensorisia, eli ne reagoivat useiden aistimodalityettien kautta tuleviin ärsykkeisiin.

Apinan aivojen toiminnalliset alueet on jaettu kymmenelle eri tasolle hierarkkiseksi järjestelmäksi sen mukaan, mihin kohdealueen kuudesta hermosolukerroksesta aksonit päättyvät. Tyypillisesti alemman tason aivokuoriaalue syöttää signaalit ylempään tason alueen neljanteen, granulaariseen solukerrokseen (feedforward-kytkentä), ylempältä alueelta palaavat (feedback) aksonit päättyvät toisaalta supragranulaariseen (kerrokset 2 ja 3) ja toisaalta infragranulaarisiin (5 ja 6) solukerrokseen, ja lateraaliset, saman hierarkiatason sisällä esiintyvät kytkennät jakautuvat kaikkiin solukerrokseen (Maunsell ja Van Essen 1983). Anatomisen kytkentätiedon mukainen hierarkiajärjestys ei kuitenkaan ole yksiselitteinen; monet alueista voitaisiin sijoittaa useampaan kuin yhteen hierarkiatasoon.

Kuvassa 1B on osoitettu apinan näkö tiedon

käsittelyyn osallistuvat aivokuoriaalueet sekä alueiden V1, V2, V4, V5 ja V6/PO yhteydet muihin alueisiin. Hierarkiassa alin ensimmäinen näköaivokuori on nimeltään V1. Kaikki kuvassa viivoin kytketyt alueet ovat enintään kahden alueiden välisen yhteyden päässä ensimmäisestä näköaivokuoresta. Tässä saattaa olla syy siihen, miksi tieto pääsee leviämään toiminnallisten alueiden välillä nopeammin kuin anatomisen hierarkian perusteella voisi suoraan olettaa.

Aivokuoren näköjärjestelmä voidaan jakaa karkeasti niin sanottuun ventraaliseen ja dorsaaliseen rataan (Mishkin ym. 1983). Ventraaliseen rataan kuuluvat alueet takaraivolohkosta kohti ohimolohkoja, ja niiden tehtävänä on erityisesti visuaalisten objektien tunnistaminen (oikealla kuvassa 1B). Ventraalirataan kuuluvat apinalla ensimmäisen näköaivokuoren lisäksi

mm. V2, V3/Vp, V4 ja ohimolohkon alaosan aivokuorialueet. Näköärsykkeeseen liittyvät signaalit näyttäisivät etenevän sarjassa tässä hermoverkossa (Nowak ja Bullier 1997). Alueella V1 hermosolujen reseptiiviset kentät (se alue näkökentässä, jolle solu on herkkä) ovat pienimpiä. Kentän koko kasvaa ylemmillä hierarkiatasoilla ja solujen herkkyysprofiilit muuttuvat monimuotoisemmiksi. Ohimolohkon alaosien alueilla solujen herkkyysprofiilit koodaavat objektien hahmoja ja identiteettiä. Esimerkiksi tietyn eläinlajin pään tyypillinen hahmo voi olla sopiva ärsyke yhdelle solulle (Tanaka 1993). Erikoistumisella on kuitenkin rajansa. Koska mikään määrä hermosoluja ei riittäisi koodaamaan kaikkia mahdollisia yhdistelmiä kuvatiedon eri parametreista, kuten muodoista ja väreistä, koodin täytyy olla jakautuneena usean hermosolun tai hermosoluryhmän kesken. Toisin sanoen sen sijaan, että keltaista Volkswagenia edustaisi tietty solu tai soluryhmä, kyseisen objektin nähdesämme aktivoituu useita autoon liittyviä piirteiden osia ja väriin liittyviä yksiköitä. Ideana lie nee siis informaation koodaaminen eräänlaisina aakkosina, joita yhdistämällä kaikki mahdolliset näköärsykkeet on mahdollista esittää riittävän yksikäsitteisesti.

Tietoinen näköhavainto korreloi nykytiedon valossa nimenomaan ventraaliradan alueiden aktiivisuuteen siten, että esimerkiksi apinalla hierarkiassa korkeammalla tasolla olevat ohimolohkon alaosien alueet korreloivat eniten tietoiseen havaintoon (Leopold ja Logothetis 1996).

Dorsaalirataan kuuluu apinalla alueita takaraivolohkon keski-etuosista, ohimolohkon yläosista, taemman päälakilohkon alueita sekä silmien liikkeitä ja attentiota ohjaava otsalohkon alue (alueet vasemmalla kuvassa 1B. Dorsaalirata liittyy erityisesti visuomotoriseen ohjaukseen; se osallistuu tilan hahmottamiseen motoriikan

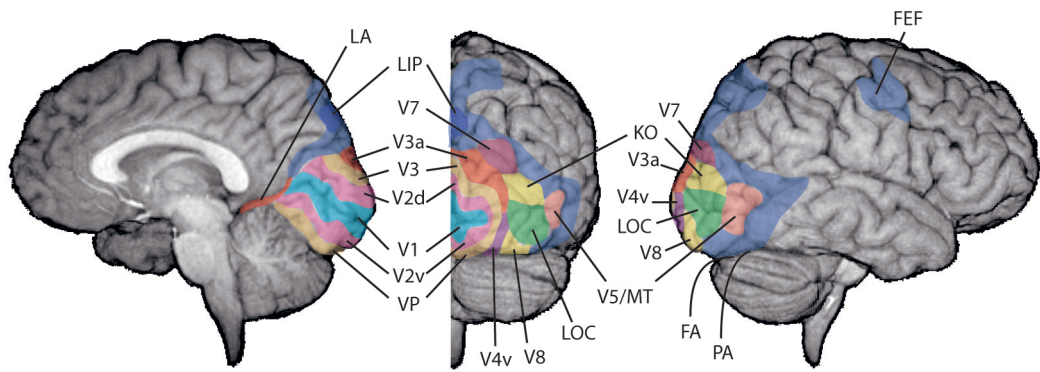
ohjauksessa ja huomion suuntaamiseen näkökentän eri osiin. Dorsaaliradan erityispiirteinä on monien alueiden aktivoituminen rinnakkain hyvin pian alueen V1 jälkeen (Nowak ja Bullier 1997), ja dorsaalirata saattaa ohjata visuaalisen objektin valintaprosessia ventraaliradassa. Apinalla ensimmäinen näköaivokuori ei ole ainoa reitti silmästä aivokuoreen. Monet dorsaaliradan alueet säilyttävät vasteet näköärsykkeisiin, kun ensimmäinen näköaivokuori on inaktivoitu (Bullier ym. 1994). Näkö tieto kulkee todennäköisimmin tällöin verkkokalvosta ylemmän nelikukkulalevyn ja talamuksen pulvinar-tumakkeiden kautta aivokuoreen. Sen sijaan ventraaliradan alueiden toiminta lakkaa tyypillisesti täysin ensimmäisen näköaivokuoren vaurion seurauksena.

Ihmisen toiminnallinen anatomia

Tärkeimmät menetelmät ihmisen aivotoiminnan paikantamisessa ovat nykyään toiminnallinen magneettikuvaus (fMRI) ja positroniemissiotomografia (PET) ja aivotoiminnan dynamiikan tutkimuksessa elektroenkefalografia (EEG) ja magnetoenkefalografia (MEG). Käytännössä PET:n käyttö puhtaasti toiminnan paikantami-

YDINASIA T

- **Näkö tiedon käsittely ihmisen aivokuoreessa on jakautunut lukuisille erillisille toiminnallisille alueille, jotka kattavat jopa kolmanneksen aivokuoreesta.**
- **Näköaivokuoret voidaan ryhmitellä ventraaliseen objektintunnistusrataan ja dorsaaliseen tilan hahmottamisen sekä huomion ja liikkeiden ohjauksen rataan.**
- **Yllättävät näköoireet, kuten kasvojen tunnistuksen selektiivinen vaikeus, voivat olla seurausta paikallisesta aivokuorivauriosta.**
- **Aivokuorivaurion johdosta puuttuvan näkökentän alueella on usein jäännösnäköä; potilas voi esimerkiksi havaita kirkkaan valon nopean liikkeen.**
- **Aivoperäisestä näkökenttäpuutoksesta kärsivää potilasta on mahdollista kuntouttaa.**



KUVA 2. Ihmisen näköaivokuoriaalueita. Sininen pohjaväri vastaa arviota aivokuoren kokonaispinta-alasta, joka osallistuu näkö tiedon käsittelyn perusprosesseihin. Kuvantamismenetelmin kartoitettavissa olevia toiminnallisia alueita on merkitty eri värein. V1= ensimmäinen näköaivokuori (retinotooppinen; näkökentällä on topologinen edustus aivokuoreessa), V2, V3, Vp, V3a ja V4v = muita retinotooppisia alueita, V5/MT = visuaaliselle liikkeelle herkkä alue, V7 = tarkemmin määrittämätön retinotooppinen alue, V8 = väreille herkkä alue, FA = kasvoille herkkä alue (piilossa isoivojen ventraalipinnalla), FEF = silmien liikkeitä ohjaava alue, KO = kineettisille rajoille herkkä alue, LA = luminanssimuutokselle herkkä alue, LIP = nopeiden silmänliikkeiden suunnan retinotooppinen edustus, LOC = objektin hahmoille herkkä alue, PA = paikoille herkkä alue (piilossa ventraalipinnalla). Kuva on muokattu julkaisuista Sereno ym. 2001, Dechent ja Frahm 2003, Grill-Spector 2003 ja Van Essen 2003.

seen on jäämässä taka-alalle menetelmän kalleuden ja sen säteilyaltistuksen vuoksi. Sen sijaan toiminnallinen magneettikuvaus on melko halpa laajennus kliiniseen magneettikuvausjärjestelmään ja on käytettyvyytensä ansiosta saavuttanut laajan suosion. Dynaamisista mittareista EEG on selvästi vanhempi ja halvempi, mutta MEG on suositumpi tarkasteltaessa, mistäpäin aivoja signaalit ovat peräisin, eli pyrittäessä lähdeanalyysiin.

Vaikka makakiapinan näköjärjestelmän toiminta on samankaltainen kuin ihmisellä ja toiminnallinen rakenne noudattaa samoja pääperiaatteita, lajieroja on jo löydetty ja ajan myötä eroja tullaan varmasti löytämään lisää (kuva 2). Toiminnallisen magneettikuvauksen avulla voidaan ihmiseltä kartoittaa retinotooppisen edustuksen sisältäviä toiminnallisia alueita, kuten V1 (ensimmäinen näköaivokuori), V2, V3 ja V3a (dorsaalinen) ja V4v (ventraalinen) (Sereno ym. 1995). Retinotooppisella edustuksella tarkoitetaan sitä, että näkökentän (verkkokalvon) vierekkäiset kohdat edustuvat vierekkäin aivokuorella. Lisäksi takaraiivolohkosta on tunnistettu mm. kokonaisille hahmoille herkkä alue (lateral occipital, LO) (Malach ym. 1995) ja visuaaliselle liikkeelle herkkä alue (V5, toiselta

nimeltä MT) (Watson ym. 1993). Takaraiivolohkon ventraalipinnalla on kasvopiirteille herkkä alue (face-selective area, FA) ja sen lähellä eräisille muille esineryhmille ja paikoille herkkiä alueita (place-selective area, PA) (Grill-Spector 2003). Nämä alueet ilmeisesti vastaavat apinan inferotemporaalisia alueita mutta ovat ihmisellä aivojen kasvun myötä vetäytyneet suhteellisesti taaksepäin.

Ihmisen dorsaaliradasta päälaki- ja takaraiivolohkon rajalta on löydetty magnetoenkefalografian avulla alue, joka näyttäisi olevan herkkä valon intensiteetin eli luminanssin muutoksille (Portin ym. 1998). Tämä alue saattaa olla ihmisen vastine apinan V6A-alueelle, joka osallistuu silmien ja käden liikkeisiin liittyvään visumotoriseen ohjaukseen (Galletti ym. 1991). Luminanssiherkkä alue (LA) on saatu esiin myös fMRI:llä (Dechent ja Frahm 2003). Lisäksi huomion ja silmien liikkeiden suuntamiseen liittyy dorsaaliradan alueita päälaki- (parietal eye field) ja otsalohkoissa (frontal eye field, FEF).

Näkö tiedon käsittelyn dynamiikkaa

Verkkokalvon gangliosolut voidaan jakaa kädellillä kolmeen päätyyppiin, magno- (10 %

,parvo- (80 %) ja koniosoluihin (Hendry ja Reid 2000). Nimet viittaavat solujen anatomiseen ulkoasuun, ja solujen reseptiiviset ominaisuudet poikkeavat toisistaan. Koniosolujärjestelmä tuli suurelta osin laajasti tunnistetuksi vasta 1990-luvulla, ja siitä on vastaavasti vähiten tietoa. Erilaisten gangliosolujen signaalit siirtyvät aivokuoreen rinnakkain mutta pysyvät erillään toisistaan. Vastaavasti rinnakkaiset signaalit aktivoivat eri soluryhmiä ensimmäisessä synapsikohdassa eli talamuksen lateraalissa polvitumakkeessa ja edelleen ensimmäisessä aivokuoreessa (toinen synapsikohta). Erityisen merkittäviä seikkoja ovat magnosolujen paksut, nopeasti johtavat aksonit, suuri kontrastiherkkyys, suuri herkkyys muutokselle ja vastaavasti pieni herkkyys staattiselle ärsykkeelle sekä laajakaistainen spektriherkkyys eli »värisoikeus» (Schiller ja Malpeli 1977). Bullierin (2001) esittämän »first-pass» teorian mukaan ensimmäisenä aivokuoreen saapuvat magnosellullaarisen järjestelmän signaalit siirtyvät nopeasti joillekin anatomisessa hierarkiassa korkean tason alueille, joista takaisin palaavan tiedon avulla on mahdollista ohjata solujen herkkyksiä alemmilla aivokuorialueilla ja vaikuttaa hitaampien parvo- ja koniosellulaaristen signaalien (90 % verkkokalvon signaaleista) käsittelyyn. Sekä ihmisellä että apinalla näköärsyksen esittämisen jälkeen aivokuoreessa käynnistyy dynaaminen prosessi, johon sisältyy useita peräkkäisiä ja rinnakkaisia vaiheita. Apinalla joidenkin hermosolujen herkkyysprofiilit (reseptiiviset ominaisuudet) myös muuttuvat yhden visuaalisen ärsyksen käsittelyn aikana.

Ihmisellä ensimmäinen aivokuorivaste syntyy noin 50–55 millisekuntin ärsyksen esittämisen jälkeen (Tzelepi ym. 2001, Vanni ym. 2001b). Seuraavaksi 10–15 ms:n kuluessa vasteet ovat havaittavissa takaraivolohkon sivuosissa (mahdollisesti alue V5) ja takaraivolohkon ylä-etuosissa lähellä päälaki-takaraivouurretta. Vasta myöhemmin, noin 20–25 ms viivästyneinä hierarkiatasoa kohden, syntyvät suurimmat vasteet alueille V2 ja V3 (Vanni ym. 2004b). Toisin sanoen anatominen hierarkia ei näyttäisi korreloivan suoraan prosessointihierarkian kanssa. Ensimmäiset merkit tiedonkäsittelystä, jossa otetaan huomioon ärsykkeet laajalta alueelta

näkökentästä (globaali tieto), ovat nähtävissä jo noin 80 ms ärsyksen alkamisen jälkeen (Vanni ym. 2004a) eli vain noin 30 ms aivokuoren aktivoitumisen jälkeen. Hahmojen tunnistaminen vie kuitenkin kauemmin. Oikealla LO-seudussa objektihavaintoon korreloivia vasteita havaitaan noin 300 ms:n kuluttua ärsyksen alusta (Vanni ym. 1996) ja vasemmalla vasteita kirjainjonoihin noin 150 ms:n kuluttua (Salmelin ym. 2000). Jos koehenkilöllä ei ole tehtävää eikä kuvaärsyke sisällä merkittävää semanttista informaatiota, herätevaste häviää noin 300–400 ms ärsyksen esittämisen jälkeen. Kun ihmisen yhden katsefiksaation kesto on noin 200–500 ms, olisi houkuttelevaa ajatella yhden fiksaation vastaavan yhtä visuaalista tunnistusprosessia, mutta tästä ei liene näyttöä.

Pään pinnalta mitattavien herätepotentiaalien eri komponenttien syntypaikoista on käyty pitkään keskustelua. Tämä kysymys on potilastyössä merkittävä, sillä visuaalisia herätepotentiaaleja käytetään laajasti kliinisessä neurofysiologiassa. Jo ensimmäinen, noin 70 millisekuntin kuluttua syntyvä vaste kuvioärsykkeeseen, on usean aivokuorialueen yhdessä synnyttämä, joskin V1-alueen dominoima (Tzelepi ym. 2001, Vanni ym. 2001b). Suurin, tyypillisesti noin 100 ms:n kuluttua esiintyvä vaste (tunnetaan EEG-kirjallisuudessa nimellä P100) on melko varmasti useiden takaraivolohkon alueiden yhteisvaste (Vanni ym. 2004b). Koska yksilöiden aivokuoren topografia suhteessa EEG-mittauskanaviin vaihtelee, voivat myös P100-vasteen lähteet painottua eri tavoin eri potilailla.

Aivovaurioihin liittyviä näköhäiriöitä

Monia aivoperäisiä näköoireita ei useinkaan ole havaittavissa erillisinä, vaan ne ovat osa laajempaa oirekokonaisuutta ja vastaavat aivoalueiden tuhon epätarkkarajaisuutta ja laajuutta. On kuitenkin hyvä tietää, minkätyyppisiä oireita näköaivokuoren vaurioista voi syntyä, sillä osa niistä voi tuntua arkijärjelle varsin oudoilta ja niitä saatetaan pitää virheellisesti psykogeenisina tai epämääräisenä yleisen suorituskyvyn heikkene misenä. Joitain negatiivisina oireina (jokin aistitiedon osa puuttuu) tai helposti kompensoita-

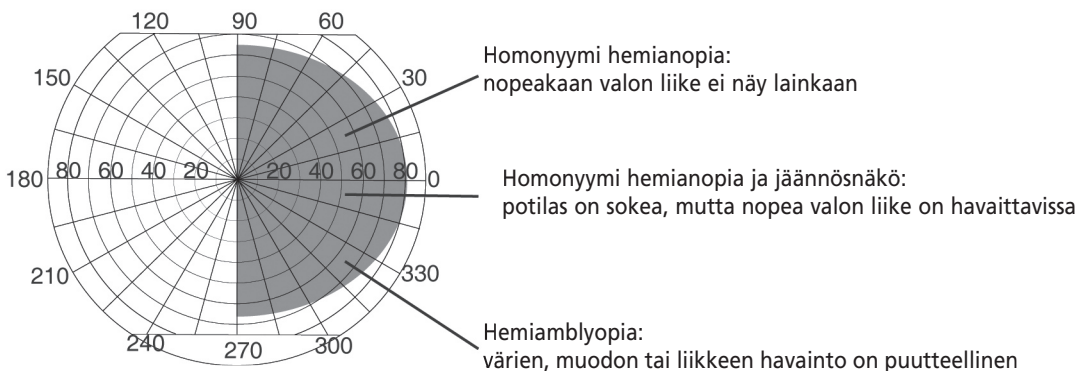
vina oireina esiintyviä ongelmia on myös varsin vaikea havaita ja on mahdollista, että joitakin ei ole vielä tunnistettu omiksi kokonaisuuksikseen. Näkövammat ovat varsin ajankohtaisia, kun lääkäreille suunnitellaan velvollisuutta ilmoittaa potilaan autolla-ajokykyä rajoittavista seikoista.

Ensimmäisen näköaivokuoren vaurio aiheuttaa paikallisen näkökenttäpuutoksen, eli skotooman. Jos vaurio kattaa koko toisen aivopuoliskon ensimmäisen näköaivokuoren, on seurauksena homonyymi hemianopia eli koko vastakkaisen näkökenttäpuoliskon sokeus. Vastaavat puutokset syntyvät myös tietoa tuovien hermoratojen kuten radiatio optican vaurioista. Kuitenkaan ensimmäisen näköaivokuoren toiminta ei ole riittävä ehto tietoiselle näköhavainnolle. Esimerkiksi vaakakeskilinjaan rajoittuva neljänneskentän sokeus (kvadrantanopia) aiheutuu hyvin todennäköisesti alueiden V2 ja V3 vauriosta (Horton ja Hoyt 1991) eli vaurio on anatomisessa hierarkiassa V1:n yläpuolella. Lisäksi tietoisuus visuaalisesta ympäristöstä voidaan menettää osin esimerkiksi simultaaniagnosiassa (kyvyttömyys nähdä useita esineitä yhtäaikaan) ja neglect-oireen yhteydessä (toispuolinen huomiotta jättäminen, joka kattaa tyypillisesti kaikki aistimodaliteetit), jolloin ensimmäinen näköaivokuori on usein vaurioalueen ulkopuo-

lella (katsaus Fahle ja Greenlee 2003). Muiden näköaivokuorialueiden vauriosta ei tavallisesti seuraa »sokeutta» eli tietoisien näköhavainnon täydellistä puuttumista, vaan potilaat »näkevät», mutta näkö on puutteellista.

Kliinikon kannalta ongelmallista on, että näkökenttää saattaa olla normaalin laajuinen ja keskeisen näön tarkkuus esimerkiksi kirjaintaululla testattuna normaali. Ainakin parikymmentä näön aivomekanismeihin liittyvää häiriötä on nimetty (Fahle ja Greenlee 2003). Monet niistä ovat paikannettavissa tietyille alueille, esimerkiksi eräät agnosiatyyppit, kuten vaikeus tunnistaa hahmoja, värisokeus, prosopagnosia eli kyvyttömyys tunnistaa kasvoja ja akinetopsia eli kyvyttömyys nähdä liikettä, mutta useimpien osalta toiminnallisen häiriön taustaa ei ole vielä saatu selville. Osa häiriöistä rajoittuu vasempaan tai oikeaan näkökenttään, jolloin voidaan puhua hemiamblyopiasta (Kerkhoff 1999). Kuva 3 havainnollistaa puolikenttään rajoittuvien löydösten luokittelua. Dorsaaliradan – esimerkiksi päälaki- ja takaraivolohkon raja-alueen – vaurioista voi seurata kyvyttömyys ohjata omia liikkeitä näkö tiedon perusteella eli visuomotorinen apraksia.

Koska näön tietojenkäsittelyn rakenne on vielä laajalti tuntematon, on luonnollista, että myös vaurioihin liittyvien häiriöiden ymmärtäminen



KUVA 3. Puolikenttään rajoittuvien aivoperäisten näköoireiden karkea laadullinen luokittelu. Harmaalla merkitty alue kuvaa molempien silmien näkökenttäpuutoksen paikkaa perimetriatutkimuksessa. Vaikka perimetriassa ei saataisi vastetta, voi sokealla alueella olla jäännösnäköä. Toisaalta vaikka perimetriatulokset olisivat normaali, saattaa näkö olla laadullisesti heikentynyt toisessa puolikentässä. Vaurio voi kattaa myös vain osan näkökentästä (skotooma). Samassa puolikentässä saattaa olla täysin sokea alue, jonka vieressä on heikosti näkevä alue. Keskeisen näön alueelle jää tyypillisesti muutaman asteen terve näkökenttäalue (makulan alue). Numerot renkaan ulkoreunalla kuvaavat polaarikulmaa asteina ja numerot vaakakeskilinjalla sisäkkäiden renkaiden vieressä etäisyyttä asteina tarkkan näkemisen pisteestä (fovea).

on vielä puutteellista. Yleisimmästä häiriöstä eli näkökenttäpuutoksesta on kuitenkin jo varsin monipuolinen kuva. Näillä potilailla »sokeus» ei usein tarkoita näkökyvyn täydellistä menetystä, vaan sokealla alueella on jäännösnäköä (Stoerig ja Cowey 1997, Weiskrantz 1997). Tämä on havaittavissa mm. kehoitettaessa potilaita arvaamaan jokin asia, joka liittyy ainoastaan sokealle alueelle esitettyyn näköärsykkeeseen. Potilaiden arvaus saattaa olla varsin tarkka, vaikka asiasta ei olisi tietoista havaintoa (blindsight). Lisäksi on todettu, että kun nähty liike tai kontrastin vaihtuminen on riittävän nopeaa samalla kun kontrasti on suuri, osa potilaista kykenee myös tietoiseen näköhavaintoon sokealta alueelta. Hemianopiapotilailta on kuvannettu jäännösnäköä vastaavaa aivokuoriperäistä toimintaa sokeaan kenttään rajoittuvan ärsykkeen seurauksena (Barbur ym. 1993), jopa aivopuoliskon poiston jälkeen (Bittar ym. 1999).

Voidaanko näkökenttäpuutospotilaita kuntouttaa? Kysymys on tärkeä, ja myönteisellä vastauksella on laajat inhimilliset ja taloudelliset seuraukset. Kaksi katsausta (Pambakian ja Kennard 1997; Zihl 2003) antaa asiasta seuraavan kuvan. Potilaille voidaan opettaa nopeiden silmänliikkeiden käyttöä siten, että kohteen löytäminen sokealta alueelta helpottuu ja myös lukutaito paranee. Sen sijaan on epäselvää, voidaanko spontaanin parantumisen jälkeen vaikuttaa harjoittelulla sokean alueen näkökykyyn. Asiasta on esitetty selkeitä kannanottoja sekä puolesta (Zihl ja von Cramon 1979, Kasten ym. 2000, Hyvärinen ym. 2002, Julkunen ym. 2003) että vastaan (Balliet ym. 1985, Pommerenke ja Markowitsch 1989). Viimeksi mainittuihin tutkimuksiin liittyi negatiivisia kuntoutustuloksia. On mahdollista, että näkökentän mittarina käytetty perimetriamenetelmä ei ole riittävä aktivoimaan ensimmäisen näköaivokuoren kiertävää järjestelmää, vaan sen ärsykkeet saattavat jäädä kynnoksen alapuolelle kooltaan, kirkkaudeltaan tai liikenopeudeltaan (mm. Weiskrantz ym. 1995).

* * *

Kiitän Hanna Jokista, Antti Ranista, Linda Stenbackaa ja Topi Tanskasta, jotka ovat kommentoineet asiantuntevasti tekstin sisältöä, ja Mika Seppää, joka on auttanut kuvan 2 anatomisten magneettikuvien käsittelyssä. Katsaus on kirjoitettu Suomen Akatemian vt. akatemiaturkijan virkakauden aikana.

Kuntoutuksen jälkeen on havaittu sokean kentän ärsykkeen aiheuttama selvä ohimolohkoon painottuva herätevaste, joka on voimakkaampi kuin terveen puolen vastaava herätevaste (Vanni ym. 2001a). Sokean kentän toimintaa voidaan huomattavasti parantaa eräiltä osin; esimerkiksi välkehavainto ja välkkyvien kirjainten tunnistus on mahdollista saada jopa vastaamaan terveen puolen kynnsarvoja (Hyvärinen ym. 2002). Lisäksi potilaat ovat kertoneet mm. tilan paremmasta hahmottamisesta ja lukemisen nopeutumisesta.

On ilmeistä, että kliininen tutkimus kuntoutuksen merkityksestä ainakin työikäisille hemianopiapotilaille on paikallaan. Menetetty toiminta ei palaa alkuperäisen kaltaisena, sillä parhaan erottelukyvyn ensimmäinen näköaivokuori ei toimi. Plastiset muutokset saattavat kuitenkin vahvistaa verkkokalvosta aivokuoreen tietoa kuljettavaa vaihtoehtoista reittiä, jolloin sokean kentän visuaalista informaatiota on mahdollista käyttää muilla näköaivokuorialueilla ilman, että kyse olisi näön käytön kompensaaation tietoisesta opettelemisesta.

Lopuksi

Monet ihmisen näköaivokuorista voidaan karvoittaa toiminnallisiksi kuvantamismenetelmin. Kun perustieto näkemisen mekanismeista karttuu, myös aivoperäisten näköhäiriöiden luokittelu selkeytynee. Tällöin spesifiset vauriot voivat muuttua erillisten oireiden ja löydösten tasolta hermoverkkojärjestelmien tunnettujen osien vaurioiksi. Vaikka normatiivista aineistoa on vielä vähän, ajan myötä hahmottuu käsitys toiminnallisten alueiden yksilöllisen vaihtelun rajoista ja patologisen organisaation ja kuntoutuksen aikaisen reorganisaation luonteesta. On täysin mahdollista, että tulevaisuudessa toiminnallisia kuvantamismenetelmiä kannattaa käyttää tukena diagnostiikassa ja kuntoutuksen edellytyksiä arvioitaessa.

Kirjallisuutta

- Balliet R, Blood KM, Bach-y-Rita P. Visual field rehabilitation in the cortically blind? *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1985;48:1113–24.
- Barbur JL, Watson JDG, Frackowiak RSJ, Zeki S. Conscious visual perception without V1. *Brain* 1993;116:1293–302.
- Bittar RG, Ptito M, Faubert J, Dumoulin SO, Ptito A. Activation of the remaining hemisphere following stimulation of the blind hemifield in hemispherectomized subjects. *Neuroimage* 1999;10:339–46.
- Bullier J, Girard P, Salin P-A. The role of area 17 in the transfer of visual information to extrastriate visual cortex. Kirjassa: Peters A, Rockland KS, toim. The role of area 17 in the transfer of visual information to extrastriate visual cortex. New York: Plenum Press, 1994, s. 301–30.
- Bullier J. Integrated model of visual processing. *Brain Res Brain Res Rev* 2001;36:96–107.
- Dechent P, Frahm J. Characterization of the human visual V6 complex by functional magnetic resonance imaging. *Eur J Neurosci* 2003;17:2201–11.
- Fahle M, Greenlee M, toim. The neuropsychology of vision. Oxford: Oxford University Press, 2003.
- Felleman DJ, Van Essen DC. Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex. *Cerebral Cortex* 1991;1:1–47.
- Galletti C, Battaglini PP, Fattori C. Functional properties of neurons in the anterior bank of the parieto-occipital sulcus of the Macaque monkey. *Eur J Neurosci* 1991;3:452–61.
- Grill-Spector K. The neural basis of object perception. *Curr Opin Neurobiol* 2003;13:159–66.
- Hendry SH, Reid RC. The koniocellular pathway in primate vision. *Annu Rev Neurosci* 2000;23:127–53.
- Horton JC, Hoyt WF. Quadrantic visual field defects. A hallmark of lesions in extrastriate (V2/V3) cortex. *Brain* 1991;114:1703–18.
- Hyvärinen L, Raninen A, Näsänen R. Vision rehabilitation in homonymous hemianopia. *Neuroophthalmology* 2002;27:97–102.
- Julkunen L, Tenovuori O, Jääskeläinen S, Hämäläinen H. Rehabilitation of chronic post-stroke visual field defect with computer-assisted training: a clinical and neurophysiological study. *Restor Neurol Neurosci* 2003;21:19–28.
- Kasten E, Poggel DA, Sabel BA. Computer-based training of stimulus detection improves color and simple pattern recognition in the defective field of hemianopic subjects. *J Cogn Neurosci* 2000;12:1001–12.
- Kerkhoff G. Restorative and compensatory therapy approaches in cerebral blindness – a review. *Restor Neurol Neurosci* 1999;15:255–71.
- Leopold DA, Logothetis NK. Activity changes in early visual cortex reflects monkeys' percepts during binocular rivalry. *Nature* 1996;379:549–53.
- Malach R, Reppas JB, Benson RR, ym. Object-related activity revealed by functional magnetic resonance imaging in human occipital cortex. *Proc Natl Acad Sci USA* 1995;92:8135–9.
- Maunsell JHR, Van Essen DC. The connections of the middle temporal visual area (MT) and their relationship to a cortical hierarchy in the macaque monkey. *J Neurosci* 1983;3:2563–86.
- Mishkin M, Ungerleider LG, Macko KA. Object vision and spatial vision: two cortical pathways. *Trends Neurosci* 1983;6:414–7.
- Mountcastle VB. Perceptual neuroscience: the cerebral cortex. Cambridge: Harvard University Press, 1998.
- Nowak LG Bullier J. The timing of information transfer in the visual system. Kirjassa: Rockland KS, Kaas JH, Peters A, toim. The timing of information transfer in the visual system. London: Plenum Press, 1997, s. 205–41.
- Palmer SE. Vision science: photons to phenomenology. London: MIT Press, 1999.
- Pambakian AL, Kennard C. Can visual function be restored in patients with homonymous hemianopia? *Br J Ophthalmol* 1997;81:324–8.
- Pommerehne K, Markowitsch HJ. Rehabilitation training of homonymous visual field defects in patients with postgeniculate damage of the visual system. *Restor Neurol Neurosci* 1989;1:47–63.
- Portin K, Salenius S, Salmelin R, Hari R. Activation of the human occipital and parietal cortex by pattern and luminance stimuli: neuromagnetic measurements. *Cerebral Cortex* 1998;8:253–60.
- Salmelin R, Helenius P, Service E. Neurophysiology of fluent and impaired reading: a magnetoencephalographic approach. *J Clin Neurophysiol* 2000;17:163–74.
- Schiller PH, Malpeli JG. Properties and tectal projections of monkey retinal ganglion cells. *J Neurophysiol* 1977;40:428–45.
- Sereno MI, Dale AM, Reppas JB, ym. Borders of multiple visual areas in humans revealed by functional resonance magnetic imaging. *Science* 1995;268:889–93.
- Sereno MI, Pitzalis S, Martinez A. Mapping of contralateral space in retinotopic coordinates by a parietal cortical area in humans. *Science* 2001;294:1350–4.
- Stoerig P, Cowey A. Blindsight in man and monkey. *Brain* 1997;120:535–59.
- Tanaka K. Neuronal mechanisms of object recognition. *Science* 1993;262:685–8.
- Thorpe S, Fize D, Marlot C. Speed of processing in the human visual system. *Nature* 1996;381:520–2.
- Tzelepi A, Ioannides AA ja Poghosyan V. Early (N70m) neuromagnetic signal topography and striate and extrastriate generators following pattern onset quadrants stimulation. *Neuroimage* 2001;13:702–18.
- Van Essen DC. Organization of visual Areas in macaque and human cerebral cortex. Kirjassa: Chalupa L ja Werner J, toim. Organization of visual areas in macaque and human cerebral cortex. MIT Press, 2003.
- Vanni S, Revonsuo A, Saarinen J, Hari R. Visual awareness of objects correlates with activity of right occipital cortex. *Neuroreport* 1996;8:183–6.
- Vanni S, Raninen A, Näsänen R, Tanskanen T, Hyvärinen L. Dynamics of cortical activation in a hemianopic patient. *Neuroreport* 2001(a);12:861–5.
- Vanni S, Tanskanen T, Seppä M, Uutela K, Hari R. Coinciding early activation of the human primary visual cortex and anteromedial cuneus. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2001(b);98:2776–80.
- Vanni S, Dojat M, Warnking J, ym. Timing of interactions across the visual field in the human cortex. *Neuroimage* 2004(a);21:818–28.
- Vanni S, Warnking J, Dojat M, ym. Sequence of pattern onset responses in the human visual areas: an fMRI constrained VEP source analysis. *Neuroimage* 2004(b);21:801–17.
- Watson JDG, Myers R, Frackowiak RSJ, ym. Area V5 of the human brain: evidence from a combined study using positron emission tomography and magnetic resonance imaging. *Cerebral Cortex* 1993;3:79–94.
- Weiskrantz L, Barbur JL, Sahraie A. Parameters affecting conscious versus unconscious visual discrimination with damage to the visual cortex (V1). *Proc Natl Acad Sci USA* 1995;92:6122–6.
- Weiskrantz L. Consciousness lost and found. Oxford: Oxford University Press, 1997.
- Zihl J, von Cramon D. Restitution of visual function in patients with cerebral blindness. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1979;42:312–22.
- Zihl J. Recovery and rehabilitation of cerebral visual disorders. Kirjassa: Fahle M, Greenlee M, toim. Recovery and rehabilitation of cerebral visual disorders. Oxford: Oxford University Press, 2003, s. 319–38.

SIMO VANNI, LT, vt. akatemiätutkija

vanni@neuro.hut.fi

Teknillinen korkeakoulu, kylmälaboratorio, aivotutkimusyksikkö
ja AMI-keskus

PL 3000, 02015-TKK, Espoo