



## Tarkkaavaisuus ja aivotoiminta

Kimmo Alho



**Aiemmin tietoa eri aivoalueiden merkityksestä ihmisen psyykkisille toiminnolle saatiin pääosin potilastutkimuksista, esimerkiksi selvittämällä, millaisia psyykkisen toiminnan häiriöitä jonkin aivoalueen vaurioituminen aiheuttaa tai millaisia aistimuksia tai reaktioita saa aikaan jonkin aivoalueen sähköinen ärsytys aivoleikkauksen yhteydessä. Vaikka potilastutkimukset tarjoavat yhä merkittävää tietoa ihmisaivojen eri alueiden toiminnallisesta erikoistumisesta ja toiminnallisista yhteyksistä, voidaan näitä kysymyksiä selvittää nykyään myös terveillä ihmisillä uusien ja entistä kehittyneempien aivotutkimusmenetelmien avulla. Näillä menetelmillä on muun muassa pystytty kartoittamaan tarkkaavaisuuteen liittyviä aivotoimintoja.**



Ihminen pystyy suuntaamaan tarkkaavaisuutensa valikoivasti tiettyyn kohteeseen. Tämä kyky on usein edellytyksenä muille kognitiivisille toiminnolle. Tarkkaavaisuus on tarpeen vaikkapa kuullun puheen sisällön ymmärtämiselle, kuten jo *Cherry*n (1953) urauurtavat kokeet osoittivat: Kun koehenkilöille esitettiin samanaikaisesti eri korviin eri puhetta ja koehenkilön tehtävänä oli tarkkaavaisesti kuunnella ja toistaa toiseen korvaan esitettyä puhetta, eivät he esimerkiksi huomanneet, jos vastakkaiseen korvaan esitetyn puheen kieli vaihtui. Toisaalta ihmisen tarkkaavaisuus voi tahattomasti kääntyä ääniympäristössä tapahtuviin muutoksiin ja uusiin ääniin. Niinpä esimerkiksi *Cherry*n kokeissa ei-tarkkaillun puheen joukossa esiintyneet äänimerkit tai ei-tarkkaillun miesäänen vaihtuminen naisääneksi veti kuuntelijan tarkkaavaisuuden puoleensa ja koehenkilön suorittama puheen kuuntelu- ja toistotehtävä häiriintyi hetkellisesti. *Cherry*n kokeet edustivat kokeellisessa psykologiassa tuolloin tapahtunutta merkittävää murrosta kognitiivisten toimintojen tutkimuksessa. Vallalla ollut behavioristinen suuntaus oli nimittäin pitkälti hylännyt esimerkiksi tarkkaavaisuuden psykologisen tutkimuksen kohteena ja piti sitä lähinnä vain hankalana väliintulevana tekijänä, joka vaikeutti käyttäytymisen ennustamista ärsykeistä käsin (*Neisser* 1981).



Valikoiva tarkkaavaisuus ja aivotoiminta



Yhteistyössä Venäjän tiedeakatemia Ihmisaivojen tutkimusinstituutin kanssa olemme kartoittaneet positroniemissiotomografialla eli PET-menetelmällä niitä aivoalueita, joiden aktiivisuus lisääntyy ihmisen kuunnellessa valikoivasti tietystä suunnassa esiintyviä ääniä verrattuna tilanteeseen, jossa keskitytään tarkkailemaan näköärsyksiä (*Alho* ym. 1999). PET-menetelmä perustuu siihen, että lisääntynyt hermosolutoiminta tietyllä aivoalueella lisää myös verenkiertoa ja aineenvaihduntaa tällä aivoalueella, koska aktiiviset hermosolut tarvitsevat lisää happea ja sokeria. Näitä muutoksia mitataan verenkiertoon johdettujen radioaktiivisten leimaa-aineiden avulla. PET-tutkimuksessamme koehenkilöille esitettiin sarja ääniä vasempaan korvaan, toinen sarja oikeaan korvaan sekä sarja näköärsyksiä.



Tarkkailtaessa tietystä suunnassa esiintyviä ääniä aivotoiminta vilkastui kuuloaivokuorella kummassakin aivopuoliskossa, siten että toiminta oli voimakkaampaa tarkkailtujen äänten esiintymissuunnan vastaisessa aivopuoliskossa (ks. kuva). Kuuloaivokuori siis "virittyi" vastaanottamaan ääniä tietystä suunnasta. Aivotoiminta voimistui myös erityisesti oikean aivopuoliskon otsa- ja päälaenlokoissa alueilla, joiden ohjauksessa kuuloaivokuoren "virittyminen" ilmeisesti tapahtuu. Myös näköärsyksiin kohdistettu tarkkaavaisuus aiheutti muutoksia aivotoiminnassa: Toiminta vilkastui aivokuoren näköalueilla verrattuna koetilanteisiin, joissa tarkkaavaisuus oli kohdistettu ääniin.



Tulokset tukevat päänpinnalta rekisteröidyssä aivosähkökäyrässä eli EEG:ssä esiintyvien jännitevasteiden avulla saatuja tuloksia (ks. esim. *Woods* 1990, *Näätänen* 1992, *Alho* 1992). Vastaavissa koetilanteissa rekisteröidyt tarkkailtavien ja ei-tarkkailtavien äänten jännitevasteet alkasivat erota toisistaan alle 100 ms:n kuluttua äänen alkamisesta, mikä johtuu näiden äänten erilaisesta käsittelystä kuuloaivokuorella (ks. myös *Hari* ym. 1989). Tarkkailtavien äänten jännitevasteissa tätä varhaista ilmiötä seuraa päänpinnan etuosissa suurimmillaan oleva jännitevasteaalto, jonka on ehdotettu syntyvän otsalohkossa ja liittyvän tarkkaavaisuuden ylläpitoon (*Näätänen* 1992). Otsalohkotointojen merkitystä näiden tarkkaavaisuuteen liittyvien jännitevasteaaltojen synnylle osoittaa myös se, että nämä aallot vaimenevat tarkkaavaisuuden ylläpitoa vaikeuttavien etuosalohkovaurioiden seurauksena (*Knight* ym. 1981).



Toisessa PET-tutkimuksessamme (*Alho* ym.; lähetetty julkaistavaksi) esitimme yhtä puhetta koehenkilön vasempaan korvaan ja toista puhetta oikeaan korvaan. Koehenkilön tehtävänä oli kuunnella jompaa kumpaa näistä puheista ja vertailutilanteessa lukea tekstiä kuvaruudulta. Myös tässä kokeessa havaittiin kuuloaivokuoren "virittymistä" vastaanottamaan ääniä tarkkaillusta suunnasta. Lisäksi todettiin, että tarkkailtiinpa sitten oikealta tai vasemmalta kuuluvaa puhetta, aivotoiminta voimistui vasemman aivopuoliskon kuuloalueilla, mm. *Wernicke*n alueella, jonka vaurion tiedetään aiheuttavan puheen ymmärtämishäiriön (*Wernicke* 1874, *Naeser* ym. 1987). Myös oikean aivopuoliskon kuuloalueet aktivoituivat voimakkaasti kummassakin kuuntelutilanteessa. Potilastutkimusten mukaan oikean aivopuoliskon kuuloalueiden vauriot puolestaan aiheuttavat häiriöitä puheen ei-kielillisten piirteiden, esimerkiksi äänenpainojen ja tunnesävyjen havaitsemisessa (*Ross* 1984). Puheen kuuntelutilanteessa vasemman ja oikean aivopuoliskon kuuloalueet siis toimivat yhteistyössä, jonka seurauksena niin puheen kielelliset kuin ei-kielillisetkin piirteet tunnistetaan.



Aivojen toiminnallisella magneettikuvausella (*functional magnetic resonance imaging*, fMRI) voidaan mitata veren happipitoisuusmuutoksia aktivoituneilla aivoalueilla ilman radioaktiivisia leimaa-aineita ja se on anatomisesti PET-menetelmää tarkempi. Yhteistyössä professori David L. Woodsin tutkimusryhmän (Kalifornian yliopisto, *Davis*) kanssa olemme äskettäin kartoittaneet fMRI-menetelmällä aivoalueita, joiden toiminta vilkastuu tarkkailtaessa ääniä verrattuna tilanteeseen, jossa tarkkaillaan kuvia (*Alho* ym.; valmistella).



Kummassakin koetilanteessa koehenkilöille esitettiin sekä erikorkuisia ääniä että muodoltaan ja väritään toisistaan eroavia kuvioita satunaisjärjestyksessä nopeaan tahtiin, n. 2 ääntä ja kuviota sekunnissa. Koehenkilön tehtävänä oli painaa reaktionappia aina, kun tarkkailun kohteena olevien äänten tai kuvien joukossa esiintyi samanlainen ääni/kuva kaksi kertaa peräkkäin. Aivotoiminta oli odotetusti vilkkaampaa aivokuoren kuuloalueilla kuunneltaessa tarkkaavaisesti ääniä kuin katseltaessa tarkkaavaisesti kuvia. Ääniin kohdistettuun tarkkaavaisuuteen liittyi toiminnan vilkastumista erityisesti primaaria kuuloaivokuorta ympäröivillä alueilla pikemminkin kuin itse primaarilla kuuloaivokuorella. Tämä tulos on ristiriidassa sen oletuksen kanssa, että tarkkaavaisuus voimistaisi tarkkailujen äänten käsittelyä (tai vaimentaisi ei-tarkkailujen äänten käsittelyä) jo ennen kuin äänen aiheuttama hermosoluaktiivatio saapuu sisäkorvasta kuulorataa pitkin väliaivojen talamuksen kautta kuuloaivokuorelle (*Woldorff & Hillyard 1991*). Sen sijaan tuloksemme tukevat teoriaa, jonka mukaan tarkkaavaisuus perustuu vasta kuuloaivokuorella tapahtuvaan tarkkailujen äänten valikointiin muiden äänten joukosta (*Näätänen 1992, Aho 1992*).

#### Tahaton tarkkaavaisuus ja aivotoiminta

Vaikka fMRI-menetelmällä voidaankin saada varsin tarkkaa tietoa siitä, mitkä aivoalueet aktivoituvat tietyn psyykkisen toiminnan aikana, menetelmän rajoituksena on kuitenkin mitattavien vasteiden hitaus. Luotettavasti mitattavissa olevat aivoverenkierron happipitoisuusmuutokset nimittäin seuraavat tietyn aivoalueen hermosolutoiminnan vilkastumista vasta usean sekunnin kuluttua. Sekuntitarkkuus ei kuitenkaan riitä tutkittaessa esimerkiksi sitä aivotoimintojen nopeaa sarjaa, joka liittyy sekunnin murto-osassa tapahtuvaan äänen havaitsemiseen. Ajallisesti huomattavasti tarkempaa tietoa näistä aivotoiminnoista voidaan saada jännitevasterekisteröinneillä. Kuten edellä todettiin, niillä voidaan tutkia esimerkiksi valikoivaan tarkkaavaisuuteen liittyviä aivotoimintoja, mutta ne soveltuvat myös tahattoman tarkkaavaisuuden tutkimiseen.

Barcelonan yliopiston professorin Carles Esceran kanssa tekemässämme tutkimuksessa koehenkilöiden tehtävänä oli tunnistaa kuvaruudulla esitettyjä näköärsykeitä, jotka olivat numeroita 1:stä 8:aan (*Escera ym. 1998*). Koehenkilön tehtävänä oli painaa yhtä reaktionappia, jos numero oli pariton, ja toista nappia, jos se oli parillinen. Kutakin näköärsykettä edelsi lyhyt ääni, joka tavallisesti oli tietynkorkeainen yksinkertainen äänimerkki. Satunnaisesti tämän äänen sijasta esitettiin hieman korkeampi äänimerkki tai monimutkaisempi ääni, esimerkiksi puhelimen pirinä, sähköporan ääni, koputus, tai tuulen ujellus. Kumminlaiset äänenmuutokset synnyttivät 100-200 ms:n kuluttua äänen alusta nk. mismatch negatiivisyys (MMN) -jännitevasteaallon. MMN-aallon on osoitettu olevan toistuneesta äänestä syntyneen muistijäljen ja tästä äänestä poikkeavan äänen yhteensopimattomuuden aiheuttama, ensisijaisesti kuuloaivokuorella syntyvä reaktio (*Näätänen ym. 1978, Näätänen 1992*). Tämä äänenmuutostunnistus voi aiheuttaa tarkkaavaisuuden kääntymisen muutokseen ääniympäristössä.

Tarkkaavaisuuden tahattomaan kääntymiseen liittyy MMN-aaltoa seurannut, polariteetiltaan positiivinen jännitevasteaalto, nk. P3a-aalto. Sitä, että koehenkilöiden tarkkaavaisuus todella ajoittain kääntyi näkötehtävästä näihin ääniin osoitti se, että numeroiden tunnistukseen liittyvät reaktioajat pitenevät näiden tehtävää häiritsevien äänten jälkeen verrattuna sellaisten numeroiden tunnistamiseen, joita edelsi usein toistunut ääni. Monimutkaisemat äänet hidastivat näkötehtävän suoritusta enemmän ja synnyttivät suuremman P3a-aallon kuin pienet äänenkorkeusmuutokset. Yhdessä nämä tulokset tukevat sitä oletusta, että P3a-aallon synnyttää tarkkaavaisuuden kääntymiseen liittyvät aivotoiminnot.

HYKS:n BioMag-laboratoriossa olemme mitanneet samanaikaisesti aivojen jännitevasteita EEG-menetelmällä ja niihin liittyviä aivojen magneettikenttiä magneettoenkefalografia (MEG) -menetelmällä. Vasteiden lähdemallinnus osoitti, että MMN-aallon kuuloaivokuorella synnyttävää automaattista äänenmuutostunnistusta seuraa alle 20 ms:ssa aivojen otsalohkoalueiden aktivoituminen, joka ilmeisesti käynnistää tarkkaavaisuuden kääntymisen (*Rinne ym. 2000; ks. myös Näätänen 1992*). Tutkimustemme mukaan myös tarkkaavaisuuden kääntymiseen liittyvä P3a-aalto syntyy osin kuuloaivokuorella (*Aho ym. 1998; Escera ym. 1998*). Sen synnyttämiseen osallistuvat kuitenkin myös monet muut aivoalueet, mm. otsalohkoalueet, joiden vauriot vaimentavat P3a-aaltoa ja aiheuttavat tarkkaavaisuuden suuntaamisen häiriöitä (*Knight 1991*).

#### Tarkkaavaisuuden suunnan kontrolloinnin tärkeys kognitiivisessa aivotutkimuksessa

Kuten edellä esitellyt tutkimustulokset osoittavat, tarkkaavaisuudella on voimakas vaikutus aivotoimintaan. Niinpä koehenkilön tehtävän ja sen suoritukseen liittyvien psyykkisten toimintojen tarkka määrittely olisikin erittäin tärkeää kaikissa ihmisen aivotoiminnan tutkimuksissa. Näin ei kuitenkaan ole aina muistettu tehdä edes parhaissa kansainvälisissä tieteellisissä lehdissä ilmestyneissä tutkimuksissa, vaikka kokeellinen psykologia on jo yli sadan vuoden ajan tarjonnut erinomaisia menetelmiä koehenkilöiden suoritustarkkuuden ja nopeuden mittaamiseen.

Esimerkiksi jokin aika sitten arvostetussa *Nature*-lehdessä raportoitiin fMRI-tutkimus, jonka mukaan ihmisen kuuloaivokuorella on alue, joka on erikoistunut ihmisäänen tunnistamiseen (*Belin ym. 2000*). Aivotoiminta oli voimakkaampaa tällä alueella koetilanteessa, jossa koehenkilö kuuli ihmisääniä, kuin vertailutilanteessa, jossa kuultiin muita yhtä monimutkaisia ääniä. Tutkimuksessa käytettyjen äänten suhteen koe oli siis varsin hyvin kontrolloitu. Tämän erittäin mielenkiintoisen tuloksen tulkinna tekee kuitenkin vaikeaksi se, että kokeessa käytettiin nk. "passiivista" kuuntelua eli kokeen aikana koehenkilöt makasivat magneettikuvauslaitteessa vailla minkäänlaista kontrolloitua tehtävää. Saattaa siis olla, että he muun tekemisen puutteessa kuuntelivatkin oletettua aktiivisemmin heille esitettyjä ääniä ja että ihmisäänet olivat muita ääniä kiinnostavampia ja vetivät koehenkilöiden tarkkaavaisuuden puoleensa muita ääniä tehokkaammin. Niinpä ihmisäänten kuulemiseen liittynyt vilkastunut toiminta aivokuoren kuuloalueilla saattoi osin tai kokonaan olla seurausta näihin ääniin kohdistetusta tarkkaavaisuudesta.

Ongelmallista on tulkita myös tuloksia sellaisista kokeista, joissa ärsykkeiden tarkkailua edellyttävän tehtäväsuorituksen aikana mitattua aivotoimintaa on verrattu aivotoimintaan "passiivisessa" tilanteessa, jossa koehenkilöille ei ole annettu mitään tehtävää. Vaikka näkö- tai kuuloärsykkeiden tarkkaavainen katselu/kuuntelu saisi aikaan tiettyjen aivoalueiden voimakkaampaa



aktivoitumista kuin "passiivinen" katselu/kuuntelu, ei voida tarkkaan tietää, mihin näiden tilanteiden väliseen eroon tämä aivotoiminnan muutos liittyy. Usein kuitenkin oletetaan, että erot aivotoiminnassa "aktiivisen" ja "passiivisen" tilanteen välillä liittyvät tarkkaavaisuuteen (esim. Jäncke ym. 1999; Tootell ym. 1998), vaikka ne saattavat johtua esimerkiksi keskushermoston yleisen viireystason eroista näiden tilanteiden välillä.

Tiede-lehdessä äskettäin ilmestyneessä artikkelissa (Holmes 2001) käsiteltiin mm. tutkimusta (Newberg ym. 2001), jossa rekisteröitiin aivoverenkiertoa buddhalaisen mietiskelyn aikana. Tutkimuksessa todettiin, että mietiskelijän keskittyessä mielikuvaan uskonnollisesta symbolista ja saavuttaessa lopulta "ykeyden tunteen" aivotoiminta lisääntyy otsalohkossa mutta vähenee päälaenlohkossa. Otsalohkotoiminnan vilkastumisen tulkittiin liittyvän tarkkaavaisuuden suuntaamiseen uskonnolliseen mielikuvaan. Päälaenlohkon aktiivisuuden vähenemisen taas oletettiin liittyvän siihen, että mietiskelijä sulkee ulkomaailman tietoisuutensa ulkopuolelle.

Tulkinta saattaa olla oikeakin, mutta tutkimuksessa oli ainakin kaksi heikkoutta. Ensinnäkään tutkimuksessa ei ollut toista koetilannetta, jossa uskonnollisen mietiskelyn sijasta olisi keskitytty intensiivisesti ajattelemaan jotakin maallisempaa asiaa, mikä voisi aiheuttaa samanlaisia muutoksia aivotoiminnassa kuin mietiskely. Toiseksi kokeessa käytetty vertailutilanne oli "lepotilanne", jossa koehenkilölle ei annettu mitään tehtävää. Niinpä tulosten oikea tulkinta on vaikeaa, koska ei tarkkaan tiedetä, miten psyykinen toiminta erosi lepotilanteen ja mietiskelytilanteen välillä.

#### Johtopäätöksiä

Tutkimustulosten mukaan sekä tiettyihin ääniin kohdistettuun valikoivaan tarkkaavaisuuteen että tarkkaavaisuuden tahattomaan kääntymiseen kohti ympäristössä esiintyviä uusia ääniä liittyy monimutkaisten, useiden aivoalueiden muodostamien toiminnallisten verkostojen aktivoituminen. Tarkkaavaisuuden ohella näiden verkostojen toiminta saattaa liittyä tietoisien havainnon syntymiseen äänestä. Koska tarkkaavaisuus voi merkittäväällä tavalla vaikuttaa niin EEG- ja MEG-menettelmillä rekisteröityihin aivojen sähkömagneettisiin vasteisiin kuin PET- ja fMRI-menettelmillä kartoitettuihin aivojen verenkierto- ja aineenvaihduntamuutoksiin, on tarkkaavaisuuden suunnan kontrollointi kognitiivisissa aivotutkimuksissa erittäin tärkeää.

Menestyksellinen ihmisaivojen toiminnan tutkimus edellyttää siis aivotoiminnan mittausmenetelmien ja kerättyjen tutkimusaineistojen analyysimenetelmien hallinnan lisäksi myös tarkkaa koetilanteiden kontrollia ja niihin liittyvien psyykkisten toimintojen tuntemista ja määrittelyä.

#### KIRJALLISUUTTA:

- Alho, K. (1992): "Selective attention in auditory processing as reflected by event-related brain potentials". *Psychophysiology*, 29, 247-263.
- Alho, K., Bertrand, O., Kang, X., Murray, S.O., Yund, E.W., Weaver, J. & Woods, D.L. (Valmisteilla oleva käsikirjoitus): "Modulation of human auditory-cortex activity by selective attention: an fMRI study".
- Alho, K., Medvedev, S.V., Pakhomov, M.S., Roudas, M., Tervaniemi, M., Reinikainen, K., Zeffiro, T. & Näätänen, R. (1999): "Selective tuning of the left and right auditory cortices during spatially directed attention". *Cognitive Brain Research*, 7, 335-341.
- Alho, K., Vorobiev, V.A., Medvedev, S.V., Pakhomov, M.S., Roudas, M., Tervaniemi, M., van Zuijen, T. & Näätänen, R. (Lähetetty julkaistavaksi): "Hemispheric lateralization of cerebral blood-flow changes during selective listening to dichotically presented real speech."
- Alho, K., Winkler, I., Escera, C., Huotilainen, M., Virtanen, J., Jääskeläinen, I.P., Pekkonen, E. & Ilmoniemi, R.J. (1998): "Processing of novel sounds and frequency changes in the human auditory cortex: Magnetoencephalographic recordings". *Psychophysiology*, 35, 211-224.
- Belin, P., Zatorre, R.T., Lafaille, P., Ahad, P. & Pike, B. (2000): "Voice-selective areas in the human auditory cortex". *Nature*, 403, 309-312.
- Cherry, E.C. (1953): "Some experiments on the recognition of speech with one and with two ears". *Journal of the Acoustical Society of America*, 25, 975-979.
- Escera, C., Alho, K., Winkler, I. & Näätänen, R. (1998): "Neural mechanisms of involuntary attention to acoustic novelty and change". *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10, 590-604.
- Hari, R., Hämäläinen, M., Kaukoranta, E., Mäkelä, J., Joutsiniemi, S.L. & Tiihonen, J. (1989): "Selective listening modifies activity of the human auditory cortex". *Experimental Brain Research*, 74, 463-470.
- Holmes, B. (2001): "Uskonnollinen kokemus - tunneaivojemme luomus?" *Tiede* 7/2001, 42-46.
- Jäncke, L., Mirzazade, S. & Shah N.J. (1999): "Attention modulates activity in the primary and the secondary auditory cortex: a functional magnetic resonance imaging study in human subjects". *Neuroscience Letters*, 266, 125-128.
- Knight, R.T. (1991): "Evoked potential studies of attention capacity in human frontal lobe lesions". Teoksessa H. Levin, H. Eisenberg & F. Benton (toim.), *Frontal lobe function and dysfunction*. Oxford: Oxford University Press, 139-153.
- Knight, R.T., Hillyard, S.A., Woods, D.L. & Neville, H.J. (1981): "The effects of frontal cortex lesions on event-related potentials during auditory selective attention". *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1981, 52, 571-582.
- Naeser, M.A., Helm-Estabrooks, N., Haas, G., Auerbach, S. & Srinivasan, M. (1987): "Relationship between lesion extent in 'Wernicke's area' on computed tomographic scan and predicting recovery of comprehension in Wernicke's aphasia". *Archives of Neurology*, 44, 73-82.
- Neisser, U. (1981): *Kognitio ja todellisuus*. Helsinki: Weilin & Göös.
- Newberg, A., Alavi, A., Baime, M., Pourdehnad, M., Santanna, J. & d'Aquili, E. (2001): "The measurement of regional cerebral blood flow during the complex cognitive task of meditation: a preliminary SPECT study". *Psychiatry Research: Neuroimaging Section*, 106, 113-122.
- Näätänen, R. (1992): *Attention and brain function*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Näätänen, R., Gaillard, A.W.K. & Mäntysalo, S. (1978): "Early selective? attention effect on evoked potential reinterpreted". *Acta Psychologica*, 42, 313-329.
- Rinne, T., Alho, K., Ilmoniemi, R.J., Virtanen, J. & Näätänen, R. (2000): "Separate time behaviors of the temporal and frontal MMN sources". *NeuroImage*, 12, 14-19.

Ross, E.D. (1984): "Right hemisphere's role in language, affective behavior and emotion". Trends in Neurosciences, 7, 342-346.

Tootell, R.B.H., Hadjikhani, N., Hall, E.K., Marrett, S., Vanduffel, W., Vaughan, J.T. & Dale, A.M. (1998): "The retinotopy of visual attention". Neuron, 21, 1409-1422.

Wernicke, C. (1874): Der Aphasische Symptomenkomplex: Eine Psychologische Studie auf Anatomischer Basis. Breslau: Cohn und Welgert.

Woldorff, M. & Hillyard, S.A. (1991): "Modulation of early auditory processing during selective listening to rapidly presented tones". Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 79, 170-191.

Woods, D.L. (1990): "The physiological basis of selective attention: Implications of event-related potential studies". Teoksessa J.W. Rohrbaugh, R.

Parasuraman & R. Johnson, Jr. (toim.), Event-related potentials: Basic issues and applications. New York: Oxford University Press, 178-209.

*Kirjoittaja on Helsingin yliopiston yleisen psykologian professori, joka on tehnyt suurimman osan tutkimustyöstään Helsingin yliopiston psykologian laitoksella toimivassa Kognitiivisen aivotutkimuksen yksikössä. Kirjoitus perustuu kirjoittajan Helsingin yliopistossa 5.12.2001 pitämään virkaanastujaisesitysmään sekä hänen esitelmäänsä Suomalaisessa Tiedeakatemiassa 14.1.2002*

#### KUVATEKSTI

Positroniemissiotomografia- (PET-) mittauksen osoittamat vasemman ja oikean aivopuoliskon aivokuoriaalueet, joilla verenkierto vilkastui (tummemmalla esitetyt alueet), kun koehenkilöt kuuntelivat tarkkaavaisesti vasempaan tai oikeaan korvaan esitettyä äänisarjaa verrattuna tilanteeseen, jossa tarkkaavaisuus oli suunnattu näköärsykkeisiin. Äänet ja näköärsykkeet esitettiin hyvin nopeaan tahtiin (kussakin ärsykesarjassa n. 6 ärsykettä sekunnissa). Kuuntelutehtävissä koehenkilöiden piti tunnistaa tarkkaillussa suunnassa esiintyvien samanlaisena toistuvien äänten sijasta ajoittain esitetyt hieman korkeammat äänet ja katselutehtävässä heidän piti tunnistaa usein toistuneen A-kirjaimen sijasta silloin tällöin esitetyt A-kirjaimet. Valikoiva kuuntelu aiheutti aivotoiminnan vilkastumista erityisesti kuuloaivokuorella (kuvassa KA) siten, että tarkkaillaessa vasemmalla esiintyviä ääniä verenkierto vilkastui voimakkaammin oikealla kuuloaivokuorella ja päinvastoin. Aivotoiminnan vilkastumista havaittiin myös otsalohkoissa (OL) ja oikean aivopuoliskon päälaenlohkossa (PL) kummassakin kuuntelutilanteessa. (Kuvan aineisto artikkelista Alho ym. 1999).