



KIMMO ALHO & VILJAMI SALMELA

Tarkkaavaisuus ja havaitseminen aivokuvantamisen näkökulmasta

Tarkkaavaisuus vaikuttaa voimakkaasti siihen, miten havaitsemme ympäristömme ja mitä siinä havaitsemme, kuten sekä arkikokemuksemme että monet psykologiset tutkimukset osoittavat. Tarkkaavaisuuteen liittyviä kognitiivisia osatoimintoja on kuitenkin vaikea jäljittää arkielämän tilanteissa, eikä se ole helppoa laboratoriokokeissakaan, joissa mitataan esimerkiksi koehenkilöiden suoriutumisen nopeutta tai tarkkuutta heille annetuissa tarkkaavaisuutta vaativissa havaintotehtävissä. Tarkkaavaisuuden vaikutusten eristäminen muiden muuttujien vaikutuksista on usein ongelmallista. Aivokuvantamismenetelmien avulla saatava tieto tarkkaavaisuuteen liittyvistä aivotoiminnoista voi kuitenkin auttaa ymmärtämään paremmin, miten tarkkaavaisuus vaikuttaa havaintotoimintoihimme.

Jo kokeellisen psykologian perustajana pidetty Wilhelm Wundt korosti tutkimuksissaan tarkkaavaisuuden osuutta tietoisien havainnon synnyssä. Amerikkalaisen psykologian uranuurtaja William James puolestaan määritteli tarkkaavaisuuden tietoisuuden kohdistumiseksi tiettyyn havaintokohteeseen tai ajatukseen.¹ 1900-luvun alkupuolella kokeellisessa psykologiassa vallinnut behavioristinen lähestymistapa sen sijaan piti tarkkaavaisuutta vain hankalana väliintulevana muuttujana, jonka vuoksi koehenkilöiden reaktioita ei voitu suoraan ennustaa ärsykkeistä². Colin Cherryn vuonna 1953 julkaisemat tutkimustulokset vaikuttivat kuitenkin merkittävästi tähän tarkkaavaisuuden tutkimusta vieroksuvaan ajattelutapaan³. Cherry esitti koehenkilöiden vasempaan ja oikeaan korvaan samanaikaisesti eri puhetta ja pyysi heitä tarkkailemaan valikoivasti ja toistamaan toiseen korvaan esitettyä puhetta. Tehtävä osoittautui helpoksi, mikä vastaa arkikokemustamme kuunnelllessamme valikoivasti tiettyä puhujaa yleisessä puheensorinassa. Cherryn koehenkilöt eivät jälkikäteen pystyneet kertomaan paljoakaan ei-tarkkaillun viestin sisällöstä. He eivät yleensä edes huomanneet, jos ei-tarkkaillun puheen kieli vaihtui tai ei-tarkkailtua puhetta esitettiin takaperin.

Cherryn tulokset ja muiden tutkijoiden vastaavanlaiset havainnot nostivat tarkkaavaisuuden jälleen kokeellisen psykologian tärkeäksi tutkimuskohteeksi⁴. Cherryn tutkimusta seuranneissa uusissa kokeissa havaittiin kuitenkin, että valikoivan kuuntelun tilanteissa myös ei-tarkkaillun viestin sisältöä käsitellään jollakin tasolla. Esimerkiksi todettiin, että kuuntelijan oman nimen esiintyminen ei-tarkkaillussa puheessa saattaa vetää kuuntelijan tarkkaavaisuuden puoleensa ja tulla näin havaituksi.⁵ Todettiin myös, että esitettäessä eri sanat samanaikaisesti koehenkilön vasempaan ja oikeaan korvaan

ja pyydetessä häntä varjostamaan vain toisen korvan sanoja, näiden sanojen toistaminen hidastuu, jos ei-tarkkailtavan korvan samanaikaisella sanalla on merkitysyhteys tarkkailtavan sanan kanssa⁶. Treismanin ja hänen työtovereidensa tulokset täsmensivät tätä löydöstä⁷. He osoittivat, että tällaisessa koetilanteessa tarkkailtavien sanojen kanssa merkitykseltään läheiset ei-tarkkailtavat sanat häiritsevät tarkkailtavien sanojen tunnistusta enemmän tehtävän alussa kuin tehtävän jatkuttua jonkin aikaa. Valikoiva tarkkaavaisuus siis tehostuu tehtäväsuorituksen aikana.

Aivokuvantamismenetelmien avulla voidaan saada tärkeää tietoa tarkkaavaisuuden vaikutuksesta vastaanotetun aisti-informaation käsittelyyn. Esimerkiksi aivotoiminnan kartoituksissa positroniemissiotomografialla (PET) on esitetty samaan aikaan eri puhetta koehenkilöiden vasempaan ja oikeaan korvaan tai samaan aikaan miehen ja naisen puhetta ja pyydetty koehenkilöitä kuuntelemaan toista näistä ja painamaan mieleensä tarkkaillun puheen sisältö⁸. PET-tulokset osoittavat aivoverenkierron lisääntymisen tällaisissa tilanteissa kummankin aivopuoliskon kuulotietoa käsittelevillä aivokuorialueilla verrattuna tilanteeseen, jossa tarkkaavaisuus on suunnattu pois kummastakin puheesta esimerkiksi lukemistehtävään.

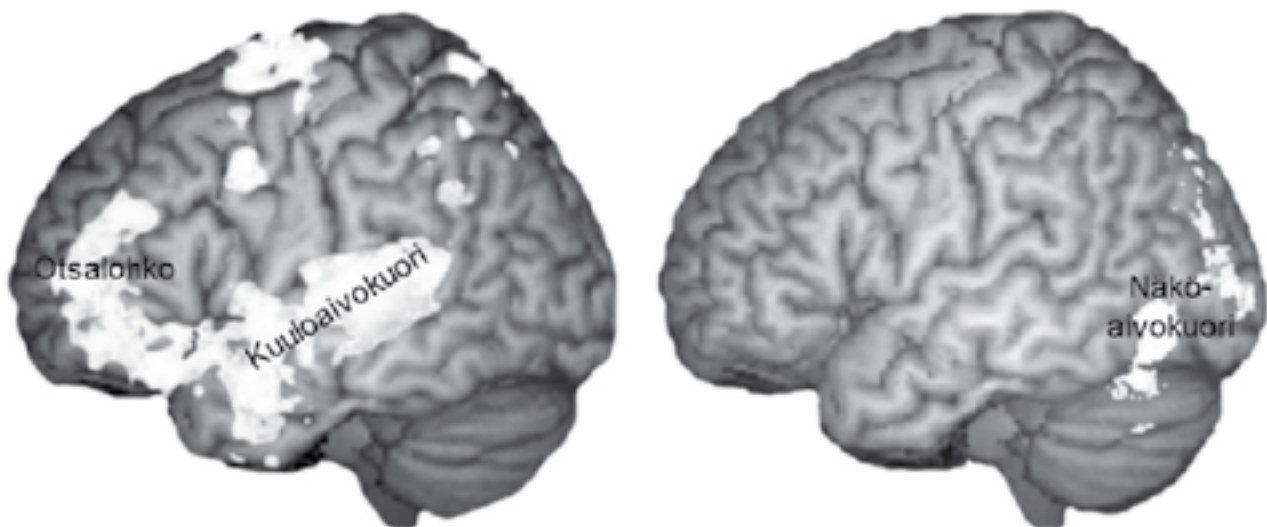
Tarkkaavaisuuteen liittyviä aivotoiminnan muutoksia on kuitenkin yleisemmin tutkittu ei-kiellellisiä ärsykeitä käyttämällä, jolloin kielelliseen prosessointiin liittyvien aivotointojen vaikutus tuloksiin voidaan sulkea pois. Tyypillisesti tällaisissa tutkimuksissa tarkkailtavat äänet eroavat esimerkiksi sijainniltaan tai korkeudeltaan ei-tarkkailtavista äänistä, tai tarkkailtavat näköärsykkeet eroavat sijainniltaan tai väriltään ei-tarkkailtavista näköärsykkeistä. Koehenkilöiden tehtävänä on tunnistaa tarkkailtavien ärsykkeiden joukosta tiettyjä kohdeärsyk-

keitä, esimerkiksi kestoltaan muita lyhyempiä ärsykeitä. Kuvassa 1 esitetään tuloksia tutkimuksesta, jossa kartoitettiin toiminnallisella magneetikuvauksella (*functional magnetic resonance imaging*, fMRI) tietyssä suunnassa esiintyviin ääniin tai tietyn värisiin näkökohteisiin suunnattuun valikoivaan tarkkaavaisuuteen liittyviä aivotoiminnan muutoksia⁹.

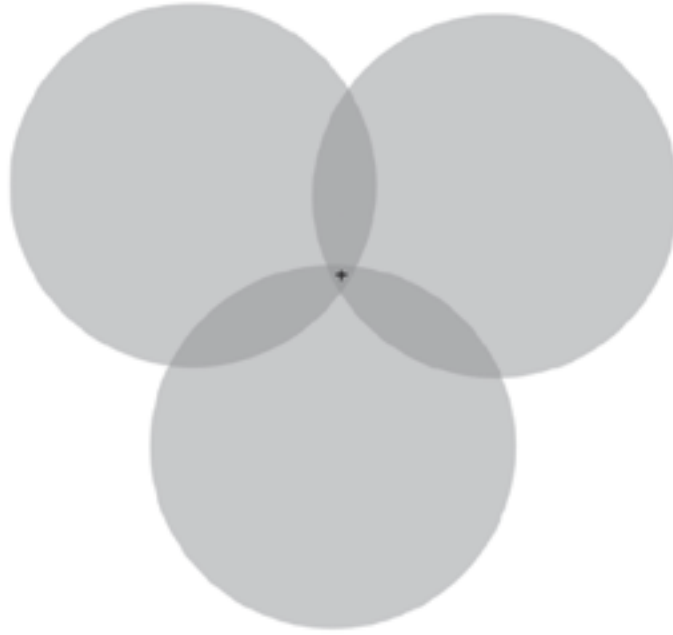
Kuvassa 1 nähtävälle tarkkaavaisuuteen liittyvälle kuuloaivokuoren aktivaatiolle on esitetty kilpailevia selityksiä. Vahvistusteorian mukaan tarkkailtavien äänten käsittelyä kuulojärjestelmässä vahvistetaan valikoivasti (ja ei-tarkkailtavien äänten käsittelyä ehkä vaimennetaan), mikä näkyy elektroencefalografialla (EEG) ja magnetoencefalografialla (MEG) tehdyissä mittauksissa tarkkailtavien äänten kuuloaivokuorella muutamassa sadassa millisekunnissa synnyttämien vasteiden kasvuna¹⁰. Vahvistusteorian kanssa kilpailevan selityksen mukaan kuuloaivokuorella ylläpidetään mallia, ns. tarkkaavaisuus-

jälkeä (*attentional trace*), tarkkailtaville äänille yhteisestä piirteestä, esimerkiksi niiden tulosuunnasta tai korkeudesta¹¹. Tämän teorian mukaan mallin kanssa yhteensopivat äänet, siis tarkkailtavat äänet, valitaan pidemmälle vietävään käsittelyyn, kun taas mallin kanssa yhteensopimattomat äänet, siis ei-tarkkailtavat äänet, hylätään myöhemmästä käsittelystä. Mallin ja kunkin äänen vertailua heijastaa kuuloaivokuorella syntyvä EEG- ja MEG-vaste, joka jatkuu tarkkailtaville, mallin kanssa yhteensopiville äänille useita satoja millisekunteja ja ei-tarkkailtaville äänille niin kauan kunnes ne todetaan yhteensopimattomiksi mallin kanssa¹². On kuitenkin mahdollista, että ihmisen kuulojärjestelmässä on useita päällekkäisiä tarkkaavaisuusmekanismeja ja että tarkkailtavien äänten aiheuttamaa aktivaatiota sekä vahvistetaan että verrataan tarkkaavaisuusjälkeen¹³.

Vastaavanlaiset näköjärjestelmän EEG-tutkimukset osoittavat näköärsykkeiden näköaivokuorella parissa sa-



Kuva 1. fMRI-menetelmällä mitattuja tarkkaavaisuuden aiheuttamia aivotoiminnan muutoksia. Vasemmanpuoleisessa kuvassa esitetään muita vaaleampina ne aivoalueet, joilla fMRI:llä mitattu aktivaatio kasvoi koehenkilöiden tarkkaillessa valikoivasti joko vasemmalla esiintyviä ääniä tai oikealla esiintyviä ääniä löytääkseen niiden joukosta muita hieman lyhyemmät äänet. Ohimolohkon yläosassa sijaitsevan kuuloaivokuoren aktivaation lisäksi nähtävä otsalohkojen laaja aktivaatio liittyy ilmeisesti siihen, että otsalohkot ovat yhteydessä kuuloaivokuoreen ja säätelevät sen toimintaa valikoivan tarkkaavaisuuden edellyttämällä tavalla. Kaikki vasemmanpuoleisen kuvan aktivaatiot ovat aivotoiminnan aktivaatiomuutoksia äänten tarkkailutilanteissa suhteessa koetilanteisiin, joissa koehenkilöiden tarkkaavaisuus oli suunnattu pois äänistä kuvaruudulla esiintyviin värillisiin ympyröihin. Noissa jälkimmäisessä tilanteissa koehenkilön tehtävänä oli puolestaan tarkkailla valikoivasti joko sinisiä tai punaisia ympyröitä. Kuten oikeanpuoleisesta kuvasta ilmenee, näissä näkö tarkkaavaisuustilanteissa aivotoiminta lisääntyi takaraivo- ja päälaenlohon aivokuoren näköalueilla verrattuna tilanteisiin, joissa koehenkilöiden tehtävänä oli tarkkailla ääniä ja olla välittämättä kuvaruudulla esiintyvistä ympyröistä.



Kuva 2. Tarkkaavaisuus muuttaa pinnan havaittua vaaleutta/tummuutta. Pidä katse kohdistettuna ristiin keskellä ja siirrä tarkkaavaisuutesi johonkin ympyröistä. Tarkkaavaisuuden kohteena oleva ympyrä tummenee suhteessa muihin! Havainto siis muuttuu tarkkaavaisuuden vaikutuksesta. Kuvan ympyrät ovat läpikuultavia ja ilman muita syvyyshaijeita ympyröiden syvyyjärjestys on monitulkintainen. Kun katsomme kuvaa, tarkkaavaisuuden kohteena olevan ympyrän syvyyttulkinta ja samalla myös sen kirkkaustulkinta muuttuu.

dassa millisekunnissa synnyttämien vasteiden kasvavan tarkkaavaisuuden kohteena oleville näköärsykkeille, kun esimerkiksi esitetään kuvioita oikeaan ja vasempaan näkökenttään ja pyydetään koehenkilöitä tarkkailemaan valikoivasti (katsettaan siirtämättä) toista näkökentistä ja etsimään siellä esiintyvien kuvioden joukosta tiettyjä kohdekuvioita¹⁴. Nämä tulokset tukevat tarkkaavaisuuden vahvistusteoriaa. Kuitenkin myös näköjärjestelmässä, kuten kuulojärjestelmässä, tarkkaavaisuuteen liittyy myös hitaampia aivokuorella syntyviä vasteita – esimerkiksi silloin, kun tarkkaillaan valikoivasti tietyn värisiä kohteita muiden kohteiden joukossa¹⁵. Käyttämiskokeissa on vahvistusteorian mukaisesti osoitettu, että myös näköhavainto muuttuu tarkkaavaisuuden vaikutuksesta. Heikosti taustastaan erottuvan näköärsyksen havaittu kontrasti kasvaa tarkkaavaisuuden vaikutuksesta.¹⁶ Vastaavan ilmiön voi nähdä kuvasta 2, jossa tarkkaavaisuuden kohdetta vaihtamalla näköärsyksen havaittu kirkkaus muuttuu¹⁷.

Tarkkaavaisuuden vaikutusta näköärsykkeiden prosessointiin voidaan ymmärtää myös vahvistusmallin tavoin toimivan normalisaatiomallin avulla: tarkkaavaisuuden kohteena oleva ärsyke normalisoidaan suhteessa

ei-tarkkailtuihin ärsykkeisiin painottaen kohdetta tarkkaavaisuuskentän avulla¹⁸. Normalisaatio on aivojen monissa osissa toimiva mekanismi, jonka avulla aivojen toiminta mukautuu kulloiseenkin ympäristöön ja joka siten mahdollistaa ihmisen toiminnan vaihtelevissa ympäristöissä¹⁹. On myös mahdollista, että tarkkaavaisuus säätelee eri aivoalueiden välisten yhteyksien painotuksia sen sijaan, että se säätelisi tietyn alueen aktiivisuutta sinänsä²⁰.

Sekä kuulo- että näköjärjestelmässä tarkkaavaisuuteen liittyvät toiminnalliset muutokset vastaanotetun aistiinformaation käsittelyyn osallistuvilla aivokuorialueilla tapahtuvat ilmeisesti muilta aivokuorialueilta, erityisesti otsa- ja päälaenlohkoista näille alueille laskeutuvien yhteyksien ohjauksessa²¹. Tarkkaavaisuuden vaikutuksia voidaan tutkia myös aivoverkoston tasolla. Aivot ovat organisoituneet useisiin toiminnallisiin aivoverkostoihin²³ ja on esitetty, että otsalohko-päälaenlohkoverkosto säätelee tarkkaavaisuusverkoston toimintaa.²² Tähän liittynevät fMRI-tutkimusten osoittamat aivotoiminnan muutokset myös näillä aivoalueilla, kun tarkkaillaan valikoivasti tiettyjä ääniä tai näkökohteita (ks. myös kuva 1)²³. Nämä verkostotason muutokset voivat

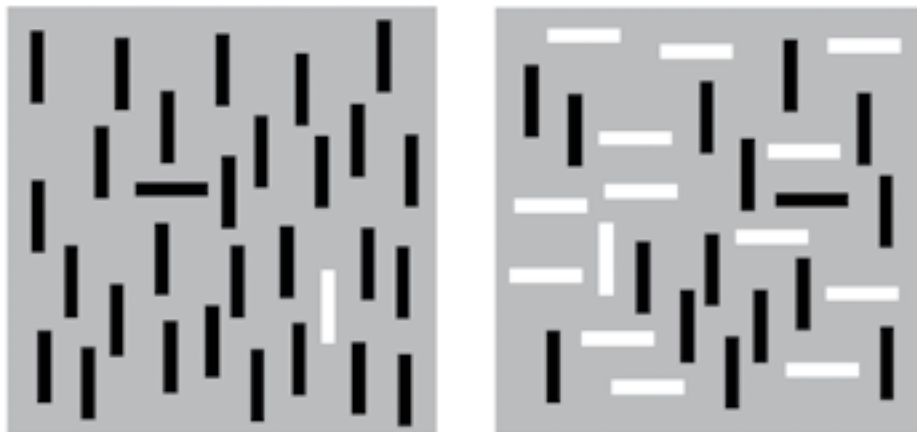
”Teorian mukaan tarkkaavaisuus sitoisi ärsykkeiden piirteistä kertyneen hajaute- tusti käsitellyn tiedon yhteen kokonaishavainnoksi.”

selittää myös aiemmin mainitun valikoivan tarkkaavaisuuden tehostumisen tehtävän aikana: tehtävän jatkuessa aivot pysyvät enemmän tarkkaavaisuustilassa eivätkä palaudu välillä lepotilaan.

Tarkkailtavia ääniä käsittelevien hermosolujoukkojen toiminnan säätely ei kuitenkaan välttämättä rajoitu aivo-kuorelle vaan sitä saattaa tapahtua jo ennen kuuloinformaation saapumista kuuloaivokuorelle: fMRI-tulosten mukaan tietyssä suunnassa esiintyvien äänten valikoivaan tarkkailuun liittyy aktivaatiomuutos myös aivorungon alemmissa nelikukkulatumakkeissa, joiden kautta kuulorata kulkee sisäkorvasta aivokuorelle. Vastaavia tuloksia on saatu näköjärjestelmässä.²⁴ Kun tarkkaillaan valikoivasti tietyssä näkökentän osassa esiintyviä kohteita,

aktivaatiomuutoksia tapahtuu näköaivokuoren lisäksi myös väliaivojen talamuksen ulommassa polvitumakkeessa, jonka kautta näköinformaation käsittely tarkkailusta näkökentän osasta etenee silmän verkkokalvolta näköaivokuorelle²⁵.

Aisti-informaation käsittelyyn osallistuvien hermosolujoukkojen toiminnan voimakkuuden säätelyn lisäksi tarkkaavaisuuteen liittyy myös näiden hermosolujoukkojen toiminnan tarkentumista. Tätä osoittavat MEG-kokeet, joiden mukaan äänen korkeutta käsittelevien hermosolujen herkkyys (”viritys”) tietylle äänenkorkeudelle tarkentuu tarkkaavaisuuden vaikutuksesta.²⁶ Myös tarkkailtavan puheen valikointi häiritsevän puheen joukosta voidaan selittää laskennallisella mallilla, jossa tark-



Kuva 3. Valkoisen pystysuoran juovan ja mustan vaakasuoran juovan löytäminen vasemmanpuoleisesta kuvasta on helppoa ja tarkkaavaisuudesta varsin riippumatonta, koska kumpikin näistä kohteista eroaa vain yhdeltä piirteeltään kuvan muista juovista, jotka ovat kaikkia mustia ja pystysuoria. Kohteet ikään kuin hyppäivät esiin kuvasta. Tarkkaavaisuutta tarvitaan enemmän, kun etsitään vaakasuoraa mustaa juovaa tai pystysuoraa valkoista juovaa oikeanpuoleisesta kuvasta, koska näiden kohteiden löytäminen edellyttää juovan asennon ja värin yhdistelmän tunnistusta kuvan muiden juovien ollessa valkoisia ja vaakasuoria tai mustia ja pystysuoria. Kohteiden löytämiseksi tarkkaavaisuus täytyy kohdistaa juoviin yksi kerrallaan, kunnes kohdejuova löytyy.

kaavaisuus kaventaa hermosolujoukon suuntavalikoivuutta²⁷.

Woodsin ja työtovereiden EEG-kokeissa koehenkilöt tarkkailivat tietystä suunnasta kuuluvia, tietyn korkuisia ääniä, jotka esiintyivät sellaisten ei-tarkkailtavien äänten joukossa, joilla oli joskus sama tulosuunta (mutta eri korkeus) tai sama korkeus (mutta eri tulosuunta) kuin tarkkailtavilla äänillä²⁸. Tulokset viittasivat siihen, että tarkkailtavien äänten valikointi niiden tulosuunnan ja korkeuden tapahtuisi kuuloaivokuorella eri alueilla, mitä tukee myös aiheeseen liittyvien fMRI-kokeiden tulosten meta-analyysi²⁹. Woods työtovereineen havaitsi myös, että tarkkailtujen äänten tulosuunnan ja korkeuden käsittelyn yhdistämiseen liittyvä aivotoiminta aiheuttaa osan tarkkailtavien äänten kuuloaivokuorella synnyttämästä EEG-vasteesta. Tämä tukee Treismanin ja Geladen teoriaa, jonka mukaan juuri tarkkaavaisuus sitoisi ärsykkeiden piirteistä kertyneen hajautetusti käsitellyn tiedon yhteen kokonaishavainnoksi³⁰. Teoriaa tukee myös esimerkiksi se, että tarkkaavaisuutta tarvitaan, kun näkökohteen löytäminen edellyttää kohteen eri piirteistä saatavan tiedon yhdistämistä, kuten kuvasta 3 voidaan todeta.

Tarkkaavaisuuden vaikutukset kuulo- ja näköhavaintoon ovat monimuotoisia ja tehtävästä riippuen ne voivat kohdistua tiettyyn aivoalueeseen tai laajempaan aivoverkoston. EEG- ja MEG-kokeiden avulla saadaan tietoa tarkkaavaisuuden ajallisista vaikutuksista esimerkiksi kuulo- tai näköaivokuorella, kun taas fMRI-kokeet kertovat tarkemmin tarkkaavaisuuteen liittyvien aivotoimintojen sijainnista aivojen eri osissa. Niinpä ajallisesti tarkkojen EEG- ja MEG-tulosten yhdistäminen paikal-

lisesti tarkkoihin fMRI-tuloksiin antaa entistä paremman kuvan tarkkaavaisuuteen liittyvistä aivotoiminnoista. Esimerkiksi äskettäin ilmestyneessä tutkimuksessa yhdistettiin samoilta koehenkilöiltä EEG- ja fMRI-aineistot koehenkilöiden tehdessä äänen korkeuteen tai kuvan kallistuskulmaan liittyviä valikoivan tai jaetun tarkkaavaisuuden tehtäviä.³¹ Lisäksi näitä tehtäviä häirittiin ylimääräisillä äänillä (esimerkiksi puhelimen soittoääni) tai kuvilla (monimutkaisia värillisiä kuvioita kuvaruudun taustalla). Eri aineistoja yhdistäen pystyimme tarkastelemaan aivoverkoston toimintaa aiempia tutkimuksia tarkemmin ja samanaikaisesti usean tarkkaavaisuustehtävän aikana. Tuloksemme paljastivat neljä toisistaan riippumatonta tarkkaavaisuuden ja sen aivoverkoston taustalla olevaa toimintaa: ärsykeriippuvainen tarkkaavaisuuden ohjautuvuus, tarkkaavaisuuden tahdonalainen kontrolli, aivojen toimintatilamuutokset lepotilan ja aktiivisen tilan välillä sekä tehtävän edellyttämän vastauksen valmistelu ja toteutus.

Tuloksemme osoittavat aivojen dynaamisen luonteen: tehtävän ja tarkkaavaisuuden vaatimusten perusteella aivoalueet suorittavat erilaisia toimintoja eri ajanhetkinä ja muodostavat siten toiminnallisia verkostoja, jotka mahdollistavat tavoitteellisen toiminnan muuttuvassa ympäristössä. Tuloksemme myös erottelevat toisistaan aivotoimintojen tasolla ääniin tai näkökohteisiin tahdonalaisesti suunnatun tarkkaavaisuuden ärsykeriippuvaisesta tahattomasta tarkkaavaisuudesta, joka helposti suuntautuu ympäristössä esiintyviin odottamattomiin, muista selvästi poikkeaviin ärsykeisiin (ks. myös kuva 3), kuten William Jamesin jo totesi³².

Viitteet

- 1 Wundt 1897, 203–223; James 1890, 403–406.
- 2 Neisser 1981.
- 3 Cherry 1953.
- 4 Pashler 1997.
- 5 Moray 1959.
- 6 Lewis 1970.
- 7 Treisman ym. 1974.
- 8 Alho ym. 2003; 2006.
- 9 Degerman ym. 2006.
- 10 Esim. Hillyard ym. 1973; Kaufman & Williamson 1987; Hari ym. 1989; Rif ym. 1991; Woldorff ym. 1993.
- 11 Näätänen 1990.
- 12 Esim. Näätänen ym. 1978; Degerman ym. 2008; Alho ym. 1987.
- 13 Alho 1992.
- 14 Esim. Noesselt ym. 2002.
- 15 Esim. Hillyard & Münte 1984.
- 16 Carrasco ym. 2004; Carrasco 2011.
- 17 Tse 2005.
- 18 Reynolds & Heeger 2009.
- 19 Carandini & Heeger 2012.
- 20 Ruff & Cohen 2017.
- 21 Esim. Näätänen 1990; Posner 1994; Corbetta & Shulman 2002.
- 22 Power ym. 2011; Spreng ym. 2013.
- 23 Esim. Kastner ym. 1999; Degerman ym. 2006.
- 24 Rinne ym. 2008.
- 25 O'Connor ym. 2002.
- 26 Okamoto ym. 2007; Kauramäki ym. 2007; Ahveninen ym. 2011.
- 27 Dong ym. 2016.
- 28 Woods ym. 1994; Woods & Alain 2001.
- 29 Alho ym. 2014.
- 30 Treisman & Gelade 1980.
- 31 Salmela ym. 2017.
- 32 James 1890, 416–417.
- Alho, Kimmo, Selective Attention in Auditory Processing as Reflected by Event-Related Brain Potentials. *Psychophysiology*. Vol. 29, No. 3, 1992, 247–263.
- Alho, Kimmo, Rinne, Teemu, Herron, Timothy J. & Woods, David L., Stimulus-Dependent Activations and Attention-Related Modulations in the Auditory Cortex. A Meta-analysis of fMRI Studies. *Hearing Research*. Vol. 307, Special Issue, 2014, 29–41.
- Alho, Kimmo, Töttölä, Kimmo, Reinikainen, Kalevi, Sams, Mikko & Näätänen, Risto, Brain Mechanism of Selective Listening Reflected by Event-Related Potentials. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*. Vol. 68, No. 6, 1987, 458–470.
- Alho, Kimmo, Vorobyev, Victor A., Medvedev, Sviatoslav V., Pakhomov, Sergei V., Roudas Marina S., Tervaniemi, Mari, van Zuijen, Titia & Näätänen, Risto. Hemispheric Lateralization of Cerebral Blood-Flow Changes During Selective Listening to Dichotically Presented Continuous Speech. *Cognitive Brain Research*. Vol. 17, No. 2, 2003, 201–211.

Kirjallisuus

Ahveninen, Jyrki, Hämäläinen, Matti, Jääskeläinen, Iiro P., Ahlfors, Seppo P., Huang, Samantha, Lin, Fa-Hsuan, Raij, Tommi, Vasios, Christos E., Sams, Mikko, & Belliveau, John W., Attention-Driven Auditory Cortex Short-Term Plasticity Helps Segregate Relevant Sounds from Noise. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. Vol. 108, No. 10, 2011, 4182–4187.

- Alho, Kimmo, Vorobyev, Victor A., Medvedev, Sviatoslav V., Pakhomov, Sergei V., Starchenko, Maria G., Tervaniemi, Mari & Näätänen, Risto, Selective Attention to Human Voice Enhances Brain Activity Bilaterally in the Superior Temporal Sulcus. *Brain Research*. Vol. 1075, No. 1, 2006, 142–150.
- Carandini, Matteo & Heeger, David J., Normalization as a Canonical Neural Computation. *Nature Reviews Neuroscience*. Vol. 13, No. 1, 2012, 51–62.
- Carrasco, Marisa, Ling, Sam & Read, Sarah, Attention Alters Appearance. *Nature Neuroscience*. Vol. 7, No. 3, 2004, 308–313.
- Carrasco, Marisa, Visual Attention. The Past 25 Years. *Vision Research*. Vol. 51, No. 13, 2004, 1484–1525.
- Cherry, E. Colin, Some Experiments on the Recognition of Speech with One and with Two Ears. *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 25, No. 5, 1953, 975–979.
- Corbetta, Maurizio & Shulman, Gordon L., Control of Goal-Directed and Stimulus-Driven Attention in the Brain. *Nature Neuroscience Reviews*. Vol. 3, No. 3, 2002, 201–215.
- Degerman, Alexander, Rinne, Teemu, Salmi, Juha, Salonen, Olli & Alho, Kimmo, Selective Attention to Sound Location or Pitch Studied with fMRI. *Brain Research*. Vol. 1077, No. 1, 2006, 123–134.
- Degerman, Alexander, Rinne, Teemu, Särkkä, Anna-Kaisa, Salmi, Juha & Alho, Kimmo, Selective Attention to Sound Location or Pitch Studied with Event-Related Brain Potentials and Magnetic Fields. *European Journal of Neuroscience*. Vol. 27, No. 12, 2008, 3329–3341.
- Dong, Junzi, Colburn, H. Steven & Sen, Kamal, Cortical Transformation of Spatial Processing for Solving the Cocktail Party Problem. A Computational Model. *eNeuro*. Vol. 3, No. 1, 2016, Doi:10.1523/ENEURO.0086-15.2015.
- Hari, Riitta, Hämäläinen, Matti, Kaukoranta, Elina, Mäkelä, Jyrki, Joutsiniemi, Sirkka-Liisa & Tiihonen, Jari, Selective Listening Modifies Activity of the Human Auditory Cortex. *Experimental Brain Research*. Vol. 74, No. 3, 1989, 463–470.
- Hillyard, Steven A., Hink, Robert F., Schwent, Vincent L., Picton, Terence W., Electrical Signs of Selective Attention in the Human Brain. *Science*. Vol. 182, No. 4108, 1973, 177–180.
- Hillyard, Steven A. & Münte, Thomas F., Selective Attention to Color and Location. An Analysis with Event-Related Brain Potentials. *Perception and Psychophysics*. Vol. 36, No. 2, 1984, 185–198.
- James, William, *The Principles of Psychology*. Vol. 1. Henry Holt, New York 1890.
- Kastner, Sabine, Pinsk, Mark A., De Weerd, Peter, Desimone, Robert, Ungerleider, Leslie G., Increased Activity in Human Visual Cortex During Directed Attention in the Absence of Visual Stimulation. *Neuron*. Vol. 22, No. 4, 1999, 751–761.
- Kaufman, Lloyd & Williamson, Samuel J., Recent Developments in Biomagnetism. Teoksessa *Evoked Potentials III*. Toim. Colin Barber & Thomas Blum. Butterworths, Boston 1987, 100–113.
- Kauramäki, Jaakko, Jääskeläinen, Iiro P. & Sams, Mikko, Selective Attention Increases Both Gain and Feature Selectivity of the Human Auditory Cortex. *PLoS One*, Vol. 2, No. 9, 2007, e909.
- Lewis, Joe L., Semantic Processing of Unattended Messages Using Dichotic Listening. *Journal of Experimental Psychology*. Vol. 85, No. 2, 1970, 225–228.
- Moray, Neville, Attention in Dichotic Listening. Affective Cues and the Influence of Instructions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. Vol. 9, No. 1, 1959, 56–60.
- Neisser, Ulric, *Cognition and Reality. Principles and Implications of Cognitive Psychology*. W.H. Freeman, New York 1976.
- Noesselt, Toemme, Hillyard, Steven A., Woldorff, Marty G., Schoenfeld, Ariel, Hagner, Tilman, Jäncke, Lutz, Tempelmann, Claus, Hinrichs, Hermann & Heinze, Hans-Jochen, Delayed Striate Cortical Activation During Spatial Attention. *Neuron*, Vol. 35, No. 3, 2002, 575–587.
- Näätänen, Risto, The Role of Attention in Auditory Information Processing as Revealed by Event-Related Potentials and Other Brain Measures of Cognitive Function. *Behavioral and Brain Sciences*. Vol. 13, No. 2, 1990, 201–288.
- Näätänen, Risto, Gaillard, Anthony W.K. & Mäntysalo, Sirkka, Early Selective-Attention Effect on Evoked Potential Reinterpreted. *Acta Psychologica*. Vol. 42, No. 4, 1978, 313–329.
- O'Connor, Daniel H., Fukui, Miki M., Pinsk, Mark A. & Kastner, Sabine, Attention Modulates Responses in the Human Lateral Geniculate Nucleus. *Nature Neuroscience*. Vol. 5, No. 11, 2002, 1203–1209.
- Okamoto, Hidohiko, Stracke, Henning, Wolters, Carsten H., Schmael, Frank & Pantev, Christo, Attention Improves Population-Level Frequency Tuning in Human Auditory Cortex. *The Journal of Neuroscience*. Vol. 27, No. 39, 2007, 10383–10390.
- Pashler, Harold E. *The Psychology of Attention*. The MIT Press, Boston 1997.
- Posner, Michael I., Attention. Mechanisms of Consciousness. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. Vol. 91, No. 16, 1994, 7398–7403.
- Power, Jonathan D., Cohen, Alexander L., Nelson, Steven M., Wig, Gagan S., Barnes, Kelly Anne, Church, Jessica A., Vogel, Alecia C., Laumann, Timothy O., Miezin, Fran M., Schlaggar, Bradley L., Petersen, Steven E., Functional Network Organization of the Human Brain. *Neuron*, Vol. 72, No. 4, 2011, 665–678.
- Reynolds, John H. & Heeger David J., The Normalization Model of Attention. *Neuron*. Vol. 61, No. 2, 2009, 168–185.
- Rif, Josi, Hari, Riitta, Hämäläinen, Matti S. & Sams, Mikko, Auditory Attention Affects Two Different Areas in the Human Supratemporal Cortex. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*. Vol. 79, No. 6, 1991, 464–472.
- Rinne, Teemu, Balk, Marja H., Koistinen, Sonja, Autti, Taina, Alho, Kimmo & Sams, Mikko, Auditory Selective Attention Modulates Activation of Human Inferior Colliculus. *Journal of Neurophysiology*. Vol. 100, No. 6, 2008, 3323–3327.
- Ruff, Douglas A. & Cohen Marlene R., A Normalization Model Suggests that Attention Changes the Weighting of Inputs Between Visual Areas. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. Vol. 114, No. 20, 2017, E4085–E4094.
- Salmela, Viljami, Salo, Emma, Salmi, Juha & Alho Kimmo, Spatiotemporal Dynamics of Attention Networks Revealed by Representational Similarity Analysis of EEG and fMRI. *Cerebral Cortex*. 2017, painossa. Doi:10.1093/cercor/bhw389
- Spreng, R. Nathan, Sepulcre, Jorge, Turner, Gary R., Stevens, W. Dale, Schacter, Daniel L., Intrinsic Architecture Underlying the Relations among the Default, Dorsal Attention, and Frontoparietal Control Networks of the Human Brain, *Journal of Cognitive Neuroscience*, Vol. 25, No. 1, 2013, 74–86.
- Treisman, Anne M. & Gelade, Garry, A Feature-Integration Theory of Attention. *Cognitive Psychology*, Vol. 12, No. 1, 1980, 97–136.
- Treisman, Anne M., Squire, Rosemary & Green, Joanne, Semantic Processing in Dichotic Listening? A Replication. *Memory and Cognition*. Vol. 2, No. 4, 1974, 641–646.
- Tse, Peter U., Voluntary Attention Modulates the Brightness of Overlapping Transparent Surfaces. *Vision Research*. Vol. 45, No. 9, 2005, 1095–1098.
- Woldorff, Marty G., Gallen, Christofer C., Hampson, Scott A., Hillyard, Steven A., Pantev, Christo, Sobel, David & Bloom, Floyd E., Modulation of Early Sensory Processing in Human Auditory Cortex During Auditory Selective Attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. Vol. 90, No. 18, 1993, 8722–8726.
- Woods, David L. & Alain, Claude, Conjoining Three Auditory Features. An Event-Related Brain Potential Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*. Vol. 13, No. 4, 2001, 492–509.
- Woods, David L., Alho, Kimmo & Algazi, Alain, Stages of Auditory Feature Conjunction. An Event-Related Brain Potential Study. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Vol. 20, No. 1, 1994, 81–94.
- Wundt, Wilhelm, *Outlines of Psychology*. (Grundriss der Psychologie, 1896). Käännös C. H. Judd. Wilhelm Englemann, Leipzig 1897.