

# Aivojen sähköinen taustatoiminta ja kognitiiviset prosessit

Christina M. Krause

1990-lukua kutsuttiin "aivojen vuosikymmeneksi" ja alkanutta 2000-lukua voitaneen kutsua "aivokuvantamisen vuosikymmeneksi" menetelmällisen kehityksen vuoksi. Kahtena viime vuosikymmenenä tutkimus on valottanut aivojen toimintaa enemmän kuin koskaan aikaisemmin. Asian kääntopuolena voidaan todeta, että olemme tiedostaneet, että aivojen toiminta on niin monimutkaista, että tiedämme ettemme vielä tiedä, miten aivot toimivat.

Kognitiotieteessä tutkitaan erilaisia tietoon liittyviä ilmiöitä kuten havaitsemista, oppimista, muistamista, ajattelua, kieltä ja käsitteitä. Vaikka pääpaino on usein ihmisen kognition tutkimisella, myös eläinten ja erilaisten koneiden tietoisuuden tutkiminen kuuluu kognitiotieteen piiriin. Kognitiotieteellisessä tutkimuksessa käytetään useita erilaisia tutkimusmenetelmiä, kuten aivotutkimusta, psykologisia kokeita, matemaattista mallintamista ja teoreettista todistelua. Lähtökohdiltaan kognitiotiede on monitieteinen; sen tutkimusmenetelmät ja teoriat yhdistelevät mm. psykologiaa, kielitiedettä, filosofiaa, neurobiologiaa ja tietojenkäsitteelytiedettä.

Kognitiivinen neurotiede ja kognitiivinen aivotutkimus puolestaan tarkastelevat aivojen toiminnan ja käyttäytymisen/mielen välisiä yhteyksiä. Yksinkertaistettuna kyse on siitä, miten mieli ja älykäs käyttäytyminen voidaan palauttaa aivojen hermosolujen toimintaan.

Aivojen anatomia tunnetaan varsin tarkasti. Kuitenkaan meillä ei vielä ole käsitystä siitä *miten* aivot tuottavat korkeampia inhimillisiä kykyjä kuten kieltä, oppimista, muistia tai muistoja. Yksi kognitiotieteen ja kognitiivisen neurotieteen tämän hetken keskeisimpiä kysymyksiä on *miten* ja millä mekanismeilla aivot havainnoivat, prosessoivat, painavat muistiin, hakevat muistista ja tunnistavat informaatiota. Tällaiset

monimutkaiset informaation prosessointiketjut vaativat useiden, laajojen aivoalueiden samanaikaista hajautettua mutta nivottua toimintaa.

Yksi todennäköisimmistä mekanismeista, joilla tällainen aivojen toiminnan integraatio voisi toteutua, on ns. dynaaminen neuraalinen synkronia, jonka välityksellä alati muuntuvia yhteyksiä voisi aivoissa muodostua. On esitetty, että kaikki korkeammat henkiset toiminnot toteutuisivat nimenomaan tällaisten synkronisesti, eri taajuuksilla toimivien, ajassa alati muuntuvien hermosoluverkostojen välityksellä (Singer ym. 1999, Varela ym. 2001). Tätä neuraalista synkroniaa (ja epäsynkroniaa) voidaan tarkastella pään pinnalta elektroenkefalografian (EEG, aivosähkökäyrä) avulla, koehenkilön suorittaessa samanaikaisesti erilaisia tehtäviä.

EEG on yksi vanhimmista psykofysiologisista menetelmistä (Berger 1929), ja sitä käytetään yhä menestyksekkäästi aivotoiminnan mittarina sen ajallisen tarkkuuden ja edullisuuden vuoksi.

Aivoja ja niiden toimintaa voidaan nykyään tutkia monin erilaisin menetelmin. EEG (electroencephalogram) ja MEG (magnetoencephalogram) antavat aivojen toiminnasta ajallisesti tarkkaa (mutta vain kohtalaisella paikkatarkkuudella) informaatiota kun taas PET (positroniemissiotomografia) ja fMRI (toiminnallinen magneettikuvantaminen) kertovat hyvällä paikkatarkkuudella missä kohden aivoja jokin prosessi toteutuu (mutta vain kohtuullisella aikatarkkuudella). Myös aivovauriopotilailta sekä erilaisista keskushermoston sairauksista kärsiviltä henkilöiltä saatu aineisto valottaa omalla tavallaan myös vaurioitumattomien aivojen toimintaa.



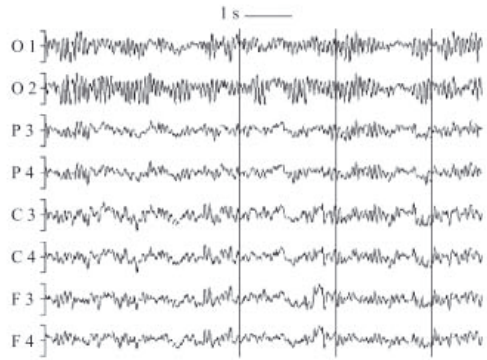
## Aivojen "taustatoiminta"

Kehoissamme on nanoteknologiaa: jokaisessa solussa on varsin monimutkainen rakenne. Geenit säätelevät ja ylläpitävät solujen toimintaa ja aineenvaihduntaa. Kaikki solumme – myös aivojen hermosolut – toimivat ja ovat vuorovaiikutuksessa toisten solujen kanssa kemiallisesti välittäjäaineiden välityksellä synapseissa (hermosolujen yhteydet).

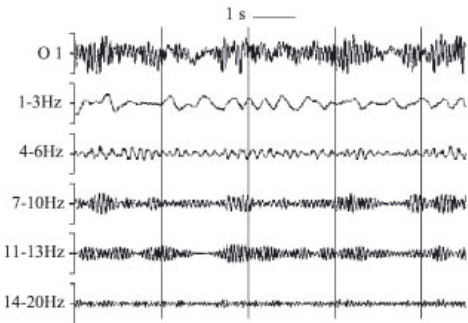
Neuronit (hermosolut) puolestaan toimivat bioelektrokemiallisesti tuottaen pienimuotoista sähköä, jota voidaan mitata pään pinnalta esimerkiksi EEG:n avulla. Tämä sähköinen toiminta heijastaa välillisesti aivojen toimintaa ja muutokset tässä sähköisessä toiminnassa heijastavat muutoksia aivojen tilassa.

Makroskooppinen EEG-signaali heijastaa suurten hermosolujoukkojen toimintaa ja on pinnallisesti tarkasteltuna kaoottinen (ks. kuva 1). Yleensä EEG:tä tutkittaessa lasketaan keskiarvovaste useamman ärsykkeen esittämisen ajalta (jolloin syntyy ns. herätevaste). Jatkuva sähköinen toiminta ei herätevasteessa näy ja sen oletetaan olevan "random noise" eli satunnaista kohinaa. Kun koehenkilölle esitetään useita ärsykeitä, herätevasteet näkyvät siis vasta keskiarvoistamisen seurauksena (Näätänen 1992). Aivot ovat kuitenkin koko ajan toiminnassa ja tämä jatkuva toiminta heijastuu aivojen sähköisessä taustatoiminnassa.

Viimeaikaiset tutkimukset ovat osoittaneet, että tällä "taustatoiminnalla" on merkitys, se reagoi systemaattisesti eri tavoin erilaisiin ärsykkeisiin sekä tilanteisiin (esim. Klimesch ym. 2005, Mazaheri ym. 2005, Ozgoren ym. 2005). On myös esitetty, että herätevasteet muodostuisivat aivojen sähköisen taustatoiminnan eri taajuuksien yhteismuuntumisen seurauksena (Karakas ym. 2000, Klimesch ym. 2000, Yordanova ym. 2000).



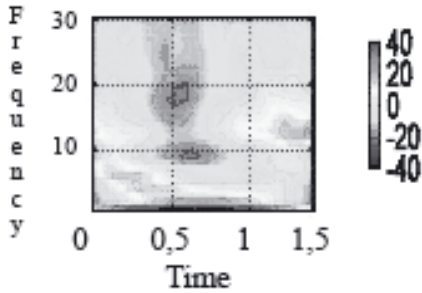
Kuva 1. Vasemmalla tämän artikkelin kirjoittajalla on päähän asetettu elektrodimyssy, johon kiinnitetyillä antureilla mitataan aivojen sähköistä toimintaa pään eri kohdista. Oikealla näkyy esimerkki EEG-signaalista (elektroenkefalografia), jota tarkastellaan paikan (eri rivit ilmentävät eri mittauskohdista saatuja EEG näytteitä) ja ajan (x-akseli kuvastaa aikaa) funktiona. (Valokuva ja kuvien käsittely: Tiina Saukkonen.)



Kuva 2. Kuvassa alkuperäinen EEG-signaali (ylin rivi) on digitaalisesti suodatettu eri taajuusosioihin (1-3, 4-6, 7-10, 11-13 ja 14-20 Hz; alemmat rivit). Aika esitetään y-akselilla. Eri taajuuksien toiminta (alemmat rivit) muuntuu ajallisesti eri tavoin. (EEG-aineistojen käsittely ja kuvien tuottaminen: Mirka Pesonen.)

Tietotekniikan kehityksen ansiosta uudet signaalinkäsittelytekniikat ovat mahdollistaneet EEG-signaalin aivan uudenlaiset tarkastelutavat. Näennäisesti kaoottinen EEG-signaali voidaan purkaa osiin, eri taajuuksilla värähteleviin taajuuskomponentteihin. Taajuudella tarkoitetaan kuinka monta värähtelyä esiintyy sekunnissa ja sen mittayksikkö on hertsi (Hz) (esimerkiksi 4 Hz toiminta värähtelee 4 kertaa sekunnissa).

On esitetty, että EEG:n eri taajuudet muodostuvat ainakin osittain eri aivoalueilla ja että ne muuntuisivat eri tavoin eri. Periaatteessa olisi

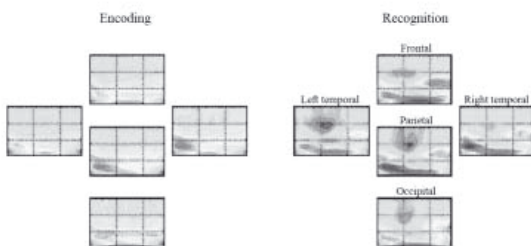


Kuva 3. Kuvassa ns. aika-taajuus esitys (TFR, Time-Frequency Representation) EEG datasta. Y-akselilla esitetään eri taajuudet (Frequency) ja X-akselilla on aika (Time: 0-1,5 s). Vaaleat alueet heijastavat synkronisaatiota (tehon voimistuminen – max 40%) kun taas tummat alueet heijastavat toiminnan desynkronisaatiota (tehon vaimenemista – min -40%).

siis EEG:n avulla mahdollista tutkia miten, milloin ja missä erilaiset kognitiiviset prosessit toteutetaan.

Kuvassa 2 esitetty informaatio eri EEG-taajuuksien muuntumisesta ajassa voidaan esittää myös ns. aika-taajuus-esityksinä (Time-Frequency Representation, TFR). Tällaisissa kuvissa useamman eri taajuuden samanaikaiset amplitudin eli värähtelyjen voimakkuuden muutokset esitetään harmaan eri sävyinä ajan funktiona (Kuva 3.).

Jos EEG on rekisteröity monikanavaisesti, useammasta kohtaa päätä, niin aikataajuusesitysten avulla voidaan tarkastella eri taajuuksien toiminnan muutoksia sekä ajan että paikan funktiona.



## Kognitiivinen prosessointi ja neuraalinen toiminta

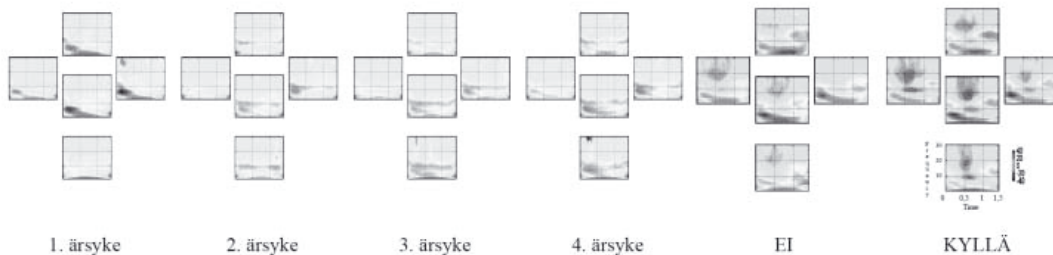
Useimmat tutkijat yhtyvät nykyään siihen näkemykseen että ”muisti” ja myös muut korkeammat inhimilliset kognitiiviset kyvyt ovat pikemmin dynaaminen neuraalinen prosessi kuin paikannettavissa oleva, yhden tai useamman tietyn aivoalueen ominaisuus.

Dynaamiset hajautetut neuraaliset, eri taajuuksilla värähtelevät hermoverkostot ovat todennäköisin kommunikaatiomuoto, jolla neuronit pystyvät välittämään ja käsittelemään informaatiota ja muodostamaan havainnoista kokonaisuuden. Tällaisten värähtelevien hermoverkoston toimintaa voidaan tarkastella EEG:n avulla millisekunnin tarkkuudella, samanaikaisesti kun tutkittava henkilö suorittaa erilaisia kognitiivisia suoritteita.

Aivojen sähköisen toiminnan mittaaminen ja sen tarkasteleminen eivät ole ongelmattomia. Eräs tapa käsitellä aivojen sähköistä toimintaa on tarkastella suhteellisia amplitudin muutoksia. Tällöin tarkastellaan jonkin aktiivisen tilanteen (esim. muistitehtävän suorittaminen) aikana mitattua EEG-signaalia suhteessa jossakin toisessa tilanteessa (esim. lepotilanteessa) mitattuun signaaliin.

Kun tarkastellaan jonkin tietyn taajuuden amplitudin suhteellista muutosta kahden tilanteen välillä, kutsutaan tätä värähtelyjen suuruuden pienenemistä tapahtumasidonaiseksi desynkronisaatioksi (Event-Related Desynchronization; ERD) ja suurenemista synkronisaatioksi (ERS) (Pfurtscheller 1977, Pfurtscheller ym. 1977).

Kuva 4. Kuvassa esitetään aika-taajuusesityksinä EEG-vasteita pään eri mittauskohdista (frontal = otsa, left temporal = vasen ohimo, right temporal = oikea ohimo, parietal = päälaki ja occipital = takaraivo) auditiivisen muistikokeen suorittamisen aikana. Vasemmanpuoleisessa kuvassa esitetään ERD/ERS vasteet muistiin painamisen aikana ja oikeanpuoleisessa vasteet muistista haun aikana (x-akseli 0-1500 ms) ja taajuuden (y-akseli, 1-30 Hz) funktiona. Vaaleat sävyt heijastavat synkronisaatiota (toiminnan voimistuminen) kun taas tummat sävyt heijastavat toiminnan desynkronisaatiota (toiminnan vaimeneminen). Kuvasta ilmenee, että vasteet muistiin painamisen ja muistista haun aikana eroavat toisistaan siten, että muistiin painaminen aiheuttaa noin 10 Hz toiminnan voimistumisen kun taas saman ärsyksen esittäminen muistista hakua varten aiheuttaa 10 Hz ja 20 Hz vaimenemisen.



Kuva 5. ERD/ERS aika-taajuusesitykset viidestä eri mittauskohdasta (ks. Kuva 4) auditiivisen muistikokeen aikana. Vasemmalla esitetään ERD/ERS vasteet neljän muistiinpainettavan ärsykkeen (neljä sanaa) aikana. Oikealla esitetään ERD/ERS vasteet muististaun aikana erikseen tilanteessa, jossa ärsyke ei ole ollut muistiinpainettavien joukossa (EI) ja kun se on ollut niiden joukossa (KYLLÄ). Vaaleat sävyt osoittavat ERSiä ja tummat sävyt ERDiä. Y-akselilla esitetään taajuudet (1-30 Hz) ja X-akselilla aika (0-1,5 s).

Kuvasta voidaan todeta, että muistiin painamisvaiheessa ERD/ERS vasteet muuntuvat ajan ja muistiin painettavan ärsykemäärän lisääntyessä. Kun 5. ärsyke ei ole ollut aikaisempien muistiin painettavien ärsykkeiden joukossa (EI) niin voidaan todeta 10-20 Hz ERS ja 15-25 Hz ERD vasteet. Kun 5. ärsyke on ollut muistiin painettavien ärsykkeiden joukossa (KYLLÄ) voidaan todeta 4-8, 8-10, 10-20 ja 15-25 Hz ERS vasteet. Tällaisten tulosten perusteella ERD/ERS-vasteet näyttäisivät reagoivan varsin pieniin eroihin koehenkilön kognitiivisessa prosessoinnissa kuten muistissa pidettävän materiaalin määrään ja siihen, jos esitetty ärsyke on havaittu aikaisemmin.

TIE TE ESS Ä TAPA HTUU U

ERD/ERS-tekniikalla voidaan tutkia miten eri taajuuksilla aivojen sähköinen toiminta muuntuu vaikkapa muistisuorituksen aikana suhteessa ei-stimulaatio tilanteeseen (Krause ym. 1996, Krause 2002).

### Uusimmat tutkimustulokset

ERD/ERS tekniikkaa voidaan hyödyntää tutkittaessa kuuloinformaation prosessointia aivoissa erilaisten kognitiivisten suoritteiden aikana (Karrasch ym. 1998–2005, Krause ym. 1994–2001). Usein käytetty koeasetelma on ns. Sternbergin muistikoe (Sternberg 1966), jossa koehenkilölle esitetään neljä ärsykettä (esimerkiksi sanat: KISSA, PALLO, TUOLI, POIKA) muistiin painettavaksi. Tämän jälkeen esitetään viides ärsyke ja koehenkilön tehtävä on päättää, esitettiinkö tämä viides ärsyke neljän aikaisemman joukossa (KISSA) vai ei (LINTU). Tämä koeasetelma on yksinkertainen mutta toimiva: muistiin painaminen ja muistista haku ovat kaksi kognitiivisesti hyvin erilaista prosessia ja tämä ero on todennettavissa myös EEG:assa (Krause ym. 1995–2001).

Tulokset ovat rohkaisevia: pään pinnalta tehtyjen mittausten avulla voidaan havaita selkeät erot muistiin painamis- ja muistista hakuvaiheen välillä ja saadaan tietoa siitä, miten aivot toteuttavat nämä kaksi erilaista kognitiivista prosessia. Tulosten perusteella ERD/ERS vasteet näyttäisivät reagoivan varsin pieniin eroihin koehenkilön kognitiivisessa prosessoinnissa kuten muistissa pidettävän materiaalin määrään ja siihen, josko esitetty ärsyke on havaittu aikaisemmin.

### EEG-menetelmän uusi tuleminen

Aivojen sähköinen taustatoiminta ja sen yhteydet kognitiiviseen prosessointiin ovat viime vuosina herättäneet runsaasti mielenkiintoa. Uusien analyysimenetelmien avulla voidaan

nykyään tarkastella muutoksia ja vasteita aivojen sähköisessä toiminnassa tarkemmin kuin koskaan aikaisemmin. Tulokset kokeista, joissa eri taajuuksista aivojen sähköistä taustatoimintaa on mitattu samanaikaisen kognitiivisen prosessoinnin aikana ovat rohkaisevia ja ovat auttaneet ymmärtämään sitä, miten aivot havaitsevat, prosessoivat ja varastoivat tietoa.

EEG:tä on jo vuosikymmenien ajan käytetty kliinisissä sovelluksissa (kliininen neurofysiologia). Kognitiivisessa neurotieteessä EEG-menetelmä koki jonkinlaisen uudelleensyntyvän 1990-luvulla työkaluna, jolla voitiin hyvällä aikataarkkuudella tarkastella aivojen toimintaa erilaisten suoritteiden aikana. EEG on menetelmänä halpa, vaaraton ja ajallisesti tarkka, joten se soveltuu erinomaisesti kognitiivisen neurotieteen perustutkimustyökaluksi.



Pään pinnalta tehtyjen mittausten perusteella on mahdollista sanoa, missä kohdin aivoja mitattu signaali syntyy. Tulevaisuudessa tähän ongelmaan saattaa löytyä jonkinlainen ratkaisu. Kognitiivisen neurotieteen yksi tutkimusalue onkin useamman eri aivokuvantamismenetelmän samanaikainen hyödyntäminen. Esimerkiksi EEG:n hyvä aikaresoluutio (mutta rajallinen paikkaresoluutio) voi täydentää fMRI-tutkimuksia, joissa puolestaan on erinomainen paikkaresoluutio (mutta huono aikaresoluutio).

Kaikki tutkijat eivät kuitenkaan pidä EEG-signaalin paikantamista tärkeänä. On oletettavaa, että useammat eri aivoalueet pystyvät tuottamaan useaa eri taajuuksista sähköistä toimintaa ja että korkeammat henkiset toiminnot toteutetaan näiden alueiden monimutkaisilla yhteistoiminta- ja vuorovaikutusperiaatteilla. Tällöin jotain tiettyä kognitiivista prosessia ei voida paikantaa mihinkään tiettyyn kohtaan aivoissa, vaan kyseinen prosessi toteutuisi ajallisesti ja paikallisesti alati muuntuvana värähtelevänä verkostona (Basar ym. 1999a-b, 2001, Kirk ym. 2003, Schack ym. 2003, Tallon-Baudry 2003).

Mielenkiintoisia EEG-signaalin hyödyntämismahdollisuuksia ovat myös sellaiset menetelmät, joilla signaalin avulla voidaan oppia ohjaamaan ulkoisia laitteita ja/tai proteeseja (Pfurtscheller ym. 1995). EEG-analyysi-algoritmeja voidaan opettaa havaitsemaan EEG-signaalista tiettyjä piirteitä – joita henkilö voi oppia tuottamaan – ja näitä voidaan käyttää erilaisten laitteiden ohjaamiseen (Barreto ym. 2000, Kubler ym. 1999, Wolpaw ym. 1997, 1998). Tällaisilla sovelluksilla on merkitystä henkilöille, joiden kommunikaatiokyky on jostain syystä (esimerkiksi halvaus ja/ tai aivovaurio) alentunut.

### *Tiedämme ettemme tiedä, miten aivot toimivat*

Emme vielä tiedä, miten informaatio koodataan, säilötään ja haetaan mielestä. Vielä vähemmän tiedetään siitä, miten assosiaatiot, oppiminen, tunteet ja käsitteet toteutetaan aivoissa. Normaalin tiedonkäsittelyn hermostollisen perustan ymmärtäminen on välttämätöntä poikkeavan tiedonkäsittelyn ymmärtämistä varten.

Äskettäin on aloitettu sarja tutkimuksia, joissa tässä kirjoituksessa esitetyjä koeasetelmia on hyödynnetty valottamaan neurokognitiivisten sairauksien aiheuttamia muutoksia aivojen sähköisessä toiminnassa, nimenomaan kognitiivisen prosessoinnin aikana.

Tutkimustulokset Alzheimerin ja Parkinsonin tautia potevilla potilailla ovat lupaavia: eri sairauksien aiheuttamat erilaiset muutokset aivoissa (johtuen eri sairauksien aiheuttamista erilaisista neurologisista muutoksista) aiheuttavat erilaisia muutoksia myös EEG:ssä kognitiivisten suoritteiden aikana (Karrasch 2005). Esimerkiksi Alzheimerin taudin on havaittu aiheuttavan muutoksia aivojen sähköisessä toiminnassa etenkin muistista hakuvaiheen aikana kun taas Parkinsonin tauti aikaansaisi muutoksia eritoten muistiin painamisen aikana (Ellfolk ym. painossa).

1990-lukua kutsuttiin ”aivojen vuosikymmeneksi” ja alkanutta 2000-lukua voitaneen kutsua ”aivokuvantamisen vuosikymmeneksi” menetelmällisen kehityksen vuoksi. Kahtena viime vuosikymmenenä tutkimus on valottanut aivojen toimintaa enemmän kuin koskaan aikaisemmin. Asian kääntöpuolena voidaan todeta, että olemme tiedostaneet, että aivojen toiminta on niin monimutkaista, että tiedämme ettemme vielä tiedä, miten aivot toimivat. Aivojen sähköinen toiminta on hyvä esimerkki tästä monimutkaisuudesta.

*Kirjoittaja on kognitiivisen neurotieteen professori Helsingin yliopiston Psykologian laitoksella.*

### KIRJALLISUUTTA

- Barreto, A.B., Scargle, S.D. and Adjouadi, M. (2000): A practical EMG-based human-computer interface for users with motor disabilities, *J Rehabil Res Dev*, 37 (2000) 53-63.
- Basar, E., Basar-Eroglu, C., Karakas, S. and Schurmann, M. (1999): Are cognitive processes manifested in event-related gamma, alpha, theta and delta oscillations in the EEG?, *Neurosci Lett*, 259 (1999) 165-8.
- Basar, E., Basar-Eroglu, C., Karakas, S. and Schurmann, M. (1999): Oscillatory brain theory: a new trend in neuroscience, *IEEE Eng Med Biol Mag*, 18 (1999) 56-66.
- Basar, E., Basar-Eroglu, C., Karakas, S. and Schurmann, M. (2001): Gamma, alpha, delta, and theta oscillations govern cognitive processes, *Int J Psychophysiol*, 39 (2001) 241-8.
- Berger, H. (1929): Ueber das elektroencephalogramm des Menschen, *Archives fuer Psychiatrie*, 87 (1929) 527-570.
- Kahana, M. J., Seelig, D. and Madsen, J. R. (2001): Theta returns, *Curr Opin Neurobiol*, 11 (2001) 739-44.
- Karakas, S., Erzenin, O.U. and Basar, E. (2000): The genesis of human event-related responses explained through the theory of oscillatory neural assemblies, *Neurosci Lett*, 285 (2000) 45-8.

Karrasch, M., Krause, C.M., Laine, M., Lang, A.H. and Lehto, M. (1998): Event-related desynchronization and synchronization during an auditory lexical matching task, *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 107 (1998) 112-21.

Karrasch, M., Laine, M., Rapinoja, P. and Krause, C.M. (2004): Effects of normal aging on event-related desynchronization/synchronization during a memory task in humans, *Neurosci Lett*, 366 (2004) 18-23.

Karrasch, M., Laine, M., Rinne, J.O., Rapinoja, P., Sinerva, E. and Krause, C. M. (2005): Brain oscillatory responses to an auditory-verbal working memory task in mild cognitive impairment and Alzheimer's disease, *Int J Psychophysiol* (2005).

Kirk, I.J. and Mackay, J.C. (2003): The role of theta-range oscillations in synchronising and integrating activity in distributed mnemonic networks, *Cortex*, 39 (2003) 993-1008.

Klimesch, W., Doppelmayr, M., Schwaiger, J., Winkler, T. and Gruber, W. (2000): Theta oscillations and the ERP old/new effect: independent phenomena?, *Clin Neurophysiol*, 111 (2000) 781-793.

Klimesch, W., Schack, B. and Sauseng, P. (2005): The functional significance of theta and upper alpha oscillations, *Exp Psychol*, 52 (2005) 99-108.

Krause, C.M. (2002): Brain oscillations and cognitive processes. In K. Hugdahl (Ed.), *Experimental Methods in Neuropsychology*, Kluwer Academic Publishers, New York, 2002, pp. 111-130.

Krause, C.M., Astrom, T., Karrasch, M., Laine, M. and Sillanmaki, L. (1999): Cortical activation related to auditory semantic matching of concrete versus abstract words, *Clin Neurophysiol*, 110 (1999) 1371-7.

Krause, C.M., Lang, A.H., Laine, M., Kuusisto, M. and Porn, B. (1996): Event-related EEG desynchronization and synchronization during an auditory memory task, *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 98 (1996) 319-26.

Krause, C.M., Lang, H.A., Laine, M., Helle, S.I., Kuusisto, M.J. and Porn, B. (1994): Event-related desynchronization evoked by auditory stimuli, *Brain Topogr*, 7 (1994) 107-12.

Krause, C.M., Lang, H., Laine, M., Kuusisto, M. and Porn, B. (1995): Cortical processing of vowels and tones as measured by event-related desynchronization, *Brain Topogr*, 8 (1995) 47-56.

Krause, C.M., Porn, B., Lang, A.H. and Laine, M. (1997): Relative alpha desynchronization and synchronization during speech perception, *Brain Res Cogn Brain Res*, 5 (1997) 295-9.

Krause, C.M., Pörn, B., Lang, A.H. and Laine, M. (1999): Relative Alpha Desynchronization and Synchronization During Perception of Music., *Scandinavian Journal of Psychology*, 40 (1999) 200-15.

Krause, C.M., Salminen, P.A., Sillanmaki, L. and Holopainen, I.E. (2001): Event-related desynchronization and synchronization during a memory task in children, *Clin Neurophysiol*, 112 (2001) 2233-40.

Krause, C.M., Sillanmaki, L., Haggqvist, A. and Heino, R. (2001): Test-retest consistency of the event-related desynchronization/event-related synchronization of the 4-6, 6-8, 8-10 and 10-12 Hz frequency bands during a memory task, *Clin Neurophysiol*, 112 (2001) 750-7.

Krause, C.M., Sillanmaki, L., Koivisto, M., Saarela, C., Haggqvist, A., Laine, M. and Hamalainen, H. (2000): The effects of memory load on event-related EEG desynchronization and synchronization, *Clin Neurophysiol*, 111 (2000) 2071-2078.

Kubler, A., Kotchoubey, B., Hinterberger, T., Ghanayim, N., Perelmouter, J., Schauer, M., Fritsch, C., Taub, E. and Birbaumer, N. (1999): The thought translation device: a neurophysiological approach to communication in total motor paralysis, *Exp Brain Res*, 124 (1999) 223-32.

Mazaheri, A. and Picton, T.W. (2005): EEG spectral dynamics during discrimination of auditory and visual targets, *Brain Res Cogn Brain Res*, 24 (2005) 81-96.

Näätänen, R. (1992): *Attention and brain function*. Lawrence Erlbaum Associates.

Ozgoren, M., Basar-Eroglu, C. and Basar, E. (2005): Beta oscillations in face recognition. *Int J Psychophysiol*, 55 (2005) 51-9.

Pfurtscheller, G. (1977): Graphical display and statistical evaluation of event-related desynchronization (ERD), *Electroencephalogr.Clin.Neurophysiol.*, 43 (1977) 757-760.

Pfurtscheller, G. and Aranibar, A. (1977): Event-related cortical desynchronization detected by power measurements of scalp EEG, *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 42 (1977) 817-26.

Pfurtscheller, G., Flotzinger, D., Pregenzer, M., Wolpaw, J.R. and McFarland, D. (1995): EEG-based brain computer interface (BCI). Search for optimal electrode positions and frequency components, *Med Prog Technol*, 21 (1995) 111-21.

Schack, B., Weiss, S. and Rappelsberger, P. (2003): Cerebral information transfer during word processing: where and when does it occur and how fast is it?, *Hum Brain Mapp*, 19 (2003) 18-36.

Singer, W. (1999): Neurobiology. Striving for coherence, *Nature*, 397 (1999) 391, 393

Sternberg, S. (1966): High-speed scanning in human memory, *Science*, 153 (1966) 652-4.

Tallon-Baudry, C. (2003): Oscillatory synchrony and human visual cognition, *J Physiol Paris*, 97 (2003) 355-63.

Varela, F., Lachaux, J.P., Rodriguez, E. and Martinerie, J. (2001): The brainweb: phase synchronization and large-scale integration, *Nat Rev Neurosci*, 2 (2001) 229-39.

Wolpaw, J.R., Flotzinger, D., Pfurtscheller, G. and McFarland, D.J. (1997): Timing of EEG-based cursor control, *J Clin Neurophysiol*, 14 (1997) 529-38.

Wolpaw, J.R., Ramoser, H., McFarland, D.J. and Pfurtscheller, G. (1998): EEG-based communication: improved accuracy by response verification, *IEEE Trans Rehabil Eng*, 6 (1998) 326-33.

Yordanova, J., Devrim, M., Kolev, V., Ademoglu, A. and Demiralp, T. (2000): Multiple time-frequency components account for the complex functional reactivity of P300, *Neuroreport*, 11 (2000) 1097-103.