

Tarkkaavaisuuden vaikutus puheen merkityssisällön käsittelyyn:
Aivojen herätevastetutkimus

Psykologian Pro Gradu-tutkielma (36 s, 3 ls)
Ohjaajat: Pia Rämä ja Teija Kujala
Maaliskuu 2006
Tua Marita Kristiina Relander

ESIPUHE

Tämä työ on toteutettu Helsingin yliopiston Psykologian laitoksella Kognitiivisen aivotutkimuksen yksikössä. Lämpimät kiitokset ohjaajilleni filosofian tohtori Pia Rämälle ja professori Teija Kujalalle asiantuntevasta, väsymättömästä ja innostavasta ohjauksesta sekä mahdollisuudesta työskennellä mielenkiintoisten ja haastavien tutkimusten parissa. Haluan kiittää myös muuta yksikön henkilökuntaa avusta työn eri vaiheissa. Erityiset kiitokset tutkielmaseminaarin vetäjälle dosentti Timo Ruusuvirralle sekä osallistujille Eino Partaselle, Suvi Taivalojalle ja Tuomas Teinoselle kannustavasta ilmapiiristä sekä arvokkaista kommentteista. Kiitos graduahdistuksen lievityksestä ystäville, perheelle ja erityisesti Markukselle.

Helsingissä 15.3.2006

Kristiina Relander

SISÄLLYS

1	Johdanto.....	1
1.1	Semanttinen virittäminen.....	1
1.2	Tarkkaavaisuuden vaikutus merkityssisällön käsittelyyn.....	2
1.3	Aivosähkökäyrä ja tapahtumasidonnaiset herätevasteet.....	3
1.4	N400-vaikutus	4
1.5	N400-vaikutuksen ja tarkkaavaisuuden yhteys	6
1.5.1	N400-vaikutus sanoille, joiden merkityssisältöä ei tarkkailla	6
1.5.2	N400-vaikutus sanoille, joita ei tarkkailla.....	8
1.6	Tutkimuksen tavoitteet	9
2	Menetelmät	10
2.1	Koehenkilöt	10
2.2	Ärsykkeet.....	10
2.3	Tutkimuksen kulku	12
2.4	Herätevasteiden ja tehtäväsuoriutumisen mittaaminen ja käsittely	14
2.5	Tilastolliset menetelmät.....	16
3	Tulokset	18
3.1	Tehtäväsuoriutuminen	18
3.2	Aivojen herätevasteet	19
4	Pohdinta.....	23
4.1	Merkityssisällön käsittely ei-tarkkailutilanteessa.....	23
4.2	Merkityssisällön käsittely kirjain- ja merkityksentarkkailutilanteissa	25
4.3	Johtopäätökset	28
	Lähteet.....	29
	Liitteet.....	37
	Liite 1. Sanaärsykkeet.....	37
	Liite 2. Monivalintatehtävä.....	39

1 JOHDANTO

1.1 Semanttinen virittäminen

Kielen merkityssisällön käsittelyä voidaan tutkia semanttisen virittämisen (engl. semantic priming) avulla. Esitettäessä sanoja pareittain sanaparin jälkimmäisen sanan eli kohdesanan (engl. target) tunnistaminen nopeutuu ja tunnistusvirheiden määrä vähenee, jos kohdesanaa edeltävä sana eli viritesana (engl. prime)¹ on siihen merkitysyhteydessä (esim. Meyer & Schvaneveldt, 1971). Yleisin semanttisen virittämisen tutkimuksissa käytetty tehtävätyyppi on ns. leksikaalisen päätöksenteon tehtävä, jossa koehenkilön tulee kiinnittää huomio siihen, onko kohdeärsyke sana vai epä sana.

Semanttinen virittäminen liittyy läheisesti semanttisen muistin käsitteeseen. Semanttisella muistilla tarkoitetaan tiedonkäsittelyjärjestelmää, joka vastaanottaa, säilyttää ja välittää tietoa sanojen ja käsitteiden merkityssisällöstä. Se on kielen käsittelylle oleellinen muistin osa, ja sitä voidaankin kutsua myös mielensisäiseksi sanavarastoksi (Tulving, 1972). Semanttista muistia kuvataan usein verkoksi, joka koostuu käsitteiden edustuksista ja niiden välisistä yhteyksistä. Collinsin ja Loftuksen (1975) mukaan käsitteiden väliset yhteydet ovat sitä vahvempia, mitä samankaltaisempia käsitteet ovat merkitykseltään.

Marslen-Wilsonin (1987) teorian mukaan puhutun sanan tunnistaminen sisältää kolme vaihetta. *Leksikaalinen haku* (engl. lexical access) tarkoittaa sanahahmon muodostamista puhesignaalista, jolloin mielensisäinen sanavarasto aktivoituu. *Leksikaalisessa valinnassa* (engl. lexical decision) yhteensopivin sanahahmo valitaan mielensisäisestä sanavarastosta. *Semanttinen yhdistäminen* (engl. semantic integration) tarkoittaa ylemmän tason edustuksen muodostamista semanttisen ja syntaktisen eli lauseopillisen tiedon, kuten lauseyhteyden, perusteella (Marslen-Wilson, 1987). Leksikaalista hakua pidetään

¹ *Semantic priming* -käsitteestä on suomenkielisissä teksteissä käytetty nimityksiä *semanttinen priming*, *semanttinen virittäminen* ja *semanttinen aktivoituminen*. Käytän tässä tutkimuksessa suomennosta *semanttinen virittäminen*, koska se kuvaa mielestäni parhaiten termin sisältöä. Termejä *prime* ja *target* ei suomenkielisissä teksteissä ole yleensä suomennettu, minkä takia olen suomentanut ne *viritesanaksi* ja *kohdesanaksi*.

automaattisena ja semanttista yhdistämistä tahdonalaisena sanantunnistamisen muotona (Chwilla, Brown & Hagoort, 1995). Schneiderin ja Shiffrinin (1977) mukaan automaattinen tiedonkäsittely ei ole tahdonalaista, siihen ei tarvita tarkkaavaisuutta eikä se kuormita järjestelmän suorituskykyä. Kontrolloitu eli tahdonalainen tiedonkäsittely päinvastoin edellyttää tarkkaavaisuutta ja riippuu järjestelmän suorituskyvystä.

Semanttisen virittämisen taustalla on ehdotettu toimivan erilaisia automaattisia ja tahdonalaisia tapahtumasarjoja, jotka liittyvät läheisesti sanan tunnistamisen vaiheisiin. Neely ja Keefe (1989) sekä Neely, Keefe ja Ross (1989) kokoavat teorioita laajaksi semanttisen virittämisen malliksi, jonka mukaan ilmiön taustalla on kolme erillistä mekanismia. Ensimmäinen näistä on automaattinen semanttisen virittämisen mekanismi. Kun käsitteen edustus semanttisessa verkossa aktivoituu, aktivaatio leviää automaattisesti verkossa käsitteestä toiseen (engl. spreading activation theory) (Collins & Loftus, 1975). Automaattisesti leviävällä aktivaatiolla on samoja piirteitä kuin leksikaalisella haulla (Chwilla ym., 1995). Toinen mekanismi on tahdonalainen tapahtumasarja, jossa muodostetaan merkityssisällön perusteella odotusjoukko mahdollisista tulevista sanoista. Odotuksiin perustuva semanttinen virittäminen helpottaa odotusjoukkoon kuuluvien kohdesanojen käsittelyä (esim. Becker, 1976). On kuitenkin esitetty, että odotuksiin perustuva semanttinen virittäminen ei ole osa luonnollista kielen merkityssisällön käsittelyä, vaan liittyy ainoastaan tietäntyyppisiin tehtäviin (Brown, Hagoort & Chwilla, 2000). Kolmas mekanismi, semanttinen sovittaminen (engl. semantic matching), on tahdonalainen tapahtumasarja, jossa sanojen välisen yhteyden määrittäminen tapahtuu takautuvasti postleksikaalisessa vaiheessa eli vasta sen jälkeen, kun leksikaalinen haku ja valinta on suoritettu ja sopiva sanahahmo on valittu (Neely, 1977). Semanttisella sovittamisella on samoja piirteitä kuin semanttisella yhdistämisellä (Chwilla ym., 1995).

1.2 Tarkkaavaisuuden vaikutus merkityssisällön käsittelyyn

Tarkkaavaisuus vaikuttaa siihen, miten pystymme käsittelemään oleellisia puheärsykeitä ja niiden merkityssisältöä esimerkiksi keskustelun aikana. Tarkkaavaisuusteoriat lähestyvät

kielen merkityssisällön käsittelyä eri tavoin. *Varhaisen valinnan teorioiden* eli *suodatusteorioiden* (esim. Broadbent, 1958) mukaan ei-tarkkailtujen ärsykkeiden merkityssisältöä ei käsitellä lainkaan, koska ne suodattuvat fysikaalisten piirteidensä, esimerkiksi aistikanavan tai äänenvoimakkuuden, perusteella jo aikaisessa vaiheessa. *Myöhäisen valinnan teorioiden* (esim. Deutch & Deutch, 1963; Duncan, 1980; Norman, 1968; Shiffrin & Schneider, 1977) mukaan kaikkien ärsykkeiden merkityssisältö käsitellään automaattisesti, ja tarkkaavaisuus vaikuttaa vain siihen, mihin ärsykkeisiin reagoidaan tai mitkä niistä muistetaan. *Heikentyneen suodatuksen teoria* on varhaisen ja myöhäisen valinnan teorioiden välimuoto. Sen mukaan ei-tarkkailtujen sanojen merkityssisältö käsitellään heikentyneesti, ja tunnistetuiksi tulevat ainoastaan sanat, joilla on erityisen matala aktivaatiokynnys, koska ne ovat erityisen tärkeitä tai niitä on hiljattain käytetty (Treisman, 1964).

1.3 Aivosähkökäyrä ja tapahtumasidonnaiset herätevasteet

Aivosähkökäyrällä (engl. electroencephalogram; EEG) mitataan aivokuoren sähköistä toimintaa rekisteröimällä kahden elektrodin välisiä jännite-eroja. Aivosähkökäyrä heijastaa hermosolujen postsynaptista toimintaa (Partanen, 1994) pääasiassa aivokuorella (Lang & Krause, 1999). Jännite-erojen eli aivosähkökäyrässä näkyvien aaltojen syntyminen edellyttää, että suuri joukko samansuuntaisesti järjestäytyneitä hermosoluja (lähinnä aivojen pyramidaalisolut) toimii yhtäaikaisesti (Coles & Rugg, 1995; Martin, 1991; Partanen, 1994). Aivosähkökäyrä on ajallisesti erittäin tarkka tutkimusmenetelmä, mutta koska aivo-selkäydinneste, kallon luut sekä pään iho vaikuttavat pään pinnalta mitattujen jännite-erojen sijaintiin, jännite-erojen hermostollisia lähteitä ei voida paikantaa tarkasti.

Aivojen tapahtumasidonnaiset herätevasteet (engl. event-related potential; ERP) ovat sensoristen (aistimukseen liittyvien), kognitiivisten (tiedonkäsittelyyn liittyvien) tai motoristen (liikkeisiin liittyvien) tapahtumien yhteydessä esiintyviä hetkellisiä jännitemuutoksia aivosähkökäyrässä (Hillyard & Kutas, 1983). Jotta mikrovolttien (μV) suurusluokkaa olevat herätevasteet voidaan eristää kymmeniä kertoja voimakkaammasta

tausta-aktiiviteetista, kuhunkin tapahtumatyyppiin ajallisesti lukittuja aivo-sähkökäyräjaksoja mitataan useita, ja jaksot keskiarvoistetaan keskenään. Tausta-aktiiviteetin vaikutus poistuu keskiarvoistamalla, koska sen voimakkuus vaihtelee satunnaisesti jaksosta toiseen (Coles & Rugg, 1995; Näätänen, 1992). Eri tapahtumatyyppien väliset erot herätevasteissa saadaan esille muodostamalla erotuskäyrä, eli vähentämällä yhteen tapahtumatyyppiin liittyvästä herätevasteesta toiseen tapahtumatyyppiin liittyvä herätevaste (erotuskäyrästä ja niihin liittyvistä ongelmista ks. Coles & Rugg, 1995).

Herätevasteet koostuvat sarjasta amplitudiltaan eli värähdyslaajuudeltaan negatiivisia tai positiivisia komponentteja (Hillyard & Kutas, 1983). Herätevasteekomponentti heijastaa tiettyyn aivojen alueeseen (Näätänen, 1992; Näätänen & Picton, 1987) tai tiedonkäsittelyprosessiin (Donchin, 1981) liittyvän aktiiviteetin osuutta herätevasteessa. Herätevasteekomponentit voidaan syntytapansa perusteella ryhmitellä ulkosyntyisiin (eksogeenisiin) ja sisäsyntyisiin (endogeenisiin) komponentteihin, joskin jako on karkea (Coles & Rugg, 1995). Ulkosyntyisten komponenttien piirteet määräytyvät pääasiassa ulkoisten ärsykepiirteiden mukaan, kun taas sisäsyntyisten komponenttien piirteet heijastavat henkilön aikomuksia ja toimintaa (Coles & Rugg, 1995; Näätänen, 1992). Alle sadan millisekunnin kuluessa ärsykkeestä esiintyvät komponentit ovat yleensä ulkosyntyisiä ja sitä myöhemmin esiintyvät komponentit sisäsyntyisiä (Coles & Rugg, 1995).

1.4 N400-vaikutus

N400-komponentti on amplitudiltaan negatiivinen herätevasteekomponentti, jonka huippu esiintyy noin 400 millisekunnin kuluttua sanaärsykkeen esittämisestä (esim. Hohnfeld & Sommer, 2005). Semanttisen virittämisen on havaittu vaikuttavan N400-komponentin voimakkuuteen (esim. Kutas & Hillyard, 1980). N400-vaikutuksella (engl. N400 effect) tarkoitetaan sitä, että komponentin amplitudi on heikompi, jos kohdesanaa edeltää siihen merkityssisällöltään sopiva sana tai lause, kuin jos kohdesana ei sovi merkitysyhteyteen

(esim. Holcomb & Neville, 1990).² N400-vaikutus havaittiin alun perin vertaamalla toisiinsa lauseyhteyteen sopivan (esim. ”taivaalla tuikkii useita *tähtiä*”) ja sopimattoman (esim. ”taivaalla tuikkii useita *koiria*”) sanaärsykkeen aiheuttamia herätevasteita (Kutas & Hillyard, 1980). Sitten N400-vaikutus on todettu myös pareittain esitetyille sanoille. Kun virite- ja kohdesanan välillä on merkitysyhteys (esim. ”*itä-länsi*”), kohdesanan synnyttämä N400-komponentti on pienempi kuin silloin, kun sanojen välillä ei ole merkitysyhteyttä (esim. ”*koira-länsi*”) (esim. Bentin, McCarthy & Wood, 1985). Holcombin ja Nevillen (1990) mukaan N400-komponentin amplitudi heikkenee, kun kohdesanaan merkitysyhteydessä oleva viritesana on valmiiksi aktivoitunut, koska kohdesanan käsittelyyn tarvittava aktivaatio on silloin tavallista vähäisempää.

N400-vaikutus mitataan tyypillisesti voimakkaimmillaan pään pinnan keski- ja takaosissa (Kutas & Hillyard, 1980). Kirjoitetuille sanoille syntynyt N400-vaikutus on tavallisesti voimakkaampi pään pinnan oikealla puolella, kun taas puheärsykkeille syntynyt N400-vaikutus on symmetrisesti jakautunut tai voimakkaampi vasemmalla puolella (Hinojosa, Martín-Loeches & Rubia, 2001; Holcomb & Neville, 1990). Tulokset kallonsisäisistä herätevastemittauksista viittaavat siihen, että N400-vaikutuksen hermostollisia lähteitä sijaitsee aivojen ohimolohkoissa (esim. McCarthy, Nombre, Bentin & Spencer, 1995; Nombre & McCarthy, 1995). Aivojen toiminnallisen magneettikuvantamisen (engl. functional magnetic resonance imaging; fMRI) tutkimuksissa semanttiseen virittämiseen liittyvää aktiiviteettia on havaittu ohimolohkojen lisäksi aivojen otsalohkoissa (esim. Matsumoto, Iidaka, Haneda, Okada & Sadato, 2005; Rissman, Eliassen & Blumstein, 2003).

Sanojen lisäksi myös muiden merkityssisällöllisten ärsykkeiden käsittely voi saada aikaan N400-vaikutuksen. N400-vaikutus syntyy silloin, kun sanan merkityssisältö ei sovi

² N400-vaikutus voidaan havaita myös ns. toistoviritys-koeeasetelmassa (engl. repetition priming). Toistovirityksessä N400-vaste on tavallista pienempi silloin, kun kohdesana on sama kuin viritesana (esim. Bentin & McCarthy, 1994; Holcomb, Anderson & Grainger, 2005). Toistoviritys voi kuitenkin heijastaa merkityssisällön prosessoinnin lisäksi esimerkiksi ortografisten ja fonologisten piirteiden prosessointia (Misra & Holcomb, 2003), minkä takia rajaan toistoviritystutkimukset tässä työssä esiteltävien tutkimusten ulkopuolelle. En käsittele tässä työssä myöskään fonologisille eroille havaittua N400-vaikutusta (esim. Perrin & García-Larrea, 2003).

musiikin piirteisiin tai tunnelmaan (Koelsch ym., 2004) ja kun kuvaärsyke, esimerkiksi piirros, ei ole merkitysyhteydessä aiempiin kuviin (esim. Federmeier & Kutas, 2001; Holcomb & McPherson, 1994; McPherson & Holcomb, 1999; West & Holcomb, 2002). N400-vaikutuksen jakauma pään pinnalla on kuitenkin erilainen kuva- kuin sana-ärsykkeille, mikä viittaa siihen, että N400-vaikutuksen hermostolliset lähteet ovat näille ärsyketyypeille erilaiset (McPherson & Holcomb, 1999).

1.5 N400-vaikutuksen ja tarkkaavaisuuden yhteys

1.5.1 N400-vaikutus sanoille, joiden merkityssisältöä ei tarkkailla

Tutkimalla aivojen herätevasteita tarkkaavaisuuden ollessa suunnattuna sanojen merkityssisällön sijaan muihin sanojen piirteisiin on pyritty selvittämään, edellyttääkö N400-vaikutuksen syntyminen tahdonalaista tarkkaavaisuuden suuntaamista sanojen merkityssisältöön. Näköärsykeitä käyttäneissä tutkimuksissa tulokset ovat olleet vaihtelevia. Tutkimuksissa, joissa koehenkilön tehtävä oli kiinnittää huomio siihen, onko sana kirjoitettu isoilla vai pienillä kirjaimilla, N400-vaikutusta ei syntynyt, eli herätevasteet vahvan ja heikon merkitysyhteyden sanapareille eivät eronneet toisistaan (Chwilla ym., 1995; Deacon, Breton, Ritter & Vaughan, 1991). Tilastollisesti merkitsevää N400-vaikutusta ei syntynyt myöskään tutkimuksessa, jossa koehenkilöiden tuli kiinnittää huomio siihen, noudattivatko sanojen alku- ja loppukirjaimet samaa konsonanti- ja vokaalirakennetta (Besson, Boaz, Fischler & Raney, 1992). Kun tehtävänä oli etsiä tietty kirjain viritesanasta ja tehdä leksikaalinen päätös kohdesanasta, N400-vaikutusta ei yhdessä tutkimuksessa havaittu (Mari-Beffa, Valdés, Cullen, Catena & Houghton, 2005) mutta kahdessa muussa tutkimuksessa havaittiin (Dombrowski & Heil, painossa; Heil, Rolke & Pecchinenda, 2004). N400-vaikutus havaittiin myös tutkimuksessa, jossa koehenkilön tuli kiinnittää huomio siihen, esiintyikö sanaparissa sen jälkeen esitetty kirjain (Kutas & Hillyard, 1989). Kolmessa viimeksi mainitussa tutkimuksessa, joissa N400-vaikutus havaittiin (Dombrowski & Heil, 2006; Heil ym., 2004; Kutas & Hillyard, 1989), ei kuitenkaan ollut vertailukoetilannetta, jossa tarkkaavaisuus olisi suunnattu sanojen merkityssisältöön. Sen vuoksi tutkimustuloksista ei voida päätellä, onko N400-vaikutus

yhtä voimakas tarkkailtaessa sanojen merkityssisältöä kuin tarkkailtaessa muita piirteitä.

Puheärsykeille perustuvissa tutkimuksissa tulokset ovat olleet jonkin verran yhtenevämpiä, mutta niidenkään perusteella tarkkaavaisuuden ja N400-vaikutuksen suhteesta ei synny selkeää kuvaa. Tilastollisesti merkitsevää N400-vaikutusta ei ilmennyt tutkimuksessa, jossa tehtävänä oli laskea sanaparien joukossa olleita epäsanoja (Bentin, Kutas & Hillyard, 1993). N400-vaikutus havaittiin tutkimuksessa, jossa koehenkilön tuli kiinnittää huomio siihen, riimittyivätkö sanat keskenään, mutta vaikutus oli heikompi kuin koetilanteessa, jossa tehtävänä oli kiinnittää tarkkaavaisuus sanojen merkityssisältöön (Perrin & García-Larrea, 2003). Tutkimuksessa, jossa käytettiin sanapariasetelman sijaan lauseasetelmaa, N400-vaikutus havaittiin, kun tehtävänä oli kiinnittää huomio siihen, oliko lauseessa tietty kirjain tai äänne (Connolly, Stewart & Phillips, 1990). Hohlfeldin ja Sommerin (2005) tutkimuksessa N400-vaikutus havaittiin, kun tehtävänä oli kiinnittää huomio siihen, onko kohdesanan äänenkorkeus matalampi vai korkeampi kuin viritesanan. Tutkimuksessa ei ollut kontrollikoetilannetta, mutta tekijöiden mukaan N400-vaikutus oli huomattavasti pienempi kuin yleensä tehtävissä, jotka edellyttävät sanojen merkityssisällön käsittelyä. Toisessa koetilanteessa koehenkilöt tarkkailivat yhä kohdesanojen äänenkorkeutta, mutta suoriutumista vaikeutettiin lisäksi ylimääräisellä näköärsykeisiin perustuvalla tehtävällä. Kun ylimääräisen tehtävän vaikeustasoja lisättiin tarpeeksi, N400-vaikutus hävisi, mikä johtuu kirjoittajien mukaan siitä, että kaikki tarkkaavaisuus jouduttiin suuntaamaan ylimääräisen tehtävän tekemiseen eikä merkityssisällön käsittelyyn (Hohlfeld & Sommer, 2005). Tulos viittaa siihen, että N400-vaikutus ei synny ilman tarkkaavaisuuden suuntaamista puheärsykkeiden merkityssisältöön.

Yhteenvedona voidaan todeta, että tulokset N400-vaikutuksesta eivät ole olleet yhteneviä tutkimuksissa, joissa tarkkaavaisuus on suunnattu muihin ärsykepiirteisiin kuin sanojen merkityssisältöön. Tutkimuksissa ei useimmiten ole ollut vertailukoetilannetta, jossa olisi tarkkailtu sanojen merkityssisältöä. Lisäksi N400-vaikutuksen pään pinnan jakaumaa koetilanteiden välillä on verrattu vain 4-16 elektrodin perusteella. Tutkimusten perusteella ei muodostu selvää kuvaa siitä, minkälaisia eroja N400-vaikutuksessa on sen mukaan, onko tarkkaavaisuus suunnattu sanojen merkityssisältöön vai muihin ärsykepiirteisiin.

1.5.2 N400-vaikutus sanoille, joita ei tarkkailla

N400-vaikutusta on tutkittu jonkin verran myös valikoivan tarkkaavaisuuden tutkimuksissa, joissa tarkkaavaisuus on suunnattu kokonaan pois sanoista. Näköärsykkeisiin perustuvassa valikoivan tarkkaavaisuuden tutkimuksessa N400-vaikutus syntyi vain silloin, kun sanapari esiintyi siinä osassa näkökenttää, johon tarkkaavaisuus oli suunnattu (McCarthy & Nombre, 1993). Toisessa näköärsykejä käyttäneessä tutkimuksessa, jossa tarkkaavaisuus tuli suunnata tietyn värisiin sanoihin, N400-vaikutus havaittiin silloin, kun tarkkaavaisuus oli suunnattu vain viritesanaan, mutta ei silloin, kun tarkkaavaisuus oli suunnattu vain kohdesanaan tai ei kumpaankaan sanaparin sanaan (Kellenbach & Michie, 1996).

Toistaiseksi N400-vaikutusta on tutkittu kuuloärsykeillä vasta vähän siten, että tarkkaavaisuus on suunnattu pois ärsykeistä. Bentin, Kutas ja Hillyard (1995) esittivät dikotoittisen kuuntelun tutkimuksessa koehenkilöiden kumpaankin korvaan samanaikaisesti eri sanapareja. Koehenkilön tuli kiinnittää huomio vain toiseen korvaan esitettyihin sanapareihin ja opetella niitä. N400-vaikutus oli tilastollisesti merkitsevä ainoastaan tarkkailtuun korvaan esitetuille sanapareille (Bentin ym., 1995). Viitteitä ilman tahdonalaista tarkkaavaisuutta syntyvästä N400-vaikutuksesta puheärsykeille on kuitenkin saatu tutkimuksista, joissa N400-vaikutus on havaittu joidenkin univaiheiden aikana (Brualla, Romero, Serrano & Valdizán, 1998; Perrin, Bastuji & García-Larrea, 2002).

Tulokset sekä näkö- että kuuloärsykeille perustuvista tutkimuksista ovat vaihtelevia, eivätkä anna yhtenäistä kuvaa tarkkaavaisuuden ja kielen merkityssisällön käsittelyn suhteesta. Yhdessäkään tutkimuksessa ei ole verrattu N400-vaikutuksen ilmentämää merkityssisällön käsittelyä tilanteissa, joissa tarkkaavaisuus on suunnattu pois sanoista, merkityssisällön kannalta epäolennaisiin piirteisiin ja merkityssisältöön.

1.6 Tutkimuksen tavoitteet

Tarkkaavaisuus vaikuttaa siihen, miten pystymme käsittelemään oleellista puheinformaatiota ja sen merkityssisältöä esimerkiksi keskustelun aikana. Merkityssisällön käsittelyä aivoissa on tutkittu runsaasti N400-herätevastekomponentin avulla, mutta on yhä epäselvää, miten aivot käsittelevät puheen merkityssisältöä ilman tahdonalaista tarkkaavaisuuden suuntaamista sanoihin tai niiden merkityssisältöön.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin, miten tarkkaavaisuuden suuntaaminen vaikuttaa kuullun puheen merkityssisällön käsittelyyn aivoissa. Tutkimuksen ensimmäinen tavoite oli selvittää, edellyttääkö N400-vaikutuksen syntyminen puheärsykeille tahdonalaisen tarkkaavaisuuden suuntaamista kuuloinformaatioon. Aiemmissa puheärsykeillä tehdyissä N400-tutkimuksissa tarkkaavaisuutta ei ole suunnattu kokonaan pois kuuloinformaatiosta. Toinen tavoite oli selvittää, minkälaisia eroja N400-vaikutuksen ilmentämässä semanttisessa virittämisessä on sen mukaan, onko tarkkaavaisuus suunnattu puheärsykkeiden merkityssisältöön vai muihin ärsykepiirteisiin.

N400-vaikutusta tutkittiin kolmessa erilaisessa tarkkaavaisuustilanteessa. *Ei-tarkkailutilanteessa* koehenkilöt tekivät näköärsykeisiin perustuvaa tehtävää, jonka tarkoitus oli suunnata tarkkaavaisuus pois kuuloärsykeistä. *Kirjaintarkkailutilanteessa* tehtävä oli valittu siten, että se edellytti sekä virite- että kohdesanojen tarkkaavaista kuuntelemista sanojen loppuun asti, mutta ei sanojen merkityssisällön käsittelyä. *Merkityksentarkkailutilanteessa* tehtävä edellytti sanojen merkityssisällön käsittelyä.

2 MENETELMÄT

2.1 Koehenkilöt

Kokeeseen osallistui 27 vapaaehtoista koehenkilöä, jotka saivat osallistumisestaan korvauksen. Ennen kokeen aloittamista koehenkilöt lukivat tiedotteen kokeen sisällöstä ja allekirjoittivat suostumuksen kokeeseen osallistumisesta. Kolmen koehenkilön tulokset poistettiin tutkimuksesta kuulovikojen tai neurologisten häiriöiden vuoksi. Neljän koehenkilön tulokset hylättiin runsaan silmienräpyttelyn aiheuttaman aineiston hälyisyyden takia. Tutkimukseen sisällytetyt koehenkilöt (n=20, ikä 20–32 v, keski-ikä 26 v) jaettiin ennen mittauksia kahteen ryhmään, jotka suorittivat koetilanteet eri järjestyksessä. Molemmissa ryhmissä oli 10 koehenkilöä (7 naista), eivätkä ryhmät poikenneet iältään tilastollisesti merkitsevästi toisistaan ($t(18)=-.07$, $p<.96$). Kaikki koehenkilöt olivat oikeakätisiä ja suomenkielisiä. Yhdelläkään tutkimukseen sisällytetyllä koehenkilöllä ei ollut todettua vikaa kuulossa, neurologisia häiriöitä tai keskushermostoon vaikuttavaa lääkitystä. Koehenkilöiden näkö oli normaali tai normaaliksi korjattu.

2.2 Ärsykkeet

Ärsykeinä käytettiin suomenkielisistä substantiiveista muodostettuja sanapareja, joissa sanojen välillä oli vahva (esim. *itä-länsi*) tai heikko (esim. *koira-länsi*) merkitysyhteys. Heikon merkitysyhteyden sanaparit muodostettiin vahvan merkitysyhteyden sanaparien sanoista siten, että sanojen paikka sanaparissa ei vaihtunut (esim. sana ”*länsi*” oli sekä vahvassa että heikossa sanaparissa sanaparin jälkimmäinen sana). Siten virite- ja kohdesanat olivat täysin samat heikon ja vahvan merkitysyhteyden sanapareissa.

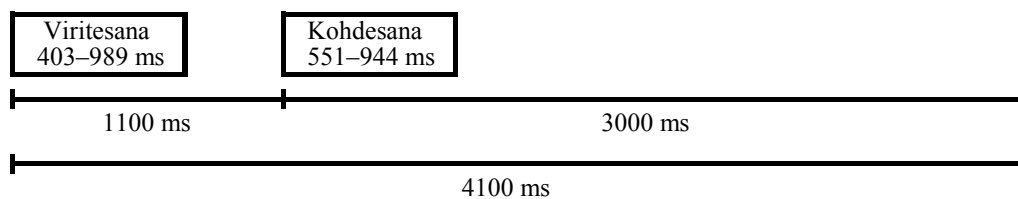
Alkuperäisten 110 heikon ja 110 vahvan merkitysyhteyden sanaparien arvioimiseksi tehtiin kaksi esikoetta. Ensimmäisessä esikokeessa 24 vapaaehtoista koehenkilöä (16 naista, ikä 20–62 v, keski-ikä 28 v), jotka eivät osallistuneet muihin kokeisiin, arvioi sanaparien välistä merkitysyhteyttä kirjallisesti viisiportaisella monivalinta-asteikolla (1 = ei

merkitysyhteyttä, 2 = heikko merkitysyhteys, 3 = en osaa sanoa, 4 = kohtalainen merkitysyhteys, 5 = erittäin vahva merkitysyhteys). Heikon ja vahvan merkitysyhteyden sanaparit olivat lomakkeessa satunnaisessa järjestyksessä, joka vaihteli eri koehenkilöiden välillä. Tulosten perusteella valittiin toista esikoetta varten ne vahvan merkitysyhteyden parit, joiden keskiarvo oli vähintään 4 pistettä, sekä ne heikon merkitysyhteyden parit, joiden keskiarvo oli korkeintaan 2 pistettä. Koska osa sanoista poistettiin, virite- ja kohdesanat eivät olleet enää täysin samoja heikon ja vahvan merkitysyhteyden sanapareissa. Sen takia heikon merkitysyhteyden sanapareja muokattiin siten, että jokainen sana esiintyi edelleen kerran heikossa ja kerran vahvassa sanaparissa ilman, että sanan paikka sanaparissa muuttui. Valitut ärsykkeet (100 heikon ja 100 vahvan merkitysyhteyden sanaparia) nauhoitettiin DAT-nauhurilla (näytteenottotaajuus 44.1 KHz) suomenkielisen naisen puhumana ja muokattiin Cool Edit 2000 -ohjelmalla (Syntrillium Software Corp., USA). Herätevastemittausta varten äänet muokattiin stereoäänistä monoääniksi.

Toisessa esikokeessa 9 vapaaehtoista koehenkilöä (6 naista, ikä 21–28 v, keski-ikä 23 v), jotka eivät osallistuneet muihin kokeisiin, kuunteli sanaparit kuulokkeilla. Koehenkilöitä pyydettiin arvioimaan nappia painamalla, onko sanojen välillä vahva vai heikko merkitysyhteys. Tulosten perusteella poistettiin ne sanaparit, joiden merkitysyhteyden ainakin kaksi koehenkilöä arvioi väärin tai joiden reaktioaikojen keskiarvo kohdesanan alusta mitattuna oli vähintään 1200 ms (keskipituus 1050 ms, keskihajonta 261 ms). Heikon merkitysyhteyden sanapareja muokattiin jälleen siten, että jokainen sana esiintyi kerran heikossa ja kerran vahvassa sanaparissa ilman, että sanan paikka sanaparissa muuttui.

Esikokeiden perusteella lopullisiksi ärsykkeiksi jäi 89 vahvan ja 89 heikon merkitysyhteyden sanaparia (liite 1). Sekä vahvan että heikon merkitysyhteyden sanaparien sanat päättyivät samaan kirjaimeseen (esim. *muki-tammi) todennäköisyydellä 0.20 ja eri kirjaimeseen (esim. *hiiri-piimä) todennäköisyydellä 0.80. Viritesanat olivat pituudeltaan 403–989 ms (keskipituus 698 ms, keskihajonta 119 ms) ja kohdesanat 551–944 ms (keskipituus 709 ms, keskihajonta 78 ms). Kaikki sanat olivat kaksitavuisia. Viritesanat olivat 3–7-kirjaimisia ja kohdesanat 5-kirjaimisia. Sanapareista muodostettiin eri koetilanteita varten kolme sarjaa,**

joissa sanaparit olivat eri järjestyksessä. Heikon tai vahvan merkitysyhteyden sanapareja oli kuitenkin korkeintaan kolme peräkkäin. Esitysväli viritesanan alusta kohdesanan alkuun oli 1100 ms ja kohdesanan alusta seuraavan sanaparin viritesanan alkuun 3000 ms (kuva 1). Ärsykkeet esitettiin kuulokkeiden kautta. Kokeen alussa mitattiin jokaisen koehenkilön kuulokynnys, ja äänenvoimakkuus säädettiin 50 dB sitä voimakkaammalle tasolle. Koehenkilön niin toivoessa äänenvoimakkuutta nostettiin.



Kuva 1. Ärsykkeiden pituudet ja esitysvälit millisekunteina (ms).

2.3 Tutkimuksen kulku

Kokeet suoritettiin Kognitiivisen aivotutkimuksen yksikön tiloissa Helsingin yliopiston psykologian laitoksella. Koehenkilöt istuivat kokeen ajan nojatuolissa sähkömagneettisilta häiriöiltä suojatussa, normaalisti valaistussa huoneessa. Lihasjännityksen ja silmänliikkeiden aiheuttamien häiriöiden välttämiseksi koehenkilöitä kehoitettiin välttämään liikkumista ja räpyttelemään mahdollisimman vähän koetilanteiden aikana.

Koe koostui kolmesta koetilanteesta: ei-tarkkailutilanteesta, kirjaintarkkailutilanteesta ja merkityksentarkkailutilanteesta. *Ei-tarkkailutilanteen* aikana koehenkilöiden tarkkaavaisuus oli suunnattu pois kuuloärsykkeistä. Koehenkilöt katsoivat näyttöruudulta luonto-ohjelmaa, jossa oli suomenkielinen tekstitys. Koehenkilöt eivät kuulleet luonto-ohjelman ääniä. Koehenkilöitä pyydettiin painamaan mieleen mahdollisimman paljon yksityiskohtia ohjelmasta ja heille kerrottiin, että koetilanteen jälkeen heidän tulee vastata kysymyksiin sen sisällöstä. Kuuloärsykkeet esitettiin samanaikaisesti luonto-ohjelman kanssa. Koehenkilöitä kehoitettiin olemaan välittämättä kuuloärsykkeistä ja suuntaamaan

tarkkaavaisuutensa kokonaan ohjelmaan. Koetilanteen loputtua koehenkilöt vastasivat kirjalliseen monivalintatehtävään ohjelman sisällöstä. Monivalintatehtävä sisälsi yhdeksän kysymystä ohjelman tapahtumista sekä tekstityksessä esille tulleista tiedoista. Jokaisessa kysymyksessä oli kolme vastausvaihtoehtoa (liite 2).

Kirjaintarkkailutilanteessa koehenkilöiden tarkkaavaisuus oli suunnattu puheärsykkeisiin, mutta ei niiden merkityssisältöön. Koehenkilöt vastasivat nappia painamalla siihen, loppuivatko sanaparin sanat samaan (esim. *muki-tammi*) vai eri (esim. *hiiri-piimä*) kirjaimiin.

Merkityksentarkkailutilanteessa koehenkilöiden tarkkaavaisuus oli suunnattu puheärsykkeiden merkityssisältöön. Koehenkilöt vastasivat nappia painamalla siihen, oliko sanaparien sanojen välillä vahva vai heikko merkitysyhteys.

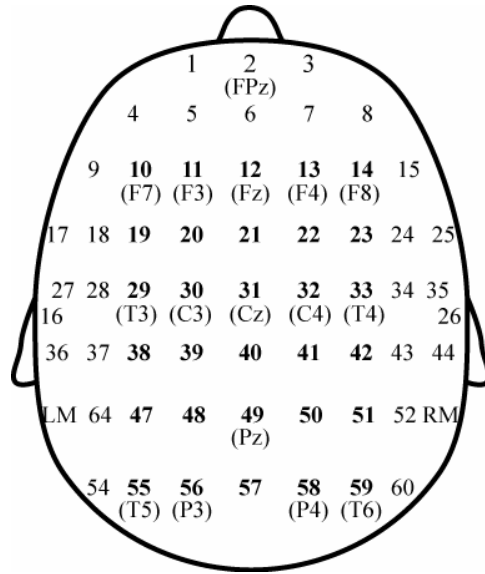
Koetilanteiden esitysjärjestyksen vaikutusten kontrolloimiseksi koehenkilöt oli jaettu kahteen ryhmään, jotka suorittivat koetilanteet eri järjestyksessä (ryhmä 1: ei-tarkkailu – kirjaintarkkailu – merkityksentarkkailu; ryhmä 2: ei-tarkkailu – merkityksentarkkailu – kirjaintarkkailu). Ei-tarkkailutilanne oli molemmilla ryhmillä ensimmäisenä, jotta koehenkilöt eivät tehtävää suorittaessaan tietäisi, että taustalla kuuluvat sanaparit olivat tutkimuksen kohteena ja siksi kiinnittäisi huomiotaan sanoihin. Samasta syystä koehenkilöt saivat tietää kunkin koetilanteen tehtävän vasta juuri ennen kyseistä koetilannetta ja tutkimuksen tarkoituksen vasta kokeen päätyttyä. Kukin koetilanne kesti noin 12 minuuttia, ja koetilanteiden välissä koehenkilöt saivat halutessaan pitää taukoa. Koe kesti valmisteluineen kokonaisuudessaan noin kaksi tuntia.

Puolet molempien ryhmien koehenkilöistä vastasi painamalla vastausnappeja oikean käden etusormella kohdesanoille, joilla oli viritesanan kanssa sama loppukirjain tai vahva merkitysyhteys, ja keskisormella kohdesanoille, joilla oli viritesanan kanssa eri loppukirjain tai heikko merkitysyhteys. Motoristen vaikutusten kontrolloimiseksi loppuilla koehenkilöistä vastausnappien merkitys oli päinvastainen. Ennen kirjain- ja merkityksentarkkailutilanteita koehenkilöt saivat harjoitella tehtävää. Harjoitteluärsykkeet koostuivat

kymmenestä sanaparista, jotka eivät kuuluneet varsinaisen kokeen ärsykkeisiin. Näiden koetilanteiden aikana koehenkilöille ei esitetty luonto-ohjelmaa, mutta silmänliikkeiden välttämiseksi heitä pyydettiin suuntaamaan katseensa silti näyttörüudun alareunaan. Koehenkilöille kerrottiin, että heidän tulisi reagoida mahdollisimman nopeasti, mutta että tarkkuus olisi kuitenkin nopeutta tärkeämpää.

2.4 Herätevasteiden ja tehtäväsuoriutumisen mittaaminen ja käsittely

Herätevasteet rekisteröitiin 64-kanavaisella elektrodipäähineellä (ks. Virtanen, Rinne, Ilmoniemi & Näätänen, 1996), josta oli käytössä 58 hopea/hopeakloridielektrodia. Osa päähineen elektrodeista vastasi likimain kansainvälisen 10–20 -järjestelmän elektrodipaikkoja (Jasper, 1958) (kuva 2). Elektrodeilla rekisteröityjä sähköisiä muutoksia verrattiin nenään kiinnitetyn vertailuelektrodin rekisteröimään perustasoon. Maadoituselektrodi kiinnitettiin poskeen. Silmänliikkeitä mitattiin silmänsähkökäyrällä: vaakatason silmänliikkeitä oikeaan ja vasempaan ohimoon kiinnitetyillä elektrodeilla ja pystytason silmänliikkeitä vasemman silmän ylä- ja alapuolelle kiinnitetyillä elektrodeilla. Lisäksi kiinnitettiin elektrodit vasemman ja oikean kartiolisäkkeen päälle. Vertailuelektrodin ja muiden elektrodien väliset impedanssit olivat alle 15 k Ω . Aivosähkökäyrä sekä tehtäväsuoriutuminen rekisteröitiin NeuroScan Acquire 4.3 -ohjelmalla (NeuroScan Inc., USA) näytteenottotaajuudella 1000 Hz ja vahvistimien (NeuroScan SynAmp) taajuuskaistalla 0.1–40 Hz (estokaistan vaimennus 24 dB/oktaavi).



Kuva 2. Elektrodiensijoittelu ja vastaavuus kansainvälisen 10-20 -järjestelmän kanssa. Lihavoidulla kirjasimella kirjoitetut elektrodit otettiin mukaan tilastollisiin analyysiin. LM = vasen kartiolisäke, RM = oikea kartiolisäke.

Tehtäväsuoriutumisen ja herätevasteiden käsittelyyn käytettiin NeuroScan Edit 4.3 -ohjelmaa (NeuroScan Inc., USA). Kirjain- ja merkityksentarkkailutilanteiden tehtäväsuoriutumisesta haettiin automaattisesti jokaisen koehenkilön reaktioajat sekä vastaukset yksittäisille kohdesanoille. Aivosähkökäyrästä muodostettiin 1200 ms:n mittaisia jaksoja, jotka alkoivat 200 ms ennen kohdesanan alkua. Silmän- ja kehonliikkeiden aiheuttamien häiriöiden takia keskiarvoista jätettiin pois jaksot, joissa amplitudin itseisarvo ylitti 100 μV millä tahansa kanavalla. Jäljelle jääneistä jaksoista tehtiin jokaiselle koehenkilölle keskiarvovasteet sekä heikon että vahvan sanaparin aiheuttamista herätevasteista erikseen eritarkkailutilanteessa, kirjaintarkkailutilanteessa ja merkityksentarkkailutilanteessa. Keskiarvot sisälsivät 33–95 jaksoa (ka=66). Keskiarvovasteista alipäästösuodatettiin digitaalisesti yli 30 Hz:n taajuudet (estokaistan vaimennus 24 dB/oktaavi). Perustasona (0 μV) käytettiin kohdesanaa edeltävän 200 ms:n jakson jännitekeskiarvoa.

Herätevasteiden testaamista varten yksittäisten koehenkilöiden keskiarvovasteista muodostettiin ryhmäkeskiarvovasteet koetilanteittain eri ärsyketyypeille. Sekä yksittäisten koehenkilöiden keskiarvovasteille että ryhmäkeskiarvovasteille tehtiin erotuskäyrät

vähentämällä heikon sanaparin aiheuttamista herätevasteista vahvan sanaparin aiheuttamat herätevasteet.

2.5 Tilastolliset menetelmät

Tilastolliset analyysit tehtiin Statistica 5.1 -ohjelmalla (StatSoft, Inc., USA). Varianssi-analyysitulosten p-arvoille tehtiin tarvittaessa Greenhouse-Geisser -korjaus SPSS 11.0 -ohjelmalla (SPSS Inc., USA). Tuloksissa on ilmoitettu korjatut p-arvot.

Kirjain- ja merkitysentarkkailutilanteiden tehtäväsuoriutumisesta laskettiin jokaiselle koehenkilölle oikeiden vastausten keskimääräiset reaktioajat sekä väärin ja puuttuvien vastausten suhteelliset osuudet erikseen heikon ja vahvan merkitysyhteyden sanapareista. Tehtäväsuoriutumista testattiin kaksisuuntaisella [koetilanne (kaksi tasoa: kirjaintarkkailu, merkitysentarkkailu) × merkitysyhteys (kaksi tasoa: vahva, heikko)] toistomittausvarianssianalyysillä (engl. repeated measures analysis of variance) erikseen sekä reaktioajoille että väärin ja puuttuvien vastausten suhteellisille osuuksille.

N400-vaikutuksen amplitudien testaamista varten kunkin koetilanteen ryhmäkeskiarvovasteiden erotuskäyristä määriteltiin N400-vaikutuksen huippuviive siltä kanavalta, jolla sen amplitudi oli suurin. Analyysijaksoina käytettiin kolmea perättäistä 100 ms:n jaksoa, joista keskimmäisen puolivälissä sijaitsi huippuviive. Näiltä kolmelta viivejaksolta määriteltiin keskimääräinen amplitudi erikseen kunkin koehenkilön erotuskäyristä eri koetilanteissa.

N400-vaikutuksen tilastollinen merkitsevyys testattiin kaksisuuntaisella yhden otoksen t-testillä erikseen jokaisessa koetilanteessa siltä kanavalta, jolla sen amplitudi oli suurin. Testissä verrattiin erikseen kolmelta eri viivejaksolta mitattuja yksittäisten koehenkilöiden erotuskäyrien keskiarvoamplitudeja 0 μ V:n perustasaan.

Muissa tilastollisissa analyyseissä käytettiin vain keskimmäistä viivejaksoa, ja niihin

otettiin mukaan 30 elektrodia (kuva 2). Elektrodit muodostivat kuusi pään etu- ja takaosien jakaumalinjaa: frontaalilinja (elektrodit 10, 11, 12, 13, 14), fronto-sentraalinen linja (19, 20, 21, 22, 23), sentraalilinja (29, 30, 31, 32, 33), sentroparietaalinen linja (38, 39, 40, 41, 42), parietaalilinja (47, 48, 49, 50, 51) ja parietaalio-okkipitaalilinja (55, 56, 57, 58, 59) sekä viisi lateraalisuuslinjaa eli pään pinnan oikean ja vasemman puolen välistä jakaumalinjaa: vasen linja (10, 19, 29, 38, 47, 55), keskivasen linja (11, 20, 30, 39, 48, 56), keskilinja (12, 21, 31, 40, 49, 57), keskioikea linja (13, 22, 32, 41, 50, 58) ja oikea linja (14, 23, 33, 42, 51, 59).

Koetilanteiden järjestyksen (ryhmä 1: ei-tarkkailu – kirjaintarkkailu – merkityksentarkkailu; ryhmä 2: ei-tarkkailu – merkityksentarkkailu – kirjaintarkkailu) vaikutusta N400-vaikutukseen testattiin nelisuuntaisella [koehenkilöryhmä (kaksi tasoa: ryhmä 1 ja 2) × koetilanne (kolme tasoa: ei-tarkkailu, kirjaintarkkailu, merkityksentarkkailu) × etu-taka-jakauma (kuusi tasoa: frontaalinen, fronto-sentraalinen, sentraalinen, sentroparietaalinen, parietaalinen ja parietaalio-okkipitaalinen linja) × lateraalisuus (viisi tasoa: vasen, keskivasen, keski-, keskioikea ja oikea linja)] toistomittausvarianssianalyysillä vertaamalla toisiinsa yksittäisten koehenkilöiden erotuskäyristä mitattuja keskiarvoamplitudeja. Koska ryhmämuuttujan päävaikutus ($F(1,18)=0.65$, $p<.44$) ja yhdysvaikutus koetilanteen kanssa ($F(2,36)=0.723$, $p<0.50$) eivät olleet tilastollisesti merkitseviä, ryhmämuuttujaa ei sisällytetty muihin analyyseihin. Amplitudi- ja jakaumaerojen tutkimista varten tehtiin toinen kolmesuuntainen (koetilanne × etu-taka-jakauma × lateraalisuus) toistomittausvarianssianalyysi. Keskeisten merkitsevien tulosten (koetilanne, koetilanne × lateraalisuus, koetilanne × etu-taka-jakauma) lähteitä tarkasteltiin post hoc t-testillä, jonka kriittistä arvoa oli korjattu sopivaksi useita vertailuja varten (vähiten merkitsevän erotuksen testi, engl. least significant difference; LSD).

N400-vaikutuksen viive-erojen testaamista varten määriteltiin yksittäisten koehenkilöiden kaikkien koetilanteiden erotuskäyristä negatiiviset huippuviiveet Pz-kanavalta 425–625 ms kohdesanan alusta, johon suurin osa negatiivisista huippuamplitudeista sijoittui. Viive-arvoille tehtiin 3-suuntainen (koetilanne × etu-taka-jakauma × lateraalisuus) toistomittausvarianssianalyysi, jossa oli mukana samat 30 kanavaa kuin amplitudianalyyseissä.

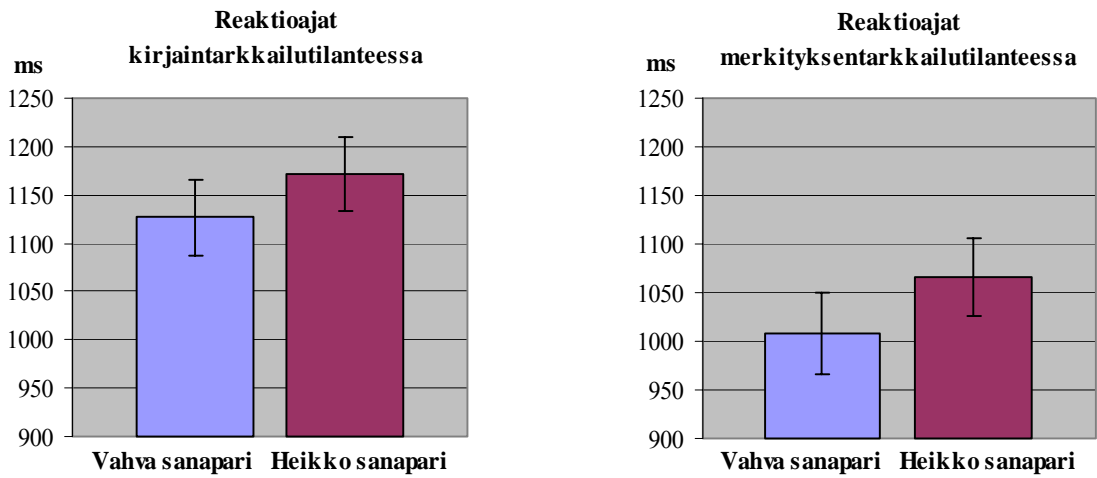
3 TULOKSET

3.1 Tehtäväsuoriutuminen

Koehenkilöt suoriutuivat ei-tarkkailutilanteen jälkeen tehdyssä luonto-ohjelmaa koskevassa kirjallisessa monivalintatehtävässä erittäin hyvin (oikeita vastauksia keskimäärin 93 %). Kirjain- ja merkityksentarkkailutilanteiden oikeiden vastausten reaktioajat sekä puuttuvien ja väärin vastausten suhteelliset osuudet on esitetty taulukossa 1. Semanttinen virittäminen havaittiin reaktioajoissa, jotka olivat tilastollisesti merkitsevästi pidempiä heikon kuin vahvan merkitysyhteyden sanapareille ($F(1,19)=29.87$, $p<.001$) (kuva 3). Reaktioajat olivat myös tilastollisesti merkitsevästi pidempiä kirjaintarkkailutilanteessa kuin merkityksentarkkailutilanteessa ($F(1,19)=18.40$, $p<.001$), mikä johtunee siitä, että kirjaintarkkailutilanteen tehtävä edellytti sanojen kuuntelemista viimeiseen kirjaimen asti. Koetilanteen ja merkitysyhteyden välinen yhdysvaikutus ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä ($F(1,19)=0.79$, $p<.39$), mikä tarkoittaa, että semanttisen virittämisen voimakkuus ei eronnut kirjain- ja merkityksentarkkailutilanteiden välillä. Väärin vastausten suhteelliset osuudet eivät eronneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi koetilanteiden ($F(1,19)=1.04$, $p<.33$) eivätkä vahvan ja heikon merkitysyhteyden ($F(1,19)=1.61$, $p<.22$) välillä. Myöskään puuttuvien vastausten suhteelliset osuudet eivät eronneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi koetilanteiden ($F(1,19)=3.62$, $p<.08$) eivätkä vahvan ja heikon merkitysyhteyden ($F(1,19)=0.32$, $p<.58$) välillä.

Taulukko 1. Keskimääräiset reaktioajat (Ra) millisekunteina (ms), keskiarvon keskivirheet (Kkv) sekä puuttuvien (P) ja väärin (V) vastausten suhteelliset osuudet vahvan ja heikon merkitysyhteyden sanapareille kirjain- ja merkityksentarkkailutilanteessa.

Koetilanne	Vahva merkitysyhteys				Heikko merkitysyhteys			
	Ra (ms)	Kkv (ms)	P (%)	V (%)	Ra (ms)	Kkv (ms)	P (%)	V (%)
Kirjaintarkkailu	1126	39	0.34	0.62	1171	38	0.22	0.81
Merkityksentarkkailu	1008	42	0.06	2.19	1066	40	0.06	0.62

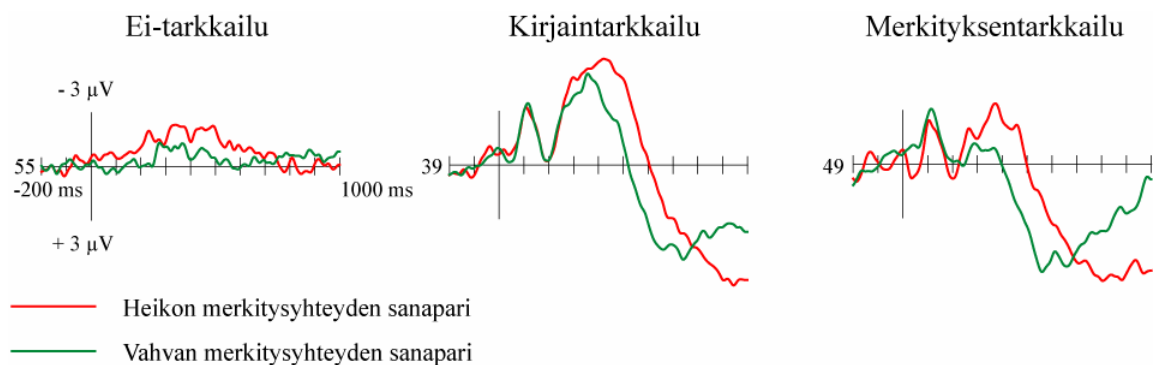


Kuva 3. Oikeiden vastausten keskimääräiset reaktioajat (pylväät) ja keskiarvojen keskivirheet (janat) millisekunteina (ms) kirjaintarkkailutilanteessa ja merkityksentarkkailutilanteessa.

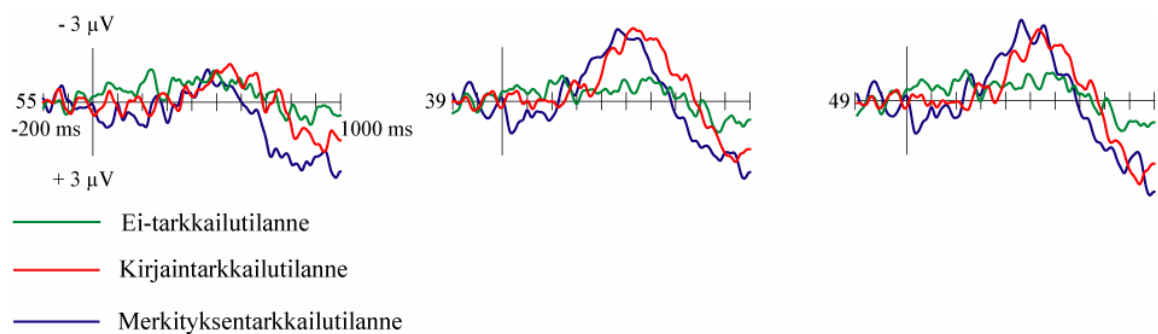
3.2 Aivojen heräteasteet

Heräteasteissa esiintyvä negatiivinen komponentti määriteltiin N400-komponentiksi, koska sen huippuviive, jakauma pään pinnalla ja herkkyys semanttiselle virittämiselle vastasivat N400-komponentin ominaisuuksia (kuva 4). Heräteasteissa näkyi myös myöhäinen positiivinen komponentti, joka seuraa N400-komponenttia useimmissa kieli-tutkimuksissa (Astésano, Besson & Alter, 2004). Komponentin tulkintaan liittyvien risti-riitaisuuksien vuoksi rajaan sen kuitenkin tarkastelun ulkopuolelle.

N400-vaikutuksen huippuamplitudi oli jokaisessa koetilanteessa suurin pään takaosissa: ei-tarkkailutilanteessa elektrodilla 55, kirjaintarkkailutilanteessa elektrodilla 39 ja merkityksentarkkailutilanteessa elektrodilla 49. N400-vaikutuksen keskiarvoamplitudi poikkesi tilastollisesti merkitsevästi 0 μ V:n perustasosta kaikissa koetilanteissa jokaisella mitatulla viivejaksolla sillä elektrodilla, jolla huippuamplitudi oli koetilanteessa suurin (kuvat 4 ja 5, taulukko 2).



Kuva 4. Ryhmäkeskiarvovasteet mikrovoltteina (μ V) heikon (punainen viiva) ja vahvan (vihreä viiva) merkitysyhteyden sanapareille ei-tarkkailutilanteessa, kirjaintarkkailutilanteessa ja merkityksentarkkailutilanteessa sillä elektrodilla, jolla N400-vaikutuksen amplitudi oli kussakin koetilanteessa suurin. Pystyakseli merkitsee kohdesanan alkukohtaa.



Kuva 5. Ryhmäkeskiarvovasteista muodostetut erotuskäyrät mikrovoltteina (μ V) ei-tarkkailutilanteessa (vihreä viiva), kirjaintarkkailutilanteessa (punainen viiva) ja merkityksentarkkailutilanteessa (sininen viiva) niillä elektrodeilla, joilla N400-vaikutuksen amplitudi oli eri koetilanteissa suurin. Pystyakseli merkitsee kohdesanan alkukohtaa.

Taulukko 2. Erotuskäyristä mitatut N400-vaikutuksen huippuviiveet (Huippu) millisekunteina (ms) sekä eri viivejaksojen amplitudikeskiarvot (Ka) ja keskiarvon keskivirheet (Kkv) mikrovoltteina (μV), t-arvot (t) ja tilastollinen merkitsevyystaso (p) verrattuna 0 μV perustasaan eri koetilanteissa.

Koetilanne	Elektrodi	Huippu (ms)	Jakso (ms)	Ka (μV)	Kkv (μV)	t(19)	p
Ei-tarkkailu	55	489	339–439	-1.21	0.34	-3.53	**
			439–539	-1.31	0.45	-2.90	**
			539–639	-1.02	0.43	-2.40	*
Kirjaintarkkailu	39	528	378–478	-2.26	0.52	-4.35	***
			478–578	-3.71	0.53	-7.02	****
			578–678	-3.05	0.62	-4.91	****
Merkityksentarkkailu	49	463	313–413	-2.14	0.52	-4.12	***
			413–513	-3.67	0.67	-5.49	****
			513–613	-3.15	0.67	-4.72	***

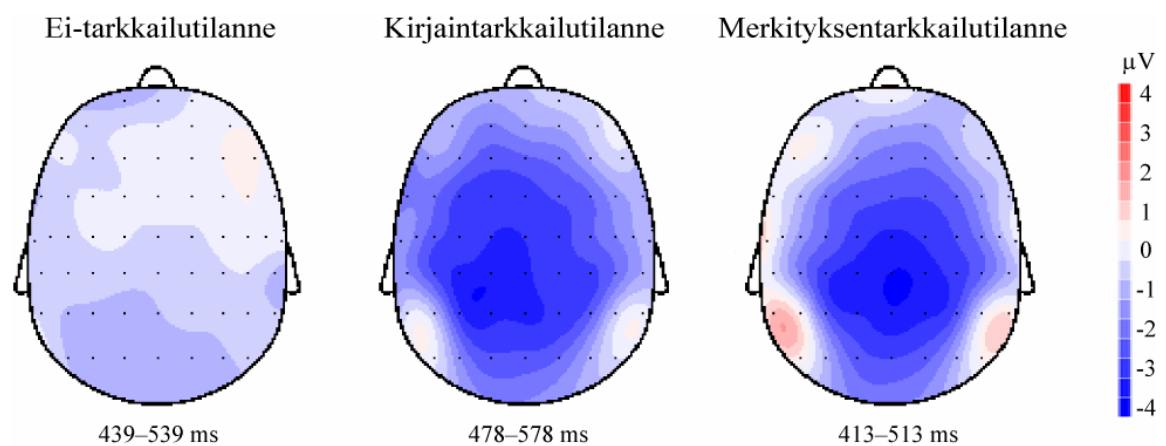
* $p < .05$. ** $p < .01$. *** $p < .001$. **** $p < .0001$.

Amplitudeja ja amplitudien pään pinnan jakaumia koetilanteiden välillä verrattiin keskimmaisella analyysijaksolla sisällyttämällä analyyseihin 30 elektrodia (kuva 2). Koetilanteen vaikutus keskiarvoamplitudeihin oli tilastollisesti merkitsevä ($F(2,38)=5.18$, $p < .05$). Post hoc -testien mukaan ei-tarkkailutilanteen keskiarvoamplitudit poikkesivat tilastollisesti merkitsevästi kirjaintarkkailutilanteen ($p < .01$) ja merkityksentarkkailutilanteen ($p < .02$) keskiarvoamplitudeista, mutta kirjaintarkkailutilanteen ja merkityksentarkkailutilanteen välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa ($p < .85$).

N400-vaikutuksen keskiarvoamplitudien jakauma pään pinnalla näkyy kuvassa 6. Etutakajakauman ($F(5,95)=13.30$, $p < .001$) sekä lateraalisuuden ($F(4,76)=11.62$, $p < .001$) päävaikutukset olivat tilastollisesti merkitseviä. Koetilanteen ja etu-takajakauman välillä oli tilastollisesti merkitsevä yhdysvaikutus ($F(10,190)=4.67$, $p < .001$). Post hoc -testien mukaan keskiarvoamplitudi oli ei-tarkkailutilanteessa suurempi pään takaosissa kuin keski- ja etuosissa (kaikki p-arvot $< .04$). Kirjain- ja merkityksentarkkailutilanteessa amplitudi oli pään keskiosissa suurempi kuin etu- ja takaosissa (kaikki p-arvot $< .001$).

Myös koetilanteen ja lateraalisuuden välillä oli tilastollisesti merkitsevä yhdysvaikutus ($F(8,152)=5.40$, $p < .001$). Post hoc -testien mukaan keskiarvoamplitudi ei eronnut ei-

tarkkailutilanteessa pään keski- ja sivuosien välillä (kaikki p-arvot $>.13$). Kirjaintarkkailutilanteessa keskiarvoamplitudi oli pään vasemmanpuoleisissa ja keskiosissa suurempi kuin oikealla puolella (kaikki p-arvot $<.01$). Merkityksentarkkailutilanteessa keskiarvoamplitudi oli suurempi pään keski- kuin sivuosissa (kaikki p-arvot $<.01$), eivätkä oikean ja vasemman puolen keskiarvoamplitudit eronneet toisistaan ($p<.09$). Keskiarvoamplitudi oli vasemmalla puolella suurempi kirjain- kuin merkityksentarkkailutilanteessa (kaikki p-arvot $<.05$). Merkityksen- ja kirjaintarkkailutilanteessa N400-vaikutuksen voimakkuus näytti keskiarvoamplitudeista muodostetuissa potentiaalikärtöissä heikkenevän kartiolisäkkeiden läheisyydessä ja muuttuvan merkityksentarkkailutilanteessa vasemmalla puolella positiiviseksi (kuva 6).



Kuva 6. Analysijaksojen keskimääräisistä amplitudeista mikrovolteina (μV) muodostetut potentiaalikärtat, joista näkyy N400-vaikutuksen jakauma pään pinnalla eri koetilanteissa keskimmaisella viivejaksolla. N400-vaikutus oli kaikissa koetilanteissa tilastollisesti merkitsevä.

N400-vaikutuksen huippuviiveet eivät eronneet toisistaan koetilanteiden välillä ($F(2,38)=1.49$, $p<.24$), etu-takajakaumaltaan ($F(5,95)=0.63$, $p<.68$) eivätkä lateraalisuudeltaan ($F(4,76)=0.68$, $p<.61$). Yhdysvaikutukset koetilanteen, etu-takajakauman ja lateraalisuuden välillä eivät olleet tilastollisesti merkitseviä (kaikki p-arvot $>.38$).

4 POHDINTA

Tässä tutkimuksessa selvitettiin, miten tarkkaavaisuuden suuntaaminen vaikuttaa puheen merkityssisällön käsittelyyn aivoissa. Tutkimuksen ensimmäinen tavoite oli selvittää, edellyttääkö sanojen merkityssisällön käsittelyä heijastavan N400-vaikutuksen syntyminen puhutuille sanoille tahdonalaisen tarkkaavaisuuden suuntaamista kuuloinformaatioon. Toinen tavoite oli selvittää, minkälaisia eroja N400-vaikutuksen ilmentämässä semanttisessa virittämisessä on sen mukaan, onko tarkkaavaisuus suunnattu puhe-ärsykkeiden merkityssisältöön vai muihin ärsykepiirteisiin.

4.1 Merkityssisällön käsittely ei-tarkkailutilanteessa

Tutkimuksen tulokset osoittavat, että N400-vaikutus syntyy puhutuille sanoille myös silloin, kun kuuloinformaatiota ei tarkkailla. N400-vaikutus havaittiin ei-tarkkailutilanteessa, jossa tarkkaavaisuus oli suunnattu puheärsykkeiden sijaan luonto-ohjelmaan. Hyvä tehtäväsuoriutuminen luonto-ohjelman sisältöä koskevassa monivalintatehtävässä viittaa siihen, että koehenkilöt katsoivat keskittyneesti luonto-ohjelmaa puheärsykkeiden tarkkailemisen sijaan. Tutkimus on oletettavasti ensimmäinen puheärsykeille perustuva tutkimus, jossa osoitetaan N400-vaikutus ei-tarkkailluille sanoille.

Ei-tarkkailluille sanoille syntynyt N400-vaikutus ei tue varhaisen valinnan tarkkaavaisuus-teorioita (esim. Broadbent, 1958), joiden mukaan ei-tarkkailutilanteen puheärsykkeet olisivat suodattuneet pois aistikanavan perusteella jo ennen merkityssisällön käsittelyä. Myöhäisen valinnan teorialat, joiden mukaan kaikkien ärsykkeiden merkityssisältö käsitellään riippumatta tarkkaavaisuudesta (esim. Deutch & Deutch, 1963), eivät myöskään pysty selittämään tuloksia. Teorioiden vastaisesti tarkkaavaisuus vaikutti tässä tutkimuksessa N400-vaikutuksen voimakkuuseroihin siten, että N400-vaikutus oli ei-tarkkailutilanteessa heikompi kuin muissa koetilanteissa. Sen sijaan näyttää siltä, että tulokset heijastavat ei-tarkkailtujen ärsykkeiden vaimentunutta automaattista merkityssisällön käsittelyä heikentyneen suodatuksen teorian (Treisman, 1964) mukaisesti.

Kun tuloksia tarkastellaan semanttisen virittämisen ja sanan tunnistamisen teorioiden näkökulmasta, ei-tarkkailluille puheärsykkeille syntynyt N400-vaikutus saattaa heijastaa aktivaation automaattista leviämistä merkitysverkossa (Collins & Loftus, 1975) tai vastaavasti preleksikaalisia sanantunnistamisen vaiheita eli leksikaalista hakua tai valintaa (Marslen-Wilson, 1987). Jos N400-vaikutuksen taustalla kuitenkin olisi ainoastaan automaattisia mekanismeja, N400-vaikutuksen tulisi olla yhtä voimakas kaikissa koetilanteissa riippumatta tehtävyydestä. Voimakkaampi N400-vaikutus muissa koetilanteissa ei-tarkkailutilanteeseen verrattuna viittaa siihen, että kun tarkkaavaisuus on suunnattu puheeseen, myös tahdonalaiset semanttisen virittämisen mekanismit, kuten semanttinen yhdistäminen (Marslen-Wilson, 1987) tai semanttinen sovittaminen (Neely, 1977), ovat osallisina N400-vaikutuksessa.

Tahdonalaisten mekanismien suurempi vaikutus tarkkaillun kuin ei-tarkkaillun puheen merkitysisällön käsittelyyn saattaa olla syynä myös siihen, että N400-vaikutuksen jakauma pään pinnalla oli erilainen ei-tarkkailutilanteessa kuin muissa koetilanteissa. N400-vaikutus oli ei-tarkkailutilanteessa voimakkaimmillaan taaempana kuin muissa koetilanteissa, ja toisin kuin muissa koetilanteissa, N400-vaikutus oli ei-tarkkailutilanteessa sivusuunnassa tasaisesti jakautunut. Erilainen pään pinnan jakauma ei-tarkkailutilanteessa muihin koetilanteisiin verrattuna viittaa siihen, että tahdonalainen tarkkaavaisuus vaikuttaa aivojen eri osien rooliin merkitysisällön käsittelyssä ja N400-vaikutuksessa.

Koska ei-tarkkailutilanne poikkesi muista koetilanteista siten, ettei se edellyttänyt kohdesanaan ajallisesti lukittua päätöksentekoa ja motorista vastausta, voisi päätellä, että erilaiset tulokset ei-tarkkailutilanteessa ja muissa koetilanteissa johtuvat osittain tästä erosta. Erotuskäyrien muodostaminen, eli vahvan sanaparin aiheuttaman herätevasteen vähentäminen heikon sanaparin aiheuttamasta herätevasteesta, kuitenkin oletettavasti poistaa päätöksentekoon ja motoriseen vasteeseen liittyvät vaikutukset aivojen herätevasteissa. Ei myöskään ole syytä olettaa, että päätöksentekoon liittyvä aivojen toiminta olisi erilaista käsiteltäessä heikon ja vahvan merkitysyhteyden sanapareja.

Toisin kuin tässä tutkimuksessa, N400-vaikutusta ei syntynyt ei-tarkkailluille sanoille

Bentinin ym. (1995) dikoottisen kuuntelun kokeessa. Tämä osoittaa, ettei N400-vaikutus ole yhtä automaattinen herätevastemuutos kuin esimerkiksi poikkeavuusnegatiivisuus, jonka on osoitettu syntyvän ei-tarkkailtujen ärsykkeiden muutoksille myös dikoottisen kuuntelun kokeissa (esim. Giard, Perrin, Pernier & Bouchet, 1990; Sussman, Winkler & Wang, 2003). Erilaiset tulokset tässä tutkimuksessa ja Bentinin ym. (1995) dikoottisen kuuntelun kokeessa saattavat johtua siitä, että tiedonkäsittelyn voimavarat vaikuttavat aivojen kykyyn käsitellä puheen merkityssisältöä. Kilpailevien puheärsykkeiden tarkkaileminen dikoottisen kuuntelun kokeessa saattaa rasittaa tiedonkäsittelyä niin paljon, ettei ei-tarkkaillun puheen merkityssisällön käsittely onnistu. Sen sijaan kun tarkkaavaisuus on suunnattu kokonaan toiseen aistikanavaan, kuten tässä tutkimuksessa, puheen merkityksen samanaikainen käsittely näyttää olevan mahdollista. N400-vaikutus on havaittu niin ikään unen aikana (Brualla ym., 1998; Perrin ym., 2002), jolloin kilpailevia ärsykeitä ei ole. Myös aiemmat tulokset poikkeavuusnegatiivisuustutkimuksista viittaavat siihen, että ei-tarkkailtujen ärsykkeiden käsittely on vaikeampaa dikoottisen kuuntelun kokeessa kuin suunnattaessa tarkkaavaisuus toiseen aistikanavaan (Näätänen, Paavilainen, Tiitinen, Jiang & Alho, 1993).

Tulokset tästä sekä Bentinin ym. (1995) dikoottisen kuuntelun tutkimuksesta herättävät mielenkiintoisen kysymyksen, kuinka automaattisesti tai tiedostamattomasti aivot pystyvät käsittelemään puheen merkitystä. Tässä tutkimuksessa ei voida sulkea pois mahdollisuutta, että koehenkilöiden tarkkaavaisuus olisi siirtynyt ajoittain tahattomasti puheärsykeisiin ei-tarkkailutilanteessa esimerkiksi sellaisina hetkinä, jolloin luonto-ohjelmassa ei esiintynyt merkittävää tietoa. Sen vuoksi aiheita olisi mielenkiintoista tutkia seuraavaksi koeasetelmalla, jossa ei-tarkkailutilanteen tehtävä edellyttäisi vaativaa ja keskeytymätöntä näköärsykkeiden tarkkailua.

4.2 Merkityssisällön käsittely kirjain- ja merkityksentarkkailutilanteissa

Jotta tarkkaavaisuuden vaikutuksista kielen merkityksen käsittelyyn aivoissa saataisiin aiempaa tarkempaa tietoa, tässä tutkimuksessa koeasetelma laadittiin siten, että oli

mahdollista vertailla N400-vaikutusta tarkkaavaisuuden ollessa suunnattuna sanojen merkitysisältöön tai merkitysisällön kannalta epäolennaisiin äännepiirteisiin. Lisäksi tämän tutkimuksen suuri elektrodimäärä mahdollisti N400-vaikutuksen pään pinnan jakauman tutkimisen aiempaa tarkemmin.

Semanttinen virittäminen tuli kirjain- ja merkityksentarkkailutilanteessa esiin sekä N400-vaikutuksessa että tehtäväsuoriutumisessa. On kiinnostavaa, että sekä tehtäväsuoriutumisessa että N400-vaikutuksessa nähtävän semanttisen virittämisen voimakkuus ei eronnut sen mukaan, oliko tarkkaavaisuus suunnattu sanojen merkitysisältöön vai äännepiirteisiin. Myöskään N400-vaikutuksen viiveessä ei ollut eroja eri koetilanteiden välillä. Tulokset osoittavat, ettei tarkkaavaisuuden kohdistaminen puheen merkitysisällön kannalta epäolennaisiin piirteisiin heikennä merkitysisällön käsittelyn voimakkuutta tai nopeutta aivoissa.

Tällaista tulosten tulkintaa tukee se, ettei koetilanteiden järjestys vaikuttanut merkitysisällön käsittelyn voimakkuuteen. Kirjaintarkkailutilanteen N400-vaikutus olisi voinut voimistua sillä koehenkilöryhmällä, joka teki merkityksentarkkailutilanteen ensin, jos merkityksentarkkailutehtävän tekeminen olisi saanut koehenkilöt kiinnittämään huomionsa puheen merkitysisältöön myös kirjaintarkkailutilanteessa. Vastaavasti N400-vaikutus olisi voinut merkityksentarkkailutilanteessa heikentyä väsymisen takia ryhmällä, joka teki merkityksentarkkailutilanteen viimeisenä. Yhtä voimakas N400-vaikutus kirjain- ja merkityksentarkkailutilanteissa ei kuitenkaan näytä johtuneen näistä seikoista, sillä N400-vaikutuksen voimakkuus ei eronnut koetilanteet eri järjestyksessä suorittaneiden koehenkilöryhmien välillä.

Kuuloärsykeitä käyttävissä tutkimuksissa N400-vaikutus on tavallisesti sivusuunnassa symmetrisesti jakautunut tai voimakkaampi pään pinnan vasemmalla kuin oikealla puolella (Hinojosa ym., 2001; Holcomb & Neville, 1990). Tässä tutkimuksessa N400-vaikutus oli painottunut pään pinnan vasemmalle puolelle vain kirjaintarkkailutilanteessa. Tällöin N400-vaikutus oli vasemmalla puolella suurempi sekä suhteessa oikeaan puoleen että merkityksentarkkailutilanteen vasempaan puoleen. N400-vaikutuksen painottuminen pään

pinnan vasemmalle puolelle ainoastaan kirjaintarkkailutilanteessa on yllättävää. On mahdollista, että voimakkaampi N400-vaikutus pään pinnan vasemmalla puolella kirjainkuin merkityksentarkkailutilanteessa heijastaa semanttisen virittämisen automaattisia osia, jotka eivät jää muun hermostollisen toiminnan peittoon, kun tehtävä ei edellytä tahdonalaista merkityssisällön käsittelyä. Vasemmalle puolelle painottuneen N400-vaikutuksen merkityksen varmempi selvittäminen edellyttää kuitenkin tarkempia paikannusmenetelmiä, kuten toiminnallista magneettikuvantamista, ja kysymys täytyy jättää vastattavaksi tulevaisuudessa.

Katsottaessa pään pinnan etu- ja takaosien välistä jakaumaa, N400-vaikutus oli kirjain- ja merkityksentarkkailutilanteissa voimakkain pään pinnan keski- ja takaosissa, mutta sen voimakkuus näytti heikkenevän kartiolisäkkeiden läheisyydessä ja jopa muuttuvan merkityksentarkkailutilanteessa vasemmalla puolella amplitudiltaan positiiviseksi. N400-vaikutuksen suunnan kääntyminen kartiolisäkkeillä on osoitettu aiemmassa herätevastetutkimuksessa, jossa on käytetty suurta elektrodimäärää (Johnson & Hamn, 2000). Se, että N400-vaikutus oli kirjain- ja merkityksentarkkailutilanteissa voimakkain ohimolohkojen yläpuolisissa osissa (pään pinnan keski- ja takaosissa) ja näytti heikkenevän ohimolohkojen alapuolella kartiolisäkkeiden läheisyydessä, antaa viitteitä siitä, että tarkkailluille sanoille syntyvän N400-vaikutuksen hermostollisia lähteitä sijaitisi ohimolohkoissa. Tulokset kallonsisäisistä herätevastetutkimuksista (McCarthy ym., 1995; Nombre & McCarthy, 1995) ja aivojen toiminnallisesta magneettikuvantamisesta (esim. Matsumoto ym., 2005) tukevat tätä tulkintaa. Aivojen herätevasteiden lähdepaikannus on kuitenkin epätarkkaa, ja koska tämän tutkimuksen tarkoituksena ei ollut N400-vaikutuksen lähteiden paikantaminen, tutkimuksessa ei käytetty erityisesti paikantamiseen tarkoitettuja menetelmiä. Jotta merkityssisällön käsittelyyn erilaisissa tarkkaavaisuustilanteissa osallistuvia aivojen alueita voitaisiin paikantaa varmemmin, olisi kiintoisaa käyttää tätä tutkimusasetelmaa myös aivojen toiminnallisen magneettikuvantamisen tutkimuksessa.

4.3 Johtopäätökset

Tämän tutkimuksen tulokset tuovat uutta tietoa tarkkaavaisuuden suuntaamisen vaikutuksista puheen merkitysisällön käsittelyyn aivoissa. Sanojen merkitysisällön käsittelyä heijastava N400-vaikutus havaittiin, kun tarkkaavaisuus oli suunnattu pois puheärsykkeistä. Tuloksen mukaan N400-vaikutuksen heijastamaa puheen merkityksen käsittelyä tapahtuu aivoissa myös silloin, kun kuuloinformaatiota ei tarkkailla. N400-vaikutus oli kuitenkin voimakkaampi sanoja tarkkailtaessa kuin silloin, kun tarkkaavaisuus oli suunnattu pois sanoista. Kun tarkkaavaisuus oli suunnattu puheärsykkeisiin, N400-vaikutuksen voimakkuuteen tai viiveeseen ei vaikuttanut se, onko tarkkaavaisuus suunnattu sanojen merkitysisältöön vai muihin ärsykepiirteisiin. Tuloksen mukaan tarkkaavaisuuden kohdistaminen puheen merkitysisällön kannalta epäoleennaisiin piirteisiin ei heikennä merkitysisällön käsittelyn voimakkuutta tai nopeutta aivoissa.

LÄHTEET

Astésano, C., Besson, M. & Alter, K. (2004). Brain potentials during semantic and prosodic processing in French. *Cognitive Brain Research*, 18, 172–184.

Becker C. A. (1976). Allocation of attention during visual word recognition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1976, 2, 556–566.

Bentin, S., Kutas, M. & Hillyard, S. A. (1993). Electrophysiological evidence for task effects on semantic priming in auditory word processing. *Psychophysiology*, 30, 161–169.

Bentin, S., Kutas, M. & Hillyard, S. A. (1995). Semantic processing and memory for attended and unattended words in dichotic listening: behavioral and electrophysiological evidence. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 54–67.

Bentin, S. & McCarthy, G. (1994). The effects of immediate stimulus repetition on reaction time and event-related potentials in tasks of different complexity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 20, 130–149.

Bentin, S., McCarthy, G. & Wood, C. C. (1985). Event-related potentials, lexical decision and semantic priming. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 60, 343–355.

Besson, M., Boaz, T., Fischler, I. & Raney, G. (1992). Effects of automatic associative activation on explicit and implicit memory tests. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 18, 89–105.

Broadbent, D. E. (1958). *Perception and communication*. London: Pergamon Press.

Brown, C. M., Hagoort, P. & Chwilla, D. J. (2000). An event-related brain potential

analysis of visual word priming effects. *Brain and Language*, 72, 158–190.

Brualla, J., Romero, M. F., Serrano, M. & Valdizán, J. R. (1998). Auditory event-related potentials to semantic priming during sleep. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 108, 283–290.

Chwilla, D. J., Brown, C. M. & Hagoort, P. (1995). The N400 as a function of the level of processing. *Psychophysiology*, 32, 274–285.

Coles, M. G. H. & Rugg, M. D. (1995). Event-related brain potentials: an introduction. Teoksessa M. D. Rugg, & M. G. H Coles (Toim.), *Electrophysiology of mind: event-related brain potentials and cognition* (s. 1–26). Oxford: Oxford University Press.

Collins, A. M. & Loftus, E. F. (1975). A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, 82, 407–428.

Connolly, J. F., Stewart, S. H. & Phillips, N. A. (1990). The effects of processing requirements on neurophysiological responses to spoken sentences. *Brain and Language*, 39, 302–318.

Deacon, D., Breton, F., Ritter, W. & Vaughan, H. G. Jr. (1991). The relationship between N2 and N400: scalp distribution, stimulus probability, and task relevance. *Psychophysiology*, 28, 185–200.

Deutch, J. A. & Deutch, D. (1963). Attention: some theoretical considerations. *Psychological Review*, 70, 80–90.

Dombrowski, J.-H. & Heil, M. (painossa). Semantic activation, letter search and N400: A reply to Mari-Beffa, Valdes, Cullen, Catena and Houghton (2005). *Brain Research*, saatavilla [www-muodossa: <URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.brainres.2005.12.082>](http://dx.doi.org/10.1016/j.brainres.2005.12.082)

Donchin, E. (1981). Surprise! . . . Surprise? *Psychophysiology*, 18, 493–513.

Duncan, J. (1980). The locus of interference in the perception of simultaneous stimuli. *Psychological Review*, 87, 272–300.

Federmeier, K. D. & Kutas, M. (2001). Meaning and modality: influences of context, semantic memory organization, and perceptual predictability on picture processing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 27, 202–224.

Giard, M.-H., Perrin, F., Pernier, J. & Bouchet, P. (1990). Brain generators implicated in the processing of auditory stimulus deviance: a topographic event-related potential study. *Psychophysiology*, 27, 627–640.

Heil, M., Rolke, B. & Pecchinenda, A. (2004). Automatic semantic activation is no myth. Semantic context effects on the N400 in the letter-search task in the absence of response time effects. *Psychological Science*, 15, 852–857.

Hillyard, S. A. & Kutas, M. (1983). Electrophysiology of cognitive processing. *Annual Review of Psychology*, 34, 33–61.

Hinojosa, J. A., Martín-Loeches, M. & Rubia, F. J. (2001). Event-related potentials and semantics: an overview and an integrative proposal. *Brain and Language*, 78, 128–139.

Hohlfeld, A. & Sommer, W. (2005). Semantic processing of unattended meaning is modulated by additional task load: evidence from electrophysiology. *Cognitive Brain Research*, 24, 500–512.

Holcomb, P. J., Anderson, J. & Grainger, J. (2005). An electrophysiological study of cross-modal repetition priming. *Psychophysiology*, 42, 493–507.

Holcomb, P. J. & McPherson, W. B. (1994). Event-related potentials reflect semantic

priming in an object decision task. *Brain and Cognition*, 24, 259–276.

Holcomb, P. J. & Neville, H. J. (1990). Auditory and visual semantic priming in lexical decision: a comparison using event-related brain potentials. *Language and Cognitive Processes*, 5, 281–312.

Jasper, H. H. (1958). The ten-twenty electrode system of the international federation. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 10, 371–375.

Johnson, B. W. & Hamn, J. P. (2000). High-density mapping in an N400 paradigm: evidence for bilateral temporal lobe generators. *Clinical Neurophysiology*, 111, 532–545.

Kellenbach, M. L. & Michie, P. T. (1996). Modulation of event-related potentials by semantic priming: effects of color-cued selective attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8, 155–173.

Koelsch, S., Kasper, E., Sammler, D., Schulze, K., Gunter, T. & Friederici, A. D. (2004). Music, language and meaning: brain signatures of semantic processing. *Nature Neuroscience*, 7, 302–307.

Kutas, M. & Hillyard, S. A. (1980). Reading senseless sentences: brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 207, 203–205.

Kutas, M. & Hillyard, S. A. (1989). An electrophysiological probe of incidental semantic association. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1, 38–49.

Lang, H. & Krause, C. (1999). Aivojen psykofyysiset menetelmät. Teoksessa A. Revonsuo, H. Lang & O. Aaltonen (Toim.), *Mieli ja aivot, kognitiivinen neurotiede* (s. 47–60). Turku: Painosatama.

Mari-Beffa, P., Valdés, B., Cullen, D. J. D., Catena, A. & Houghton, G. (2005). ERP

analyses of task effects on semantic processing from words. *Cognitive Brain Research*, 23, 293–305.

Marslen-Wilson, W. D. (1987). Functional parallelism in spoken word-recognition. *Cognition*, 25, 71–102.

Martin, J. H. (1991). The collective electrical behavior of cortical neurons: the electroencephalogram and the mechanisms of epilepsy. Teoksessa E. R. Kandel, J. H. Schwartz & T. M. Jessel (Toim.), *Principles of neural science* (s.777–791). 3. painos. New York: Elsevier.

Matsumoto, A., Iikada, T., Haneda, K., Okada, T. & Sadato, N. (2005). Linking semantic priming effect in functional MRI and event-related potentials. *NeuroImage*, 24, 624–634.

McCarthy, G. & Nombres, A. C. (1993). Modulation of semantic processing by spatial selective attention. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 88, 210–219.

McCarthy, G., Nombres, A. C., Bentin, S. & Spencer, D. D. (1995). Language-related field potentials in the anterior-medial temporal lobe: I. Intracranial distribution and neural generators. *The Journal of Neuroscience*, 15, 1080–1089.

McPherson, W. B. & Holcomb, P. J. (1999). An electrophysiological investigation of semantic priming with pictures of real objects. *Psychophysiology*, 36, 53–65.

Meyer, D. E. & Schvaneveldt, R. W. (1971). Facilitation in recognizing pairs of words: evidence of a dependence between retrieval operations. *Journal of Experimental Psychology*, 90, 227–234.

Misra, M. & Holcomb, P. J. (2003). Event-related potential indices of masked repetition priming. *Psychophysiology*, 40, 115–130.

Neely, J. H. (1977). Semantic priming and retrieval from lexical memory: Roles of inhibitionless spreading activation and limited-capacity attention. *Journal of Experimental Psychology: General*, 106, 226–254.

Neely, J. H. & Keefe, D. E. (1989). Semantic context effects on visual word processing: A hybrid prospective-retrospective processing theory. Teoksessa G.H. Bower (Toim.), *The psychology of learning and motivation: advances in research and theory* (s. 207–248). New York: Academic.

Neely, J. H., Keefe, D. E. & Ross, K. L. (1989). Semantic priming in the lexical decision task: roles of prospective prime-generated expectancies and retrospective semantic matching. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 15, 1003–1019.

Nombre, A. C. & McCarthy, G. (1995). Language-related field potentials in the anterior-medial temporal lobe: II. Effects of word type and semantic priming. *The Journal of Neuroscience*, 15, 1090–1098.

Norman, D. A. (1968). Toward a theory of memory and attention. *Psychological Review*, 75, 522–536.

Näätänen, R. (1992). *Attention and brain function*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Näätänen, R., Paavilainen, P., Tiitinen, H., Jiang, D. & Alho, K. (1993). Attention and mismatch negativity. *Psychophysiology*, 30, 436–450.

Näätänen, R. & Picton, T. (1987). The N1 wave of the human electric and magnetic response to sound: a review and an analysis of the component structure. *Psychophysiology*, 24, 375–425.

Partanen, J. (1994). Aivosähkötoiminnan fysiologiaa. Teoksessa H. Lang, V. Häkkinen, T.

- A. Larsen, J. Partanen & U. Tolonen (Toim.), *Sähköiset aivomme: keskushermoston neurofysiologiset tutkimukset* (s. 23–34). Turku: Painokiila.
- Perrin, F., Bastuji, H. & García-Larrea, L. (2002). Detection of verbal discordances during sleep. *NeuroReport*, 13, 1345–1349.
- Perrin, F. & García-Larrea, L. (2003). Modulation of the N400 potential during auditory phonological/semantic interaction. *Cognitive Brain Research*, 17, 36–47.
- Rissman, J., Eliassen, J. C. & Blumstein, S. E. (2003). An event-related fMRI investigation of implicit semantic priming. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15, 1160–1175.
- Schneider, W. & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention. *Psychological Review*, 84, 1–66.
- Shiffrin, R. M. & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending, and a general theory. *Psychological Review*, 84, 127–199.
- Sussman, E., Winkler, I. & Wang, W. (2003). MMN and attention: Competition for deviance detection. *Psychophysiology*, 40, 430–435.
- Treisman, A. M. (1964). Selective attention in man. *British Medical Bulletin*, 20, 12–16.
- Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. Teoksessa E. Tulving & W. Donaldson (Toim.), *Organization of memory* (s. 381–403). New York: Academic Press.
- West, W. C. & Holcomb, P. J. (2002). Event-related potentials during discourse-level semantic integration of complex pictures. *Cognitive Brain Research*, 13, 363–375.
- Virtanen, J., Rinne T., Ilmoniemi, R. J. & Näätänen, R. (1996). MEG-compatible

multichannel EEG electrode array. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 99, 568–570.

LIITTEET

Liite 1. Sanaärsykkeet

VIRITESANA (VAHVA)	VIRITESANA (HEIKKO)	KOHDESANA
REIKÄ	LANKA	AUKKO
VANTAA	TUPA	ESPOO
KUUSI	SILKKI	HAAPA
MAKSA	POUTA	HAIMA
KAMPA	KÄÄRME	HARJA
LOHI	JUNA	HAUKI
UUNI	TANSKA	HELLA
POUTA	MÄNTY	HELLE
PORO	VENE	HIRVI
PIANO	RUOTSI	HUILU
KÄSI	VIIHI	JALKA
KANI	SADE	JÄNIS
MERI	REIKÄ	JÄRVI
SEINÄ	PAITA	KATTO
SAAPAS	PITSA	KENKÄ
MAITO	PEITTO	KERMA
SUSI	NAULA	KETTU
SYKSY	SUIHKU	KEVÄT
RUUSU	KÄLY	KIELO
KOIRA	VISKI	KISSA
HAUKKA	PORRAS	KOTKA
KANA	VANTAA	KUKKO
MALJA	LAMMAS	KULHO
PRONSSI	VATSA	KULTA
MUKI	VALSSI	KUPPI
MUTKA	KOIVU	KURVI
SUIHKU	KANI	KYLPY
NIEMI	OLUT	LAHTI
VENE	HAME	LAIVA
KÄLY	MAKSA	LANKO
ITÄ	KOIRA	LÄNSI
VAUVA	LUMI	LAPSI
KOIVU	KORVA	LEPPÄ
KÄÄRME	RAUTA	LISKO
HAME	MUIKKU	MEKKO
JUNA	PORO	METRO
TUPA	JANO	MÖKKI
VAARI	PÖYTÄ	MUMMO
HATTU	LOHI	MYSSY
JANO	PRONSSI	NÄLKÄ
KAULA	PIANO	NISKA
TANSKA	ANKKA	NORJA
MUNKKI	NIEMI	NUNNA
PIISPA	SEINÄ	PAAVI
TUNTI	VIULU	PÄIVÄ

Liite 1 (jatkuu)

VIRITESANA (VAHVA)	VIRITESANA (HEIKKO)	KOHDESANA
MAILA	MERSU	PALLO
PITSA	ITÄ	PASTA
NIITTY	VELI	PELTO
MARKKA	LUKKO	PENNI
VIIILI	HIIRI	PIIMÄ
SÄÄRI	TUNTI	POHJE
KEITTO	SUSI	PUURO
LUMI	VAARI	RÄNTÄ
PORRAS	SOTA	RAPPU
SOTA	HATTU	RAUHA
AUTO	KAURA	REKKA
LAUKKU	HAUKKA	REPPU
HIIRI	SYKSY	ROTTA
NAULA	MAITO	RUUVI
RANSKA	KÄSI	SAKSA
LUKKO	RANSKA	SALPA
VATSA	KEITTO	SELKÄ
VIULU	VARVAS	SELLO
AHVEN	VAUVA	SIIKA
LANKA	SAAPAS	SIIMA
MUIKKU	KAULA	SILLI
KORVA	KESÄ	SILMÄ
VELI	MARKKA	SISKO
LEHMÄ	KUUSI	SONNI
VARVAS	MERI	SORMI
ANKKA	MUTKA	SORSA
SAUVA	UUNI	SUKSI
RUOTSI	LAUKKU	SUOMI
PAITA	KAMPA	TAKKI
KESÄ	POIKA	TALVI
MÄNTY	MUKI	TAMMI
VALSSI	AHVEN	TANGO
RAUTA	RUUSU	TERÄS
PÖYTÄ	MUNKKI	TUOLI
SADE	MALJA	TUULI
POIKA	VIKKO	TYTTÖ
PEITTO	KANA	TYYNY
KAURA	SAUVA	VEHNÄ
OLUT	LEHMÄ	VIINI
SILKKI	AUTO	VILLA
VISKI	NIITTY	VODKA
MERSU	MAILA	VOLVO
LAMMAS	PIISPA	VUOHI
VIKKO	SÄÄRI	VUOSI

Liite 2. Monivalintatehtävä

1. Merileguaanit
 - a. parittelevat helmikuussa ja munivat kesäkuussa
 - b. parittelevat kesäkuussa ja munivat elokuussa
 - c. parittelevat tammikuussa ja munivat helmikuussa
2. Merileguaanin päänravistus on
 - a. kieltäytymisen merkki
 - b. myöntymisen merkki
 - c. haaste kamppailuun
3. Isompia Galapagossaaria on
 - a. 3
 - b. 15
 - c. 50
4. Haukka joutuu luopuman saaliistaan merileguaanista, koska
 - a. merileguaani on liian painava
 - b. merileguaani ehtii sukeltaa mereen
 - c. haukka ei pärjää taistelussa merileguaanille
5. Pitkistä kynsistä on merileguaaneille filmin mukaan apua
 - a. puolustautumisessa
 - b. parittelussa
 - c. ruoan hankinnassa
6. Merileguaanit syövät
 - a. planktonia
 - b. levää
 - c. pieniä kaloja
7. Merileguaanit voivat olla vedessä kerrallaan vain tunnin, koska
 - a. niiltä loppuu happi
 - b. niiltä loppuu ruoka
 - c. ne jäähtyvät liikaa
8.
 - a. Merileijonat vaeltavat vuosittain Galapagossaarille Arizonasta
 - a. Merileijonien esi-isät ovat tulleet kauan sitten Kaliforniasta
 - b. Merileijonien esi-isät ovat tulleet kauan sitten Meksikosta
9. Maaliskuussa
 - a. pohjoisesta tulee pilviä
 - b. pohjoisesta tulee lämmintä vettä
 - c. etelästä tulee kalaparvia