

MORFOLOGINEN PROSESSOINTI YKSI- JA KAKSIKIELISILLÄ: NEUROKOGNITIIVISIA TUTKIMUKSIA SUOMEN JA RUOTSIN KIELESSÄ

Minna Lehtonen, Psykologian laitos, Åbo Akademi
Kognitiivisen neurotieteen tutkimuskeskus, Turun Yliopisto

Tämä katsaus esittelee tutkimuksia morfologisesta prosessoinnista suomen ja ruotsin kielissä yksi- ja kaksikielisillä. Käsitellyt tutkimukset ovat behavioraalisia visuaalisen leksikaalisen päätöksenteon kokeita, joista kahdessa käytettiin menetelmänä myös toiminnallista magneettikuvantamista (fMRI) tai tapahtumasidonnaisia herätevasteita (ERP). Suomen kielen taivutetut substantiivit on aiemmissa tutkimuksissa todettu tunnistettavan pääasiassa pilkkomalla sanavartaloon ja päätteeseen (dekompositioreitti), mutta ruotsin kielessä kokosanaahmoina. Sanan yleisyyden eli frekvenssin todettiin kuitenkin vaikuttavan käytettyyn tunnistusreittiin molemmissa kielissä: korkeafrekventtisille sanamuodoille oli muodostunut kokosanaedustumat, mutta matalafrekventtiset tunnistettiin dekompositioreitin kautta. Taivutusmorfologiaaltaan rikkaassa suomen kielessä kokosanaedustumien muodostuminen tosin näyttää vaativan korkeamman frekvenssin kuin ruotsin kielessä. Kaksikieliset käyttivät muuten vastaavaa prosessointitapaa eri kielillään kuin yksikielisetkin, mutta vähempi kokemus sanamuodoista aiheutti sen, että dekompositiota tapahtui korkeammilla frekvensseillä kuin yksikielisillä. Aivokuvantamistutkimukset selvittivät, kumpi suomen kielen dekomposition vaiheista, visuaalisen sanamuodon analyysi vai osien merkityksen integrointi, on kuormittavampi. Sekä fMRI- että ERP-kokeen tulokset viittaavat siihen, että molemmat tasot osallistuvat prosessiin, mutta näyttö on selvempää jälkimmäisen tason puolesta.

Avainsanat: Morfologinen prosessointi, pilkkominen, sanayleisyys, kaksikielisyys, aivokuvantaminen, suomi, ruotsi.

JOHDANTO

Kaksikielisyyteen liittyvien kognitiivisten ja hermostollisten prosessien tunteminen on tärkeää maailmassa, jossa jonkinasteinen kaksikielisyys on pikemminkin sääntö kuin poikkeus. Jotta tulevaisuudessa voitaisiin ymmärtää, mitä etuja ja toisaalta haasteita

kaksikielisyyteen liittyy, miten kieliä opitaan ja toisaalta miten kaksikielisten aivovaurio-peräisiä kielihäiriöitä (afasiaa) parhaiten kannattaisi kuntouttaa, on tiedettävä, miten kaksikieliset prosessoivat kieliään ja mitkä aivomekanismit näihin prosesseihin liittyvät. Yleisesti kaksikielisyyden psykologisessa tutkimuksessa on viime vuosina tehty jako representaatioon ja kontrolliin (Green, 2005). Toisaalta siis tutkitaan sitä, miten kaksi kieltä on *edustettuna* samassa mielessä, ja toisaalta sitä, miten kahden kielen käyttäjät pystyvät pitämään molemmat kielet erillään ja *kontrolloimaan* kunkin kielen aktivoitumista. Molemmat em. osa-alueista voivat myös

Kirjoittajan yhteystiedot:
Minna Lehtonen
Psykologian laitos, Åbo Akademi
Tehtaankatu 2
20500 Turku
Sähköposti: minlehto@abo.fi
Puh: 02-215 3436
Fax: 02-215 4833

vahingoittua aivovaurion seurauksena ja aiheuttaa erityyppisiä oirekuvia.

Representaatioon liittyvä tutkimus on tähän asti keskittynyt lähinnä selvittämään, ovatko kaksikielisen hallitsemien kielten sanavarastot erillisiä vai kuuluvatko ne yhteen ja samaan systeemiin (esim. Brysbaert, van Dyck, & van de Poel, 1999; French & Jacquet, 2004). Sen sijaan sanojen morfologisen¹ rakenteen vaikutusta sanavarastojen järjestykseen ei kaksikielisillä ole juurikaan tutkittu, vaikka aikaisemmat yksikielisillä tehdyt tutkimukset ovat osoittaneet, että sanojen morfologinen rakenne ja todennäköisesti myös käytössä olevan kielen rakenne vaikuttavat tapaan, jolla sanoja prosessoidaan ja varastoidaan mieleen (esim. Frauenfelder & Schreuder, 1992). Morfologisesti monimutkaisten sanojen (esim. *opetta+ja+lla+kin*) tunnistuksessa perushypoteeseina on, että sanojen tunnistus etenee joko pilkkomalla sanat osiin morfeemien perusteella (dekompositio) tai vaihtoehtoisesti tunnistamalla sanat kokosanaahamoina, jolloin joka sanamuodolle on ”mentaalisisä leksikossa” eli mielensisäisessä sanakirjassamme edustumat riippumatta sanamuodon morfologisesta rakenteesta. Molemmille em. näkemyksille on löytenyt kannattajia. Esim. Taft ja Forster (1975) esittivät, että kaikki morfologisesti monimutkaiset sanat tunnistetaan riisumalla affiksi(t) muusta sanasta, kun taas Butterworth (1983) esitti, että kaikki morfologisesti monimutkaisetkin sanamuodot tunnistetaan kokosanaahamoina. Monet viimeaikaisemmat mallit (esim. Niemi, Laine, & Tuominen, 1994; Chialant & Caramazza, 1995; Schreuder & Baayen, 1995) suosivat kuitenkin näkemystä, jossa molemmat tunnistustavat ovat mahdollisia ja tietyt tekijät (esim. sanan yleisyys eli frekvenssi tai fonologinen ja semanttinen läpinäkyvyys²) vaikuttavat siihen, tapahtuuko tunnistus kokosana- vai dekompositioreittiä pitkin. On

esimerkiksi havaittu, että mitä useammin morfologisesti monimutkainen sanamuoto kohdataan sitä todennäköisemmin sille muodostuu kokosanaedustuma muistiimme (esim. Alegre & Gordon, 1999). Sanan tunnistaminen kokosanareittiä pitkin on nopeampaa kuin dekomposition avulla, ja siksi on prosessoinnin tehokkuuden kannalta ”taloudellista” muodostaa usein tarvittaville sanamuodoille kokosanaedustumat.

Kielten rakenteellisten erojen on kuitenkin havaittu vaikuttavan siihen, millainen prosessointitapa on kielenkäyttäjälle optimaalisin. Esimerkiksi taivutusmorfologialtaan rikkaassa suomen kielessä yhdellä substantiivilla voi periaatteessa olla jopa 2000 mahdollista taivutusmuotoa (Karlsson, 1983), joista n. 150 muotoa on paradigmaattisia ”ydinmuotoja” (Karlsson & Koskeniemi, 1985). Siksi on hyvin todennäköistä, että kaikille mahdollisille taivutetuille sanamuodoille ei ole erillisiä kokosanaedustumia mentaalisisä leksikossamme, koska tämä kuormittaisi muistivarastoamme kohtuuttomasti. Sanan tunnistuskokeilla saadut tutkimustulokset näyttävätkin tukevan tätä oletusta: taivutetut substantiivit tunnistetaan säännönmukaisesti hitaammin ja enemmän virheitä tuottaen kuin vastaavat taivuttamattomat substantiivit (esim. Laine & Koivisto, 1998; Laine, Vainio, & Hyönä, 1999a; Niemi ym., 1994). Tämän taivutettuja sanoja koskevan tiedonkäsittelykuormituksen oletetaan johtuvan juuri siitä, että sanan vartalo ja päätte on ensin erotettava toisistaan ja osien merkitys lopulta integroitava. Lisäksi suomenkielisellä syvädysleksiasta kärsivällä afasiapotilaalla oli huomattavasti enemmän vaikeuksia taivutettujen kuin taivuttamattomien substantiivien tai johdosten lukemisessa, mikä myös viittaa siihen, että dekompositio on vallitseva prosessointitapa suomen kielen taivutetuille sanoille (Laine ym., 1995). Suomen kielen tutkimustulosten perusteella muodostettu

SAID-malli (Stem Allomorph/Inflectional Decomposition; Niemi ym., 1994) olettaa-kin sanantunnistamisen osalta, että suomen kielessä sekä taivutusvartalolla että -päätteellä on oma, erillinen edustumansa mentaalisisessa leksikossa sekä syöteleksikon tasolla että semanttis-syntaktisessa järjestelmässä. Kuitenkin morfologiselta rikkaudeltaan rajallisemmassa ruotsin kielessä (korkeintaan 8 taivutusmuotoa substantiivina kohti) tilanne näyttää olevan toisenlainen. Ahlsénin (1994) sanantunnistuskokeet terveillä koehenkilöillä viittaavat siihen, että ruotsin kielessä taivutetut sanat tunnustetaan pääasiassa samalla tavoin kuin taivuttamattomatkin, kokosanaedustumien kautta. Tämänkin voi olettaa olevan taloudellista: kokosanaeitin käyttö takaa dekompositioreittä nopeamman tunnistustavan, eikä muistivarastokaan kuormitu liikaa, koska mahdollisia taivutusmuotoja on ruotsin kielessä vähän. Esim. taivutusmorfologialtaan hyvin rajallisessa englannin kielessä (korkeintaan 4 taivutusmuotoa substantiivina kohti, kun genetiivi otetaan huomioon) on havaittu kokosanaedustumien alkavan muodostua morfologisesti monimutkaisille sanamuodoille, kun näiden frekvenssi nousee yli kuuden per miljoona (Alegre & Gordon, 1999), eli jo melko harvinaisille sanoille.

Suomen ja ruotsin kielten välinen prosessointiero saa pohtimaan, miten taivutettujen sanojen tunnistus tapahtuu kaksikielisillä³ kielenkäyttäjillä, jotka ovat oppineet sekä suomen että ruotsin jo lapsuudessa. Käyttävätkö kaksikieliset erilaista prosessointitapaa eri kielissään, vai siirtävätkö he mahdollisesti yhdelle kielelle tyypillisen tavan myös toiseen kieleensä? Portin ja Laine (2001) olivat ensimmäisiä, jotka tutkivat asiaa aikuisilla. Tulosten mukaan ruotsinkieliset yksikieliset tunnustivat jopa kolmimorfeemiset taivutetut ruotsin kielen substantiivit (esim. *bank+en+s*: 'pankki' + määräinen muoto + genetiivin

päätte = 'pankin') yhtä nopeasti kuin taivuttamattomat, mutta sekä suomea että ruotsia varhain oppineet kaksikieliset tunnustivat taivutetut sanat tilastollisesti merkitsevästi hitaammin kuin taivuttamattomat. Yksikielisillä näytti siis olevan kokosanaedustumat kolmimorfeemisillekin taivutetuille sanoille, mutta kaksikieliset käyttivät morfeemipohjaista prosessointitapaa, joka on tyypillinen suomen kielessä. Portin ja Laine esittivätkin, että kaksikielisillä saattaa olla taipumus käyttää samaa prosessointimekanismia molempien kielten morfologian suhteen, vaikka kielet olisivatkin rakenteellisesti hyvin erilaisia. Tätä kysymystä selvitimme tarkemmin tutkimalla suomenruotsalaisia kaksikielisiä heidän molemmilla äidinkiellillään ja vertaamalla tuloksia yksikielisten tuloksiin.

Koska sanojen esiintymistiheyden (frekvenssin) on havaittu olevan tärkeä tekijä dekompositio- kontra kokosanaedustumien kehittymiselle, on kiinnostavaa tutkia, miten sanamuodon frekvenssi (nk. pintafrekvenssi) vaikuttaa taivutettujen sanojen tunnistukseen yksikielisillä suomenkielisillä ja ruotsinkielisillä: muodostuuko suomen kielessä kokosanaedustumia hyvin yleisillekään sanoille tai joudutaanko edes harvinaiset sanat pilkkomaan osiinsa ruotsin kielessä? On myös kiinnostavaa selvittää, millaiset sanaedustumat on kaksikielisillä aikuisilla, jotka oletettavasti ovat "altistuneet" keskimäärin vähemmän yhden kielen sanamuodoille, koska ovat kaksikielisyytensä takia jakaneet aikansa kahden kielen välille. Näkyvätkö siis sanamuotojen matalammat "subjektiiviset frekvenssit" (ihmisten yksilölliset sanojen kohtaamistiheydet, joiden siis tässä oletetaan olevan keskimäärin matalammat kaksikielille) kaksikielisten morfologisessa prosessoinnissa? Olemme lähestyneet em. kysymyksiä behavioraalisilla sanantunnistuskokeilla, joissa manipuloimme sanamuotojen morfologista rakennetta sekä frekvenssiä ja

joissa koehenkilöiden eri sanaryhmille saamista reaktioajoista ja virhemääristä voimme tehdä epäsuorasti päätelmiä käytetystä prosessointitavasta. Olemme myös olleet kiinnostuneita siitä, miten suomen kielessä tyypillinen dekompositioefekti näkyy aivojen tasolla⁴. Tätä olemme tutkineet mittaamalla koehenkilöiden aivotoimintaa sanantunnistuksen aikana toiminnallisella magneettikuvantamisella (functional magnetic resonance imaging, fMRI) ja elektroenkefalografialla (EEG).

MENETELMISTÄ

Behavioraalisissa sanantunnistuskokeissa yksi yleisimmin käytetty menetelmä on ns. visuaalinen leksikaalinen päätöksenteko. Siinä tietokoneruudulle ilmestyvän kirjainjonon oikeellisuudesta on tehtävä päätös mahdollisimman nopeasti ja oikein ja painettava vastaavaa nappia (on oikea sana / ei ole oikea sana kohdekielessä). Puolet sanoista on yleensä oikeita (esim. *aurinko*) ja puolet kohdekielen fonotaksin mukaisia epäsanoina (esim. *rolkka*), ja sanat esitetään satunnaisessa järjestyksessä. Monimorfemisten sanojen saamista reaktioajoista ja virheiden määrästä suhteessa vertailukelpoihin yksimorfemisiin sanoihin voidaan epäsuorasti päätellä, miten tunnistus on tapahtunut. Dekompositioreitin oletetaan olevan hitaampi ja virheherkempi kuin kokosanareitin. Siksi merkitsevästi pitemmät reaktioajat ja suuremmat virhemäärät taivutetuille kuin taivuttamattomille sanoille viittaavat dekompositioreitin käyttöön, kun taas yhtä pitkät reaktioajat ja samanlaiset virhemäärät näillä sanaryhmillä tulkitaan kokosanareitin käytöksi. Asetelmaan sisältyy siis perusoletus, että dekompositio on aina selvästi vaativampaa kuin kokosanaprosessointi. Koska riippuvana muuttujana ovat sekä reaktioajat että virhemäärät, voidaan

tietää, etteivät nopeammat reaktioajat tiettyille sanoille johdu vain mahdollisista erilaisista strategioista vastata eri sanatyyppien sanoihin. (Jotkut koehenkilöt saattaisivat esim. panostaa enemmän reaktioaikaan kuin oikeellisuuteen taivuttamattomien sanojen kohdalla, tai toisaalta olla hyvin tarkkoja vastaamaan oikein, mutta samalla hitaita erityisesti taivutettujen sanojen kanssa.) Kun sekä reaktioajat että virhemäärät ovat suurempia taivutetuille sanoille, voidaan siis päätellä, että kognitiivinen kuormitusvaikutus on todellinen. Käytimme tämäntyyppistä asetelmaa behavioraalisissa kokeissamme (Lehtonen & Laine, 2003; Lehtonen, Wande, Niska, Niemi, & Laine, 2006).

Aivokuvantamistutkimukset ovat lisääntyneet viimeisen vuosikymmenen aikana suuresti myös kielen tutkimuksessa. fMRI on hyvä menetelmä erilaisten kognitiivisten prosessien aivokorrelaattien paikantamiseen aivoissa, koska sen avaruudellinen tarkkuus on millimetrien luokkaa. Menetelmällä pystytään saamaan rakenteellisten aivokuvien (kuvat kunkin koehenkilön aivojen rakenteesta) lisäksi toiminnalliset kuvat, jotka paljastavat esim. kielellisen tehtäväsuorituksen aikana aktiiviset aivoalueet. Tehtävän aikana aktiiviset aivoalueet kuluttavat enemmän happea ja glukoosia, ja verenvirtaus näille alueille lisääntyy. Hemoglobiinipitoisuuden muutokset aiheuttavat pienen, mutta mittavissa olevan muutoksen aktivoituneen alueen magneettisissa ominaisuuksissa, ja tätä kautta saadaan kuva siitä, minkä aivoalueiden aktivaatiovaihtelu liittyyvät kyseisen tehtävän suorittamiseen. fMRI-koesasetelmissa käytetään vähintään kahta tehtävää, koetehtävää ja kontrollitehtävää, joiden välistä aktivaatioeroa verrataan. Tyypillisesti kontrollilanteena käytetään tehtävää, jonka oletetaan sisältävän kaikki samat prosessoinnin piirteet kuin koetehtäväkin paitsi sen, josta koetehtävässä ollaan erityisesti kiinnostuneita. Tällöin

tilanteita vertaamalla pystytään oletettavasti eristämään johonkin tiettyyn prosessoinnin piirteeseen liittyvä aktivaatio. Esimerkiksi lukemiseen liittyviä aivoalueita voidaan tutkia käyttämällä sananlukemistehtävän lisäksi kontrollitehtävää, jossa koehenkilön tulee katsoa kirjainten kaltaisia mutta merkityksettömiä kuviojonoja. Vähentämällä kontrollitehtävän aikaansaama aktivaatio lukemistehtävästä saadaan pelkkä perustavanlaatuisen visuaaliseen prosessointiin liittyvä aktivaatio (joka on läsnä molemmissa tehtävissä) vähennettyä pois, ja jäljelle jäävät vain lukemiseen liittyvät aktivaatiomuutokset. Samoin voidaan verrata esim. puhutun ja kirjoitetun kielen aivokorrelaatteja tai syntaktisesti erityyppisten lauseiden aiheuttamia aktivaatiomuutoksia. Vaikka menetelmä onkin epäsuora siinä mielessä, että se ei mittaa suoraan hermosolujen toimintaa, paikallisen verenvirtauksen ja hapenkulutuksen muutosten on todettu kuvastavan hermosolujen synaptista aktiivisuutta (Duncan, Stumpf, & Pilgrim, 1987). fMRI:n ajallinen tarkkuus on useiden sekuntien luokkaa, mikä ei riitä kognitiivisten prosessien komponenttien ajalliseen erotteluun. Lisäksi paikannustarkkuutta vähentää se, että useimmiten eri koehenkilöiden jonkin verran erilaiset aivot muunnetaan matemaattisesti sopimaan tiettyihin ”standardiaivoihin”, mikä toki mahdollistaa koehenkilöiden suoran vertaamisen keskenään. fMRI:n etuja on kuitenkin noninvasiivisuus toisin kuin toisessa keskeisessä aivokuvantamismenetelmässä positroniemissiotomografiassa (PET): fMRI-tutkimukseen ei sisälly säteilyrasitusta. Koeasetelmista saadaan näin ollen myös pitempiä ja siten tuloksista luotettavampia useampien toistojen ansiosta, ja samojakin koehenkilöitä voidaan tutkia uudelleen esim. tietyn intervention jälkeen.

EEG on menetelmänä toisentyyppinen kuin fMRI: kun jälkimmäisellä tutkitaan aivotoimintaa epäsuorasti hapenkulutuk-

sen ja verenvirtauksen paikallisia muutoksia analysoimalla, edellinen mittaa suoraan hermosolujoukkojen synkronista sähköistä toimintaa. Vaikka EEG:llä ei pystytäkään kovin luotettavasti paikantamaan kognitiivisia prosesseja tiettyihin aivojen osiin, on sen millisekuntien tasolle ulottuva ajallinen tarkkuus merkittävä hyöty kognitiivisten prosessien tutkimuksessa. Kun behavioraaliset menetelmät heijastavat koko prosessointiketjua, jota tehtävän suorittamisen aikana tarvitaan, EEG:llä voidaan selvittää tarkemmin prosessin eri vaiheita. Tällöin käytetään usein ns. tapahtumasidonnaisia herätevasteita (event-related potential, ERP), joissa monta kertaa toistettujen samantyyppisten ärsykkeiden (esim. sanojen) aiheuttamia pieniä muutoksia aivosähkökäyrässä keskiarvoistetaan. Pienet, yksittäisten ärsykkeiden aiheuttamat muutokset hukkuvat helposti EEG:n taustakohinaan, joten keskiarvoistamisen avulla signaali-kohinasuhde (ärsykkeen esittämisen aiheuttaman muutoksen, ”signaalin”, suhde aivosähkökäyrässä esiintyvään satunnaiseen taustakohinaan) paranee ja voidaan saada esiin ärsyketyyppien välisiä mahdollisia eroja. Näin voidaan esimerkiksi selvittää sitä, missä vaiheessa sanantunnistusprosessia taivutettujen sanojen herätevasteet alkavat poiketa monomorfeemisten sanojen vasteista, dekomposition merkinä. On myös löydetty tyypillisesti tiettyjä kognitiivisia toimintoja heijastavia ERP-komponentteja: esim. nk. ”N400”-vasteen (negatiivinen vaste n. 400 millisekuntia esim. kohdesanan esittämisen jälkeen) on esitetty heijastavan semanttiseen integraatioon liittyviä prosesseja (esim. Kutas & Hillyard, 1980; Kutas, 1997).

BEHAVIORAALISIA TUTKIMUKSIA KAKSIKIELISTEN MORFOLOGISESTA PROSESSOINNISTA

Behavioraalisissa sanantunnistuskokeissa tavoitteena oli tutkia sitä, miten kaksi rakenteellisesti hyvin erityyppistä kieltä (suomi ja ruotsi) omaksuneet kaksikieliset prosessoivat taivutettuja sanoja ja käyttävätkö he samaa vai eri tunnistusreittejä eri kielissään. Vertailuryhminä olivat yksikieliset suomen ja ruotsin puhujat.

Lehtonen ja Laine (2003) tutkivat suomen kielen taivutettujen substantiivien tunnistamista yksi- ja kaksikielillä visuaalisen leksikaalisen päätöksenteon tehtävällä. Koehenkilöt olivat terveitä yliopisto-opiskelijoita, jotka olivat oppineet vain suomen kielen ennen kouluikää (yksikielisten ryhmä) tai sekä suomen että ruotsin kielen ennen kouluikää (kaksikieliset). Kaksikieliset arvioivat suomen kielen taitonsa olevan samalla tasolla kuin ruotsin (ei tilastollisesti merkitsevää eroa), joskin keskiarvojen perusteella ruotsin kielen osaaminen oli aavistuksen verran korkeampi. Eroa yksikielisten suomen kielen arvioihin ei myöskään ollut. Kielitaitoarvioiden lisäksi koehenkilöt suorittivat tehtävän, jossa luettiin ääneen numeroita suomen ja ruotsin kielillä mahdollisimman nopeasti (Chincotta, Hyönä, & Underwood, 1997). Tässäkään tehtävässä yksi- ja kaksikieliset eivät suomen kielen taitonsa suhteen eronneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi.

Kokeessa tutkittiin pintafrekvenssin vaikutusta morfologiseen prosessointiin leksikaalisen päätöksenteon tehtävässä. Ärsykkeinä käytettiin kolmea paria eri frekvenssialueilta kerättyjä (korkea-, keski- ja matalafrekventtisiä) sanalistoja. Toinen kunkin parin listoista sisälsi vain taivutettuja (esim. *koiraa*; listat sisälsivät monia eri yksikön sijapäätteitä) ja toinen vain taivuttamattomia substantiiveja (esim. *emäntä*). Saman verran kuin oikeita

sanoja kokeessa oli myös suomen fonotaksin mukaisia epäsanajoja, joista puolet oli ”taivuttamattomia” (esim. *lousonka*) ja puolet ”taivutettuja” (esim. *vama+ssa*). Sanojen frekvenssitiedot kerättiin Turun Sanomiin perustuvasta leksikaalisesta tietokannasta (sisältää 22,7 miljoonaa sanaesiintymää) käyttämällä apuna tietokonepohjaista hakuohjelmaa (Laine & Virtanen, 1999). Listojen parit oli vertaistettu keskimääräisen sananpituuden, pinta- ja lemmafrekvenssin⁵, bigrammifrekvenssin⁶, sekä morfologisen perhekoon⁷ suhteen, jotta ainoa olennainen ero taivuttamattomien ja taivutettujen sanalistojen välillä olisi sanojen morfologinen rakenne. Oletimme, että suomen kielelle tyypillinen dekompositioefekti (pitemmät reaktioajat ja suuremmat virhemäärät taivutetuille kuin taivuttamattomille sanoille) näkyisi ainakin matala- ja keskifrekventtisten taivutettujen sanojen kohdalla. Odotimme kuitenkin korkeafrekventtisille taivutetuille sanoille muodostuneen kokosanaedustumat yksikielillä, koska Laineen ja kollegoiden (1995) syvädysleksiapotilas luki erittäin yleiset taivutetut sanamuodot yhtä hyvin kuin vastaavat taivuttamattomatkin. Kaksikielillä odotimme näkevämme yksikielisiä enemmän dekompositiota, koska heillä oli oletettavasti keskimäärin vähemmän kokemusta yleisistäkin sanamuodoista, eli sanojen subjektiivinen frekvenssi oli heillä matalampi kuin yksikielillä.

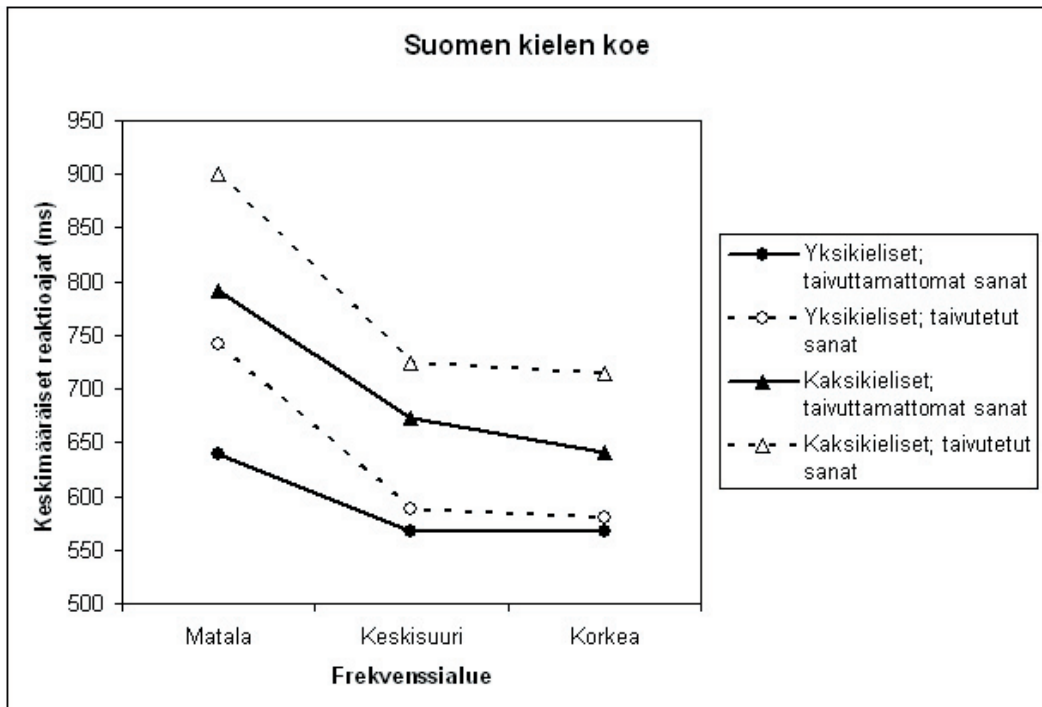
Tulokset näyttivät tukevan hypoteesejamme. Ensinnäkin virhemäärät sekä sanojen saamat reaktioajat olivat tilastollisesti merkitsevästi suuremmat kaksikielillä kuin yksikielillä, mikä viittaa juuri edellisen ryhmän saamaan vähempään kokemukseen sanamuodoista. Toiseksi yksikielillä reaktioaikojen, samoin kuin virhemäärien, välinen ero taivutettujen ja taivuttamattomien sanojen välillä oli merkitsevä sekä matala- että keskifrekventtisillä sanaryhmillä, mutta

ei korkeafrekventtisimmässä sanaryhmässä (ks. kuva 1). Tämä viittaa siis siihen, että erittäin yleisille sanamuodoille, mutta vain niille, on muodostunut kokosanaedustumat yksikielisten mentaaliseen leksikkoon. Kaksikielisillä sen sijaan sanatyypin välinen ero säilyi merkitsevänä kaikilla frekvenssialueilla, eli kaksikieliset pilkkovat suomen kielen yleisetkin sanamuodot tunnistuksen aikana. Tämä johtuu oletettavasti kaksikielisten vähemmästä harjaannuksesta ko. sanamuotojen kanssa. Yksi- ja kaksikielisten välisestä erosta huolimatta tämän kokeen tulokset kuitenkin viittaavat siihen, että kaksikieliset käyttivät kutakuinkin samaa prosessointitapaa kuin yksikielisetkin eli suomen kielelle tyypillistä dekompositiota. Toisin sanoen toisen, morfologisesti rajallisemman kielen oppiminen lapsuudessa ei näytä aiheuttavan siirtovaikutusta taivutettujen sanojen tunnistamismekanismiin morfologisesti rikkaassa suomen kielessä. On kuitenkin

mahdollista, että siirtovaikutusta tapahtuu monimutkaisemmasta kielestä yksinkertaisempaan, kuten Portin ja Laine (2001) ehdottivat, ja siksi tutkimme taivutettujen sanojen tunnistamista suomenruotsalaisilla kaksikielisillä myös ruotsin kielessä.

Ruotsin kielen kokeessa (Lehtonen ym., 2006) käytimme vastaavaa koeasetelmaa kuin suomenkielisessä kokeessakin, eli koehenkilöt tekivät leksikaalisen päätöksenteon tehtävää, jossa ärsykesanat olivat taivutettuja (esim. *släkten*: 'suku' + määräinen muoto) ja taivuttamattomia ruotsin kielen substantiiveja kolmelta eri frekvenssialueelta. Myös tässä kokeessa epäsanoina oli "taivutettuja" ja "taivuttamattomia" ruotsin fonotaksin mukaisia epäsanajoja. Oikeat sanat kerättiin Göteborgs Posten -sanomalehteen perustuvasta tietokannasta (sisältää 24,7 miljoonaa sanasiintymää). Eri frekvenssialueita edustavien sanaryhmien keskimääräiset pinta-frekvenssit olivat kutakuinkin vastaavia tässä kokeessa ja

Kuva 1. Keskimääräiset reaktioajat suomen kielen leksikaalisen päätöksenteon kokeessa.



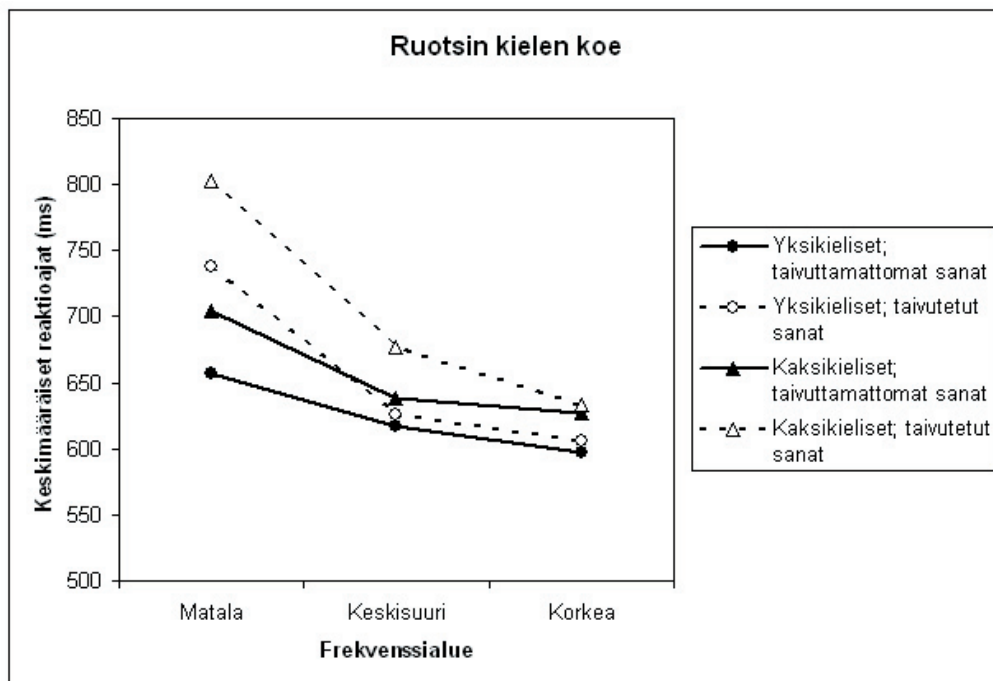
edellä kuvatussa suomen kielen tutkimuksessa. Myös koehenkilöt olivat edellisen kokeen kanssa samoilla kriteereillä valittuja yksikielisiä ruotsinkielisiä sekä suomenruotsalaisia kaksikielisiä yliopisto-opiskelijoita. Nämäkin kaksikieliset arvioivat ruotsin kielen taitonsa yhtä korkeaksi kuin yksikieliset ja molemmat kielensä yhtä vahvoiksi (ei tilastollisesti merkitsevää eroa kielten välillä), vaikkakin suomen kielen arvioiden keskiarvo oli hieman ruotsin kielen arvioita korkeampi. Numeronlukutehtävässä kaksikielisten ryhmä oli keskimäärin jonkin verran hitaampi kuin yksikielisten ryhmä.

Ruotsin kielen osalta olimme kiinnostuneita näkemään, toistuisivatko Portinin ja Laineen (2001) tulokset myös kaksimorfeemisia sanoja tunnistettaessa, eli käyttäisivätkö kaksikieliset dekompositiota ruotsin kielessä. Yksikielisten osalta oletimme, että dekompositioreitti olisi käytössä ruotsin kielen matalafrekventtisille sanoille ja kokosana-reitti keski- ja korkeafrekventtisille sanoille (vrt. Alegre & Gordonin, 1999, tulokset englannin kielestä). Tulokset olivat osittain odotetun suuntaiset. Myös tässä kokeessa kaksikielisten vähempi harjaannus näkyi ylipäänsä pitempinä reaktioaikoina kuin yksikielisillä, vaikka yleiset virhemäärät olivatkin kutakuinkin samalla tasolla molemmissa ryhmissä. Samoin sanojen pintafrekvenssi näytti vaikuttavan ruotsin kielen sanojen tunnistustapaan. Yksikielisillä reaktioaikojen välinen ero taivutettujen ja taivuttamattomien sanojen välillä oli merkitsevä vain matalafrekventtisten sanojen kohdalla (ks. kuva 2), ja sama efekti havaittiin myös virhemäärissä. Keski- ja korkeafrekventtisille sanoille eroa sen sijaan ei tullut. Portinin ja Laineen (2001) ehdotus, jonka mukaan kaksikieliset soveltaisivat dekompositiota myös ruotsin kieleen, ei saanut tukea. Kokeemme kaksikielisten tulokset olivat samansuuntaiset kuin yksikielistenkin, eli matalafrekventtiset

sanat pilkottiin, mutta korkeafrekventtisille taivutetuille sanoille oli muodostunut kokosanaedustumat. Keskimmaisessä frekvenssiluokassa reaktioaikaero sanatyyppien välillä oli kaksikielisillä suurempi kuin yksikielisillä, ja osittain merkitseväkin.

Kokonaisuutena tulokset siis viittaavat siihen, että myös ruotsin kielessä taivutetut sanat pilkotaan, kun sanamuodot ovat harvinaisia. Vähänkin yleisemmille muodoille näyttäisi muodostuneen kokosanaedustumat mentaaliseen leksikkoon. Kokosanaedustumiin vaadittava frekvenssi näyttääkin olevan alhaisempi kuin suomen kielessä, jossa vain hyvin yleiset muodot tunnistetaan kokosana-hahmoina. Tämä on loogista kielten morfologisen rikkouden erojen perusteella. Koska suomen kielen kokeen keskimmaisen frekvenssialueen sanojen pintafrekvenssit ulottuivat 9:stä 36:een per miljoona ja Lehtosen ja Laineen (2003) tutkimuksen perusteella kokosanaedustumia olisi vain osittain tällä frekvenssialueella, Alegre ja Gordonin (1999) esittämä frekvenssiraja (6 per miljoona) kokosanaedustumien muodostumiselle näyttäisi olevan liian matala suomen kielelle. Ruotsin kielen tuloksiin se sen sijaan saattaa sopia, koska luku jää matala- (0.04 – 4.1 per miljoona) ja keskifrekventtisen (n. 9 – 39 per miljoona) luokan pintafrekvenssialueiden väliin ja keskifrekventtisille sanoille oli tulosten (Lehtonen ym., 2006) mukaan jo muodostunut kokosanaedustumia. Asian varmistamiseksi tarvittaisiin kuitenkin lisätutkimuksia.

Kaksikielisillä kokosanaedustumien muodostuminen näyttää tapahtuvan myös ruotsin kielessä hieman harvemmin kuin yksikielisillä. Ero koehenkilöryhmien välillä näyttäisi kuitenkin olevan suurempi suomen kuin ruotsin kielessä. Onkin mahdollista, että kielen rakenne vaikuttaa myös siihen, kuinka yksikielisten kaltaisesti vähemmän harjaannusta saaneet kaksikieliset toimivat. Kaiken kaikkiaan suomen ja ruotsin kokeis-



Kuva 2. Keskimääräiset reaktioajat ruotsin kielen leksikaalisen päätöksenteon kokeessa.

sa havaitsimme, että varhaiset kaksikieliset eivät siirrä yhden kielen morfologista prosessointitapaa toiseen vaan näyttävät toimivan yksikielisten tavoin siten kuin kummallekin kielelle on optimaalisinta. Eroja näyttäsivät lähinnä aiheuttavan ryhmien erilaiset subjektiiviset pintafrekvenssit. Tässä tutkimuksessa mukana olleet kaksikieliset olivat oppineet molemmat kielet jo lapsena ja heidän kielitaitonsa oli erittäin korkealla tasolla. Onkin mahdollista, että erot yksi- ja kaksikielisten välillä olisivat vielä suurempia myöhäisemmillä kaksikielisillä, jotka esim. vasta opiskelevat ruotsia ja joiden subjektiiviset frekvenssit ruotsin kielen sanamuodoille ovat varhaisia kaksikielisiä alhaisempia.

Portinin ja Laineen (2001) tulokset oli saatu kolmimorfeemisilla ärsykesanoilla, joten on mahdollista, että niiden kohdalla tilanne on erilainen kuin Lehtosen ja kollegoiden (painossa) käyttämällä kaksimorfeemisilla sanoilla. Lehtonen, Laine, Niemi, Niska ja Wande (2003) yrittivätkin toistaa Portinin

ja Laineen tuloksen eri kolmimorfeemisilla ruotsin kielen sanoilla. Uudet ärsykesanat pystyttiin vertaistamaan aiempaa paremmin, koska käyttöömmme oli tullut huomattavasti frekvenssisanakirjoja laajempi Göteborgs Posten -korpus (jota siis käytettiin myös yllä mainitussa tutkimuksessa Lehtonen ym., 2006). Itse asiassa tämän uuden frekvenssiaineiston valossa Portinin ja Laineen ärsykesanoissa keskimääräinen lemmafrekvenssi ja bigrammifrekvenssi olivat korkeampia taivutetuille sanoille kuin taivuttamattomille, mikä saattoi antaa taivutetuille sanoille edun ja johtaa reaktioaikaeron pienenemiseen erityisesti yksikielisillä, joilla ero oli jo valmiiksi pienempi. Lehtosen ja kollegoiden (2003) tulokset viittasivatkin siihen, että yksi- ja kaksikieliset käyttivät molemmat samaa prosessointitapaa, dekompositiota, kolmimorfeemisia ruotsin kielen sanoja tunnistaessaan. Tämän kokeen taivutettujen sanojen keskimääräinen pintafrekvenssi oli lähellä kahdeksaa per miljoona, eli de-

kompositiota tapahtui yleisemmillekin sanamuodoille kuin Alegre ja Gordon (1999) esittivät englannin kielen tulosten perusteella. Suora vertaaminen heidän tutkimuksensa frekvenssiarvoon ei kuitenkaan käy päinsä sanojen kolmimorfeemisuudesta johtuen.

AIVOKUVANTAMISTUTKIMUKSIA SUOMEN KIELEN MORFOLOGISESTA PROSESSOINNISTA

Suomen kielessä usein käytössä olevan dekomposition oletetaan itse asiassa käsittävän kaksi vaihetta (Laine, Niemi, Koivuselkä-Sallinen, Ahlsén & Hyönä, 1994; Niemi ym., 1994): 1) sanan pilkkomisen morfeemikseen visuaalisten sanamuotojen (visuaalisen syöteleksikon) tasolla, ja 2) morfeemien yhdistämisen semanttis-syntaktisella tasolla. Lisäksi jälkimmäisen vaiheen oletetaan pitävän sisällään kahdentyyppistä tiedonkäsitelyä (Schreuder & Baayen, 1995): toisaalta morfeemien syntaktinen yhteensopivuus arvioidaan (esim. sopiiko pääte tietyn sanaluokan vartaloon) ja toisaalta niiden merkitys integroidaan. Pitemmät reaktioajat ja korkeammat virhemäärät taivutetuille kuin taivuttamattomille sanoille visuaalisen päätöksenteon tehtävässä viittaavat dekompositioprosessiin, mutta ei ole selvää, kumpi em. päävaiheista aiheuttaa tämän ylimääräisen prosessointikuormituksen. Hyönä, Vainio ja Laine (2002) ehdottivat, että tästä olisi vastuussa pääasiassa myöhäisempi, semanttis-syntaktinen taso, koska morfologian vaikutus hävisi, kun taivutetut sanat esitettiin neutraalissa lauseyhteydessä. Hyönä ym. (2002) päättelivät, että dekompositiovaikutus tulee esiin irrallisten taivutettujen sanojen tutkimuksissa, koska sanojen merkitystä ja syntaktista roolia selvittävä konteksti puuttuu. Jos dekompositioefekti tulisi ykkösvaiheesta eli sanamuotojen tasolta, sen ei pitäisi muuttua sen seurauksena, esitetäänkö sana

lauseyhteydessä vai ei. Uusi fMRI-tutkimus (Lehtonen, Vorobyev, Hugdahl, Tuokkola, & Laine, painossa) sekä valmisteilla oleva, alustavasti analysoitu ERP-tutkimus (Lehtonen, Hultén, Tuomainen, & Laine, 2004) ovat selvittäneet morfologisen prosessoinnin hermostollisia vasteita suomen kielessä ja pyrkineet samalla vastaamaan kysymykseen, kumpaa päävaihetta taivutettujen sanojen tunnistukseen liittyvä prosessointikuormitus heijastaa. Molemmissa kokeissa käytettiin visuaalisen leksikaalisen päätöksenteon tehtävää, jotta tulokset olisivat suoraan vertailukelpoisia sekä keskenään että aiempien puhtaasti behavioraalisten kokeiden tulosten kanssa. ERP-kokeessa koehenkilöryhminä olivat sekä yksi- että kaksikieliset, mutta fMRI-kokeesta on toistaiseksi valmiina ai-noastaan yksikielisten aineisto.

fMRI-tutkimus

Aikaisemmat tutkimukset morfologiseen prosessointiin kytkeytyvistä aivoalueista on tehty lähinnä germaanisilla kielillä, englannilla ja saksalla (esim. Beretta ym, 2003; Jaeger ym, 1996; Vannest, Polk, & Lewis, 2005). Taivutusmorfologialtaan rikkaammassa suomen kielessä on aiemmin tehty yksi PET-tutkimus (Laine, Rinne, Krause, Teräs, & Sipilä, 1999b), jossa koehenkilöt painoivat mieleensä kuulemiaan taivutettuja ja taivuttamattomia sanoja. PET-tulos osoitti suurempaa aktivaatiota Brocan alueella (eli vasemman otsalohkon takaosassa) taivutettujen sanojen mieleen painamisen yhteydessä. Brocan alue on perinteisesti liitetty morfologiseen prosessointiin sen vuoksi, että Brocan afaatikoille tyypillinen oire on ns. agrammatismi eli ongelmat kielen morfosyntaktisten piirteiden käsittelyssä. Brocan alueen ei kuitenkaan oleteta vastaavan vain morfologisesta tai syntaktisesta prosessoinnista kielen ymmärtämisen aikana vaan myös fonologisen ja semanttisen prosessoinnin on havaittu

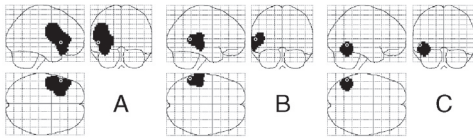
kuormittavan tätä aivoaluetta. Brocan alueen on kuitenkin osoitettu pitävän sisällään erityyppiselle kielelliselle materiaalille (esim. semanttiselle kontra fonologiselle) herkkää osa-alueita (ks. esim. Poldrack ym., 1999).

Monet aiemmista aivokuvantamistutkimuksista ovat koskeneet morfologisesti monimutkaisten sanojen tuottamista tai auditivista vastaanottoa, mutta niiden visuaalista tunnistusta on tutkittu vähemmän. Aiemmat tutkimukset ovat myös keskittyneet vertaamaan säännönmukaisesti vs. epäsäännöllisesti taivutettuja sanoja, mikä ei ole suomen kielen kannalta olennainen kontrasti⁸. Em. tutkimusten tulokset ovat useimmiten viitanneet Brocan alueen ja vasemman ohimolohkon keski- ja yläosien osuuteen morfologisessa analyysissä, mutta myös monien muiden alueiden aktivaatiota on raportoitu. Lehtonen ym. (painossa) selvittivät fMRI:llä suomen kielen dekompositiossa aktivoituvia aivoalueita.

Vaikka fMRI:llä ei kyetäkään *ajallisesti* erottamaan prosessointitasoja toisistaan, menetelmällä voi saada lisävalaistusta siihen, mihin prosesseihin, visuaalisen sanamuodon analyysiin vai semanttis-syntaktiseen integraatioon, liittyvät aivoalueet aktivoituvat taivutettujen kontra taivuttamattomien sanojen tunnistamisen aikana. Oletuksena siis on, että morfologisen prosessoinnin eri tasot pitävät sisällään erityyppisiä kognitiivisia toimintoja (sanamuodon analyysia tai semanttis-syntaktista integraatiota) ja tiettyjen, erillisten aivoalueiden aktivaatiot heijastavat näitä funktioita. Taivutettujen sanojen tunnistus on kognitiivisesti kuormittavampaa kuin taivuttamattomien (reaktioaika- ja virhemääräerosta päätellen), ja kuormituksen oletimme näkyvän suurempana aivoaktivaationa taivutetuille sanoille kuin taivuttamattomille. Tutkimalla mihin aivoalueisiin tämä erityisesti taivutettujen sanojen tunnistamisen aiheuttama aktivaation kasvu liittyy, voimme

päätellä, kummat toiminnot vaativat aivoilta enemmän prosessointia taivutettujen sanojen kohdalla eli dekomposition aikana. Lukemiseen liittyvistä aivokuvantamistutkimuksista koottujen katsausartikkelien (Démonet, Thierry, & Cardebat, 2005; Fiez & Petersen, 1998) ja yhden meta-analyysin (Jobard, Crivello, & Tzourio-Mazoyer, 2003) perusteella luotiin neuroanatominen hypoteesi siitä, minkä aivoalueiden aktivaatiolisyäksiin ensimmäinen, sanamuotojen analysointiin kytkeytyvä vaihe sekä toinen, semanttis-syntaktisen integroinnin vaihe todennäköisesti liittyisivät. Ensimmäisen vaiheen oletimme heijastuvan lisääntyneenä aktivaationa vasemman takaraivolohkon ja ohimolohkon välisellä raja-alueella, jonka on todettu liittyvän visuaalisten sanamuotojen prosessointiin ja visuaaliseen segmentointiin (Fiez & Petersen, 1998; Jobard, ym., 2003; McCandliss, Cohen, & Dehaene, 2003). Jälkimmäisen vaiheen puolestaan oletimme aktivoivan mahdollisesti kahta aluetta. Ensimmäinen näistä on Brocan alue, jonka yläosan aktivaation on havaittu kytkeytyvän syntaktisten tehtävien suoritukseen ja alaosan semanttista prosessointia vaativien tehtävien tekemiseen (Fiez, 1997; Badre & Wagner, 2002; Poldrack ym., 1999). Toinen oletettavasti aktivoituvaa aluetta sijaitsee takaisessa ohimolohkossa (keskimmäinen ja ylempi ohimolohkopoiu) ja sen on todettu liittyvän sekä leksikaalis-semanttiseen prosessointiin (Démonet et al., 2005) että myös syntaktiseen prosessointiin (Indefrey, 2003). Aivokuvantamistulosten analysoinnissa keskityttiin em. alueisiin eli käytettiin ns. ”region-of-interest”-analyysia (ks. kuva 3).

Koehenkilöinä oli 12 vapaaehtoista yliopisto-opiskelijaa, jotka olivat oppineet vain suomen kielen varhaislapsuudessaan. Ärsykesanoina leksikaalisen päätöksenteon tehtävässä oli yksikön paikallissijoissa taivutettuja substantiiveja ja vertailukelpoisia (samojen



Kuva 3. fMRI-kokeen tilastollisesti merkitsevät aktivaatiohuiput verrattaessa taivutettujen kontra taivuttamattomien sanojen saamia aktivaatiomuutoksia on merkitty valkoisilla renkailla. Mustat alueet ovat analysoituja ”region-of-interest”-alueita: A = vasen alempi otsalohkopoimu (BA 44, 45, 47); B = vasemman keskimmäisen ja ylemmän ohimolohkopoimun takaosa (BA 21, 22); C = vasen takaraivolohkon ja ohimolohkon raja-alue (BA 37, 19). Viimeisen alueen huippu oli vain lähellä tilastollista merkitsevyyttä.

ärsykepiirteiden suhteen kuin behavioraalisisissa kokeissa) taivuttamattomia substantiiveja, kumpiakin 85 kappaletta. Sanat oli kerätty suhteellisen matalalta frekvenssialueelta sen varmistamiseksi, että dekompositio tosiaan olisi käytössä (vrt. Lehtonen & Laine, 2003). Koemateriaali sisälsi saman verran (170 kpl) epäsanoja, joista puolet oli ”taivutettuja” ja puolet ”taivuttamattomia”.

Behavioraalisten tulosten analyysit osoittivat, että taivutetut sanat saivat keskimäärin pidemmät reaktioajat sekä suuremmat virhemäärät kuin taivuttamattomat, mikä viittaa siihen, että sanat prosessoitiin dekompositioreittä pitkin. Kuvantamistuloksissa (ks. kuva 3) taivutetuille sanoille puolestaan löytyi taivuttamattomia suurempaa aktivaatiota Brocan alueen alaosasta [Brodmannin alueelta (BA) 47] sekä vasemman ylemmän ohimolohkopoimun takaosasta (BA 22). Lähellä tilastollista merkitsevyyttä oli myös kolmannen tutkimamme alueen, vasemman takaraivolohkon ja ohimolohkon yhtymäkohdan, aktivaatio taivutetuille vs. taivuttamattomille sanoille. Koska Brocan alueen alaosan (BA 45/47) on todettu aktivoituvan erityisesti semanttisen materiaalin käsittelystä, ja vasemman ohimolohkon yläosa on

liitetty leksikaalis-semanttiseen tai syntaktiseen prosessointiin⁹, tulokset siis tukevat ainakin jälkimmäisen, semanttis-syntaktisen analyysivaiheen merkittävää osuutta dekomposition prosessointikuormituksessa, mikä sopii yhteen Hyönän ym. (2002) aiempien tulosten kanssa. Varhaisemman vaiheen toiminta, päätteen segmentointi kannasta visuaalisen syöteleksikon tasolla, voi olla automaattisempi prosessi ja siten vaikeampi havaita tällä kuvantamismenetelmällä.

ERP-tutkimus

Saadaksemme monipuolisemman kuvan dekompositioon liittyvistä hermostollisista prosesseista tutkimme ilmiötä myös EEG:llä, jolla on erinomainen ajallinen tarkkuus. Perusoletuksena oli, että ero taivutettujen ja taivuttamattomien sanojen välillä jännitevasteissa tulkitaan merkiksi dekompositiosta, koska sanaryhmät on kontrolloitu muiden tekijöiden suhteen niin, että ainoa ero niiden välillä on morfologinen rakenne. Lähtökohtana oli ensisijaisesti tarkastella sitä, missä aikaikkunassa sanaryhmien vasteet alkavat erota toisistaan, koska olimme kiinnostuneita selvittämään tässä artikkelissa aiemmin mainittuja dekomposition eri vaiheita, sanan pilkkomista morfeemeikseen sanamuotojen tasolla ja niiden integroimista semanttis-syntaktisella tasolla. Sereno ja Rayner (2003) esittivät ERP- ja silmänliikelyydösten perusteella, että visuaalisen sanamuodon aktivoiminen muistista tapahtuu suunnilleen 100–200 ms:n kohdalla sanan esittämisen jälkeen. Tällöin on todennäköistä, että sanan merkityksen aktivointi käynnistyy ennen 300 ms:a (ks. esim. Martín-Loeches, Hinojosa, Gómez-Jarabo, & Rubia, 1999). Kuten aiemmin mainittiin, N400-efektin on havaittu heijastavan semanttista integraatiota. Nk. P600:n (positiivisen, n. 600 ms:n kohdalla ilmaantuvan komponentin) on puolestaan esitetty heijastavan syntaktista integraatiota

(Osterhout & Holcomb, 1992; Kaan, Harris, Gibson, & Holcomb, 2000). Dekomposition tasojen kannalta kiinnostavia ovat siis em. aikaikkunat ja komponentit.

Alustavasti analysoituun kokeeseen (Lehtonen ym., 2004) osallistui 13 tervettä oikeakätistä yliopisto-opiskelijaa, jotka olivat oppineet vain suomen kielen ennen kouluikää, sekä 13 vastaavaa koehenkilöä, jotka olivat omaksuneet sekä suomen että ruotsin kielen lapsesta asti. Ärsykesanoina leksikaalisen päätöksenteon tehtävässä oli taivutettuja (yksikön paikallissijoissa sekä genetiivissä ja partitiivissa) ja taivuttamattomia suomen kielen substantiiveja, jotka oli jälleen vertaistettu samojen tekijöiden suhteen kuin behavioraalissakin kokeissa (ks. yllä; esim. Lehtonen & Laine, 2003). Kokeessa varioitiin myös sanojen pintafrekvenssiä: puolella sanoista oli matala ja puolella korkea pintafrekvenssi. Epäsanoina oli jälleen ”taivutettuja” ja ”taivuttamattomia” epäsanoja mutta tällä kertaa myös sellaisia, joiden kanta-pääte-yhdistelmä oli morfofonologisesti virheelinen (esim. ”lammasen”, kun oikea muoto olisi ”lampaan”).

Yksikielisten behavioraaliset tulokset viittasivat siihen, että taivutetut sanat saivat pidemmät reaktioajat ja korkeammat virhemäärät kuin taivuttamattomat sanat molemmissa frekvenssiluokissa, mikä viittaa dekomposition myös korkeafrekventtisille taivutetuille sanoille ja on siten eri tulos kuin Lehtosen ja Laineen (2003) tutkimuksen löydös. Kuitenkin morfologian ja frekvenssin interaktio oli tässäkin tilastollisesti merkitsevä, mikä voi viitata siihen, että osa korkeafrekventtisistä taivutetuista sanoista prosessoitiin kokosanareittä pitkin, mutta osa pilkottiin, ja siksi ero sanatyypin välillä tuli näkyviin. Syy erilaisiin tuloksiin voi olla ärsykemateriaalin epäsanoissa. On mahdollista, että poikkeuksellisen vaikeiden epäsanojen (olemassaoleva kanta + olemassaoleva pääte, mutta epäsopiva

yhdistelmä) käyttäminen tässä kokeessa aiheutti sen, että koehenkilöt alkoivat tarkemmin analysoida kaikkia taivutuspääteellisiä ärsykesanoja voidakseen olla varmoja oikeasta vastauksesta. Kaksikielisten reaktioaika- ja virhemäärätulokset olivat morfologian ja frekvenssin suhteen samankaltaiset kuin yksikielisillä. Yleisesti reaktioajat olivat kuitenkin pitemmät kuin yksikielisillä, viitaten jälleen vähempään kokemukseen kyseisistä sanamuodoista.

ERP-materiaalin alustavat tulokset oikeiden sanojen suhteen olivat seuraavat. Yksikielisillä sanojen morfologinen rakenne vaikutti keskiarvokäyrien amplitudeihin n. 280 ms sanan esittämisen jälkeen. Myös N400:ssa sanaryhmät saivat erilaiset vasteet: amplitudit olivat suurimmassa osassa elektrodeja negatiivisemmat taivutetuille sanoille. P600:n latenssit olivat pitemmät taivutetuille sanoille ja matalafrekventtisille sanoille yleensä. Aikaikkunat ja komponentit, joissa eroja morfologisten sanatyypin suhteen havaittiin, viittaavat siis yksikielisten osalta semanttisten ja syntaktisten prosessien vaatavuuteen taivutettujen sanojen tunnistamisessa. Kaksikielisillä puolestaan taivutettujen sanojen amplitudit olivat tietyissä elektrodeissa suurempia kuin taivuttamattomille sanoille jo n. 150 ms sanan esittämisen jälkeen. Myös n. 280 ms:n kohdalla, N400:ssa sekä P600:ssa oli morfologisella rakenteella ja sanafrekvenssillä amplitudeissa merkitsevä interaktio, mikä viittaa siihen, että näillä koehenkilöillä korkeafrekventtiset taivutetut sanat prosessoitiin eri tavalla kuin matalafrekventtiset. Myös P600:n latenssit olivat pitemmät taivutetuille kuin taivuttamattomille sanoille sekä matalafrekventtisille sanoille. P600:n amplitudierot sanaryhmien välillä eivät kuitenkaan noudattaneet oletettua suuntaa, toisin kuin N400:n, eli syntaktista integraatiota enemmän vaativat sanat (tässä siis taivutetut) olisivat saaneet positiivisemmän vasteen, vaan tulokset viittasivat

päinvastaiseen. Ei siis ole selvää, liittyvätkö komponentin amplitudierot sanaryhmien välillä todella syntaktiseen integraatioon tässä tehtävässä. Kaksikielisillä tulokset kokonaisuutena kuitenkin viittaavat siihen, että sanan morfologinen rakenne vaikuttaa prosessointiin sekä varhaisessa, sanamuodon analysointiin liittyvässä vaiheessa että myöhemmässä, semanttis-syntaktiseen integrointiin liittyvässä vaiheessa. Kaksikielisillä erot sanaryhmien välillä tulivat useammin esille kuin yksikielisillä eli he olivat herkempiä erilaisille ärsykemanipulaatioille. Tämä viittaa yksikielisiä vähemmän automatisoituneihin tunnistusprosesseihin ja liittynee kaksikielisten saamaan vähempään kokemukseen suomen kielen sanamuodoista. Tuloksia on kuitenkin toistaiseksi pidettävä viitteellisinä, koska tässä analysoitujen koehenkilöiden määrä on suhteellisen pieni ja lopulliset analyysit ovat vielä kesken.

YHTEENVETO

Edellä esitellyissä tutkimuksissa selvitettiin, miten yksi- ja kaksikieliset tunnistavat visuaalisesti esitetyjä suomen ja ruotsin kielen taivutettuja substantiiveja. Sanojen pintafrekvenssin havaittiin olevan tärkeä tekijä prosessointireitin määrääytymisessä: mitä useammin taivutettu sanamuoto kohdataan, sitä todennäköisemmin sille muodostuu kokosana-edustuma. Taivutusmorfologialtaan rikkaassa suomen kielessä tähän vaaditaan korkeampi frekvenssi kuin morfologisilta piirteiltään rajallisemmassa ruotsin kielessä: suomessa korkea, ruotsissa keskisuuri (yksikielisten ollessa kyseessä). Behavioraaliset tutkimukset viittasivat myös siihen, että varhaiset kaksikieliset, jotka ovat kielitaidoltaan hyvin korkealla tasolla, käyttävät samantyyppistä prosessointitapaa kuin yksikielisetkin. Todistusaineistoa minkäänlaisesta siirtovaikutuksesta (transfer), esim. niin, että suomen kielen mekanismit

olisivat suoraan siirtyneet myös ruotsin kielen prosessointiin, ei siis löytynyt. Kaksikielisten vähäisempi kokemus sanamuodoista (alhaisemmat subjektiiviset frekvenssit) kuitenkin saa aikaan eron yksikielisiin nähden: kokosanaedustumia ei muodostu yhtä usein. Siispä tärkeämpi tekijä kuin kahden kielen oppiminen sinänsä näyttäisikin olevan se, kuinka usein sanamuodot kohdataan. Kaksikieliset kohtaavat oletettavasti yhden kielen sanat harvemmin kuin yksikieliset, mutta tämä johtuu käytännön seikoista. Lisätutkimuksilla on kiinnostava selvittää, onko tilanne erilainen esim. suomenkielisillä ruotsin kielen oppijoilla eli näkyykö heidän suorituksissaan suomen kielen vaikutus vai onko edustumiin pääosin vaikuttava tekijä heilläkin sanamuotojen (subjektiivinen) frekvenssi. Ruotsin kielen opiskelijat kun ovat todennäköisesti saaneet edelleen vähemmän altistusta ruotsin kielen sanamuodoille kuin varhain molemmat kielensä oppineet kaksikieliset. Tässä tapauksessa voisi olettaa dekompositiota käytettävän ruotsin kielessä yleisemminkin kielessä esiintyville sanoille kuin vain matalafrekventisille sanoille. Samoin mielenkiintoinen kysymys on se, miten edustumat kehittyvät kielen oppimisen aikana.

Aivokuvantamistutkimuksilla selvitettiin suomen kielen dekomposition hermostollisia korrelaatteja. Erityisenä kiinnostuksen kohteena oli, kumpi dekomposition vaiheista, sanamuodon pilkkominen visuaalisen syöteleksikon tasolla tai osien integraatio semanttis-syntaktisella tasolla, on vastuussa taivutettujen sanojen prosessointikuormituksesta. fMRI-tutkimuksessa evidenssiä saatiin molempien vaiheiden osalta, mutta selvemmin jälkimmäiselle. Myös aiemmat behavioraaliset tulokset (Hyönä ym., 2002) sekä alustavat ERP-tuloksemme viittaavat pääasiassa semanttis-syntaktisen vaiheen merkitykseen dekompositiossa. Varhaisen vaiheen dekomposition vaikutukset voitai-

siin ehkä saada selvemmin esille tehtävissä, jotka korostavat leksikaalista päätöksentekoa enemmän nimenomaan visuaalisten sanamuotojen tunnistusta.

Kiinnostava kysymys yleisesti kaksikielisyteen liittyen on tietysti myös se, miten yksi- ja kaksikielisten kielet ovat edustettuina aivoissa ja voidaanko erottaa eri aivoalueita eri kielille. Koska tässä artikkelissa esitetyssä fMRI-kokeessa tutkittiin vain yksikielisiä, ei näiden tutkimusten perusteella voi ottaa asiaan kantaa. Aiemmat, muilla kielillä tehdyt tutkimukset (ks. esim. Perani & Abutalebi, 2005) kuitenkin viittaavat pääosin siihen, että kutakuinkin samat vasemman aivopuoliskon alueet osallistuvat kielellisiin prosesseihin molempien kielten osalta, varsinkin kun kyseessä ovat varhain kielensä oppineet kaksikieliset, joiden kielitaito molemmissa kielissä on hyvä. Leksikaalis-semanttiseen prosessointiin näyttäisi vaikuttavan saavutettu kielitaidon taso voimakkaammin kuin kielen oppimisikä, vaikkakin nämä toki usein korreloivat keskenään (Abutalebi ym., 2000). Jos toinen kieli on opittu myöhemmin, esim. kuudennen ikävuoden jälkeen, voivat kuitenkin grammatikaalisen prosessoinnin aivokorrelaatit erota varhaisen kaksikielisten korrelaateista (Wartenburger ym., 2003). Koska morfologia on lähellä sekä leksikaalista prosessointia että syntaksia, olisikin kiinnostavaa selvittää, vaikuttaako oppimisikä toisen kielen morfologisesta prosessoinnista vastaaviin aivomekanismeihin.

LÄHTEET

- Abutalebi, J., Cappa, S.F., & Perani, D. (2001). The bilingual brain as revealed by functional neuroimaging. *Bilingualism: Language and Cognition*, *4*, 179–190.
- Ahlsén, E. (1994). Cognitive morphology in Swedish: studies with normals and aphasics. *Nordic Journal of Linguistics*, *17*, 61–73.
- Alegre, M., & Gordon, P. (1999). Frequency effects and the representational status of regular inflections. *Journal of Memory and Language*, *40*, 41–61.
- Badre, D., & Wagner, A.D. (2002). Semantic retrieval, mnemonic control, and prefrontal cortex. *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*, *1*, 206–218.
- Beretta, A., Campbell, C., Carr, T.H., Huang, J., Schmitt, L.M., Christianson, K., & Cao, Y. (2003). An ER-fMRI investigation of morphological inflection in German reveals that the brain makes a distinction between regular and irregular words. *Brain and Language*, *85*, 67–92.
- Bertram, R., Baayen, R.H., & Schreuder, R. (2000). Effects of family size for complex words. *Journal of Memory and Language*, *42*, 390–405.
- Brybaert, M., Van Dyck, G., & Van de Poel, M. (1999). Visual word recognition in bilinguals: evidence from masked phonological priming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *25*, 137–148.
- Butterworth, B. (1983). Lexical representation. Teoksessa B. Butterworth (toim.), *Language Production 2*, (s. 257–294). London: Academic Press.
- Chialant, D., & Caramazza, A. (1995). Where is morphology and how is it processed? The case of written word recognition. Teoksessa L.B. Feldman (toim.), *Morphological Aspects of Language Processing*, (s. 55–76). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Chincotta, D., Hyönä, J., & Underwood, G. (1997). Eye fixations, speech rate and bilingual digit span: Numeral reading indexes fluency not word length. *Acta Psychologica*, *97*, 253–275.
- Démonet, J.-F., Thierry, G., & Cardebat, D. (2005). Renewal of the neurophysiology of language: functional neuroimaging. *Physiological Reviews*, *85*, 49–95.
- Duncan, G.E., Stumpf, W.E., & Pilgrim, C. (1987). Cerebral metabolic mapping at the cellular level with dry-mount autoradiography of [3H]2-deoxyglucose. *Brain Research*, *401*, 43–49.
- Fiez, J.A. (1997). Phonology, semantics, and the role of the left inferior prefrontal cortex. *Human Brain Mapping*, *5*, 19–83.
- Fiez, J.A., & Petersen, S.E. (1998). Neuroimaging studies of word reading. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *95*, 914–921.

- Frauenfelder, U., & Schreuder, R. (1992). Constraining psycholinguistic models of morphological processing and representation: The role of productivity. Teoksessa G. Booij & J. van Marle (toim.), *Yearbook of morphology 1991* (s. 165–183). Dordrecht: Kluwer.
- French, R.M., & Jacquet, M. (2004). Understanding bilingual memory: models and data. *Trends in Cognitive Sciences*, *7*, 87–93.
- Green, D.W. (2005). The neurocognition of recovery patterns in bilingual aphasics. Teoksessa J.F. Kroll & A.M.B. De Groot (toim.): *The Handbook of Bilingualism: Psycholinguistic Approaches*, (s. 516–530). New York: Oxford University Press.
- Hyönä, J., Vainio, S., & Laine, M. (2002). A morphological effect obtains for isolated words but not for words in sentence context. *European Journal of Cognitive Psychology*, *14*, 417–433.
- Indefrey, P. (2003). Hirnaktivierungen bei syntaktischer Sprachverarbeitung: Eine Meta-Analyse. Teoksessa G.M. Rickheit & H.M. Müller (toim.), *Neurokognition in der Sprache*, (s. 31–50). Tübingen: Stauffenburg Verlag.
- Jaeger, J.J., Lockwood, A.H., Kemmerer, D.L., Van Valin Jr., R.D., Murphy, B.W., & Khalak, H.G. (1996). A positron emission tomographic study of regular and irregular verb morphology in English. *Language*, *72*, 451–497.
- Jobard, G., Crivello, F., & Tzourio-Mazoyer, N. (2003). Evaluation of the dual-route theory of reading: a meta-analysis of 35 neuroimaging results. *NeuroImage*, *20*, 693–712.
- Järvikivi, J., & Niemi, J. (2002). Form-based representation in the mental lexicon: Priming (with) bound stem allomorphs in Finnish. *Brain and Language*, *81*, 412–423.
- Kaan, E., Harris, A., Gibson, E., & Holcomb, P. (2000). The P600 as an index of syntactic integration difficulty. *Language and Cognitive Processes*, *15*, 159–201.
- Karlsson, F. (1983). *Suomen kielen äänne- ja muotorakenne*. Juva: Werner Söderström.
- Karlsson, F., & Koskeniemi, K. (1985). A process model of morphology and lexicon. *Folia Linguistica*, *29*, 207–231.
- Kutas, M. (1997). Views on how the electrical activity that the brain generates reflects the functions of different language structures. *Psychophysiology*, *34*, 383–398.
- Kutas, M., & Hillyard, S.A. (1980). Reading senseless sentences: brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, *207*, 203–205.
- Laine, M., & Koivisto, M. (1998). Lexical access to inflected words as measured by lateralized visual lexical decision. *Psychological Research*, *61*, 220–229.
- Laine, M., Niemi, J., Koivuselkä-Sallinen, P., Ahlsén, E., & Hyönä, J. (1994). A neurolinguistic analysis of morphological deficits in a Finnish-Swedish bilingual aphasic. *Clinical Linguistics and Phonetics*, *8*, 177–200.
- Laine, M., Niemi, J., Koivuselkä-Sallinen, P., & Hyönä, J. (1995). Morphological processing of polymorphemic nouns in a highly inflecting language. *Cognitive Neuropsychology*, *12*, 457–502.
- Laine, M., Rinne, J.O., Krause, B.J., Teräs, M., & Sipilä, H. (1999b). Left hemisphere activation during processing of morphologically complex word forms in adults. *Neuroscience Letters*, *271*, 85–88.
- Laine, M., Vainio, S., & Hyönä, J. (1999a). Lexical access routes to nouns in a morphologically rich language. *Journal of Memory and Language*, *40*, 109–135.
- Laine, M., & Virtanen, P. (1999). *WordMill lexical search program*. Kognitiivisen neurotieteen tutkimuskeskus, Turun Yliopisto.
- Lehtonen, A., Hultén, A., Tuomainen, J., & Laine, M. (2004). Electrophysiological measures of morphological processing in monolinguals and bilinguals. Posterikongressissa *12th World Congress of Psychophysiology*, 18. – 23.9.2004, Thessaloniki, Kreikka.
- Lehtonen, M., & Laine, M. (2003). How word frequency affects morphological processing in monolinguals and bilinguals. *Bilingualism: Language and Cognition*, *6*, 213–225.
- Lehtonen, M., Laine, M., Niemi, J., Niska, H., & Wandt, E. (2003). Processing inflectional forms in a morphologically limited language: evidence from mono- and bilingual speakers. Teoksessa I. Reinvang, M.W. Greenlee & M. Herrmann (toim.) *The Cognitive Neuroscience of Individual Differences – New Perspectives* (s. 197–209). Hanse Studies 4, Oldenburg: BIS Universität Oldenburg.
- Lehtonen, M., Vorobyev, V., Hugdahl, K., Tuokkola, T., & Laine, M. (painossa). Neural correlates of morphological decomposition in a morphologically rich language: An fMRI study. *Brain and Language*.

- Lehtonen, M., Wande, E., Niska, H., Niemi, J., & Laine, M. (2006). Recognition of inflected words in a morphologically limited language: frequency effects in monolinguals and bilinguals. *Journal of Psycholinguistic Research*, *35*, 121–146.
- Martín-Loeches, M., Hinojosa, J.A., Gómez-Jarabo, G., & Rubia, F.J. (1999). The recognition potential: An ERP index of lexical access. *Brain and Language*, *70*, 364–384.
- McCandliss, B., Cohen, L., & Dehaene, S. (2003). The visual word form area: expertise for reading in the fusiform gyrus. *Trends in Cognitive Sciences*, *7*, 293–299.
- Niemi, J., Laine, M., & Tuominen, J. (1994). Cognitive morphology in Finnish: foundations of a new model. *Language and Cognitive Processes*, *3*, 423–446.
- Osterhout, L., & Holcomb, P.J. (1992). Event-related brain potentials elicited by syntactic anomaly. *Journal of Memory and Language*, *31*, 785–806.
- Perani, D., & Abutalebi, J. (2005). The neural basis of first and second language processing. *Current Opinion in Neurobiology*, *15*, 202–206.
- Poldrack, R.A., Wagner, A.D., Prull, M.W., Desmond, J.E., Glover, G.H., & Gabrieli, J.D.E. (1999). Functional specialization for semantic and phonological processing in the left prefrontal cortex. *NeuroImage*, *10*, 15–35.
- Portin, M., & Laine, M. (2001). Processing cost associated with inflectional morphology in bilingual speakers. *Bilingualism: Language and Cognition*, *4*, 55–62.
- Schreuder, R., & Baayen, R. H. (1995). Modeling morphological processing. Teoksessa L.B. Feldman (toim.), *Morphological Aspects of Language Processing* (s. 131–154). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Sereno, S.C., & Rayner, K. (2003). Measuring word recognition in reading: eye movements and event-related potentials. *Trends in Cognitive Sciences*, *7*, 489–490.
- Taft, M., & Forster, K. (1975). Lexical storage and retrieval of prefixed words. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *14*, 638–647.
- Vannest, J., Polk, T.A., & Lewis, R.L. (2005). Dual-route processing of complex words: New fMRI evidence from derivational suffixation. *Cognitive, Behavioral and Affective Neuroscience*, *5*, 67–76.
- Wartenburger, I., Heekeren, H.R., Abutalebi, J., Cappa, S.F., Villringer, A., & Perani, D. (2003). Early setting of grammatical processing in the bilingual brain. *Neuron*, *37*, 159–170.

Kiitokset

Artikkelissa kuvattu tutkimuksia ovat taloudellisesti tukeneet NOS-S (Nordiska samarbetsnämnden för samhällsvetenskaplig forskning) sekä Psykologian tutkijakoulu. Olen myös kiitollinen Marja Portinille ja Matti Laineelle kommenteista käsikirjoituksen ensimmäiseen versioon sekä arvioitsijoille hyödyllisistä parannusehdotuksista.

VIITTEET

- ¹ Morfologialla tarkoitetaan sanojen sisäisen rakenteen tutkimusta. Morfeemi on kielen pienin yksikkö, jolla on itsenäinen merkitys tai kieliopillinen tehtävä.
- ² Fonologinen läpinäkyvyys tarkoittaa sitä, kuinka samankaltainen morfologisesti monimutkainen sana on muodoltaan verrattuna kantansa (esim. sanamuoto *kädessä* (kanta: *käsi*) ei ole fonologisesti kovin läpinäkyvä). Semanttinen läpinäkyvyys kertoo, kuinka hyvin sanan merkitys on ennustettavissa osiensa perusteella (esim. johdos *tutkinto* ei ole semanttisesti kovin läpinäkyvä). Suomen kielessä monet taivutusmuodot ovat fonologisesti ei-läpinäkyviä eli opaakkeja, mutta on havaittu, että sanavartalon eri varianteille (esim. *käsi*, *käde*, *kät*) on omat edustumansa mentaalisisessä leksikossa (Niemi, Laine & Tuominen, 1994; Järvikivi & Niemi, 2002). Taivutetut sanat ovat tyypillisesti semanttisesti hyvin läpinäkyviä.
- ³ Kaksikielisyyden määritelmä on monia. Nykyisessä neurokognitiivisessa tutkimuksessa kaksikielisillä viitataan usein yksinkertaisesti henkilöihin, joilla on kaksi tai useampia kieliä käytössään. Määritelmä ei siis koske vain niitä, jotka ovat oppineet molemmat kielet varhaislapsuudessa tai jotka osaavat molempia kieliään yhtä hyvin, vaan myös vieraan kielen oppijoita. Tässä tutkimuksessa puhumme kuitenkin kaksikielisistä viitaten vain ns. varhaisiin kaksikielisiin.
- ⁴ Vaikka suomen kielen SAID-malli kuvaakin

morfologista prosessointia perinteisesti esittämällä eri tasot laatikoin ja nuolin, ei se ota kantaa siihen, miten prosessointi tapahtuu aivojen tasolla. Ei ole todennäköistä, että ”laatikot” todentuisivat sellaisinaan aivoihin. Hermoston tasolla arkkitehtuuri lienee konnektionistinen, eli hajautetut hermoverkot koodaavat yksittäisiä sanoja ja morfeemeja. Sanamuotojen ”pilkominen” nähdään tässä siis pikemminkin abstraktimman tason metaforisena kuvauksena, ja laatikoiden (prosessointitasojen) oletetaan kuvaavan *toiminnallisia* yksiköitä. Toisaalta verkostot ovat tuskin myöskään täysin hajaantuneina aivoissa. Tutkimuksissa on löydetty, että tietyt alueet aktivoituvat systemaattisesti juuri tiettyntyyppisissä (esim. fonologista prosessointia vaativissa) tehtävissä, ja niiden voidaankin olettaa (toisinaan monen alueen yhteistoimintana) vastaavan toiminnallisia yksiköitä.

⁵ Lemmafrequenssi tarkoittaa kaikkien saman sanakannan taivutusmuotojen yhteenlaskettua frequenssiä (esim. *sauna+n*, *sauna+ssa*, *sauna+sta*, *sauna+lta+mme*, jne.)

⁶ Bigrammifrequenssi kertoo kaikkien sanan sisällä olevien kahden kirjaimen kombinaatioiden keskimääräisen frequenssin (esim. <ki>, <is>, <ss>, <sa> sanassa *kissa*).

⁷ Morfologinen perhekoko viittaa tietystä kannasta muodostettujen johdosten ja yhdyssanojen määrään (esim. *koulumainen*, *koulukoti*, *ammattikoulu*, jne. sanalle *koulu*). Sanat, joilla on suurempi morfologinen perhekoko on havaittu tunnistettavan nopeammin kuin matalan perhekoon sanat (Bertram, Baayen & Schreuder, 2000).

⁸ Suomen kielen taivutusjärjestelmä voidaan kuvata sääntöjen avulla.

⁹ Myös fonologisia prosesseja on liitetty ylempään ohimolohkopoiimuun. On myös mahdollista, että taivutettujen sanojen lukeminen aktivoi fonologisia prosesseja enemmän kuin taivuttamattomien sanojen tunnistus. Mikäli kyse on sanojen morfofonologisen yhteensopivuuden arvioinnista, se todennäköisesti liittyy prosessoinnin myöhäisempiin vaiheisiin: Laine ym. (1999b) esittivät, että tämä prosessi olisi sanan tunnistuksen jälkeinen tapahtuma.

MORPHOLOGICAL PROCESSING IN MONOLINGUALS AND BILINGUALS: NEUROCOGNITIVE STUDIES IN FINNISH AND SWEDISH

Minna Lehtonen, Department of Psychology, Åbo Akademi University, Centre for Cognitive Neuroscience, University of Turku

This article presents behavioral and neuroimaging studies on morphological processing in Finnish and Swedish in monolinguals and bilinguals. Previous studies suggest that most Finnish inflected nouns are decomposed into stem and affix during recognition but in Swedish they are recognized as full forms. Word frequency was, however, found to influence the processing route used in both languages during visual lexical decision: high frequency forms were recognized as full forms but low frequency ones were decomposed. Yet, in the morphologically rich Finnish, the development of full form representations seems to occur at higher frequencies than in Swedish. Bilinguals seemed to employ an otherwise similar processing routes as monolinguals, but due to less exposure to word forms, they showed evidence of decomposition at higher frequencies than monolinguals. Functional magnetic resonance imaging and event-related potentials were used to study which of the two stages of decomposition in Finnish, the analysis of the inflected word form or the integration of its meaning was more demanding. The results suggest the involvement of both stages, but the evidence is more conclusive for the latter.

Keywords: Morphological processing, decomposition, word frequency, bilingualism, brain imaging, Finnish, Swedish.