

Morfologisesti monimutkaisten sanojen prosessointi varhaislapsuudessa: MMN-vastetutkimus

Juuso Oskari Ojaniemi
Pro gradu -tutkielma (31 sivua)
Psykologia
Käyttäytymistieteiden laitos
Huhtikuu 2015
Ohjaajat: Teija Kujala
Alina Leminen

Tiedekunta – Fakultet – Faculty Käyttätymistieteellinen tiedekunta	Laitos – Institution – Department Käyttätymistieteiden laitos
Tekijä – Författare – Author Juuso Ojaniemi	
Työn nimi – Arbetets titel – Title Morfologisesti monimutkaisten sanojen prosessointi varhaislapsuudessa: MMN-vastetutkimus	
Oppiaine – Läroämne – Subject psykologia	
Työn ohjaaja(t) – Arbetets handledare – Supervisor Alina Leminen ja Teija Kujala	Vuosi – År – Year 2015
<p>Tiivistelmä – Abstrakt – Abstract Tässä tutkimuksessa selvitettiin morfologisesti monimutkaisten eli useammasta <i>morfeemista</i> koostuvien sanojen prosessointia varhaislapsuudessa. Morfeemit ovat kielen pienimpiä merkitystä kantavia yksiköitä. Ne voivat olla itsessään merkityksellisiä sanoja tai jonkin kantasanan yhteydessä esiintyviä liitteitä, esimerkiksi taivutuspäätteitä. Aiempien tutkimusten perusteella morfologisesti monimutkaisten sanojen prosessoinnissa on kaksi erillistä prosessointireittiä. Jotkin sanat ymmärretään niiden kokonaisvaltaisten muistiedustusten kautta. Joidenkin sanojen prosessointi taas etenee <i>morfologisen jäsennyksen</i> kautta. Morfologisessa jäsennyksessä sanan merkitys ymmärretään morfeemien ja niiden käyttöä ohjaavien sääntöjen kautta. Aikuisilla tehdyt tutkimukset viittaavat siihen, että johdokset prosessoidaan kokonaisvaltaisten muistiedustusten kautta ja taivutusmuodot morfologisen jäsennyksen kautta. Morfologisesta prosessoinnista varhaislapsuudessa on sen sijaan vain vähän tietoa. Tässä tutkimuksessa pyritään selvittämään, prosessoivatko lapset johdoksia ja taivutusmuotoja aikuisia vastaavalla tavalla.</p> <p>Tutkimukseen osallistui 12 3–4-vuotiasta, kielellisesti normaalisti kehittyntä suomenkielistä lasta. Tutkimuksessa hyödynnettiin <i>mismatch negativity (MMN)</i>-vastetta, tapahtumasidonnaista jännitevastetta, joka heijastaa sekä sanojen muistiedustusten aktivaatiota että syntaktista prosessointia. Nämä näkyvät vasteessa eri tavoin. Vastetta onkin aiemmin hyödynnetty johdosten ja taivutusmuotojen erilaisen prosessoinnin osoittamisessa aikuisilla.</p> <p>Taivutettuihin pseudosanoihin syntyi voimakkaampi MMN kuin oikeisiin taivutettuihin sanoihin. Aiemman tutkimustiedon perusteella tämä viittaa morfologiseen jäsennykseen taivutusmuotojen prosessoinnissa. Aiemmista aikuisilla saaduista tuloksista poiketen johdoksiin syntyneet vasteet eivät poikenneet taivutusmuotoihin syntyneistä vasteista. Tulokset viittaavat aikuisia vastaavaan prosessointiin taivutusmuotojen mutta eivät johdosten osalta. Tämä voidaan tulkita yleisemmin merkiksi siitä, että syntaktinen prosessointi kehittyy varhain, kun taas sanojen muistiedustusten vakiintuminen edellyttää kielellistä kokemusta ja tapahtuu näin ollen hitaammin.</p>	
Avainsanat – Nyckelord – Keywords kieli, morfeemit, EEG, MMN	
Säilytyspaikka – Förvaringsställe – Where deposited Helsingin yliopiston kirjasto – Helda / E-thesis (opinnäytteet) <i>ethesis.helsinki.fi</i>	

Tiedekunta – Fakultet – Faculty Faculty of Behavioural Sciences	Laitos – Institution – Department Institute of Behavioural Sciences
Tekijä – Författare – Author Juuso Ojaniemi	
Työn nimi – Arbetets titel – Title Processing of morphologically complex words in early childhood: an MMN study	
Oppiaine – Läroämne – Subject psychology	
Työn ohjaaja(t) – Arbetets handledare – Supervisor Alina Leminen and Teija Kujala	Vuosi – År – Year 2015
<p>Tiivistelmä – Abstrakt – Abstract</p> <p>This study investigated the processing of morphologically complex words in early childhood. Words are morphologically complex if they consist of more than one <i>morpheme</i>, the minimal meaning-bearing units of language. Previous studies indicate that there are two distinct routes used in the processing of morphologically complex words. Some words are stored in memory holistically and processed through these full-form memory traces. Other words are decomposed into their constituent morphemes, with morphemes and rules guiding their use forming the basis of processing. Research with adults has indicated that derivations are processed through their full-form memory traces, while inflections are decomposed into their constituent morphemes. However, research on neural mechanisms of morphological processing in early childhood is still missing. This study aimed to investigate whether children process morphologically complex words in a similar fashion to adults.</p> <p>Twelve 3–4-year-old Finnish-speaking children with normal language development took part in the study. Event-related potentials were extracted from the 64-channel EEG data. The focus was on <i>mismatch negativity (MMN)</i>, which is associated with, among other things, automatic processing of language. Activation of full-form memory traces and syntactic processing tend to elicit distinct patterns of MMN responses. Moreover, the MMN has recently been used to demonstrate differences between processing of derivations and inflections.</p> <p>Inflected pseudowords elicited stronger MMN responses than real inflected words. This pattern of MMN responses is typical of syntactic processing. Therefore, the results indicate that inflections were processed syntactically, via morphological decomposition. In contrast to previous studies with adults, no difference was observed between MMN responses to derivations and inflections. Overall, these results suggest that children process inflections but not derivations in an adult-like manner. This can be taken as evidence for early development of syntactic processing and slower, more experience-dependent development of full-form memory traces.</p>	
Avainsanat – Nyckelord – Keywords language, morphemes, EEG, MMN	
Säilytyspaikka – Förvaringsställe – Where deposited Helsingin yliopiston kirjasto – Helda / E-thesis (opinnäytteet) <i>ethesis.helsinki.fi</i>	

Sisällysluettelo

1. Johdanto.....	1
1.1. Sanojen morfologinen prosessointi	2
1.2. Morfologisen prosessoinnin kehitys lapsuudessa.....	5
1.3. EEG ja jännitevasteet	7
1.4. Tapahtumasidonnaiset jännitevasteet morfologisesti monimutkaisille sanoille	9
1.5. Tapahtumasidonnaiset jännitevasteet lapsilla.....	10
1.6. Tutkimuksen tarkoitus	13
2. Menetelmät	14
2.1. Koehenkilöt	14
2.2. Ärsykkeet ja koeasetelma	15
2.3. Kokeen kulku.....	16
2.4. Aivosähkökäyrän rekisteröinti, käsittely ja analysointi.....	16
3. Tulokset	17
4. Pohdinta.....	19
4.1 Varhainen positiivisuus	20
4.2. Myöhäisempi negatiivisuus	20
4.3. Yhteydet aiempiin jännitevastetutkimuksiin	22
4.4. Tutkimuksen puutteet ja ehdotuksia jatkotutkimuksiin.....	23
4.5. Yhteenveto.....	24
Lähteet	25

1. Johdanto

Kielen pienimpiä semanttisesti tai kieliopillisesti merkityksellisiä rakenneosia kutsutaan *morfeemeiksi*. Morfeemit voivat olla itsessään merkityksellisiä sanoja tai jonkin kantasanan yhteydessä esiintyviä ja sen merkitystä muokkaavia liitteitä (Karlsson, 2004). Morfeemeilla katsotaan olevan tärkeä rooli sanojen muodon ja merkityksen yhdistämisessä: saman kantasanan sisältävät sanat liittyvät yleensä toisiinsa, ja sama taivutuspäätte ilmaisee samaa asiaa eri kantasanojen yhteydessä (Bozic & Marslen-Wilson, 2010; Lavric, Clapp & Rastle, 2007). Morfeemien ja niiden käyttöä ohjaavien sääntöjen hallitseminen tarjoaa näin ollen keinon sekä uusien sanojen tuottamiseen että ymmärtämiseen. Esimerkiksi jokaisen sanan jokaista taivutusmuotoa ei tarvitse opetella erikseen, vaan taivutuspäätteiden hallitseminen mahdollistaa tunnettujen sanojen taivuttamisen joustavalla tavalla.

Morfologista prosessointia koskeva tutkimus on keskittynyt lähinnä aikuisiin. Lasten morfologista prosessointia koskevaa kokeellista tutkimusta on tehty varsin vähän, ja tehty tutkimus on painottunut 6-vuotiaisiin ja vanhempiin lapsiin. Kielen kehittymistä koskevat havainnot kuitenkin viittaavat siihen, että morfeemeilla on tärkeä rooli jo tätä varhaisemmassa iässä. Taivutuspäätteiden omaksumisen tiedetään alkavan toisen ikävuoden lopulla (Toivainen, 1980), ja taivutuspäätteiden säännönmukaisesta soveltamisesta varhaislapsuudessa on näyttöä (Marcus ym. 1992; Clahsen, Aveledo & Roca, 2002). Morfologialla on myös esitetty olevan tärkeä rooli sanavaraston karttumisessa, koska morfeemit mahdollistavat uusien vastaantulevien sanojen ymmärtämisen ja sanastoon lisäämisen (Bertram, Laine & Virkkala, 2000). Morfologinen prosessointi varhaislapsuudessa on siis tärkeä ja yleiseen kielen kehitykseen liittyvä aihe. Tästä huolimatta kyseistä aihetta ei ole juurikaan tutkittu. Tämän tutkimuksen tarkoitus on kartuttaa lasten morfologista prosessointia koskevaa vähäistä tietämystä jännitevastetutkimuksen keinoin. Tarkastelun kohteena on kaksi erilaista morfologisesti monimutkaisten sanojen luokkaa, johdokset ja taivutusmuodot. Aikuisten tiedetään prosessoivat johdoksia ja taivutusmuotoja toisistaan poikkeavilla tavoilla (mm. Leminen, Leminen, Kujala & Shtyrov, 2013), mutta lapsilla aiheesta ei tiedetä paljoakaan. Tässä tutkimuksessa pyritään selvittämään, prosessoivatko 3–4 -vuotiaat suomenkieliset lapset johdoksia ja taivutusmuotoja aikuisia vastaavalla vai aikuisista poikkeavalla tavalla.

1.1. Sanojen morfologinen prosessointi

Morfologisesti monimutkaiset eli useammasta morfeemista koostuvat sanat voidaan jakaa yhdyssanoihin, johdoksiin ja taivutusmuotoihin (Karlsson, 2004). Yhdyssanat (esimerkiksi *linja-auto*) muodostuvat kahdesta tai useammasta yksimorfeemisestä sanasta. Johdokset (esimerkiksi *valo+isa*) ovat uusia sanoja, jotka on muodostettu liittämällä kantasanaan johtimena toimiva morfeemi. Johdokset voivat kuulua eri sanaluokkaan kuin kantasana. Taivutusmuodoissa (esimerkiksi *kissa+lle*) kantasanaan on lisätty päätte, joka ei muuta sanan merkitystä tai sanaluokkaa, vaan ilmaisee jotain kieliopillista suhdetta. Taivutusmuodot eivät ole uusia, kantasanaan erillisiä sanoja, vaan ilmaisevat kantasanan lukua (yksikkö tai monikko), aikamuotoa tai jotain muuta kieliopillista ominaisuutta (Karlsson, 2004).

Morfologisesti monimutkaisten sanojen prosessointia on tutkittu runsaasti viime vuosikymmenien mittaan (katsaus: Amenta & Crepaldi, 2012). Keskeinen kysymys tutkimuksessa on ollut se, onko morfologisesti monimutkaisilla sanoilla omat, kokonaisvaltaiset muistiedustuksensa, vai prosessoidaanko ne *morfologisen dekomposition* eli *jäsennyksen* kautta. Edellisen näkemyksen mukaan jokainen sana on edustettuna aivoissa sellaisenaan, ja sanan merkitys ymmärretään näiden kokonaisvaltaisten muistiedustusten kautta (mm. Butterworth, 1983). Jälkimmäisen näkemyksen mukaan jokaiselle morfologisesti monimutkaiselle sanalle ei ole omaa muistiedustustaan, vaan edustettuina ovat morfeemit ja niiden käyttöä ohjaavat säännöt. Morfologisesti monimutkaiset sanat puretaan ne muodostaviin morfeemeihin, joiden kautta sanan merkitys rakennetaan (mm. Rastle & Davis, 2008). Morfologisesta jäsennyksestä on kertynyt vahvaa näyttöä sekä reaktiotehtäville (engl. *behavioral task*: mm. Marslen-Wilson, Bozic & Randall, 2008) että aivokuvantamismenetelmille (mm. Leminen & Clahsen, 2013; Palmović & Marčić, 2008; katsaus: Bozic & Marslen-Wilson, 2010) perustuvan tutkimuksen kautta (katsaus: Marslen-Wilson, 2007). Kokonaisvaltaiset muistiedustukset siis tuskin ovat ainakaan kaikkien morfologisesti monimutkaisten sanojen prosessoinnin takana.

On kuitenkin mahdollista, että sekä morfologisella jäsennyksellä että kokonaisvaltaisilla muistiedustuksilla on roolinsa morfologisesti monimutkaisten sanojen prosessoinnissa (mm. Schreuder & Baayen, 1995). Morfologisessa

prosessoinnissa voi siis olla kaksi rinnakkaista prosessointireittiä. Lukuisten tekijöiden on ehdotettu vaikuttavan siihen, kumpaa reittiä prosessoinnissa hyödynnetään (katsaus: Amenta & Crepaldi, 2012). On esimerkiksi näyttöä siitä, että kokonaisvaltaisilla muistiedustuksilla on tärkeä rooli yleisten mutta ei harvinaisten sanojen prosessoinnissa (Meunier & Segui, 1999). Morfologinen jäsenyys voi olla säännöllisten taivutusmuotojen prosessoinnin taustalla, kun taas epäsäännölliset taivutusmuodot prosessoidaan kokonaisvaltaisten muistiedustusten kautta (Lavric, Pizzagalli, Forstmeier & Rippon, 2001). Erään näkemyksen mukaan morfologinen jäsenyys osallistuu *semanttisesti läpinäkyvien* mutta ei *semanttisesti läpinäkymättömien* sanojen prosessointiin (Gonnerman, Seidenberg & Andersen, 2007; Marslen-Wilson, Tyler, Waksler & Older, 1994; McGregor & Shtyrov, 2013). Semanttinen läpinäkyvyys tarkoittaa sitä, kuinka selkeästi sanan merkitys juontuu sen muodostavista morfeemeista. Esimerkiksi *lumisade* on semanttisesti läpinäkyvä sana, mutta *mustasukkainen* ei.

On siis mahdollista, että erilaiset morfologisesti monimutkaiset sanat prosessoidaan eri reittien kautta. Eräs keskeinen ja paljon tutkittu ero liittyy johdosten ja taivutusmuotojen prosessointiin. Johdokset ja taivutusmuodot ovat monessa suhteessa hyvin erilaisia (Marslen-Wilson, 2007). Johdokset ovat omia, uusia sanojaan joiden sanaluokka on usein eri kuin kantasanan ja jotka voivat olla semanttisesti läpinäkymättömiä. Taivutusmuodot puolestaan ovat saman kantasanan eri muotoja, kantasanan kanssa samaan sanaluokkaan kuuluvia ja semanttisesti siihen selkeästi yhteydessä. Aivokuvantamistutkimuksissa onkin havaittu eroja johdosten ja taivutusmuotojen prosessoinnissa (Alvarez, Urrutia, Dominguez & Sanchez-Casas, 2010; Leinonen, Brattico, Järvenpää & Krause, 2008; Leminen ym. 2013; katsaus: Bozic & Marslen-Wilson 2010). Havaitut erot on tulkittu merkiksi siitä, että johdosten prosessoinnissa kokonaisvaltaiset muistiedustukset ovat tärkeässä roolissa, kun taas taivutusmuodot prosessoidaan pääasiassa morfologisen jäsenyyksen kautta (Bozic & Marslen-Wilson, 2010; Leminen ym. 2013).

Edellä kuvatut havainnot viittaavat siihen, että morfologisesti monimutkaisten sanojen prosessoinnissa on kaksi reittiä, sanojen kokonaisvaltaisiin muistiedustuksiin perustuva ja morfologisen jäsenyyksen kautta etenevä. On kuitenkin olemassa näyttöä myös automaattisesta morfologisesta jäsenyyksestä jota tapahtuu paitsi kaikille

morfologisesti monimutkaisille sanoille, myös morfologisesti monimutkaiselta vaikuttaville pseudosanoille (mm. Lavric, Clapp & Rastle, 2007; Rastle, Davis & New, 2004; Marslen-Wilson ym. 2008). Aivotoiminnan tasolla viitteitä morfologisesta jäsennyksestä on havaittu jopa reaktiotehtävissä näkyvien morfologisten efektien puuttuessa (Dominguez, de Vega & Barber, 2004). Automaattiseen morfologiseen jäsennykseen viittaavat tulokset on saatu pääasiassa peitetyn virittämisen (engl. *masked priming*) kokeissa, eli tilanteissa, joissa prosessoitavan sanan ominaisuuksista ei ole tietoisesti saatavilla olevaa tietoa (katsaus: Rastle & Davis, 2008). Kahden rinnakkaisen prosessointireitin olemassaoloon viittaava näyttö puolestaan on saatu tutkimuksissa, joissa prosessoitavat sanat ovat tietoisesti havaittavissa. Tämä voidaan tulkita niin, että morfologinen jäsennyks alkaa automaattisesti varhaisessa sanan tunnistamisen vaiheessa, mutta sanan ominaisuuksia koskeva tieto vaikuttaa saatavilla ollessaan prosessoinnin etenemiseen (Rastle & Davis, 2008).

Yhteenvedon voidaan sanoa, että tämänhetkinen tutkimustieto tukee näkemystä kahdesta rinnakkaisesta reitistä morfologisesti monimutkaisten sanojen prosessoinnissa. Yleisesti vaikuttaa siltä, että sanat, joille on olemassa vahva muistiedustus (kuten yleiset sanat: Meunier & Segui, 1999) tai joita ei voida prosessoida morfologisten sääntöjen kautta (kuten epäsäännölliset taivutusmuodot: Lavric ym. 2001) prosessoidaan kokonaisvaltaisten muistiedustuksien kautta. Morfologista jäsennyksistä taas hyödynnetään silloin kuin se on mahdollista ja kun vahvoja kokonaisvaltaisia muistiedustuksia ei ole. Morfologinen jäsennyks vaikuttaa tosin alkavan automaattisesti kaikkien morfologisesti monimutkaisten sanojen prosessoinnissa (Rastle & Davis, 2008), mutta ilmeisesti sanojen kokonaisvaltaisten muistiedustusten aktivaatio voi keskeyttää tätä reittiä etenevän prosessoinnin. On syytä huomata, että esitetyt tulokset liittyvät pääasiassa visuaalisesti esitettyjen sanojen prosessointiin: kuultujen morfologisesti monimutkaisten sanojen prosessoinnista on vielä melko vähän tutkimustietoa.

1.2. Morfologisen prosessoinnin kehitys lapsuudessa

Kielelliset taidot kehittyvät nopeasti lapsuudessa. Ensimmäisen ikävuoden puolivälin tienoilla vauvat alkavat jokellella, ensimmäisen sanat tuotetaan yleensä ensimmäisen syntymäpäivän vaiheilla, ja kolmen vuoden iässä lapset käyttävät jo kokonaisia lauseita (Kuhl, 2004). 3–4 vuoden iässä lapsi hallitsee pääpiirteissään äidinkieltänsä kieliopin; kielen kehitys tästä iästä eteenpäin liittyy lähinnä sanavaraston kattumiseen, kommunikaatioon liittyvien taitojen kehittymiseen ja monimutkaisempien lauserakenteiden käyttöön ottamiseen (Bates, Thal, Finlay & Clancy, 2002). Morfologisen prosessoinnin kehitys on osa varhaislapsuuden nopeaa kielenkehitystä. Tämä näkyy esimerkiksi taivutusmuotojen lisääntyvänä ja monipuolistuvana käyttönä lasten varttuessa. Suomalaislapset alkavat yleensä käyttää taivutuspäätteitä toisen ikävuoden lopulla, joskin yksilöllinen vaihtelu on huomattavaa, ja kolmen vuoden iässä lapset hallitsevat jo varsin hyvin suomen kielen tyypilliset taivutuspäätteet (Toivainen, 1980). Taivutuspäätteiden käyttäminen on alusta asti pääasiassa asianmukaista ja virheet harvinaisia (Toivainen, 1990).

Eräissä kielissä, joissa sanat ovat selkeästi jaettavissa säännöllisesti ja epäsäännöllisesti taipuviin, on tietyssä kehitysvaiheessa havaittavissa taipumusta säännöllisten taivutusmuotojen ylisoveltamiseen. Esimerkiksi englanninkieliset (Marcus ym. 1992) ja espanjankieliset (Clahsen ym. 2002) lapset tekevät vain vähän taivutusvirheitä, mutta kun virheitä esiintyy, niissä on tyypillisesti kyse epäsäännöllisesti taipuvien sanojen taivuttamisesta siten kuin ne olisivat säännöllisiä. Tällaisia virheitä alkaa esiintyä toisen syntymäpäivän tienoilla tai kolmannen elinvuoden aikana. Virheiden esiintymisajanjaksolle ei ole selkeää loppua, mutta lasten varttuessa virheiden määrä vähenee ja epäsäännöllisten taivutusmuotojen oikea käyttö lisääntyy vähitellen. Säännöllisten taivutusmuotojen ylisoveltamista edeltää ajanjakso, jolloin lapset eivät tee tällaisia virheitä: virheitä sisältävän ajanjakson alkaessa lasten kielellinen suoriutumisen siis tavallaan heikkenee (Clahsen ym. 2002; Marcus ym. 1992). Nämä havainnot on selitetty niin, että lapsi käyttää aluksi aikamuotoja satunnaisesti, mutta jossain vaiheessa hän alkaa käyttää niitä kaikissa asianmukaisissa tilanteissa. Lapsen muistikapasiteetti on kuitenkin rajoittunut ja sanojen muistiedustukset vähäisestä kielellisestä kokemuksesta johtuen heikkoja, mistä syystä epäsäännöllisten taivutusmuotojen mieleen palauttaminen ei aina onnistu

(Marcus ym. 1992). Säännöllinen taivutus on tässä vaiheessa kuitenkin hyvin hallussa, joten lapsi turvautuu tähän kun oikeaa taivutusmuotoa ei löydy (Clahsen ym. 2002; Marcus ym. 1992). Tämä kertoo sääntöihin perustavan lähestymistavan merkityksestä morfologisesti monimutkaisten sanojen tuottamisessa jo varhaisessa lapsuudessa.

Reaktiotehtäviä hyödyntävissä kokeissa on saatu samansuuntaisia tuloksia. Clahsenin ja Fleischhauerin (2014) virityskokeessa (engl. *priming experiment*) säännöllisesti taivutetut verbit tuottivat selvän viritysefektin sekä aikuisilla että 7–10-vuotiailla lapsilla. Epäsäännöllisesti taivutetut verbit sen sijaan tuottivat osittaisen viritysefektin aikuisilla ja 9–10-vuotiailla lapsilla mutta eivät minkäänlaista efektiä nuoremmilla lapsilla. Tämä tulkittiin tueksi näkemykselle jonka mukaan säännölliset taivutusmuodot prosessoidaan morfologisen jäsennyksen kautta ja epäsäännölliset kokonaisvaltaisten muistiedustusten kautta, ja että muistiedustukset vahvistuvat ja niiden mieleen palauttaminen tehostuu lasten varttuessa (Clahsen & Fleischhauer, 2014). Clahsenin ym. (2004) taivutettujen sanojen tuottamista koskevassa tutkimuksessa havaittiin sanan yleisyyden vaikuttavan sen tuottamiseen, mutta eri tavalla säännöllisesti ja epäsäännöllisesti taipuvien sanojen kohdalla. Sekä aikuiset että 5–7-vuotiaat ja 11–12-vuotiaat lapset tuottivat yleisemmät epäsäännöllisesti taipuvat sanat harvinaisempia sanoja nopeammin. Lapset myös tekivät vähemmän virheitä yleisempien sanojen kohdalla; tehdyt virheet liittyivät säännöllisten taivutuspäätteiden ylisoveltamiseen. Aikuiset eivät ylipäätään tehneet juuri lainkaan virheitä. Säännöllisille taivutusmuodoille oli lasten keskuudessa havaittavissa päinvastainen efekti: yleiset säännölliset muodot tuotettiin hitaammin kuin harvinaisemmat (Clahsen, Hadler & Weyerts 2004). Samankaltaisessa, mutta osallistujien työmuistin huomioivassa tutkimuksessa havaittiin matalan työmuistikapasiteetin omaavien aikuisten tuottavan samanlaisia tuloksia kuin lasten (Fleischhauer & Clahsen, 2012). Nämä tulokset on tulkittu niin, että yleisille sanoille, myös säännöllisille taivutusmuodoille, syntyy kokosanaedustus. Epäsäännöllisten taivutusmuotojen tapauksessa sanan yleisyys johtaa vahvempaan muistiedustukseen, mikä tukee sanan prosessointia. Säännöllisten taivutusmuotojen tapauksessa muistiedustuksen aktivaatio puolestaan voi inhiboida morfologiseen jäsennykseen perustavaa prosessointireittiä; matalamman työmuistikapasiteetin omaavien henkilöiden kohdalla kokonaisvaltaisen muistiedustuksen mieleen palauttaminen voi

olla melko tehotonta, mistä syystä tämän prosessointireitin käyttäminen johtaa hitaampaan suoriutumiseen (Clahsen ym. 2004; Fleischhauer & Clahsen, 2012).

Kaiken kaikkiaan saatavilla oleva tutkimustieto viittaa siihen, että sääntöihin perustuva morfologinen prosessointi on vakiintunut jo melko varhaisessa lapsuudessa. Kokonaisvaltaisiin muistiedustuksiin perustuva prosessointi voi sen sijaan olla haastavampaa johtuen lasten yleisesti aikuisia hitaammasta prosessoinnista ja pienemmästä muistikapasiteetista sekä sanojen heikoista muistiedustuksista. On syytä huomata, että lasten morfologisesta prosessointia koskeva kokeellinen tutkimus on pääasiassa keskittynyt varttuneempiin, 5–6-vuotiaisiin ja vanhempiin lapsiin. Nuorempien lasten morfologisesta prosessoinnista on vain vähän tietoa, ja saatavilla oleva tieto perustuu lähinnä havaintoihin kielen kehityksestä. Kokeellista tutkimusta alle 5-vuotiaiden lasten morfologisesta prosessoinnista ei tietääkseni ole lainkaan.

1.3. EEG ja jännitevasteet

Edellä kuvattujen kaltaiset, reaktiotehtäviin perustuvat kokeet voivat tuottaa tietoa morfologisista prosesseista mutta eivät niiden hermostollisesta taustasta. Aivosähkökäyrä (elektroenkefalografia, EEG) on eräs menetelmä joka mahdollistaa kielellisten prosessien tutkimisen aivotoiminnan tasolla. EEG:ssä aivojen sähköistä toimintaa mitataan päänahalle asetettujen elektrodien avulla: mitatut jännitevaihtelut eivät kuvasta yksittäisten solujen toimintaa vaan suurten hermosolujoukkojen synkronista toimintaa. Menetelmällä voidaan seurata aivojen sähköistä toimintaa millisekuntien tarkkuudella, joskin mitatun aktiviteetin tarkan sijainnin paikallistaminen on haastavaa (Luck, 2005). Usein EEG-kokeissa kiinnostuksen kohteena ovat erilaiset tapahtumasidonnaiset jännitevasteet (event-related potential, ERP), eli erilaisten kognitiivisten, sensoristen tai motoristen tapahtumien aiheuttamat aivojen sähköisen toiminnan muutokset. Tällaiset vasteet voivat tuottaa arvokasta, ajallisesti tarkkaa tietoa erilaisista aivoissa tapahtuvista prosesseista (Luck, 2005).

Kielellistä prosessointia koskevissa jännitevaste tutkimuksissa erityisen merkittäviksi nousseita vasteita ovat N400, ELAN, P600 ja MMN. N400 on noin 400 millisekuntia ärsykkeen alun jälkeen huippunsa saavuttava negatiivinen vaste N400, jonka

katsotaan heijastavan semanttista prosessointia (katsaus: Kutas & Federmeier, 2011). ELAN (early left anterior negativity, varhainen vasemmanpuoleinen anteriorinen negatiivisuus) on varhaiseen, automaattiseen syntaktiseen prosessointiin liittyvä negatiivinen vaste, joka saavuttaa huippunsa noin 100–300 millisekuntia ärsykkeen alun jälkeen (mm. Hahne & Friederici, 1999). P600 on noin 600 millisekuntia ärsykkeen alun jälkeen huippunsa saavuttava positiivinen vaste joka heijastaa myöhempää, enemmän tahdonalaista syntaktista prosessointia (mm. Hahne & Friederici, 1999; Kaan, Harris, Gibson & Holcomb, 2000).

Myös ei-kielellisiin prosesseihin liittyvä, mutta kieltä koskevissa tutkimuksissa runsaasti hyödynnetty jännitevaste on poikkeavuusnegatiivisuus (mismatch negativity, MMN). MMN on tapahtumasidonnainen jännitevaste joka syntyy muutoksiin ympäristön säännönmukaisuuksissa riippumatta siitä, kiinnittääkö henkilö huomiota kyseisiin poikkeamiin (Kujala, Tervaniemi & Schröger, 2007). Vaste havaittiin alun perin yksinkertaisille akustisille poikkeamille toistuvien kuuloärsykkeiden sarjoissa (Näätänen, Gaillard & Mäntysalo, 1978), mutta sen on sittemmin havaittu syntyvän myös poikkeamille erilaisista monimutkaisemmista ja abstraktimmista säännönmukaisuuksista (katsaus: Näätänen, Paavilainen, Rinne & Alho, 2007). MMN-tutkimuksissa käytetään yleensä niin kutsuttua oddball-koeasetelmaa, jossa koehenkilölle esitetään äänisarja jossa tiheään esiintyvien, jollain tavalla säännönmukaisten vakioärsykkeiden lomassa on sarjan noudattamaa sääntöä rikkovia poikkeavia ärsykeitä. Koehenkilön huomio yritetään yleensä kääntää pois äänisarjasta tarkkaavaisuudesta riippumattomien prosessien tutkimiseksi. MMN-vaste näkyy tyypillisesti pään keski- ja etuosan elektrodeilla selkeimmin havaittavana negatiivisuutena, joka saavuttaa huippunsa noin 150–250 millisekuntia muutoksen alun jälkeen (Näätänen ym. 2007).

Kielellisten prosessien tutkimuksen kannalta mielenkiintoisia ovat niin kutsutut leksikaalinen ja syntaktinen MMN. Leksikaalinen MMN merkitsee suurempaa MMN-vastetta tunnetuille, merkityksellisille sanoille kuin pseudosanoille. Tämän ilmiön katsotaan johtuvan sanan muistiedustuksen aktivoitumisen vaikutuksesta vasteeseen (Alexander, Boricheva, Pulvermüller & Shtyrov, 2011; Pulvermüller, Shtyrov, Kujala & Näätänen, 2005; Shtyrov, Kujala & Pulvermüller 2009). Tällaisen efektin näkyminen tarkkaavaisuudesta riippumattomassa MMN-vasteessa viittaa sanojen

muistiedustuksien automaattiseen aktivaatioon varhaisessa sanan prosessoinnin vaiheessa (Shtyrov ym. 2009). Sanan yleisyyden on havaittu vaikuttavan vasteen voimakkuuteen, mikä oletettavasti johtuu siitä, että yleisten sanojen muistiedustukset ovat vahvempia (Alexander ym. 2011). Syntaktinen MMN puolestaan viittaa suurempaan MMN-vasteeseen kieliopillisesti virheellisille, väärin muodostetuille virkkeille kuin oikein muodostetuille virkkeille (Bakker, McGregor, Pulvermüller, & Shtyrov 2013; Pulvermüller & Assadollahi, 2007; Shtyrov, Pulvermüller, Näätänen & Ilmoniemi 2003). Kuten MMN yleensäkin, syntaktinen MMN-efekti on havaittavissa tarkkaavaisuudesta riippumatta: tämä viittaa siihen, että jonkinasteista syntaktista prosessointia tapahtuu automaattisesti ja esitietoisesti (Shtyrov ym. 2003). Leksikaalisen MMN:n syntyminen siis viittaa sanojen muistiedustuksien aktivaatioon ja syntaktinen MMN syntaktiseen prosessointiin. Erilaisten morfologisesti monimutkaisten sanojen ja epäsanojen oddball-asetelmassa synnyttämien vasteiden vertailu voi näin ollen tuottaa tietoa siitä, prosessoidaanko sanat leksikaalisesti, muistiedustusten kautta, vai syntaktisesti, morfologisen jäsennyksen kautta.

1.4. Tapahtumasidonnaiset jännitevasteet morfologisesti monimutkaisille sanoille

Varhaista syntaktista prosessointia heijastava LAN-vaste on havaittu sekä taivutusmuotojen (Lück, Hahne & Clahsen, 2006), yhdyssanojen (Koester, Gunter & Wagner, 2006) että johdosten (Palmovic & Maricic, 2008) prosessoinnin yhteydessä. Toisaalta myös semanttiseen prosessointiin yhdistetty N400-vaste on havaittu sekä taivutusmuotojen (mm. Leinonen ym. 2009) että johdosten (mm. Leinonen ym. 2008) prosessoinnin yhteydessä. Leminen ym. (2011) havaitsivat taivutusmuotoihin syntyneiden vasteiden olevan voimakkaammin vasemmalle aivopuoliskolle painottuneita kuin johdoksiin syntyvien vasteiden. Toiminnallista magneettikuvantamista (functional magnetic resonance imaging, fMRI) hyödyntäneet tutkimukset ovat tuottaneet samansuuntaisia tuloksia (katsaus: Bozic & Marslen-Wilson, 2010). Whitingin ym. (2013) tutkimuksessa johdokset ja taivutusmuodot eivät eronneet toisistaan, mutta morfologisesti monimutkaisiin sanoihin syntyvät vasteet olivat yleisesti voimakkaammin vasemmalle painottuneita kuin yksimorfeemisiin sanoihin syntyvät vasteet (Whiting, Marslen-Wilson & Shtyrov, 2013). Vasemmalle painottuneen aivoalueiden verkoston katsotaan liittyvän

kieliopilliseen prosessointiin, kun taas laajempi aivoalueiden aktivaatio viittaa aivokuorella hajautetusti edustettuna olevien muistiedustuksien aktivaatioon (Bozic & Marslen-Wilson, 2010). Kaiken kaikkiaan edellä kuvatut tulokset kertovat sekä syntaktisen että leksikaalisen prosessoinnin merkityksestä morfologisesti monimutkaisten sanojen ymmärtämisessä. Tämä tukee näkemystä kahden rinnakkaisen prosessointireitin olemassaolosta. Kuvatut tulokset eivät kuitenkaan anna selkeää kuvaa näiden prosessointireittien osuudesta erilaisten morfologisesti monimutkaisten sanojen prosessointiin.

Viimeaikaiset MMN-vastetta hyödyntävät tutkimukset ovat tuottaneet selkeämpää tietoa johdosten ja taivutusmuotojen prosessoinnista. Näissä tutkimuksissa on havaittu leksikaalinen MMN johdoksille (Hanna & Pulvermüller 2014; Leminen ym. 2013) ja syntaktinen MMN taivutusmuodoille (Bakker ym. 2013; Leminen ym. 2013). Johdosten tapauksessa sanan yleisyyden on havaittu vaikuttavan MMN:n voimakkuuteen (Hanna & Pulvermüller, 2014; Leminen ym. 2013), kun taas taivutusmuodoille vastaavaa yleisyysvaikutusta ei ole havaittavissa (Leminen ym. 2013). MMN:n on myös havaittu olevan voimakkaampi oikeille johdoksille kuin oikeille taivutusmuodoille (Leminen ym. 2013). Leksikaalinen MMN-aktivaatiokuva johdoksille ja syntaktinen MMN taivutusmuodoille on siis havaittu useammassa eri tutkimuksessa: tällaisia tuloksia on saatu suomea (Leminen ym. 2013), englantia (Bakker ym. 2013) ja saksaa (Hanna & Pulvermüller, 2014) koskevilla tutkimuksilla. Kaiken kaikkiaan MMN-vastetutkimukset tukevat näkemystä, jonka mukaan johdokset prosessoidaan kokonaisvaltaisten muistiedustusten ja taivutusmuodot morfologisen jäsennyksen kautta. Lemisen ym. (2013) havaitsemat suuremmat vasteet oikeille johdoksille kuin oikeille taivutusmuodoille voivat johtua sanojen muistiedustusten aktivaation vaikutuksesta vasteisiin. Tämä viittaa myös siihen, että johdoksille on olemassa voimakkaammat muistiedustukset kuin taivutusmuodoille.

1.5. Tapahtumasidonnaiset jännitevasteet lapsilla

Tapahtumasidonnaisia jännitevasteita on hyödynnetty runsaasti lasten kielellisten prosessien tutkimisessa (katsauksia: Kuhl, 2004; Friederici, 2005). Semanttista ja syntaktista prosessointia heijastavia jännitevasteita on havaittavissa toisesta

elinvuodesta alkaen. N400-vasteen kaltainen negatiivisuus semanttisesti kontekstiin sopimattomille sanoille on havaittu jo 14 kuukauden ikäisillä lapsilla (Friedrich & Friederici, 2005). Lauseissa esiintyvät syntaktiset virheet herättävät myöhäiseksi P600-vasteeksi tulkitun vasteen jo 24 kuukauden iässä (Oberecker & Friederici, 2006). Toisistaan eroavia vasteita semanttisille ja syntaktisille virheille lauseissa on havaittu 30 kuukauden (Silva-Pereya, Klarman, Lin & Kuhl, 2005), 36 ja 42 kuukauden iässä (Silva-Pereya, Rivera-Gaxiola & Kuhl, 2005). Jännitevasteet tarjoavat siis arvokasta tietoa kielellisistä prosesseista jo varhaisessa lapsuudessa.

Kielellisissä jännitevasteissa on havaittavissa eroja eri ikäryhmien välillä. Esimerkiksi Oberecker ja kollegat havaitsivat syntaktisiin virheisiin syntyvän ELAN-vasteen 32 kuukauden ikäisillä (Oberecker, Friedrich & Friederici, 2005) mutta eivät 24 kuukauden ikäisillä lapsilla (Oberecker & Friederici, 2006), kun taas P600-vaste syntyi molemmissa ikäryhmissä. Hahnen ym. (2004) syntaktisesti monimutkaisempia lauseita käyttävässä tutkimuksessa ELAN syntyi 7-vuotiailla ja vanhemmilla, mutta ei 6-vuotiailla lapsilla: P600 taas syntyi myös 6-vuotiailla lapsilla (Hahne, Eckstein & Friederici, 2004). ELAN-vasteen ajatellaan liittyvän varhaiseen, automaattiseen syntaktiseen prosessointiin ja P600-vasteen myöhäisempään, kontrolloidumpaan prosessointiin, ja saadut tulokset on tulkittu merkiksi siitä, että nämä prosessit kehittyvät eri tahtiin (Hahne ym. 2004; Oberecker & Friederici, 2006; Oberecker ym. 2005).

Kaikkia kielellisiä jännitevasteita ei siis välttämättä ole havaittavissa varhaisessa lapsuudessa, vaan ne voivat tulla esiin vähitellen, kielellisen kehityksen myötä. Yleisempi havainto on kuitenkin se, että lapsilla näkyvät samat kielelliset vasteet kuin aikuisilla, mutta viivästyneinä aikuisiin verrattuna. Lasten varttuessa jännitevasteiden latenssit vähitellen pienenevät aikuisia vastaaviksi. Tällaisia havaintoja on tehty sekä nuoria, 32 kuukauden ikäisiä (Oberecker ym. 2005) että varttuneempia, 6–13-vuotiaita lapsia (Budd, Paulmann, Barry & Clahsen, 2013; Budd, Paulmann, Barry & Clahsen, 2015; Clahsen, Lück & Hahne, 2007; Hahne ym. 2004) aikuisiin vertaavissa tutkimuksissa. Sen, että vasteet ovat samankaltaisia kuin aikuisilla, voidaan olettaa kertovan yhtäläisyyksistä myös vasteiden heijastamissa kielellisissä prosesseissa (Friederici, 2005; Männel & Friederici, 2008). Havaitut erot lasten ja aikuisten välillä

voivat johtua yleisesti hitaammasta ja tehottomammasta prosessoinnista pikemmin kuin eroista kielellisissä perusprosesseissa (Clahsen ym. 2007).

Myös MMN voi erota eri ikäryhmissä. Erot voivat liittyä MMN:n ajoituksen ohella myös sen polariteettiin: joissain tutkimuksissa lapsilla on havaittu tyypillisen negatiivisen MMN:n sijaan positiivinen poikkeavuusvaste (mm. Cheng ym. 2013; Friederici, Friedrich & Weber, 2002; Lee ym. 2012; Liu, Chen & Tsao, 2014). Näin ei käy aina: joissain tutkimuksissa jo vastasyntyneillä on havaittu tyypillinen negatiivinen MMN (mm. Martynova, Kirjavainen & Cheour, 2003). Vasteen polariteetin merkitys ei ole selvä, mutta positiivinen poikkeavuusvaste vaikuttaa joka tapauksessa heijastavan samantapaista automaattista poikkeavuuden havaitsemista kuin aikuisille tyypillinen MMN (mm. Friederici ym. 2002, Lee ym. 2012, Cheng ym. 2013, Liu ym. 2014).

Morfologiseen prosessointiin liittyviä jännitevastetutkimuksia on lapsilla tehty vähän. Tietääkseni vain yksi jännitevastetutkimus on käsitellyt kuultujen morfologisesti monimutkaisten sanojen prosessointia. Clahsen ym. (2007) havaitsivat väärin taivutettujen, mutta olemassa olevaan taivutuspäätteeseen päättyvien substantiivien kuulemisen johtavan sekä aikuisilla ja 8–12-vuotiailla lapsilla pään etuosan elektrodeilla näkyvään negatiivisuuteen, jota seurasi P600-vaste. Vasteet olivat lapsilla viivästyneitä aikuisiin verrattuna. Havaittujen vasteiden katsottiin viittaavan syntaktiseen prosessointiin ja näin ollen kuultujen sanojen prosessointiin morfologisen jäsennyksen kautta. Nuoremman, 6-7-vuotiaan ikäryhmän vasteet olivat vaikeammin tulkittavissa, mutta eivät viitanneet pääasiassa morfologisen jäsennyksen kautta etenevään prosessointiin (Clahsen ym. 2007).

Morfologisesti monimutkaisten sanojen tuottamiseen liittyviä, lapsilla tehtyjä jännitevastetutkimuksia on tiedossani kaksi. Buddin ym. (2013) tutkimuksessa säännöllisten ja epäsäännöllisten taivutusmuotojen tuottamiseen liittyvät vasteet erosivat toisistaan aikuisilla ja 10–12-vuotiailla lapsilla. Erojen tulkittiin kertovan siitä, että epäsäännölliset taivutusmuodot tuotettiin palauttamalla mieleen niiden muistiedustukset, kun taas säännölliset taivutusmuodot tuotettiin niiden morfologisen

rakenteen kautta. 7–9-vuotiailla lapsilla vastaavaa eroa ei ollut havaittavissa (Budd ym 2013).

Budd ym. (2015) tutkivat myös englanninkielisten yhdyssanojen sisällä esiintyvien monikkomuotojen tuottamiseen syntyviä vasteita. Englannissa yhdyssanan ensimmäinen osa ei normaalisti taivu: tällaiset taivutusmuodot tulkitaan virheellisinä. Aiemman tutkimustiedon mukaan säännölliset taivutusmuodot (esimerkiksi *ducks feeder*) tulkitaan tässä yhteydessä virheellisemmiksi kuin epäsäännölliset (esimerkiksi *geese feeder*). Sekä 8–12-vuotiailla lapsilla että aikuisilla oli havaittavissa suurempi negatiivisuus säännöllisten kuin epäsäännöllisten monikkomuotojen yhteydessä, minkä tulkittiin kertovan morfologisesta prosessoinnista näiden muotojen tuottamisessa. Efekti oli merkitsevä aikuisilla 300–450 millisekunnin aikaikkunassa ärsykkeen alun jälkeen, ja lapsilla 800–900 millisekunnin aikaikkunassa. Budd ym. (2015) tulkitsivat havaintojensa viittaavan siihen, että sekä lapset että aikuiset käyttivät samankaltaisia, sääntöihin perustuvia prosesseja, jotka kuitenkin olivat lapsilla hitaampia ja tehottomampia kuin aikuisilla.

Näiden vähien tutkimusten perusteella on vaikea tehdä kovin pitkälle meneviä johtopäätöksiä morfologisesti monimutkaisten sanojen prosessoinnista lapsuudessa. Tietääkseni lasten morfologista prosessointia koskevia MMN-tutkimuksia ei ole tehty lainkaan.

1.6. Tutkimuksen tarkoitus

Tässä tutkimuksessa hyödynnettiin MMN-vastetta morfologisesti monimutkaisten sanojen prosessoinnin tutkimiseksi 3–4-vuotiailla suomenkielisillä lapsilla. Tarkoituksena on selvittää mahdollisia eroja johdosten, taivutettujen sanojen ja taivutettujen pseudosanojen prosessoinnissa kyseisessä ikäryhmässä. Keskeinen tutkimuskysymys on se, prosessoivatko lapset johdoksia ja taivutusmuotoja aikuisia vastaavalla tavalla. Ennestään tiedetään, että aikuisilla taivutusmuodoille on havaittavissa syntaktinen MMN ja johdoksille leksikaalinen MMN. Lisäksi johdoksiin syntyvät vasteet ovat suurempia kuin taivutusmuotoihin syntyvät vasteet, mikä on myös tulkittavissa leksikaaliseksi efektiksi (Leminen ym. 2013). Nämä havainnot

viittaavat siihen, että aikuisilla morfologinen jäsenitys on vallitseva prosessointireitti taivutusmuotojen prosessoinnissa, kun taas kokonaisvaltaiset muistiedustukset ovat tärkeässä roolissa johdosten prosessoinnissa. Tässä tutkimuksessa selvitetään, päteekö sama jo varhaislapsuudessa. Tämän voidaan katsoa kertovan yleisemminkin kieliopin ja sanojen muistiedustuksien kehittymisestä.

Lasten morfologista prosessointia koskevat reaktiotehtäviin perustuvat tutkimustulokset ovat viitanneet siihen, että morfologiseen jäsennykseen perustuva prosessointi on melko hyvin vakiintunut jo lapsuudessa, kun taas kokonaisvaltaiset muistiedustukset ja niihin perustuva prosessointi vakiintuvat vähitellen kielellisen kokemuksen karttuessa (mm. Clahsen & Fleischhauer 2014). Kielen kehitystä koskevat, etenkin säännöllisten taivutuspäätteiden ylisoveltamiseen liittyvät havainnot tukevat tätä (Clahsen ym. 2002; Marcus ym. 1992). Tämän perusteella voidaan olettaa, että tutkitun ikäryhmän lasten syntaktinen prosessointi on varsin kehittynyttä, mutta sanojen kokonaisvaltaiset muistiedustukset voivat olla heikompia kuin aikuisilla. Näin ollen päähypoteesina on, että taivutusmuodoille lapsilla on havaittavissa samankaltainen syntaktinen MMN-aktivaatio kuin aikuisilla: taivutettuun pseudosanaan syntyvän vasteen odotetaan siis olevan oikeaan taivutettuun sanaan syntyvää vastetta suurempi. Johdokselle ja oikealle taivutetulle sanalle syntyvän vasteen välillä sen sijaan ei odoteta olevan eroa.

2. Menetelmät

2.1. Koehenkilöt

Kokeeseen osallistui 12 suomenkielistä lasta. Lapset olivat 44–57 kuukauden ikäisiä (keskiarvo 50 kuukautta) eli 3–4-vuotiaita. Lapsista yksi oli tyttö ja 11 poikia. Yksi koehenkilö ei suostunut selkeästi kumpaakaan kättä, kun taas loput olivat oikeakätisiä. Koehenkilöille oli tehty kattava neuropsykologisten testien patteristo 6–10 kuukautta ennen EEG-mittausta. Käytetyt testit olivat WPPSI-III, Nepsy-II, Lukiva-seulaan kuuluva nopean nimeämisen tehtävä (RAN) ja Leiter-R:n osatesteihin kuuluva visuaalisen työmuistin tehtävä. Tehtyjen testien perusteella kaikki koehenkilöt olivat

kielenkehitykseltään normaaleja. WPPSI-III:n perusteella arvioituista älykkyydosamääristä kielellinen älykkyydosamäärä vaihteli välillä 88–118 (keskiarvo 102), suoritusosan älykkyydosamäärä välillä 88–132 (keskiarvo 106) ja kokonaisälykkyydosamäärä välillä 88–123 (keskiarvo 105). Kaikkien älykkyydosamäärien keskiarvo väestössä on 100 ja keskihajonta 15: sekä kielellinen että yleinen kognitiivinen suoriutuminen oli siis ikäryhmässä normaalia. Kokeeseen osallistuminen palkittiin kahdella elokuvalipulla.

2.2. Ärsykkeet ja koeasetelma

Kokeessa oli kolme koetilannetta. Kukin koetilanne koostui kuuloärsykesarjasta, jossa tiheään esiintyvien vakioärsykkeiden lomassa esiintyi harvinaisempia poikkeavia ärsykeitä. Vakioärsyksenä kussakin koetilanteessa toimi joko yksi suomen kielen sana (*laula* tai *laulu*) tai näitä sanoja muistuttava epäšana (*raulu*). Poikkeavat ärsykkeet muodostettiin lisäämällä vakioärsykkeisiin päätte *-ja*. Kyseinen päätte voi suomen kielessä toimia sekä johtimena että monikon partitiivin taivutuspäätteenä. Näin poikkeaviksi ärsykeiksi saatiin johdos *laulaja*, taivutusmuoto *lauluja* sekä ”taivutettu” pseudosana *rauluja*. Ärsykkeet olivat naispuolisen suomenkielisen henkilön tuottamia. Vakioärsykeinä toimivat kantasanat sekä päätte *-ja* äänitettiin erikseen. Kokeessa käytetyt kantasanat valittiin useampien äänitettyjen vaihtoehtojen joukosta: valitut sanat olivat kestoltaan ja perustaajuudeltaan yhtäläisiä. Kannat normalisoitiin niin, että äänienergian huiput olivat kaikissa samat. Poikkeavat ärsykkeet luotiin liittämällä sama äänitetty päätte kaikkiin kantasanoihin. Vakioärsykkeet ja poikkeavat ärsykkeet olivat näin ollen identtisiä päätteen alkuun asti. Ärsykkeiden luomisessa käytettiin Adobe Audition 3.0-ohjelmaa. Kantasanojen pituus oli 408 millisekuntia: kannan ja päätteen välissä oli luonnollinen 12 millisekunnin tauko, ja poikkeavien ärsykkeiden kokonaiskesto oli 602 millisekuntia. Käytetyt ärsykkeet olivat samoja kuin Lemisen ym. (2013) tutkimuksessa.

Poikkeavien ärsykkeiden osuus kussakin ärsykesarjassa oli 18 %. Ärsykkeet esitettiin pseudosatunnaistetussa järjestyksessä niin, että jokaista poikkeavaa ärsykettä seurasi vähintään kaksi vakioärsykettä. Väli yhden ärsyksen alusta seuraavan alkuun oli yksi

sekunti. Koetilanteiden esitysjärjestystä vaihdeltiin systemaattisesti koehenkilöiden välillä.

2.3. Kokeen kulku

Koe suoritettiin äänieristetyssä huoneessa. Koehenkilö istui nojatuolissa katsoen televisioruudulta itse valitsemaansa, ilman ääniä esitettyä animaatioelokuvaa. Ärsykkeet esitettiin kahden kaiuttimen kautta: kaiuttimet oli asetettu televisioruudun oikealle ja vasemmalle puolelle, samalle etäisyydelle ja samaan kulmaan koehenkilöön nähden. Koehenkilöt ohjeistettiin ottamaan mahdollisimman mukava asento ennen kokeen alkua, liikkumaan mahdollisimman vähän kokeen aikana ja olemaan kiinnittämättä huomiota kuuluviin ääniin. Toinen lapsen huoltajista oli aina läsnä koetilanteessa, istuen tuolilla koehenkilön takana. Huoltajia pyydettiin tarvittaessa muistuttamaan koehenkilöä annetusta ohjeistuksesta ja ohjaamaan hänen huomionsa takaisin katsottuun elokuvaan. Jokaisen koetilanteen jälkeen koehenkilöille tarjottiin mahdollisuutta taukoon, joita pidettiin koehenkilön toiveiden ja jaksamisen mukaan.

Koehenkilöille esitettiin myös neljä sarjaa toiseen tutkimukseen liittyviä ääniärsykeitä. Sarjat koostuivat erilaisista tavuista ja näitä akustisilta ominaisuuksiltaan muistuttavista ei-kielellisistä ärsykeistä. Näiden sarjojen kokonaiskesto oli noin 16 minuuttia, ja ne esitettiin ennen tämän tutkimuksen koetilanteita.

2.4. Aivosähkökäyrän rekisteröinti, käsittely ja analysointi

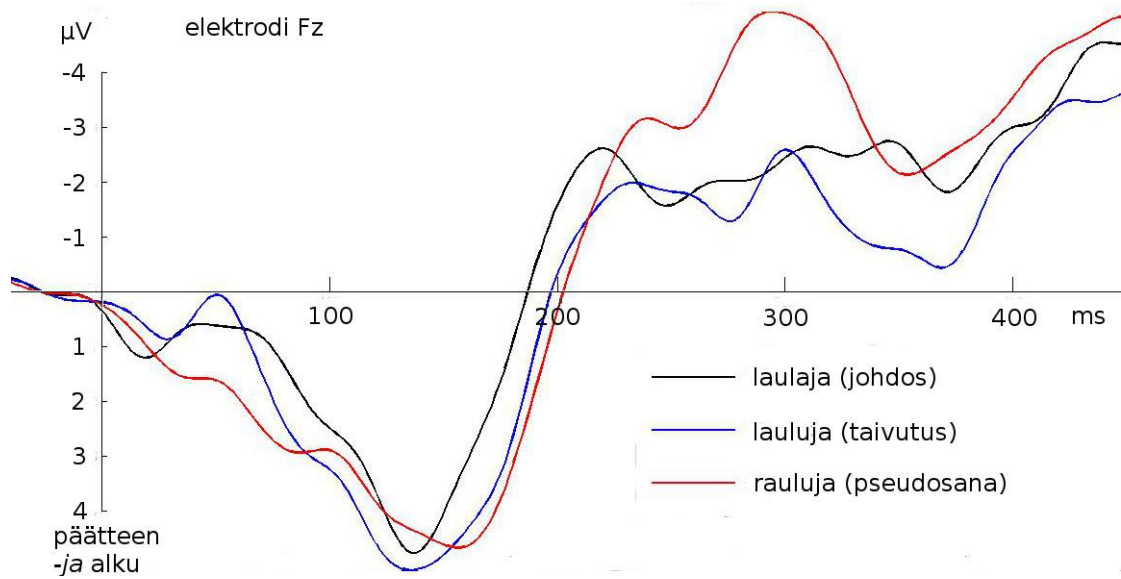
Aivosähkökäyrä rekisteröitiin käyttäen BioSemi ActiveTwo-järjestelmää (BioSemi, Inc., Alankomaat). Käytössä oli 64 elektrodimyssyyn kiinnitettyä elektrodiä sekä kaksi vasemmalle ja oikealle mastoidille kiinnitettyä irtoelektrodiä. Käytetty näytteenottotaajuus oli 512 Hz, ja elektrodi PO1 toimi referenssielektrodina mittauksen aikana. Aivosähkökäyrän rekisteröinnissä käytettiin BioSemi ActiView 5.3-ohjelmaa.

EEG-aineiston käsittelyssä käytettiin BESA Research 6.0-ohjelmaa (BESA Software GmbH, Saksa). Aineisto uudelleenreferoitiin mastoidien keskiarvoon ja suodatettiin kaistanpäästöllä välillä 0.5–45 Hz. Silmänliikkeistä ja silmänräpäytyksistä johtuvat häiriöt korjattiin PCA-menetelmää käyttäen. Muut häiriöt poistettiin hylkäämällä jaksot joissa EEG:n amplitudi ylitti 150 mikrovoltia. Näiden toimenpiteiden jälkeen hyväksytyjä vasteita poikkeaville ärsykeille jäi keskimäärin 92 koetilannetta ja koehenkilöä kohti (keskihajonta 12). Tapahtumasidonnaisten jännitevasteiden analysoimiseksi aineisto keskiarvoistettiin jaksoissa, jotka alkoivat 100 millisekuntia ennen sanan alkua ja lopuivat 1000 millisekuntia sanan alun jälkeen. MMN-vasteiden analysoimiseksi vakioärsykeille syntyneet vasteet vähennettiin poikkeaville ärsykeille syntyneistä vasteista kussakin koetilanteessa.

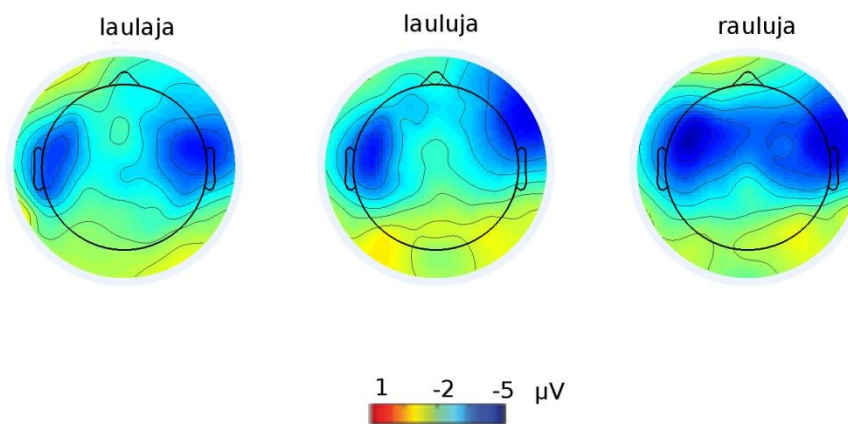
MMN-vasteiden kuvaajien visuaalisen tarkastelun perusteella tilastollisten analyysien kohteeksi valittiin kolme aikaikkunaa, 140–160, 289–309 ja 309–329 millisekuntia päätteän *-ja* alkamisen jälkeen. Analyysit tehtiin toistomittausten varianssianalyysiä käyttäen elektrodille Fz. MMN on tyypillisesti voimakkain tällä elektrodilla (Kujala ym. 2007, Näätänen ym. 2007), ja koetilanteiden väliset erot olivat myös silmämääräisesti arvioiden suurimpia tällä elektrodilla. Analyyseissä tarkasteltiin kolmitasoisien muuttujan Koetilanne (johdos *laulaja*, taivutettu *lauluja*, taivutettu pseudosana *rauluja*) päävaikutuksia jännitevasteiden amplitudeihin. Analyysit tehtiin SPSS-ohjelman versiolla 20.

3. Tulokset

MMN-vasteita kuvaavat vähennyskäyrät näkyvät kuvassa 1. Kuten kuvasta näkyy, kaikkiin poikkeaviin ärsykeisiin syntyi ensiksi positiivinen vaste, jonka huippu oli noin 140–160 millisekuntia *-ja*-päätteän alkamisen jälkeen. Tämä vaste oli Fz- elektrodilta t-testillä arvioituna merkitsevä kaikissa koetilanteissa ($p < 0.01$ kaikissa koetilanteissa). Positiivisuutta seurasi negatiivinen vaste, jonka huippu oli myöhäisempien tarkasteltujen aikaikkunoiden (289–309 ja 309–329 millisekuntia) kohdalla. Negatiivinen vaste oli merkitsevä johdos- ja pseudosanatilanteissa ($p < 0.05$) mutta ei taivutettu sana-tilanteessa. Kuvassa 2 näkyy mitattujen vasteiden jakauma pään pinnalla.



Kuva 1. Keskiarvoistetut MMN-vähennyskäyrät Fz-elektrodilta mitattuna. Aikapiste 0 on päätteen *-ja* alku. X-akseli kuvaa aikaa millisekunteina ja y-akseli aivosähkökäyrän amplitudia mikrovolteina



Kuva 2. Topografiset kartat MMN-vasteista eri koetilanteissa aikaikkunassa 309–329 millisekuntia päätteen alun jälkeen.

Muuttujan Koetilanne päävaikutus löytyi testatulta elektrodilta Fz 309–329 millisekunnin aikaikkunasta päätteen alkamisen jälkeen [$F(2,11)=3.62$, $p=0.04$]. Koetilanteiden parittaisvertailut osoittivat pseudosana-tilanteeseen syntyneen negatiivisen vasteen olevan merkitsevästi taivutettu sana-tilanteeseen syntynyttä

vastetta suurempi ($p=0.007$). Johdos-tilanne ei eronnut merkitsevästi kummastakaan muusta tilanteesta. Muista aikaikkunoista ei löytynyt merkitseviä päävaikutuksia.

4. Pohdinta

Tässä tutkimuksessa hyödynnettiin MMN-paradigmaa morfologisesti monimutkaisten sanojen prosessoinnin tutkimiseksi 3–4-vuotiailla lapsilla. Koehenkilöille esitettiin ääniärsykesarjoja, jotka koostuivat usein toistuvista, yksimorfeemisista vakioärsykkeistä sekä kyseisistä vakioärsykkeistä päätteellä *-ja* muodostetuista, harvoin esiintyvistä poikkeavista ärsykkeistä. Näin saatiin kolme koetilannetta, joissa poikkeavina ärsykkeenä toimivat johdos (*laulaja*), oikea taivutettu sana (*lauluja*) ja taivutettu pseudosana (*rauluja*). Tarkastelun kohteena olivat poikkeaviin ärsykkeisiin heränneet jännitevasteet ja vasteiden erot koetilanteiden välillä. Asetetut hypoteesit olivat, että pseudosana *rauluja* tuottaa suuremman vasteen kuin oikea taivutettu sana *lauluja*, mutta johdos *laulaja* ei tuota suurempaa vastetta kuin taivutettu sana. Hypoteesien taustalla oli oletus siitä, että syntaktinen prosessointi on varsin kehittynyttä jo varhaislapsuudessa, kun taas sanojen kokonaisvaltaiset muistiedustukset vakiintuvat hitaammin kielellisen kokemuksen karttuessa. Käytettyjen ärsykkeiden akustiset ominaisuudet oli tiukasti kontrolloitu, ja fysikaalinen poikkeama vakioärsykkeen ja poikkeavan ärsykkeen välillä (*-ja*-päätte) oli identtinen kaikissa koetilanteissa. Näin ollen erojen koetilanteiden välillä voidaan olettaa johtuvan kielelliseen prosessointiin liittyvistä pikemmin kuin ärsykkeiden fysikaalisiin ominaisuuksiin liittyvistä eroista.

Kaikissa koetilanteissa poikkeaviin ärsykkeisiin syntyi aluksi positiivinen vaste, jonka huippu oli noin 140–160 millisekuntia päätteän *-ja* alkamisen jälkeen. Tämän vasteen aikana ei ollut havaittavissa eroja eri koetilanteiden välillä. Varhaista positiivisuutta seurasi negatiivinen vaste, joka 309–329 millisekuntia päätteän alun jälkeen oli merkitsevästi suurempi taivutetulle pseudosanalle *rauluja* kuin oikealle taivutusmuodolle *lauluja*. Johdos *laulaja* ei eronnut merkitsevästi kummastakaan taivutusmuodosta. Negatiivisen vasteen osalta koetilanteiden väliset erot olivat siis asetettujen hypoteesien mukaisia.

4.1 Varhainen positiivisuus

Ensimmäinen poikkeaviin ärsykkeisiin syntynyt vaste oli positiivinen. Tämä poikkeaa aikuisilla tehdyistä morfologista prosessointia koskevista MMN-tutkimuksista, joissa poikkeaviin ärsykkeisiin syntyi tyypillinen negatiivinen MMN-vaste (Bakker ym. 2013; Hanna & Pulvermüller, 2014; Leminen ym. 2013). Negatiivisuuden sijaan positiivisuutena näkyvästä poikkeavuusvasteesta on lapsilla ennestään havaintoja (mm. Friederici ym. 2002, Liu ym. 2014) ja vasteen aikaikkuna 140–160 millisekuntia päätteen alkamisesta oli tyypillinen MMN:lle (Näätänen ym. 2007). Havaittu positiivisuus voidaan näin ollen tulkita MMN:n kaltaisena, varhaista ärsykemuutoksen havaitsemista heijastavana poikkeavuusvasteena.

Varhaisen positiivisuuden aikana eri koetilanteiden välillä ei ollut eroja. Ilmeisesti lasten aivot eivät siis tässä vaiheessa prosessoineet erilaisia morfologisesti monimutkaisia sanoja toisistaan poikkeavilla tavoilla. Mahdollisesti vaste syntyi lähinnä vakioärsykkeiden ja poikkeavien ärsykkeiden väliselle fysikaaliselle poikkeamalle, joka oli kaikissa koetilanteissa yhtä suuri. Tämä poikkeaa Lemisen ym. (2013) aikuisilla tehdystä tutkimuksesta, jossa erot sekä johdosten ja taivutusmuotojen että oikeiden sanojen ja pseudosanojen välillä olivat havaittavissa jo noin 100 millisekuntia päätteen alun jälkeen.

4.2. Myöhäisempi negatiivisuus

Myöhemmän negatiivisuuden aikana 309–329 millisekunnin aikaikkunassa eri koetilanteet erosivat toisistaan hypoteesien mukaisella tavalla. Taivutettuun pseudosanaan *rauluja* siis syntyi suurempi vaste kuin taivutettuun oikeaan sanaan *lauluja*, kun taas johdokseen *laulaja* syntynyt vaste ei eronnut merkitsevästi kumpaankaan taivutusmuotoon syntyneestä vasteesta. Taivutetun sanan ja pseudosanan osalta havaittu aktivaatiokuvio muistuttaa niin kutsuttua syntaktista MMN:ää (Bakker ym. 2013; Pulvermüller & Assadollahi, 2007; Shtyrov ym. 2003). Syntaktisen MMN:n katsotaan heijastavan varhaista, automaattista syntaktista prosessointia (mm. Shtyrov ym. 2013). Tulokset viittaavat siis siihen, että lasten aivot prosessoivat taivutettuja sanoja syntaktisesti, morfologista jäsenystä hyödyntäen.

Tämä vastaa aiempia tutkimustuloksia aikuisten taivutusmuotojen prosessoinnista (mm. Bakker ym. 2013; Leminen ym. 2013).

Taivutusmuotojen prosessointi tutkitussa ikäryhmässä ei kuitenkaan ollut täysin samanlaista kuin aikuisilla. Ero taivutetun pseudosanaan ja taivutettuun oikeaan sanaan syntyneissä vasteissa oli havaittavissa huomattavasti myöhemmin kuin esimerkiksi Lemisen ym. (2013) tutkimuksessa. Useat aiemmat tutkimukset ovat osoittaneet lasten kielellisten jännitevasteiden olevan tyypillisesti viivästyneitä aikuisiin verrattuna (mm. Budd ym. 2013; Budd ym. 2015; Clahsen ym. 2007; Oberecker ym. 2005). Vasteiden viivästyneisyyden on ehdotettu liittyvän eroihin yleisessä prosessoinnin nopeudessa ja tehokkuudessa pikemmin kuin erityisesti kieleen liittyvissä prosesseissa (mm. Clahsen ym. 2007). Esimerkiksi työmuistikapasiteetin tiedetään vaikuttavan kielelliseen prosessointiin (Fleischhauer & Clahsen 2012), ja erot tämänkaltaisissa kognitiivisissa kyvyissä voivat selittää hitaamman kielellisen prosessoinnin lapsuudessa. Tämän perusteella voidaan olettaa, että tässä tutkimuksessa havaittu aktivaatio heijastaa samanlaista, mutta hitaammin tapahtuvaa prosessointia kuin Lemisen ym. (2013) koehenkilöillä havaittu syntaktinen MMN. Morfologiseen jäsennykseen perustuva prosessointi vaikuttaa siis olevan vakiintunut ja tärkeässä roolissa taivutusmuotojen prosessoinnissa jo varhaisessa lapsuudessa.

Johdokseen *laulaja* syntyneet vasteet eivät eronneet merkitsevästi kummassakaan muussa koetilanteessa havaituista vasteista. Tämä tulos poikkesi Lemisen ym. (2013) kokeesta, jossa johdosten havaittiin tuottavan voimakkaampia vasteita kuin taivutettujen sanojen. Leminen ym. (2013) tulkitsivat tämän johtuvan johdosten kokonaisvaltaisten muistiedustuksien aktivaatiosta. Kyseinen tulkinta viittaa siihen, että johdokset prosessoidaan muistiedustustensa mutta taivutusmuodot morfologisen purkamisen kautta. Vastaavan eron puuttuminen tässä tutkimuksessa voi viitata siihen, että tutkitun ikäryhmän lapsilla ei ole vahvoja kokonaisvaltaisia muistiedustuksia johdoksille. Aiempien tutkimusten perusteella on esitetty, että sanojen muistiedustuksiin perustuva prosessointi olisi lapsilla tehottomampaa ja vähemmän vakiintunutta kuin aikuisilla (mm. Clahsen & Fleischhauer, 2014; Clahsen ym. 2007). Tähän viittaavia tuloksia on saatu sekä morfologisesti monimutkaisten sanojen prosessointia (Clahsen & Fleischhauer, 2014; Clahsen ym. 2007) että tuottamista

(Clahsen ym. 2004; Fleischhauer & Clahsen, 2012) koskevissa tutkimuksissa. Säännöllisten taivutuspäätteiden ylisoveltamista lapsuudessa koskevat havainnot (Clahsen ym. 2002; Marcus ym. 1992) puolestaan viittaavat siihen, että muistiedustusten mieleen palauttamisen epäonnistuessa lapset voivat turvautua vakiintuneisiin, sääntöihin perustuviin prosesseihin taivutusmuotojen tuottamisessa. Näiden havaintojen perusteella voidaan spekuloida, että 3–4-vuotiailla lapsilla ei vielä ole vahvoja, vakiintuneita muistiedustuksia johdoksille. Mahdollisesti he prosessoivat niitä taivutusmuotojen tapaan morfologisen jäsennyksen kautta, joskaan tätä ei tämän tutkimuksen perusteella voida sanoa varmuudella.

4.3. Yhteydet aiempiin jännitevastetutkimuksiin

Lasten morfologista prosessointia koskevia jännitevastetutkimuksia on aiemmin tehty vain muutamia (Budd ym. 2013; Budd ym. 2015; Clahsen ym. 2007). Näissä tutkimuksissa ei ole saatu näyttöä morfologisesta jäsentämisestä kovin nuorilla lapsilla. Clahsenin ym. (2007) tutkimuksessa morfologiseen jäsentämiseen viittaavia tuloksia saatiin 8-vuotiailla ja vanhemmilla mutta ei sitä nuoremmilla lapsilla, kun taas Budd ym. (2013) havaitsivat viitteitä morfologisesta jäsentämisestä 10–12-vuotiailla mutta eivät 7–9-vuotiailla lapsilla. Aiemmistä tutkimuksista poiketen tämä tutkimus tuotti näyttöä morfologisesta jäsentämisestä jo 3–4-vuoden iässä.

Tämä johtuu mahdollisesti koeasetelmiin liittyvistä eroista. Aiemmissä tutkimuksissa koehenkilöillä on ollut suoritettavanaan jonkinlainen tarkkaavaisuutta vaativa tehtävä (Budd ym. 2013; Budd ym. 2015; Clahsen ym. 2007). Tällaiset tutkimukset tuottavat tietoa tietoisesta prosessoinnista. Tässä tutkimuksessa hyödynnetyn MMN-vasteen sen sijaan ajatellaan kertovan automaattisesta, tarkkaavaisuudesta riippumattomasta prosessoinnista (Näätänen ym. 2007). Käytetty koeasetelma siis tuottaa varsin erilaista tietoa kuin aiemmissä tutkimuksissa hyödynnetyt menetelmät.

Toinen mahdollinen selitys liittyy tutkittujen kielten välisiin eroihin. Aiemmissä tutkimuksissa on käytetty saksaa (Clahsen ym. 2007) tai englantia (Budd ym. 2013; Budd ym. 2015). Suomi on näihin kieliin verrattuna morfologisesti rikas: monet asiat, jotka englannissa ilmaistaisiin useammalla sanalla, voidaan suomessa ilmaista

esimerkiksi taivutuspäätteiden avulla. Esimerkiksi *äidi+lle+ni* on yksi morfologisesti monimutkainen sana, kun taas englannissa vastaava asia ilmaistaisiin kolmella yksimorfeemisella sanalla, *for my mother*. Morfologisesti monimutkaisilla rakenteilla on siis erityisen merkittävä rooli suomen kielessä, ja morfologinen jäsenitys voi näin ollen olla erityisen vallitsevaa. Aiemmat tutkimukset viittaavatkin siihen, että lähes kaikki suomen kielen taivutusmuodot prosessoidaan morfologisen jäsenityksen kautta, ja ainoastaan harvoille, kaikkein yleisimmille muodoille syntyy vahva kokonaisvaltainen muistiedustus (Vartiainen ym. 2009). Erilaisesta kielellisestä kokemuksesta johtuen morfologiseen jäsenitykseen perustuva prosessointi saattaa kehittyä ja vakiintua varhemmin suomenkielisten kuin vaikkapa englanninkielisten lasten keskuudessa.

4.4. Tutkimuksen puutteet ja ehdotuksia jatkotutkimuksiin

Tämän tutkimuksen otoskoko oli melko pieni. Lisäksi koehenkilöiden sukupuolijakauma oli voimakkaasti vinoutunut: 12 koehenkilöstä vain yksi oli tyttö. Kerätty data oli tosin varsin hyvälaatuista ja vasteet melko selkeitä. Tulokset olivat hypoteesien mukaisia, teoreettisesti järkeenkäyviä ja aiemman tutkimustiedon kanssa yhteensopivia. Otokseen liittyvät puutteet on kuitenkin syytä pitää mielessä tuloksia yleistettäessä. Lisätutkimukset edustavammilla ja suuremmilla otoksilla ovat tarpeen saatujen tulosten vahvistamiseksi.

Koska koehenkilöt olivat pieniä lapsia, kokeen pituutta jouduttiin rajoittamaan heidän jaksamisensa mukaiseksi. Tästä syystä käytetty koeasetelma oli suppeampi kuin Lemisen ym. (2013) tutkimuksessa. Tässä kokeessa ei ollut mukana johdettua pseudosanaa. Näin ollen oikean sanan ja pseudosanan herättämiä vasteita voitiin verrata toisiinsa taivutusmuotojen mutta ei johdosten osalta. Tämä rajoittaa jossain määrin sitä, millaisia johtopäätöksiä johdosten prosessoinnista voidaan tämän tutkimuksen perusteella tehdä. Johdetun pseudosanan ottaminen mukaan tuleviin tutkimuksiin mahdollistaisi sen selvittämisen, onko johdosten tapauksessa havaittavissa leksikaalinen MMN-aktivaatiokuvaio, syntaktinen MMN-kuvio vai ei kumpaakaan. Leksikaalinen MMN vastaisi aikuisilla saatuja tuloksia (mm. Leminen ym. 2013) ja viittaisi johdosten kokonaisvaltaisiin muistiedustuksiin perustuvaan

prosessointiin. Syntaktinen MMN puolestaan viittaisi siihen, että lapset prosessoivat johdoksia taivutusmuotojen tapaan syntaktisen jäsennyksen kautta.

4.5. Yhteenveto

Tässä tutkimuksessa saatiin näyttöä siitä, että 3–4-vuotiaiden suomenkielisten lasten aivot hyödyntävät morfologista jäsennyttä taivutusmuotojen prosessoinnissa. Johdosten prosessoinnista ei voida tehdä yhtä vahvoja johtopäätöksiä. Vaikuttaa kuitenkin siltä, että tutkitun ikäryhmän lapsilla ei vielä ole vahvoja kokonaisvaltaisia muistiedustuksia johdoksille. Vakiintuneesta morfologiseen jäsennykseen perustuvasta prosessoinnista ja vähemmän vakiintuneesta kokonaisvaltaisiin muistiedustuksiin perustuvasta prosessoinnista lapsuudessa on ennestään reaktiotehtäviin (mm. Clahsen & Fleischhauer, 2014) ja kielen kehitystä koskeviin havaintoihin (Clahsen ym. 2002; Marcus ym. 1992) perustuvaa näyttöä. Tässä tutkimuksessa saadut tulokset ovat yhdenmukaisia näiden aiempien tutkimusten kanssa. Kielen kehityksen kannalta saadut tulokset viittaavat siihen, että taivutusmuotojen prosessointi tapahtuu aikuisia vastaavalla tavalla jo varhaisessa lapsuudessa, kun taas johdosten prosessointi voi kehittyä aikuisia muistuttavaksi hitaammin. Yleisemmällä tasolla tulosten voidaan katsoa kertovan siitä, että syntaktinen prosessointi kehittyy varhain, kun taas sanojen kokonaisvaltaiset muistiedustukset vakiintuvat vähitellen kielellisen kokemuksen karttumisen myötä.

Jännitevastetutkimuksiin perustuva tieto lasten morfologisesta prosessoinnista on ennestään vähäistä, ja aiemmissa tutkimuksissa ei ole saatu selkeää näyttöä morfologisesta jäsentämisestä nuorilla lapsilla. Sekä reaktiotehtävä- että jännitevastetutkimuksissa on aiemmin tutkittu lähinnä tämän tutkimuksen koehenkilöitä vanhempia, yleensä 6-vuotiaita tai vanhempia lapsia. Tämän tutkimuksen tulokset ovat näin ollen tietääkseni ensimmäistä jännitevastetutkimuksiin perustuvaa näyttöä siitä, että jo 3–4-vuotiaiden aivot hyödyntävät morfologista jäsennyttä taivutusmuotojen prosessoinnissa.

Lähteet

- Alexandrov, A. A., Boricheva, D. O., Pulvermüller, F., Shtyrov, Y. (2011). Strength of Word-Specific Neural Memory Traces Assessed Electrophysiologically. *PLoS ONE*, 6:8. doi:10.1371/journal.pone.0022999.
- Alvarez, C., Urrutia, M., Dominguez, A. & Sanchez-Casas, R. (2010). Processing inflectional and derivational morphology: Electrophysiological evidence from Spanish. *Neuroscience Letters*, 490, 6–10.
- Amenta, S. & Crepaldi, D. (2012). Morphological processing as we know it: an analytical review of morphological effects in visual word identification. *Frontiers in Psychology*, 3, 1–12.
- Bakker, I., McGregor, L. J., Pulvermüller, F. & Shtyrov, Y. (2013). Past tense in the brain's time: Neurophysiological evidence for dual-route processing of past-tense verbs. *NeuroImage*, 7, 187–195.
- Bates, E., Thal, D., Finlay, B. & Clancy, B. (2002). Early language development and its neural correlates. Teoksessa S. J. Segalowitz & I. Rapin (Toim.) *Handbook of Neuropsychology*, 2nd Edition (Vol. 8, Part II, ss. 2-39). Amsterdam: Elsevier.
- Bertram, R., Laine, M. & Virkkala, M. M. (2000). The role of derivational morphology in vocabulary acquisition: Get by with a little help from my morpheme friends. *Scandinavian Journal of Psychology*, 41, 287–296.
- Bozic, M. & Marslen-Wilson, W. (2010). Neurocognitive Contexts for Morphological Complexity: Dissociating Inflection and Derivation. *Language and Linguistics Compass*, 4(11), 1063–1053.
- Budd, M-J., Paulmann, S., Barry, C. & Clahsen, H. (2013). Brain potentials during language production in children and adults: An ERP study of the English past tense. *Brain & Language*, 127, 345–355.
- Budd, M-J., Paulmann, S., Barry, C. & Clahsen, H. (2015). Producing morphologically complex words: An ERP study with children and adults. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 12, 51–60.

- Butterworth, B. (1983). Lexical representation. Teoksessa B. Butterworth (toim.) *Language Production*, Vol. 2, ss. 257–294). Lontoo: Academic Press.
- Cheng, Y., Wu, H., Tzeng, Y., Yang, M., Zhao, L. & Lee, C. (2013). The Development of Mismatch Responses to Mandarin Lexical Tones in Early Infancy. *Developmental Neuropsychology*, 38, 281–300.
- Clahsen, H., Aveledo, F. & Roca, I. (2002). The development of regular and irregular verb inflection in Spanish child language. *Journal of Child Language*, 29, 591–622.
- Clahsen, H. & Fleischhauer, E. (2014). Morphological priming in child German. *Journal of Child Language*, 41, 1305–1333.
- Clahsen, H., Hadler, M. & Weyerts, H. (2004). Speeded production of inflected words in children and adults. *Journal of Child Language*, 31, 683–712.
- Clahsen, H., Lück, M. & Hahne, A. (2007). How children process over-regularizations: Evidence from event-related brain potentials. *Journal of Child Language*, 34, 601–622.
- Dominguez, A., de Vega, M. & Barber, H. (2004). Event-related Brain Potentials Elicited by Morphological, Homographic, Orthographic, and Semantic Priming. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, 598–608.
- Fleischhauer, E. & Clahsen, H. (2012). Generating Inflected Word Forms in Real Time: Evaluating the Role of Age, Frequency, and Working Memory. Teoksessa Biller, A., Chung, E. & A. Kimball (toim.), *Proceedings of the 36th annual Boston University Conference on Language Development* (Vol. 1, ss. 164–176). Somerville: Cascadilla Press.
- Friederici, A. D. (2005). Neurophysiological markers of early language acquisition: from syllables to sentences. *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 481–488.
- Friederici, A. D., Friedrich, M. & Weber, C. (2002). Neural manifestation of cognitive and precognitive mismatch detection in early infancy. *Neuroreport*, 13, 1251–1254.
- Friedrich, M. & Friederici, A. D. (2005). Lexical priming and semantic integration reflected in the event-related potential of 14-month-olds. *Neuroreport*, 16, 653–656.

- Gonnerman, L., Seidenberg, M. & Andersen, E. (2007). Graded Semantic and Phonological Similarity Effects in Priming: Evidence for a Distributed Connectionist Approach to Morphology. *Journal of Experimental Psychology: General*, *13*, 323–345.
- Hahne, A., Eckstein, K. & Friederici, A. D. (2004). Brain Signatures of Syntactic and Semantic Processes during Children’s Language Development. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *16*, 1302–1318.
- Hahne, A. & Friederici, A. D. (1999). Electrophysiological Evidence for Two Steps in Syntactic Analysis: Early Automatic and Late Controlled Processes. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *11*, 194–205.
- Hanna, J. & Pulvermüller, F. (2014). Neurophysiological evidence for whole form retrieval of complex derived words: a mismatch negativity study. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*:886. doi:10.3389/fnhum.2014.00886.
- 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. (2004). *Yleinen kielitiede*. Helsinki: Yliopistopaino Kustannus.
- Koester, D., Gunter, T. C. & Wagner, S. (2006). The morphosyntactic decomposition and semantic composition of German compound words investigated by ERPs. *Brain and Language*, *102*, 64–79.
- Kuhl, P. K. (2004). Early Language Acquisition: Cracking the Speech Code. *Nature Reviews Neuroscience*, *5*, 831–843.
- Kujala, T., Tervaniemi, M. & Schröger, E. (2007). The mismatch negativity in cognitive and clinical neuroscience: Theoretical and methodological considerations. *Biological Psychology*, *74*, 1–19.
- Kutas, M. & Federmeier, K. D. (2011). Thirty Years and Counting: Finding Meaning in the N400 Component of the Event-Related Brain Potential (ERP). *Annual Review of Psychology*, *62*, 621–647.

- Lavric, A., Clapp, A. & Rastle, K. (2007). ERP Evidence of Morphological Analysis from Orthography: A Masked Priming Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19:5, 866–877.
- Lavric, A., Pizzagalli, D., Forstmeier, S. & Rippon, G. (2001). Mapping dissociations in verb morphology. *Trends in Cognitive Sciences*, 5, 301–308.
- Leinonen, A., Brattico, P., Järvenpää, M. & Krause, C. (2008). Event-related potential (ERP) responses to violations of inflectional and derivational rules of Finnish. *Brain Research*, 1218, 181–193.
- Leminen, A. & Clahsen, H. (2013). Brain potentials to inflected adjectives: Beyond storage and decomposition. *Brain Research*, 1543, 223–234.
- Leinonen, A., Grönholm-Nyman, P., Järvenpää, M., Söderholm, C., Lappi, O., Laine, M. & Krause, C. M. (2009). Neurocognitive processing of auditorily and visually presented inflected words and pseudowords: Evidence from a morphologically rich language. *Brain Research*, 1275, 54–66.
- Leminen, A., Leminen, M., Kujala, T. & Shtyrov, Y. (2013). Neural dynamics of inflectional and derivational morphology processing in the human brain. *Cortex*, 49, 2758–2771.
- Leminen, A., Leminen, M., Lehtonen, M., Nevalainen, P., Ylinen, S., Kimppa, L., Sannemann, C., Mäkelä, J. P. & Kujala, T. (2011). Spatiotemporal dynamics of the processing of spoken inflected and derived words: a combined EEG and MEG study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5, 1–14.
- Lee, C., Yen, H., Yeh, P., Lin, W., Cheng, Y., Tzeng, Y. & Wu, H. (2012). Mismatch responses to lexical tone, initial consonant, and vowel in Mandarin-speaking preschoolers. *Neuropsychologia*, 50, 3228–3239.
- Liu, H., Chen, Y. & Tsao, F. (2014). Developmental Changes in Mismatch Responses to Mandarin Consonants and Lexical Tones from Early to Middle Childhood. *PLOS ONE*, 9. doi:10.1371/journal.pone.0095587.
- Luck, S. J. (2005). *An introduction to the event-related potential technique*. Cambridge, MA: MIT Press.

- Lück, M., Hahne, A. & Clahsen, H. (2006). Brain potentials to morphologically complex words during listening. *Brain Research*, 1077, 144–152.
- Marcus, G. F., Pinker, S., Ullman, M., Hollander, M., Rosen, T. & Xu, F. (1992). Overregularization in language acquisition. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 57, 1–182.
- Marslen-Wilson, W. D. (2007). Morphological Processes in language Comprehension. Teoksessa Gaskell, M. G. (toim.) *The Oxford Handbook of Psycholinguistics* (doi: 10.1093/oxfordhb/9780198568971.013.0011). Oxford: Oxford University Press.
- Marslen-Wilson, W. D., Tyler, L. K., Waksler, R. & Older, L. (1994). Morphology and Meaning in the English Mental Lexicon. *Psychological Review*, 101, 3–33.
- Marslen-Wilson, W. D., Bozic, M. & Randall, B. (2008). Early decomposition in visual word recognition: Dissociating morphology, form, and meaning. *Language and Cognitive Processes*, 23, 394–421.
- Martynova, O., Kirjavainen, J. & Cheour, M. (2003). Mismatch negativity and late discriminative negativity in sleeping human newborns. *Neuroscience Letters*, 340, 75–78.
- McGregor, L. & Shtyrov, Y. (2013). Multiple routes for compound word processing in the brain: Evidence from EEG. *Brain & Language*, 126, 217–229.
- Männel, C. & Friederici, A. D. (2008). Event-related brain potentials as a window to children's language processing: From syllables to sentences. Teoksessa Sekerina, I. A., Fernández, E.M. & Clahsen, H. (toim.) *Developmental Psycholinguistics: On-line methods in children's language processing* (ss. 29–72). Amsterdam: John Benjamins.
- Näätänen, R., Gailard, A. W. K. & Mäntysalo, S. (1978). Early selective-attention effect on evoked potential reinterpreted. *Acta Psychologica*, 42, 313–329.
- Näätänen, R., Paavilainen, P., Rinne, T. & Alho, K. (2007). The mismatch negativity (MMN) in basic research of central auditory processing: A review. *Clinical Neurophysiology*, 118, 2544–2590.

- Oberecker, R. & Friederici, A. D. (2006). Syntactic event-related potential components in 24-month-olds' sentence comprehension. *NeuroReport*, *17*, 1017–1021.
- Oberecker, R., Friedrich, M. & Friederici, A. D. (2005). Neural Correlates of Syntactic Processing in Two-Year-Olds. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*, 1667–1678.
- Palmović, M. & Marčić, A. (2008). Mental Lexicon and Derivational Rules. *Collegium Antropologicum*, *32*, 177–181.
- Pulvermüller, F. & Assadollahi, R. (2007). Grammar or Serial Order?: Discrete Combinatorial Brain Mechanisms Reflected by the Syntactic Mismatch Negativity. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *19*, 971–980.
- Pulvermüller, F., Shtyrov, Y., Kujala, T. & Näätänen, R. (2005). Word-specific cortical activity as revealed by the mismatch negativity. *Psychophysiology*, *41*, 106–112.
- Rastle, K., Davis, M. H. & New, N. (2004). The broth in my brother's brothel: Morpho-orthographic segmentation in visual word recognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, *11*, 1090–1098.
- Rastle, K., & Davis, M. H. (2008). Morphological decomposition based on the analysis of orthography. *Language and Cognitive Processes*, *23*, 942–971.
- Schreuder, R., & Baayen, R. H. (1995). Modeling morphological processing. Teoksessa L. Feldman (toim.), *Morphological Aspects of Language Processing* (ss. 131-154). Hillsdale, N.J: Lawrence Erlbaum.
- Shtyrov, Y., Kujala, T. & Pulvermüller, F. (2009). Interactions between Language and Attention Systems: Early Automatic Lexical Processing? *Journal of Cognitive Neuroscience*, *22*, 1465–1478.
- Shtyrov, Y., Pulvermüller, F., Näätänen, R. & Ilmoniemi, R. J. (2003). Grammar Processing Outside the Focus of Attention: an MEG Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *15*, 1195–1206.

Silva-Pereya, J. F., Klarman, L., Lin, L. J-F. & Kuhl, P. K. (2005). Sentence processing in 30-month-old children: an event-related potential study. *NeuroReport*, *16*, 645–648.

Silva-Pereya, J.F, Rivera-Gaxiola, M. & Kuhl, P. K. (2005). An event-related brain potential study of sentence comprehension in preschoolers: semantic and morphosyntactic processing. *Cognitive Brain Research*, *23*, 247–258.

Toivainen, J. (1980). Inflectional affixes used by Finnish-speaking children aged 1–3 years. *Suomalaisen kirjallisuuden seuran toimituksia*, *359*.

Toivainen, J. (1990). Acquisition of Finnish as a first language: general and particular themes. *Turun yliopiston yleisen ja suomalaisen kielitieteen laitoksen julkaisuja*, *35*.

Vartiainen, J., Aggujaro, S., Lehtonen, M., Hultén, A., Laine, M. & Salmelin, R. (2009). Neural dynamics of reading morphologically complex words. *NeuroImage*, *47*, 2064–2072.

Whiting, C. M., Marslen-Wilson, W. D. & Shtyrov, T. (2013). Neural dynamics of inflectional and derivational processing in spoken word comprehension: laterality and automaticity. *Frontiers in Human Neuroscience*, *7*, 1–15.