

Tartu Ülikool
Sotsiaalteaduste valdkond
Psühholoogia instituut

Sofia Lutter

EESTI KEELE VÄLTESTIIMULITE EELTÄHELEPANULINE TÖÖTLUS VENE-EESTI
KAKSKEELSETEL INIMESTEL

Magistritöö

Juhendajad: Liis Kask, Pärtel Lippus

Tartu, 2025

EESTI KEELE VÄLTESTIIMULITE EELTÄHELEPANULINE TÖÖTLUS VENE-EESTI KAKSKEELSETEL INIMESTEL

Kokkuvõte

Magistritöös uuriti, kuidas vene-eesti kakskeelsed inimesed töötlevad eesti keele välteid eeltähelepanulisel tasandil sõltuvalt sellest, mis vanusel hakkasid nad eesti keelt omandama ning milline on nende keeleoskuse tase. Uuringus, mis koosnes küsimustikkest ning EEG katsest, osales 73 vene emakeelega täiskasvanut, kelle eesti keele oskus oli kesk- või kõrgtasemel. EEG-andmed koguti passiivse kuulamiskatse käigus. Tulemused näitasid, et varajase keeleomandusega osalejatel ilmnes varases töötlusfaasis tugevam ja kiirem MMN vastus, viidates efektiivsemale automaatsele foneetilisele töötlusele. Hilisemas töötlustapis need erinevused tasandusid. Keeleoskuse tase (mõõdetud valideeritud sõnavara testi alusel) ei mõjutanud MMN parameetreid kummaski töötlustapis. Uuringu tulemused viitavad, et varajane keeleomandamine soodustab fonoloogiliste kontrastide varasemat ja kiiremat töötlust.

Märksõnad: EEG, MMN, välde, keeletöötlus, kakskeelsus

PRE-ATTENTIONAL PROCESSING OF ESTONIAN QUANTITY STIMULI IN
RUSSIAN- ESTONIAN BILINGUALS

Abstrakt

The present master's thesis investigated how Russian-Estonian bilinguals process Estonian quantity contrasts at the pre-attentive stage, depending on the age at which they began acquiring Estonian and their level of language proficiency. The study, which included questionnaires and an EEG experiment, involved 73 adult native Russian speakers with intermediate or advanced proficiency in Estonian. EEG data were collected using a passive auditory oddball paradigm. The results showed that participants with earlier L2 acquisition exhibited a stronger and faster MMN response during the early processing phase, indicating more efficient automatic phonetic processing. These differences diminished during the later processing phase. Language proficiency (measured with a validated vocabulary test) did not affect MMN parameters at either processing stage. The findings suggest that early age of acquisition facilitates earlier and faster processing of phonological contrasts.

Keywords: EEG, MMN, quantity, language processing, bilingualism

Sissejuhatus

Kakskeelsus, mille all mõeldakse vähemalt kahe keele (sh dialekti) regulaarset kasutamist (Baker, 2011; Grosjean & Li, 2013), on laialt levinud nähtus. Hoff (2015) hinnangul omandavad rohkem kui pool maailma lastest vähemalt kaht keelt korraga, 75% neist hakkavad neid igapäevaselt kasutama. Euroopas oskab umbes pool elanikkonda vestelda kahes keeles, Aasias, Lõuna-Ameerikas ning Aafrikas on mitmekeelsus levinum kui ükskeelsus, nt Nigeerias on kasutusel 516 keelt, Indias 427 ja Brasiilias 200 (Grosjean & Li, 2013).

Eesti ühiskonda iseloomustab samuti mitmekeelsus: 2021. aasta loenduse järgi on Eesti elanike emakeelte arv 243, millest kõige levinumad on eesti (räägib emakeelena 67%) ja vene (28.5%) keeled. 48% neist, kelle emakeel pole eesti keel, räägivad eesti keelt, 53% neist, kelle emakeel pole vene keel, oskavad vene keelt ja 47% elanikkonnast oskab inglise keelt (REL 2021). Samas toimuvad ühiskonnas vaidlused, millal oleks efektiivsem teist keelt (ehk seda keelt, mida omandatakse kodu keskkonnast väljaspool) omandada. Näiteks on leitud, et mõned venekeelsed lapsevanemad Eestis peavad tõhusamaks teise keele omandamist pärast esimese keele väljakujunemist (vt nt Lutter, 2023), kuna kardavad, et teise keele õppimine võib pärssida esimese keele omandamist. Kuigi nendel hirmudel ei ole üldiselt teaduslikke tõendusi, vajavad teadmised keelte omandamisest laiendamist ja täiendamist, seal hulgas aju tasandil teise keele töötluse suhtes.

Selles töös keskendutakse eesti keele vältestiimulite eeltähelepanulisele töötlusele vene-eesti kakskeelsetel inimestel. Uurimus võiks panustada keeletöötamise protsesside arusaama täiendamisesse. Spetsiifiliste keeletöötamise protsesside mõistmine aju tasandil võib abiks olla ka eesti keele võõrkeelena keeleõppele ning tulevikus näiteks kõneprobleemide tekkepõhjuste leidmisele ja pakutava toe tõhustamisele. Eesti keele õppe toetamine on praegusel hetkel väga oluline teema ning mõistmine, mis tegurid võivad selle edukust mõjutada, omab erilist tähtsust: mida paremini me saame aru, kuidas eesti keele õpet toetada ja millele tähelepanu pöörata, seda edukam on ka keeleõpe.

Kirjanduse ülevaade: vältetaju käitumuslik uurimine

Uuringu keskne mõiste on välde, millega kirjeldatakse foneetikas vokaalide ja konsonantide pikkuse varieerumist sõltuvalt esimese ja teise silbi kestusest ning põhitooni muutmisest. Eesti keeles eristatakse kolm vädet: lühike (Q1), pikk (Q2) ja ülipikk (Q3). Välde domeenina käsitletakse kõnetakti (rõhuline silp pluss 1–3 järgnevat rõhutut silpi) (Asu et al., 2016, lk

Vältetaju ja kakskeelsus

133). Varasemad käitumuslikud uuringud näitasid, et teise- ja kolmandavähtelisi isoleeritud silpe on raske üksteisest eristada (Eek & Meister, 2003) ning teise silbi kestus mõjub esimese silbi vokaali pikkuse tuvastamisele (Krull et al., 2003, lk 5). Ühesilbiliste sõnade puhul määratakse välde vokaali ja järgneva konsonandi kestussuhete kaudu, pikemates sõnades saab kirjeldada rõhulise (S1) ja rõhutu (S2) silbi kestussuhteid, mis varieeruvad piirides 2 : 3 (0,5–0,8) esimeses, 3 : 2 (1,2–2,3) teises ja 2 : 1 (2,0–3,9) kolmandas vältes. Samas ei saa ainult nende proportsioonide järgi eristada teist vältet kolmandast suure varieerumise tõttu. (Asu et al., 2016, lk 133–136) Eelmistest vältetaju uuringutest (Eek, 1980; Lippus jt., 2009; Lippus jt., 2011) selgus, et Q2 ja Q3-sõnu aitab eristada enamikel eesti emakeele kõnelejal esimese (rõhu)silbi põhitoon. Näiteks leidis Pärtel Lippus kolleegidega (Lippus et al., 2011), et stiimulit tüüpilise Q2 kestusuega tajuti tihedamini Q3-na, kui selle põhitoon langes esimese silbi keskel ja languse kestus hõlmas 13–33% silbi kestusest. Mõned katseisikud määrasid Q3 suure põhitooni ulatuse puhul ja Q2 väiksema põhitooni ulatuse puhul. Uuringu autorid tulid järeldusele, et langev põhitooni kontuur suure ulatusega võib olla Q3 peamine tunnus, mille abil eristavad eestlased teist vältet kolmandast (Lippus et al., 2011, lk 10).

Erinevalt eesti keelest avaldatakse vene keeles muutused silpide kestuses teistmoodi: rõhuline silp on alati rõhutust pikem (Zlatousova, 1962, viidatud Kodzassov & Krivnova, 2001, lk 474 järgi) ning mida kaugemal on rõhutu silp rõhulisest, seda lühem see on: nt *camá* (102ms–146ms), *пока́тал* (55ms–104ms–203ms). Põhitooni muutused on seotud vene keeles intonatsiooni muutustega ning ei mängi rolli leksikaalsel tasemel. Käitumuslikud uuringud näitasid, et vene emakeelega inimesed tajuvad eesti välteid eesti keelt emakeelena kõnelejatest erinevalt, tuginedes välte määramisel mitte põhitooni muutusele ning esimese ja teise silbi kestuste koosmõjule, vaid ainult esimese silbi pikkusele (Lippus et al., 2009, Meister & Meister, 2011). Sama mustrit on leitud mõnede teiste keelte puhul: soome (Lippus et al., 2009) ja hispaania (Leppik et al., 2023) keelt emakeelena kõnelejate seas. Läti emakeelega inimesed (läti keeles on põhitoon lingvistilise kategooriana olemas), olid tundlikumad põhitooni muutmisele eesti vältete tajumisel (Lippus et al., 2009). Leiud viitavad sellele, et emakeel mängib rolli eesti vältete tajumisel, kuid nendes uuringutes polnud võetud arvesse teisi võimalikke mõjureid: eesti keele oskus ja sisendi maht, omandamise vanus ja musikaalsus.

Kirjanduse ülevaade: vältetaju uurimine ja MMN

Vältetaju uuritakse ka ajuaktiivsuse tasandil. Tull (2013), Kask (2021) ja Lyu (2024) uurisid vältete tähelepanueelset töötlust eesti, soome, vene ning hiina emakeeltega inimeste hulgas.

Vältetaju ja kakskeelsus

Nad kasutasid lahknevusnegatiivsuse (ingl. mismatch negativity – MMN) katseparadigmat (Näätänen et al., 1997), mille puhul registreeritakse elektroentsefalograafia (EEG) või magnetoelektroentsefalograafia (MEG) abil tähelepanuheelset reaktsiooni haruldasele või hälbivale stiimulile standartstiimulite reas. MMN-i võib esile kutsuda sarnaste helide hulgas teistest põhitooni, kestuse või valjuse poolest erinev heli. Keeletöötuse uurimine EEG abil võimaldab saada teiste ajukuvandi meetoditega (nt *functional Magnetic Resonance Imaging* – fMRI) võrreldavaid tulemusi suhteliselt lihtsamalt, odavamalt ja kasutades suuremat valimit.

MMN registreeritakse ligikaudu 100–250 millisekundi jooksul pärast hälbivat stiimulit (või muutuste ilmumist). Uuringud on näidanud, et MMN on tundlik mitte üksnes akustiliste või fonoloogiliste muudatuste suhtes, vaid suudab peegeldada ka leksikaalse töötuse varaseid etappe (Pettigrew et al., 2004). MMN võib toimida neurofüsioloogilise markerina varajastes sõnatöötuse etappides ning peegeldada leksikaalset äratundmist juba enne sõna täielikku lõppemist (Pulvermüller & Shtyrov, 2006). Sõna töötlemisel kajastab MMN fonoloogilist kodeerimist, kui järjestus erineb ennustatud mustritest; leksikaalset juurdepääsu, kui aju aktiveerib salvestatud sõnaesitlused vastuseks ebakõladele; ja semantilist integreerimist, kui kõrvalekalded häirivad kehtestatud leksikaalsemantilisi seoseid (Pettigrew et al., 2004). Zora et al. (2015) tulemused kinnitavad, et MMN peegeldab ka sõnavara tutvavust – aju eristab automaatselt, kas prosoodiline muutus toimub tuttavas sõnas või suvalises helijadas, mis omakorda näitab keeleliste mälujälgede olemasolu.

Auditoorset MMN-aktiivsust on peamiselt täheldatud frontaalses ja temporaalses sagaras (Shalgi & Deouell, 2007; Dürschmid jt, 2016). Kuigi varasemates uuringutes on viidatud võimalikele ajupoolkerade töötuserinevustele keelelise ja mittekeelelise informatsiooni puhul, ei ole lateraalsuse mustrid MMN-i puhul järjepidevalt kinnitust leidnud (Shestakova et al., 2003; Kuhl et al., 2008). Siiski on leitud, et parem temporaalsagar on olulisem prosoodiliste tunnuste, nagu kestus ja intonatsioonimustrid, töötlemisel, samas kui vasak ajupoolkera on seotud eelkõige kõnehelide ja nende tähenduse analüüsiga (Zatorre & Belin, 2001; McGettigan et al., 2012; Albouy et al., 2017).

Tulli (2013) katses ilmnas MMN soomlastel, kui hälbiv stiimul erines standartstiimulist pikkuse suhtes, samas kui eestlaste MMN-i reaktsioon oli stiimulitele, mis erinesid standartstiimulist nii pikkuse kui ka põhitooni poolest. Eestlaste olulised muutused esinesid vasakpoolsetes elektrootides, mille põhjal jõudis autor järelduseni, et eestlastel on keelespetsiifilised mälujäljed Q2 ja Q3 eristamisel, kuna eelnevad uuringud on näidanud, et keelespetsiifilised mälujäljed asuvad vasakus auditoorses ajupoolkeras (vt Näätänen, 2001).

Vältetaju ja kakskeelsus

Hilisemate uuringute kohaselt töödeldakse teist keelt samuti vasakus auditoorses poolkeras (Malik-Moraleda et al., 2024). Kask (2017, 2021) uuris lahknevusenegatiivsust vältetiimulikomplekti esitamisel eesti- ja venekeelsetel inimestel ning leidis oodatavad erinevused eesti ja vene emakeelega kõnelejate vältetajus, kuid ei kinnitanud lateralisatsiooni efekti. EEG välteuurimused viitavad sellele, et sõna tähendus mõjutab fonoloogiliste tunnuste varajast automaatset töötlemist.

Eelnevates uuringutes vaadeldi teise emakeelega inimesi kui homogeenset gruppi, kuid ka ühe keelegrupi seas võivad olla üsna erineva tausta ja eesti keele oskusega inimesed. Üks teguritest, mille mõju pole seni eesti keelel põhinevates eksperimentaalsetes uuringutes vaadeldud, on vanus, millal inimene hakkas eesti keelt omandama.

Kirjanduse ülevaade: vanuse mõju keelte omandamisele

Olukorda, kui kaht keelt omandatakse korraga juba alates sünnist või teine keel lisandub enne 3. eluaastast, nimetatakse simultaanseks kakskeelsuseks ehk BFLA (ingl. *bilingual first language acquisition*) ja olukorda, kui teist keelt hakatakse omandama pärast esimese keele väljakujunemist, nimetatakse järjestikuseks kakskeelsuseks ehk SLA (ingl. *second language acquisition*). SLA jaguneb omakorda varajaseks (umbes 3. eluaastast teismeeani) ja hiliseks kakskeelsuseks (alates puberteedieast) ((Pearson, 2008). Eristus samaaegse ja järjestikuse kakskeelsuse vahel on arbitraarne: nende laste kakskeelsust, kes hakkasid teist keelt omandama perioodil 0,5–3 aastat, uuriti väga harva (Hoff 2015: 494). Mõned uurijad arvavad, et on olemas sensitiivne periood, mis kestab umbes kuni 4. eluaastani, mille jooksul on kergem keelt (või keeli), eriti foneetilist kompetentsust, omandada. Sellel perioodil omandatud keeli suudab laps rääkida ilma aktsendita (Tulviste, 2008). Samas sensitiivse perioodi olemasolu ei tähenda, et alustades teise keele õppimist hiljem pole võimalik foneetilist kompetentsust omandada (Flege & Bohn, 2021).

On teada, et keeleoskus on korrelatsioonis omandamise vanusega (ingl. *age of acquisition* – AoA) (Malik-Moraleda et al., 2024). Nii oskus kui ka omandamise vanus ennustavad mõistmist käitumuslikes katsetes (nt Hartshorne jt 2018). Uue foneetilise kategooria omandamine areneb aja jooksul ja sõltub paljudest teguritest, seal hulgas sisendi mahust ja kvaliteedist, aga ka keele omandamise vanusest (Flege & Bohn, 2021). Käitumuslikult uuriti keele omandamise vanuse mõju teise keele (L2) üksikute häälikute produtseerimisele (Barlow, 2014; Saito, 2013; Saud Alharbi et al., 2023) ja tajule (Takahashi, 2023) ning

Vältetaju ja kakskeelsus

prosoodiliste elementide produtseerimisele (Colantoni et al., 2022; Yao et al., 2020) ja tajule (Colantoni et al., 2022).

Ajukuvandi tasandil on näiteks vaadanud erinevusi ajuanatoomias kakskeelsetel inimestel, sõltuvalt keelte omandamise vanusest (Klein et al., 2014; Pliatsikas et al., 2020) ning leiti kortikaalseid muutusi SLA puhul (Klein et al., 2014) ja erinevusi hall- ja valgeainete mahus ja terviklikkuses (*ingl. integrity*) (Pliatsikas et al., 2020). Värske fMRI uuring näitas, et hiliste mitmekeelsete inimeste aju keeletöötluste keskus aktiveerub intensiivsemalt teise ja kolmanda keelte tajumisel kui emakeele tajumisel, kuid see efekt sõltub teksti keerukusest ja tüübist. (Malik-Moraleda et al., 2024)

Töö eesmärk ja hüpoteesid

Töös uuritakse emakeele mõju vältetajule ja vaadeldakse, kas ja kuidas erineb vene emakeelega inimeste eesti keele vältete taju sõltuvalt sellest, mis vanusest hakkasid nad eesti keelt omandama. Täpsem eesmärk on uurida eesti keelele spetsiifiliste stiimulite esitamisel ilmnevaid erinevusi MMN-i amplituudi avaldumises ja mõõtmises, ajupoolkerade lateralisatsiooni stiimulite töötlemisel ning vältete määramisel kasutatavaid vihjeid (põhitooni muutus, esimese ja teise silpide kestus).

Püstitan järgmiseid hüpoteese:

H1: MMN vastus on varasem või suurema amplituudiga deviantsetele stiimulitele nende inimeste seas, kes hakkasid eesti keelt varem omandama.

H2: MMN vastus on varasem või suurema amplituudiga deviantsetele stiimulitele nende inimeste seas, kes oskavad eesti keelt kõrgemal tasemel.

Autori panus

Viisin suurema osa uuringu etappidest ellu iseseisvalt ning koostöös juhendajate ja uurimisrühma liikmetega: uurimisteema valikul ja põhjendamisel, uuringu kavandamisel, eetikakomitee avalduse koostamisel, katse disaini väljatöötamisel ja läbiviimisel, osalejate värbamisel, EEG ja küsimustiku andmete analüüsimisel ning töö kirjutamisel.

Meetodid

Valim

Vältetaju ja kakskeelsus

Uuringusse kutsuti vene esimese keelega inimesi, kes valdavad eesti keelt vähemalt kesktasemel (B1) ja kes hakkasid eesti keelt omandama vanuses: a) 0–4 eluaastat (BFLA grupp), b) 5–12 eluaastat (varase SLA grupp), c) alates 13. eluaastat (hilise SLA grupp).

Uuringus osalemine oli vabatahtlik ning osalemisest võis igal hetkel loobuda. Uuringust osavõtjad pidid olema puhanud, normaalse või normaalseks korrigeeritud kuulmisega, füüsiliselt ja psüühiliselt terved (varem ei tohi olla esinenud ka neuroloogilisi traumasid ega kuulmisprobleeme) ja ei tohtinud kasutada potentsiaalselt neuroloogiliste kõrvalmõjudega ravimeid. Katseisikute leidmiseks edastati kutse ülikooli erinevates meililistides ja jagati kuulutust Facebooki gruppides, mis olid suunatud välisüliõpilastele ja Tartu venekeelsele kogukonnale. Katseinfo avaldati ka Tartu Ülikooli eksperimentaalpsühholoogia labori sotsiaalmeedias ja uurimisrühma kodulehel. Lisaks paigutati kuulutused ülikooli hoonete teadetetahvlitele.

Kõik osalejad said kompensatsiooniks valida mõne Tartu kaubanduskeskuse 10-eurose kinkekaardi. Psühholoogiat õppivad tudengid said soovi korral osalemise eest katsepunkte.

Uuringust võttis osa 73 inimest. Tabelis 1 on esitatud info osalejate gruppide jaotusest, vanusest ja soost.

Tabel 1

Uuringus osalejad gruppide kaupa

Grupp (AoA järgi)	Osalejate arv	Keskmine vanus (SD)	Vanusevahemik	Mehed/naised
<i>BFLA (0-4)</i>	24	23,9 (6,6)	18-36	11/13
<i>Varajane SLA (5-8)</i>	26	26,2 (6,4)	19-40	10/16
<i>Hiline SLA (15-34)</i>	23	29,3 (6,3)	20-40	8/15
<i>Kõik osalejad</i>	73	26,5 (6,4)	18-40	29/44

Märkus: AoA – omandamise vanus (ingl. *age of acquisition*). BFLA – samaaegne kakskeelsus (ingl. *bilingual first language acquisition*), SLA – järjestikune kakskeelsus (ingl. *second language acquisition*)

Mõlema seeria analüüsides jäi müraste EEG andmete tõttu välja üks katseisik (hiline SLA, naine) ning lisaks üks katseisik seeriast 2 (BFLA, naine).

Uuring viidi läbi Eesti Teadusagentuuri uurimistoetuse PRG1151 „Tähelepanueelne informatsioonitöötlus ajus: seosed seisundite, püsitunnuste ja käitumisega“ (2021–2025)

Vältetaju ja kakskeelsus

raames. Uuring on kooskõlastatud Tartu Ülikooli inimuuringute eetikakomitee poolt (luba nr 382/T-18).

Materjalid

Uuring koosnes kahest osast: enne laborisse tulekut täideti veebipõhine enesekohane küsimustikk ja laboris kohapeal viidi läbi katsete kogum.

Küsimustikud

Osalejate taustaküsimustiku täitis iga osaleja enne katset TÜ veebiküsitluste keskkonnas *LimeSurvey*. Küsimustik sisaldas küsimusi demograafiliste omaduste (sugu, vanus, haridus), tervise (kuulmisprobleemide ja neuroloogiliste seisundite puudumise), psühhoaktiivsete ainete tarbimise, käelisuse, musikaalsuse, keeleoskuse, eesti keelega kokkupuutumise, eesti keele õppimise (sh eesti keele või eesti keel teise keelena eksamitulemus, kursustest osavõtt ja/või omandatud keeletase) ja kasutamise kohta.

Lisaks kasutasime eesti keele oskuse hindamiseks testi LexEst, mille on välja töötanud Tartu Ülikooli eesti ja üldkeeleteaduse instituudi töörühm (Lõo et al., 2024). See on sõnavara hindamisel põhinev keeletest, mis annab ühe objektiivse skoori eesti keele taseme kohta (vs subjektiivne skoor, mida katseisik ise annab oma keeleoskusele). LexEst põhineb teistel sarnastel testidel (Lembhöfer, Broersma, 2012), mida on paljudes psühholingivistilistes katsetes kasutatud (vt nt Khare et al., 2013). See koosneb 90 sõnapaarist ja võtab sooritajal 3-5 minutit. Testi kasutamine võimaldas ühelt poolt uuringusse kaasamise kriteeriumite täitmist kontrollida (osalejate eesti keele oskus pidi olema vähemalt B1 tasemel), teiselt poolt analüüsida võimalikke keeleoskuse efekte. Seda testi täitsid katseisikud laboris kohapeal.

Stiimulid

Katsestiimulid valiti välja ja loodi koostöös juhendajatega Tartu Ülikooli foneetikalaboris. Helistiimulid loeti sisse meessoost eesti emakeelega kõneleja poolt detsembris 2023 kontekstis „Ütle X kõvasti“. Loomuliku kõne salvestustest sünteesiti katsestiimulid vabavaralise programmiga Praat (Boersma ja Weenink, 2007) vastavalt varasemates uuringutes kasutatud stiimulite kestusele ja põhitoonikontuurile (Kask et al., 2021).

Esimese seeria (seeria 1) stiimulikomplekt oli tehtud täpselt sama skriptiga kui eelnevas sarnases katses (Kask et al., 2021), et oleks võimalik edaspidi võrrelda tulemusi (käesolevas töös seda võrdlust ei tehta). Selles seerias muudeti algsete Q2 ja Q3 'saada' silpide kestuseid

Vältetaju ja kakskeelsus

nii, et silpide suhe vastaks kas Q2 või Q3 sõnale, samas põhitoon jäi muutumata. Teise analüüsitud seeria (seeria 2) stiimulid olid tehtud kahest loomulikust kõnest sõnast ('saada'), kahe deviandi puhul oli muudetud ainult põhitoon, jättes silpide kestussuhe puutumata. Seeria lisamine võimaldab kontrollida, kas sama efekti võib oodata, kui stiimuleid teistmoodi sünteesida.

Mõlema seeria standartstiimuliks oli teisevälteline sõna 'saada', deviantstiimulid olid 1) Q2 kestussuhega stiimul, mille põhitoon vastas Q3 sõnale (SADA 170\ ja SADA 200\) – toonimuutusega deviant; 2) Q3 kestussuhega stiimul, mille põhitoon vastas Q2 sõnale (SADA 290-, SADA 271-) – kestusemuutusega deviant; 3) Q3 kestussuhe ja põhitooniga stiimul (SADA 290\ , SADA 271\) – tooni ja kestuse muutusega deviant.

EEG-katse koosnes kaheksast seeriast, millest käesolevas töös analüüsitakse kahte; ülejäänud seeriaid käsitletakse uurimisrühma edasistes uuringutes. Seeriade kirjeldus on välja toodud tabelis 2. Analüüsitud stiimulid on välja toodud lisas 1.

Tabel 2

Katse seeriad koos stiimulite lühikirjeldusega

	Standard	Deviant 1	Deviant 2	Deviant 3
<i>Seeria 1</i>	SADA 170-	SADA 290-	SADA 170\	SADA 290\
<i>Seeria 2</i>	SADA 200-	SADA 200\	SADA 271\	SADA 271-
<i>Seeria 3</i>	SADA 170\	SADA 290\	SADA 170-	SADA 290-
<i>Seeria 4</i>	SADA 170-	SADA 290-	SADA 170\	SADA 290\
<i>Seeria 5</i>	SADA 200-	SADA 271\	SADA 70-	SADA 269\
<i>Seeria 6</i>	POLE 214-	POLE 283\	POLE 92-	POLE 292\
<i>Seeria 7</i>	POLE 170-	POLE 290-	POLE 170\	POLE 290\
<i>Seeria 8 (toon)</i>	170-	290-	170\	170\

Märkus: Numbriga on täheldatud stiimuli esimese silbi kestust. - tähistab lamedat põhitooni ja \ tähistab langevat põhitooni esimeses silbis.

Katse ülesehitus

Andmete kogumine kestis juunist 2024 kuni jaanuarini 2025. Katsed toimusid Tartu Ülikooli psühholoogia instituudi eksperimentaalpsühholoogia laboris ajavahemikus 8 – 22. Kõik juhised olid antud katseisikutele eesti keeles.

Enne katset kirjutasid katseisikud informeerimise ja teadliku nõusoleku vormile (eesti või vene keeles) alla. Seejärel mõõdeti uuringus osalejate kuulmisläve audiomeetriga

Interacoustics AS608 (Interacoustics, Assens, Taani), et kontrollida mõlema kõrvaga

Vältetaju ja kakskeelsus

kuulmist. Samuti registreeriti osalejate kriitilise vilkumise sulandumise lävi (*CFF – critical flicker frequency*, Simonson & Brožek, 1952). Lisaks pidi iga katseisik täitma enesetunde küsimustikku enne ja pärast katset ning läbima LexEsti testi.

Katseisikul paluti 24 tundi enne katset vältida alkohoolseid jooke, magada piisavalt, toituda tavapäraselt ja 4 tundi enne katset mitte juua kofeiini sisaldavaid jooke ega kasutada nikotiinitooteid.

Katse toimus elektriliselt varjestatud vaiksuses ja hämaras ruumis. Katseisik istus umbes 0,60–1,2 m kaugusel arvutiekraanist mugaval kontoritoolil. EEG katse kestis umbes 90 minutit, mille jooksul vaatas katseisik helita dokumentaalfilmi (ei sisalda vägivaldseid, erootilisi või muul moel häirivaid stseene) ja talle esitati samaaegselt läbi kõrvaklappide auditoorseid stiimuleid. Katseisikul oli võimalik võtta puhkepause iga seeria järel. Uuringu läbiviimine laboris kestis koos eelneva ettevalmistusega kokku maksimaalset 180 minutit.

EEG registreeriti Biosemi ActiveTwo 64-kanalilise süsteemiga, kasutades aktiivelektroode (Biosemi B.V., Amsterdam, Holland). Diskreetimissagedus oli 512 Hz ja reaajas rakendati 0,16–100 Hz filtrit. Kaks lisaelektroodi asetati osaleja kõrvade taha, mida kasutati hiljem võrdluselektroodidena. Silmapilgutuste ja silmaliigutuste registreerimiseks asetati neli lisaelektroodi osaleja näole (vasaku silma kohale ja alla ning mõlema silma välisnurkadesse).

Stiimuleid esitati igas seerias kohandatud MATLABi skriptidega (MathWorks, Natick, MA, Ameerika Ühendriigid), kasutades juhuslikku stiimulitevahelist intervalli (ISI) 400, 425 või 450 ms. Kokku esitleti igas MMN-seerias osalejale standardstiimulit 315 korda ja deviantstiimuleid 300 korda (s.o 100 korda iga deviandi tüübi kohta).

Andmete analüüs

EEG andmete eelanalüüsi tehti programmis Brain Vision Analyzer 2.1, jälgides Lyu et al. (2024) eelanalüüsi samme. Andmed segmenteeriti ajavahemikus –100 kuni 800 ms pärast stiimuli algust ning viid läbi baasjoone korrigeerimine, kasutades –100 kuni 0 ms eelsegmenti. Artefaktid märgiti, kui signaal ületas järgmisi kriteeriume: maksimaalne lubatud pingemuutus 50 μV , maksimaalne absoluutne erinevus 200 μV 200 ms jooksul, minimaalne ja maksimaalne lubatud amplituud 75 μV ning minimaalne aktiivsus 0,5 μV 100 ms jooksul. Iga katseisiku andmed keskmistati deviandi tüüpide ja nendele eelnenud standardite lõikes. Keskmistatud andmed eksporditi Analyzerist ja analüüsiti programmis R, versioon 4.4.2 (R Core Team, 2024).

Vältetaju ja kakskeelsus

Vastavalt kirjandusele (nt Lyu et al., 2024) olid valitud järgmised huvipakkuvad elektroodid (*ingl. regions of interests* - ROI): vasak frontaalne (AF3, F1, F3, F5, FC1, FC3), parem frontaalne (AF4, F2, F4, F6, FC2, FC4) ja keskne frontaalne elektrood (Fz). ERP amplituudid saadi, lahutades iga deviandi lainekujust sellele vastava standardi lainekuju.

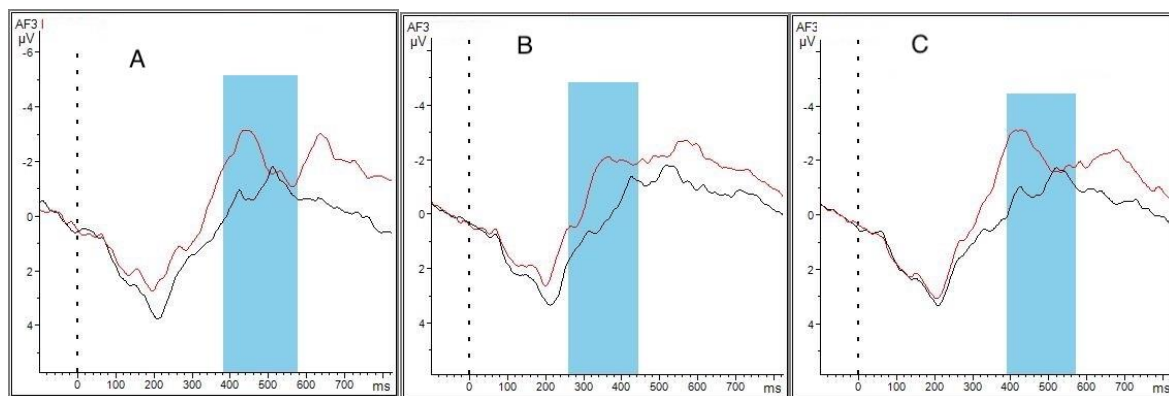
Reeglina identifitseeritakse MMN katsetes MMN amplituudi ajaaknas 100-250 ms pärast erinevuse alguspunkti. Nii Kask et al. (2021), kui ka Lyu et al. (2024) vältetaju uuringutes loeti selleks alguspunktiks esimese silbi lõppu või toonimuutuse punkti, kuid arvestades seda, et välde realiseerub kõnetakti tasandil tundus mõistlik kontrollida ka hilisemat ajavahemikku (100-200 ms pärast stiimulit). Seega vaatasin iga deviandi puhul kaht ajaakent: 200 ms pärast esimest silpi ja 200-250 ms pärast stiimuli lõppu (vastavalt esimese ajaakna lõpule). Iga stiimuli ja MMN lainekujud keskmistati osalejate lõikes ning konkreetsete ajaakende valikul arvestati ka visuaalset vaatlust. Joonisel 1 on seeria 1 AF3 elektroodi üldkeskmised (*ingl. grand average*) kogu valimi põhjal koos deviantstiimuli teise sibi piiridega.

Tabel 3

Seeriade valitud ajaaknad

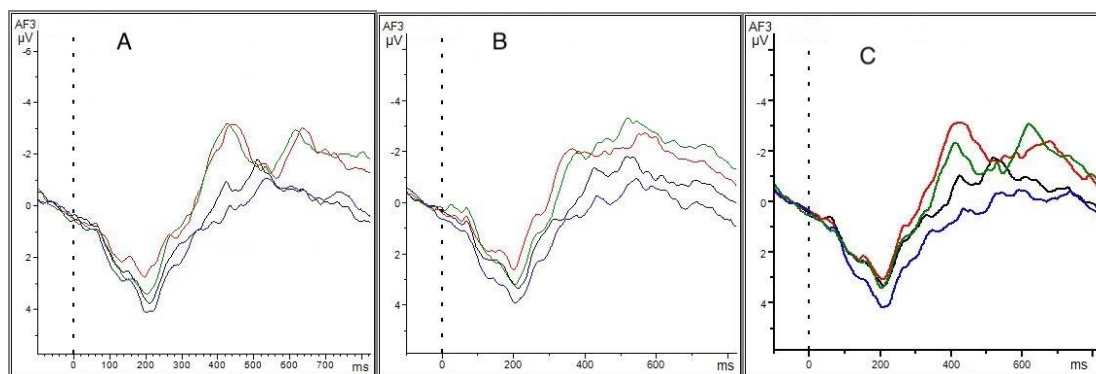
Seeria	Deviandi tüüp	1. ajaakna algus /1. silbi lõpp (ms)	1. ajaakna lõpp / 2. ajaakna algus (ms)	2. ajaakna lõpp (ms)	Stiimuli kestus (ms)
1	Kestuse muutus (290-)	383	583	820	570
1	Toonimuutus (170\)	263	513	690	440
1	Kestuse ja toonimuutus (290\)	390	590	817	567
2	Kestuse muutus (271-)	368	568	738	488
2	Toonimuutus (200\)	290	540	712	462
2	Kestuse ja toonimuutus (271\)	368	568	738	488

Vältetaju ja kakskeelsus



Joonis 1. Seeria 1 deviantstiimuli teise silbi piiridega (sinine ala). Keskmine standard- ja deviantlaine (must – standard, punane – deviant): A – kestuse muutus, B – põhitooni muutus, C – kestuse ja tooni muutus. AF3 – vasak frontaalne elektrood, μV – amplituud.

Joonisel 2 on seeria 1 ja seeria 2 AF3 üldkeskmiste võrdlus kogu valimi põhjal.



Joonis 2. Seeria 1 ja seeria 2 võrdlus. Keskmine standard- ja deviantlaine (must – seeria 1 standard, punane – seeria 1 deviant, sinine – seeria 2 standart, roheline – seeria 2 deviant): A – kestuse muutus, B – põhitooni muutus, C – kestuse ja tooni muutus. AF3 – vasak frontaalne elektrood, μV – amplituud.

Statistiline analüüs oli tehtud programmis R (R Core Team, 2024) anonüümiseeritud kujul.

Dispersioonide homogeensuse kontrolliks ja normaaljaotuse hindamiseks kasutati pakette *car* (Fox & Weisberg, 2019) ja *psych* (Revelle, 2024). Dispersioonanalüüs (korduvmõõtmiste ANOVA) viidi läbi paketiga *ez* (Lawrence, 2016) ning normaaljaotuse eelduste rikkumise korral kasutati mitteparameetrilist ART-ANOVA meetodit (*ARTool*; Kay et al., 2021).

Järelanalüüsides rakendati *emmeans* paketti (Lenth, 2024), et hinnata erinevusi gruppide ja deviandi tüüpide vahel ning esitada vastavad keskmised ja 95% usaldusvahemikud.

Keeleomandamise vanuse (AoA) ja keelekasutuse kestuse (YoE) mõju MMN

komponentidele analüüsiti üldistatud aditiivsete segamudelitega (*mgcv*; Wood, 2017).

Andmetötluseks ja visualiseerimiseks kasutati lisaks pakette *dplyr* (Wickham et al., 2024), *readr* (Wickham et al., 2023), *tidyr* (Wickham et al., 2024) ja *ggplot2* (Wickham, 2016).

Tulemused

Küsimustiku tulemused

Tabelis 4 on esitatud küsimustikust saadud info osalejate eesti keele oskusest ning keeleskeskkonnas viibitud aastatest (YoE).

Tabel 4

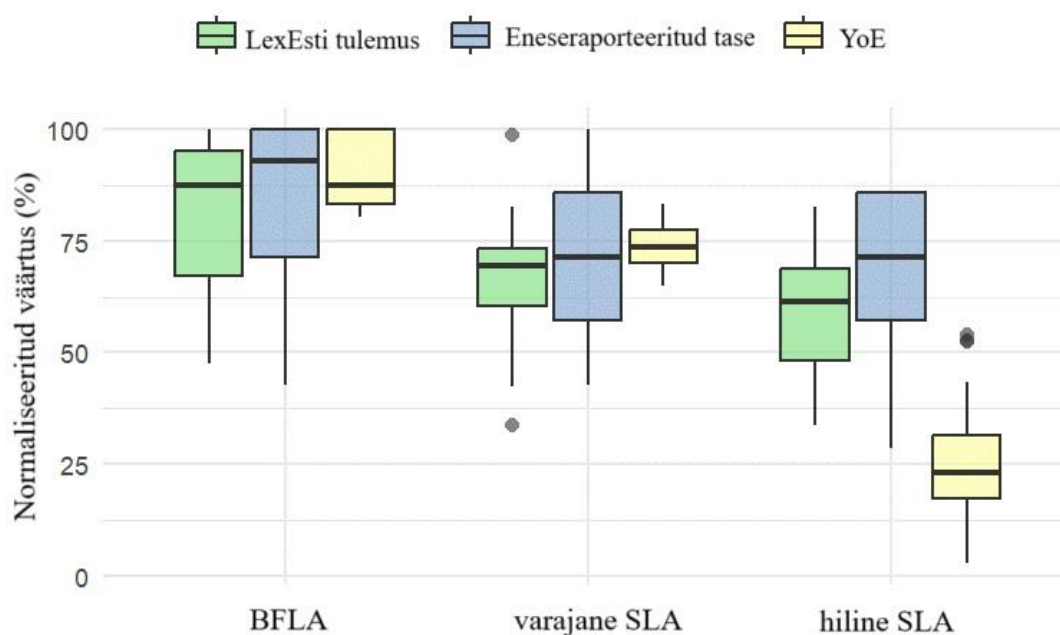
Katses osalejate LexEsti tulemused, eneseraporteeritud eesti keele tase ning keelekeskkonnas viibitud aastad omandamise vanuse gruppide lõikes

Grupp (AoA järgi)	Keskmine LexEst (SD)	LexEsti vahemik	Eneseraporteeritud tase (SD)	YoE aastates (SD)	YoE vahemik
<i>BFLA (0-4)</i>	44,88 (13,4)	18-60	5,96 (1,2)	21,6 (8,1)	15-36
<i>Varajane SLA (5-8)</i>	33,77 (14)	7-59	5,2 (1,3)	19,6 (8,1)	13-32
<i>Hiline SLA (15-34)</i>	26,74 (14,1)	7-46	4,7 (1,3)	8,1 (8)	1-21
<i>Kõik osalejad</i>	35,21 (14)	7-60	5,3 (1,3)	16,6 (8,1)	1-36

Märkus: Eneseraporteeritud tase: 1 – A1, 2 – A2, 3 – B1, 4 – B2, 5 – C1, 6 – C2, 7 – emakeel; AoA – omandamise vanus (ingl. *age of acquisition*), YoE – keelekeskkonnas viibitud aeg (ingl. *years of exposure*). BFLA – samaaegne kakskeelsus (ingl. *bilingual first language acquisition*), SLA – järjestikune kakskeelsus (ingl. *second language acquisition*)

LexEsti ja eneseraporteeritud keeleoskuse taseme tulemused erinesid oluliselt AoA gruppide vahel (vastavalt $\chi^2 = 17.57, p < .001$ ja $\chi^2 = 11.50, p = .003$). BFLA grupi tulemused olid kõrgemad kui varajase ja hilise SLA gruppide omad ($p < .05$), samas kui varajase ja hilise SLA gruppide erinevus ei olnud statistiliselt oluline ($p > .05$). Keelekeskkonnas veedetud aja põhjal leiti samuti olulised erinevused ($p < .001$). BFLA grupp erines oluliselt hilisest SLA grupist ($p < .001$), kuid mitte varajasest ($p = .078$); varajase ja hilise SLA gruppide vahel ilmnes oluline erinevus ($p < .001$). Hinnates YoE protsendina elust, erinesid kõik grupid omavahel oluliselt ($p < .001$). Joonisel 3 on esitatud LexEsti tulemuste, eneseraporteeritud eesti keele taseme ja eesti keelega kokkupuute kestuse (% elust) jaotus gruppide lõikes.

Vältetaju ja kakskeelsus



Joonis 3. Karpdiagramm normaliseeritud LexEsti tulemuste, eneseraporteeritud eesti keele oskuse ja kokkupuute kestuse kohta erinevates keeleomandamise gruppides. BFLA – samaaegne kakskeelsus (ingl. *bilingual first language acquisition*), SLA – järjestikune kakskeelsus (ingl. *second language acquisition*). YoE – keelekeskkonnas viibitud aeg (ingl. *years of exposure*)

LexEsti tulemused näitasid tugevat ja statistiliselt olulist positiivset seost eneseraporteeritud eesti keele oskusega, $r = .71$, $p < .001$, 95% CI [.58, .81]. Samuti leiti tugev positiivne seos LexEsti tulemuste ja normaliseeritud keelekeskkonnas veedetud aja (protsent elust) vahel, $r = .61$, $p < .001$, 95% CI [.44, .74]. Eneseraporteeritud eesti keele oskus arvulisel skaalal oli mõõdukas positiivses seoses YoE-ga, $r = .48$, $p < .001$, 95% CI [.29, .64]. Omandamise vanusel (AoA) ja LexEsti tulemuste vahel ilmnis tugev negatiivne seos, $r = -.52$, $p < .001$, 95% CI [-.61, -.41], mis viitab sellele, et mida varem inimene hakkas eesti keelt omandama, seda kõrgemad olid tema testitulemused. Näitajate omavahelised korrelatsioonid on esitatud tabelis 5.

Tabel 5

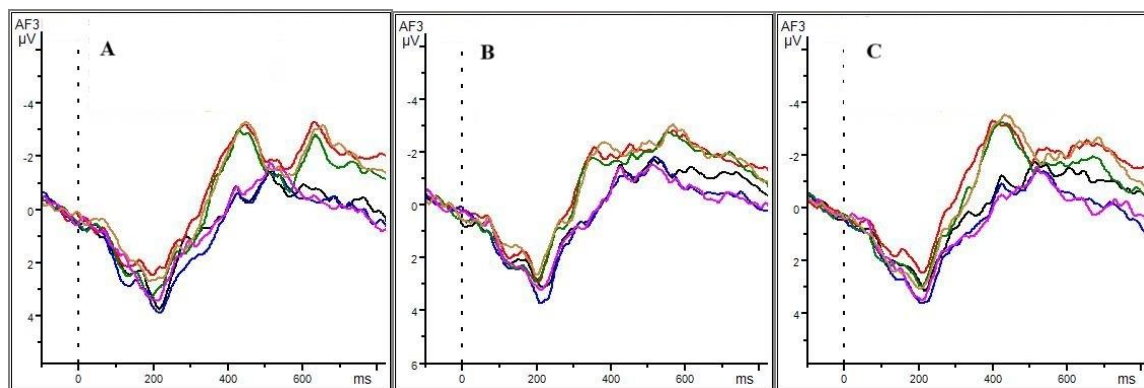
LexEsti tulemuse, eneseraporteeritud eesti keele taseme, keelekeskkonnas viibitud aja (aastates ja protsendis elust) ja keele omandamise vanuse vahelised korrelatsioonid

	1	2	3	4	5
1. LexEst tulemused	–				
2. Eneseraporteeritud eesti keele tase	.71***	–			
3. YoE (aastates)	.61***	.49***	–		
4. YoE (% elust)	.61***	.48***	.84***	–	
5. AoA	-.52***	-.41***	-.73***	-.95***	–

Märkus: AoA – omandamise vanus (ingl. age of acquisition), YoE – keelekeskkonnas viibitud aeg (ingl. years of exposure)

Seeria 1 gruppide erinevused

Joonisel 4 on esitatud AF3 elektroodi gruppide üldkeskmiste standart- ja deviantlainete võrdlus erinevate deviantstiimulite puhul seerias 1. Edasi kirjeldan seeria 1 statistilise analüüsi tulemusi eraldi varajase MMN (pärast silpi) ja hilise MMN (pärast stiimulit) puhul.



Joonis 4. Seeria 1 gruppide võrdlus. Keskmise standart- ja deviantlaine (must – BFLA standart, punane – BFLA deviant, sinine – varajane SLA standart, roheline – varajane SLA deviant, lilla – hilise SLA standart, kollane – hilise SLA deviant): A – kestuse muutus, B – põhitooni muutus, C – kestuse ja tooni muutus. AF3 – vasak frontaalne elektrood, μV - amplituud.

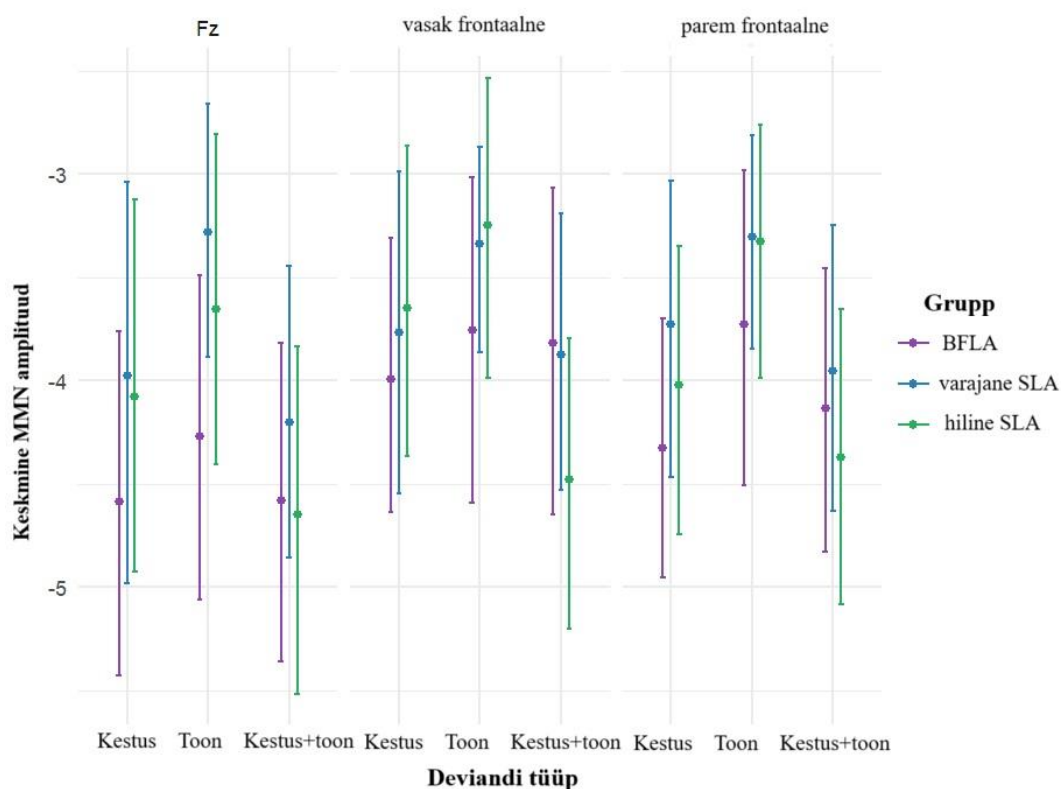
Seeria 1 silbi-järgse MMN amplituudid

Shapiro–Wilki testi ja asümmeetriakordaja ning järsakusastme analüüsi põhjal olid kõik alajaotused lähedased normaaljaotusele (skew ja kurtosis jäid aktsepteeritavatesse piiridesse; kõik p -väärtused $> .05$), ning dispersioonide homogeensus oli samuti tagatud (Levene'i test: $p = .39$). Seetõttu viidi läbi parameetriline ANOVA, mis näitasid statistiliselt olulist peaefekti

Vältetaju ja kakskeelsus

ainult deviandi tüübi teguril, $F(2, 414) = 11.38, p < .001$. Grupi efekt ($p = .061$) ja kõik interaktsioonid olid statistiliselt mitteolulised ($p > .05$). Post-hoc analüüsid (Tukey ja emmeans) näitasid, et toonimuutusega deviandi korral oli negatiivse ERP-tipu väärtus ($M = -3.41, 95\% \text{ CI } [-3.86, -2.95]$) statistiliselt oluliselt vähem negatiivne kui kestuse muutusega deviandi korral ($M = -3.91, 95\% \text{ CI } [-4.37, -3.46]$), $p = .027$, ning samuti vähem negatiivne kui tooni ja kestuse muutusega deviandi korral ($M = -4.50, 95\% \text{ CI } [-4.95, -4.04]$), $p < .001$. Ülejäänud kontrastid stiimulitüüpide vahel ei saavutanud statistilist olulisust.

Grupivõrdlused näitasid valdavalt mitteolulisi erinevusi ($p > .25$), kuid ilmnes üks statistiliselt oluline kontrast: varajase SLA grupi negatiivne tipp ($M = -3.82, 95\% \text{ CI } [-4.24, -3.40]$) oli vähem negatiivne võrreldes BFLA grupiga ($M = -4.30, 95\% \text{ CI } [-4.74, -3.87]$), $p = .048$ (joonis 5).



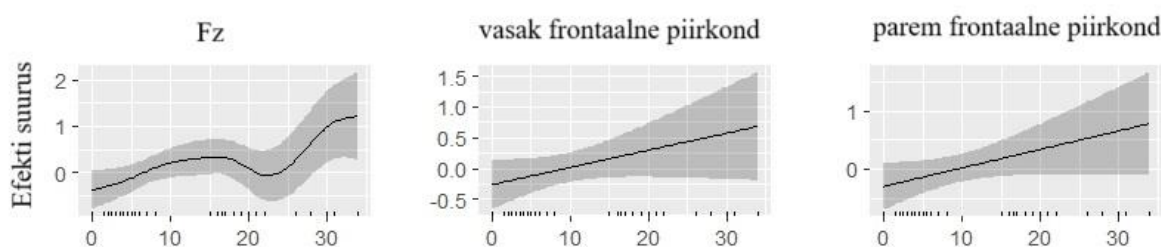
Joonis 5. Keskmised silbi-järgse MMN amplituudid seeria seeria 1 puhul eri deviandi tüüpide ja gruppide lõikes kolmes ajukoore piirkonnas (Fz, vasak frontaalne, parem frontaalne). BFLA – samaaegne kakskeelsus (ingl. *bilingual first language acquisition*), SLA – järjestikune kakskeelsus (ingl. *second language acquisition*).

Kuna keelekeskkonnas veedetud aja osakaal (YoE) ja keele omandamise vanus (AoA) olid tugevalt seotud ($r = -0.95$) oli otsustatud nende mõju kontrollimiseks kasutada eraldi

Vältetaju ja kakskeelsus

mudeleid. Üldistatud segamudel (GAMM), mille sõltuv muutuja oli MMN-i negatiivseima tipu väärtus pärast esimese silpi seerias 1, hindas eesti keelega kokkupuute kestuse (normaliseeritud eluea suhtes), deviandi tüübi, ajukoore piirkonna (ROI) ja individuaalsete tegurite mõju vältetajule. Keelekeskkonnas viibitud eluea osakaal ei olnud statistiliselt oluliselt seotud MMN amplituudiga ($\beta = -0.0081$, $p = .162$), kuigi trend viitas nõrgale negatiivsele seosele – st suurema kokkupuute korral oli MMN pigem negatiivsem. MMN oli oluliselt negatiivsem keskses frontaalses piirkonnas (Fz) võrreldes vasaku ($\beta = 0.47$, $p < .001$) ja parema frontaalse piirkonnaga ($\beta = 0.41$, $p < .001$). LexEsti tulemus mudelis olulist mõju ei avaldanud. Mudel selgitas 4.2% varieeruvusest ja sisaldas ka osalejatevahelist juhuslikku efekti ($\sigma = 1.04$), mis peegeldab olulist individuaalset erinevust neurokognitiivsetes reaktsioonides.

Teises mudelis hinnati keele omandamise alguse vanust (AoA) eraldi kõnekoore piirkondade lõikes. Fz piirkonnas ilmnes selle muutuja mõju olulise ja mittelineaarse kujuga ($edf = 6.14$, $F = 4.97$, $p < .001$), viidates sellele, et varasem keeleomandamine oli seotud tugevama (negatiivsema) MMN-iga, samas kui hilisema alguse korral vähenes reaktsioon järsult. Lateraalsetes frontaalsetes piirkondades oli seos vähem väljendunud ja statistiliselt mitteoluline (vasakul: $F = 2.52$, $p = .113$; paremal: $F = 3.28$, $p = .070$), kuigi trendid viitasid sarnaselt sellele, et hilise keeleomandamisega kaasneb nõrgem MMN. Mudel selgitas 5.0% varieeruvusest. Joonis 6 illustreerib AoA efekti MMN amplituudile erinevates ROIs.



Joonis 6. Eesti keele omandamise vanuse efektid silbi-järgse MMN amplituudile erinevates aju piirkondades (ROI) seerias 1. X-teljel on eesti keele omandamise vanus, y-teljel on efekti suurus.

Seeria 1 silbijärgse MMN viivis

Viivise puhul ei olnud normaaljaotuse eeldus täidetud (Shapiro–Wilk: kõik $p < .001$), mistõttu kasutati mitteparametrilist ART-ANOVA-t (Aligned Rank Transform ANOVA). Tulemused näitasid statistiliselt olulist peaeffekti deviandi tüübil, $F(2, 621) = 179.21$, $p < .001$.

Vältetaju ja kakskeelsus

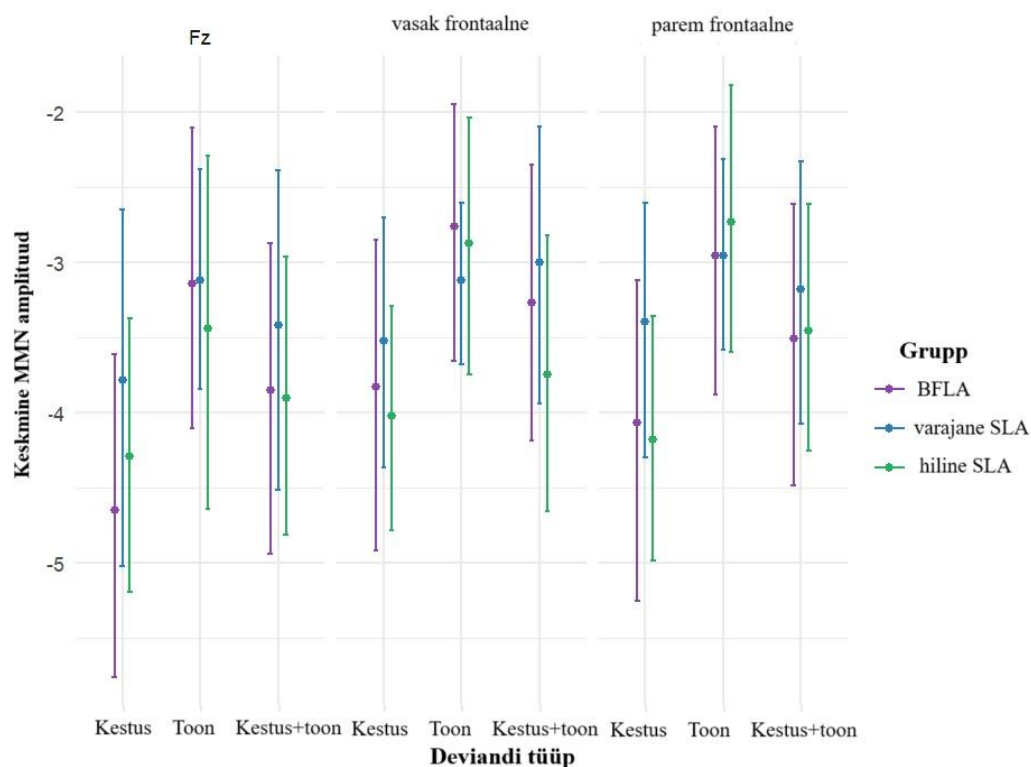
.001. Kõik muud peaefektid ja interaktsioonid jäid mitteolulisteks ($p > .05$), kuigi interaktsioon sh group $\times$ deviant oli lähedal olulisusele ($p = .055$).

Post-hoc analüüsides ilmnes üks statistiliselt oluline erinevus: hilise SLA grupis esines toonimuutusega deviandi korral negatiivne ERP-tipp varem ($M = 371$ ms, 95% CI [358, 384]) kui tooni ja kestuse muutusega deviandi korral ($M = 438$ ms, 95% CI [425, 452]), $p = .003$. Ülejäänud kontrastid kõigi gruppide ja deviandi tüüpide lõikes ei olnud statistiliselt olulised ($p > .05$).

GAMMi tulemused ei näidanud statistiliselt olulist seost keele omandamise algusvanuse ja MMN viivise vahel ($\beta = 0.11$, $p = .71$) ega keelekeskkonnas viibitud eluea osakaalu ja MMN viivise vahel ($\beta = -0.070$, $p = .477$). LexEsti tulemus statistiliselt olulist mõju ei avaldanud. Mudel selgitas 20.4% sõltuva muutuja varieeruvusest ning sisaldas juhuslikku intercept'i osalejate lõikes ($\sigma = 17.5$).

Seeria 1 stiimuli-järgse MMN amplituudid

Normaaljaotuse hindamiseks kasutati Shapiro–Wilki testi ning asümmeetriakordaja ja järsakusastme näitajaid. Enamik rühmi ja tingimusi olid ligilähedased normaaljaotusele. Kõige tugevamad kõrvalekalded ilmneshid toonimuutusega deviandi korral BFLA ja hilise SLA grupis ($p < .01$; skew kuni -1.2 , kurtosis kuni 2.0). Levene'i testi põhjal oli dispersioonide homogeensus tagatud ($p > .05$). Parameetriline ANOVA näitas statistiliselt olulist mõju ainult deviandi tüübi teguril, $F(2, 414) = 14.11$, $p < .001$. Gruppide ega ROI mõju ei olnud statistiliselt oluline ($p > .3$). Tulemused kinnitati mitteparametrilise ANOVA (ART) abil: statistiliselt oluline erinevus oli ainult deviandi tüüpide vahel ($F(2, 621) = 7.32$, $p < .001$). Post-hoc analüüs (Tukey ja emmeans) näitas, et toonimuutusega deviandi korral oli ERP tipu väärtus ($M = -4.53$, 95% CI $[-4.95, -4.11]$) statistiliselt oluliselt negatiivsem kui kestuse muutusega deviandi korral ($M = -3.97$, 95% CI $[-4.39, -3.55]$), $p < .001$. Ükski teine kontrast ei olnud statistiliselt oluline pärast mitmekordsete võrdluste korrigeerimist ($p > .05$). Joonisel 7 on esitatud keskmised stiimuli-järgse MMN amplituudid eri deviandi tüüpide ja gruppide lõikes erinevates ajukoore piirkondades.

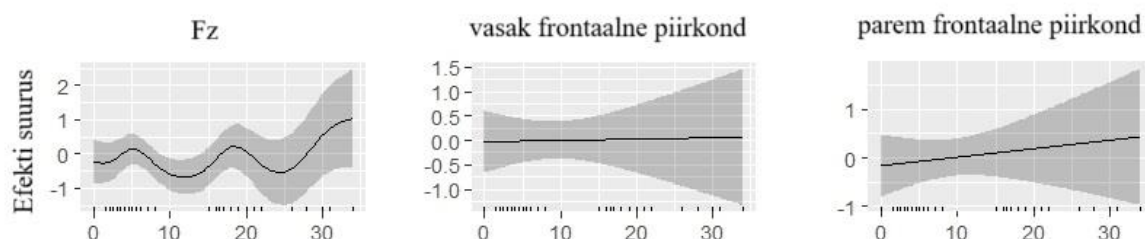


Joonis 7. Keskmised stiimuli-järgse MMN amplituudid seeria 1 puhul eri deviandi tüüpide ja gruppide lõikes kolmes ajukoore piirkonnas (Fz, vasak frontaalne, parem frontaalne). BFLA – samaaegne kakskeelsus (ingl. *bilingual first language acquisition*), SLA – järjestikune kakskeelsus (ingl. *second language acquisition*).

YoE mõju uurimiseks kasutati GAMMi mudelit, mis võimaldas kokkupuute kestuse mittelineaarset mõju eraldi igas ROI-s hinnata. Efekt ei olnud statistiliselt oluline üheski piirkonnas (Fz: $F(1) = 0.33, p = .566$; vasak frontaalne: $F(2.1) = 2.66, p = .095$; parem frontaalne: $F(1) = 0.14, p = .705$), kuigi vasakul esines nõrk mittelineaarne tendents. MMN oli keskses frontaalses piirkonnas oluliselt negatiivsem kui lateraalsetes: vasakul ($\beta = 0.38, p < .001$) ja paremal ($\beta = 0.35, p < .001$). LexEsti tulemusel mõju ei täheldatud. Mudel selgitas 6.5% varieeruvusest ja sisaldas osalejatevahelist juhuslikku efekti ($\sigma = 1.66$). Teise mudeli tulemused näitasid, et AoA mõju oli statistiliselt oluline keskfrontaalses piirkonnas (Fz), kus see esines keeruka mittelineaarse kujuna ($edf = 8.01, F = 8.55, p < .001$). Lateraalsetes piirkondades (vasak ja parem frontaalne) efekt puudus (mõlemad $F < 0.4, p > .5$). Fz piirkonnas viitas efekt sellele, et varasem keeleomandamine oli seotud negatiivsema MMN-iga, samas kui hilisema AoA korral vähenes MMN amplituud (joonis 8). MMN oli Fz-s oluliselt negatiivsem kui vasakus ($\beta = 0.38, p < .001$) ja paremas frontaalses piirkonnas ($\beta =$

Vältetaju ja kakskeelsus

0.35, $p < .001$. Mudel selgitas 7.7% amplituudi varieeruvusest ja sisaldas ka osalejate-vahelist juhuslikku efekti ($\sigma = 1.64$).



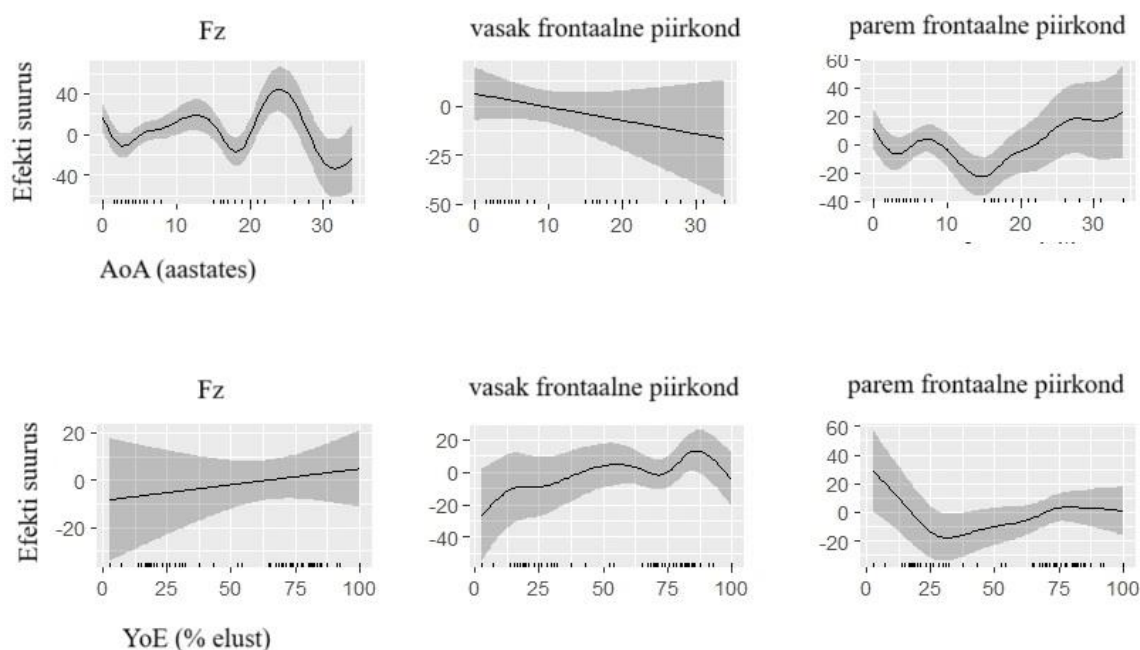
Joonis 8. Eesti keele omandamise vanuse efektid stiimuli-järgse MMN amplituudile erinevates aju piirkondades (ROI) seerias 1. X-teljel on eesti keele omandamise vanus, y-teljel on efekti suurus.

Seeria 1 stiimuli-järgse MMN viivis

Kuna viivise väärtused ei vastanud normaaliaotuse eeldusele, kasutati ainult mitteparametrilist ANOVA-t (ART meetodit). Dispersioonide homogeensus oli üldiselt tagatud, välja arvatud toon+kestus deviant ($p = 0.0297$), kus esines mõningane dispersioonide erinevus. Mitteparametriline ANOVA näitas statistiliselt olulist mõju nii deviandi tüübil, $F(2, 621) = 233.86$, $p < .001$, kui ka interaktsioonil grupp $\times$ deviandi tüüp, $F(4, 621) = 3.65$, $p = .006$. Kõik muud mõjud ja interaktsioonid olid mitteolulised. Post-hoc analüüs (emmeans) näitas, et hilise SLA grupis esines toonimuutusega deviandi korral negatiivse ERP-tipu ajastus ($M = 597.5$ ms, 95% CI [587, 608]) statistiliselt oluliselt varem kui tooni ja kestuse muutusega deviandi korral ($M = 680.7$ ms, 95% CI [670, 691]), $p = .028$. Enamik teisi kontraste ei olnud statistiliselt olulised ($p > .6$), kuigi mitmetes võrdlustes esines hinnanguliselt suuri erinevusi ajastuses (kuni ~ 100 ms).

GAMMi tulemused näitasid, et YoE ja AoA seos MMN-i teise tipu ajastusega oli statistiliselt oluline, kuid avaldus veidi erinevalt. YoE mõju oli statistiliselt oluline vasakus (edf = 6.82, $F = 6.81$, $p < .001$) ja paremas (edf = 5.57, $F = 10.12$, $p < .001$) frontaalses piirkonnas, viidates lühemale viivisele suurema kokkupuute korral, samas kui Fz piirkonnas mõju ei ilmnenu (p = .507). AoA mõju oli olulise mittelineaarse kujuga Fz-s (edf = 8.56, $F = 15.59$, $p < .001$) ja paremas frontaalses piirkonnas (edf = 7.20, $F = 12.37$, $p < .001$), viidates varasemale MMN-i tipule varajase keeleomandamise korral ja viivise piknemisele hilisema omandamisega. Efekte illustreerib joonis 9. Mõlemad mudelid sisaldasid osalejatevaheline juhusliku efekti (YoE: $\sigma = 36.32$; AoA: $\sigma = 34.99$), mis peegeldab individuaalsete erinevuste arvestamist. Mudelite seletatav variatsioon oli vastavalt 42.8% (YoE) ja 44.5% (AoA).

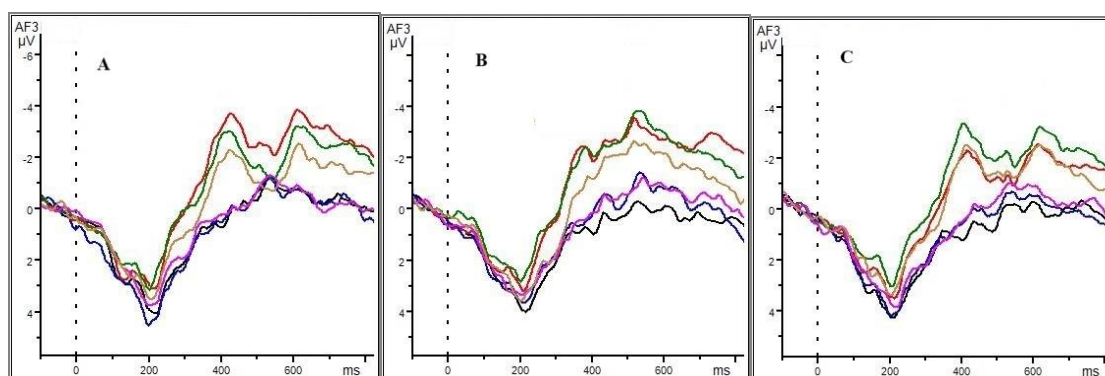
Vältetaju ja kakskeelsus



Joonis 9. Eesti keele omandamise vanuse (AoA) ning keelekeskkonnas viibitud aja (YoE) efektid stiimuli-järgse MMN viivisele erinevates aju piirkondades (ROI) seerias 1.

Seeria 2 gruppide võrdlus

Joonisel 10 on esitatud AF3 elektroodi gruppide üldkeskmiste standard- ja deviantlainete võrdlus erinevate deviantstiimulite puhul seerias 2.



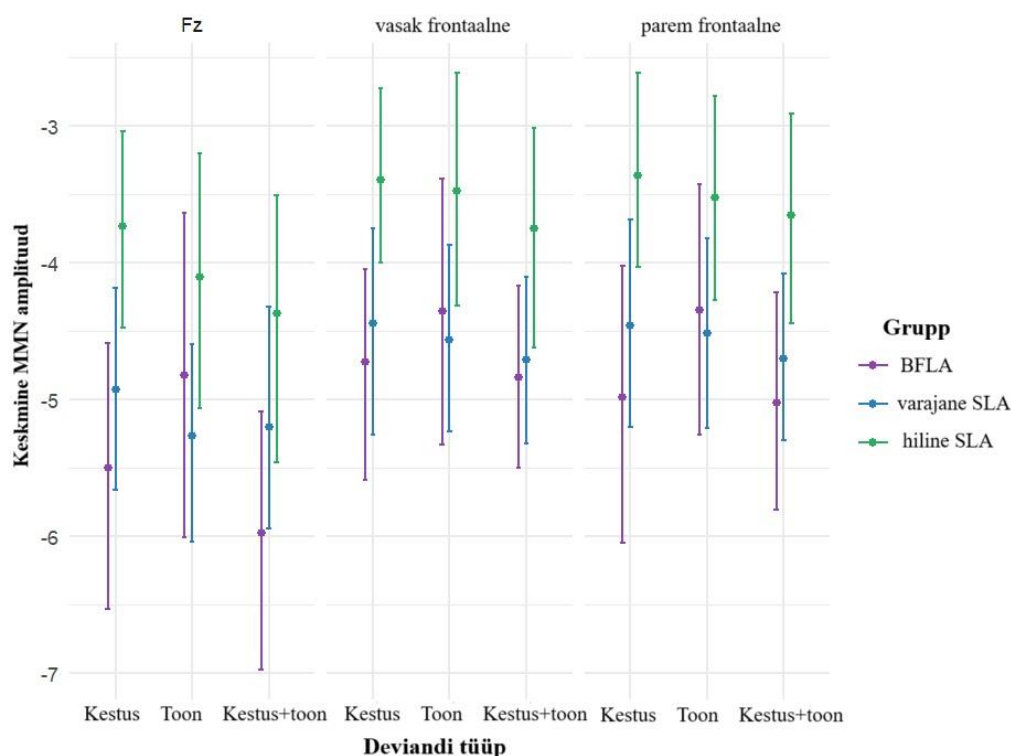
Joonis 10. Seeria 2 gruppide võrdlus. Keskmine standard- ja deviantlaine (must – BFLA standart, punane – BFLA deviant, sinine – varajane SLA standart, roheline – varajane SLA deviant, lilla – hilise SLA standart, kollane – hilise SLA deviant): A – kestuse muutus, B – põhitooni muutus, C – kestuse ja tooni muutus. AF3 – vasak frontaalne elektrood, μV - amplituud.

Seeria 2 silbi-järgse MMN amplituudid

Vältetaju ja kakskeelsus

Andmete normaaljaotust kontrolliti Shapiro–Wilki testiga ning lisaks vaadati asümmeetriakordaja ja järsakusastme näitajaid. Tulemustest ilmnes, et kestuse muutusega deviandi puhul polnud hilise SLA grupi tulemused normaaljaotuslikud ($\text{skew} = -1.19$ ja $\text{kurtosis} = 1.73$). Samuti esines heterogeensust dispersioonides, mida kinnitas Levene'i test ($p = .005$ ja $p = .009$). Seetõttu viidi läbi nii parameetiline kui ka mitteparameetiline ANOVA. Parameetiline ANOVA näitas statistiliselt olulist peaefekti grupil, $F(2, 201) = 13.17, p < .001$, ja mõõdukat mõju aju piirkonnal (ROI), $F(2, 201) = 3.81, p = .024$. Deviandi tüübi mõju ei olnud statistiliselt oluline ($p = .068$). Kõik interaktsioonid jäid samuti mitteolulisteks ($p > .25$). Kuna andmetes oli mitmeid mitte-normaaljaotuslikke ja heterogeensete dispersioonidega alasid, kinnitati tulemusi ART-ANOVA-ga, mille tulemused olid kooskõlas eelnevaga: grupi ($F(2, 603) = 20.74, p < .001$) ja ROI ($F(2, 603) = 5.45, p = .0045$) mõju oli statistiliselt oluline. Deviandi tüüp ega interaktsioonid ei olnud olulised ($p > .05$). Paarvõrdlused ei olnud statistiliselt olulised.

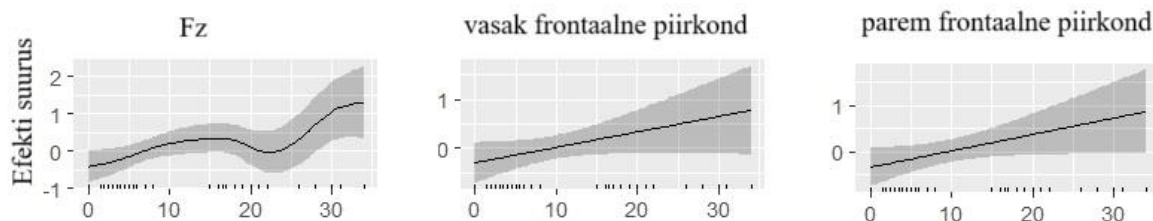
Post-hoc analüüsid (Tukey ja emmeans) näitasid, et hiline SLA grupp erines statistiliselt oluliselt nii BFLA grupist ($p < .0001$) kui ka varajasest SLA grupist ($p = .0007$), näidates süstemaatiliselt väiksemaid (vähem negatiivseid) MMN-amplituude kõigi deviantide puhul. Amplituudide hinnanguline suurus emmeans-võrdlustes oli hilisel SLA grupil $M = -3.50$, 95% CI $[-3.99, -3.00]$, võrreldes BFLA grupiga $M = -5.07$, 95% CI $[-5.56, -4.59]$ ja varajase SLA grupiga $M = -4.61$, 95% CI $[-5.07, -4.14]$. Tulemusi illustreerib joonis 11.



Joonis 11. Keskmine silbi-järgse MMN amplituudid seeria 2 puhul eri deviandi tüüpide ja gruppide lõikes kolmes ajukoore piirkonnas (Fz, vasak frontaalne, parem frontaalne). BFLA – samaaegne kakskeelsus (ingl. *bilingual first language acquisition*), SLA – järjestikune kakskeelsus (ingl. *second language acquisition*).

Üldistatud segamudel (GAMM) hindas eesti keelega kokkupuute kestuse (normaliseeritud eluea suhtes), deviandi tüübi, ajukoore piirkonna (ROI) ja individuaalsete tegurite mõju vältetajule. Mudel ei näidanud statistiliselt olulist mittelineaarset seost keelekeskkonnas viibitud eluea osakaalu ja MMN amplituudi vahel üheski piirkonnas ($p > .09$). MMN amplituud oli oluliselt negatiivsem Fz elektroodis võrreldes vasaku ($\beta = 0.47, p < .001$) ja parema frontaalse piirkonnaga ($\beta = 0.41, p < .001$). LexEsti testi tulemus ei osutunud oluliseks. Mudel selgitas 4.3% varieeruvusest ja arvestas ka osalejatevahelist juhuslikku efekti ($\sigma = 1.05$).

AoA mudelis ilmnes statistiliselt oluline mittelineaarne seos MMN amplituudiga ainult Fz piirkonnas (edf = 6.10, $F = 5.06, p < .001$), kus varasem keele omandamine oli seotud tugevama negatiivse MMN-iga ja hilisema omandamise korral amplituud vähenes (joonis 12). Teistes piirkondades AoA mõju ei ilmnenu ($p > .07$). Mudel selgitas 5.1% varieeruvusest ning sisaldas osalejate juhuslikku efekti ($\sigma \approx 1.03$).



Joonis 12. Eesti keele omandamise vanuse efektid silbi-järgse MMN amplituudile erinevates aju piirkondades (ROI) seerias 2. X-teljel on eesti keele omandamise vanus, y-teljel on efekti suurus.

Seeria 2 silbi-järgse MMN viivis

Kuna eeldused ei olnud täidetud (Shapiro–Wilk: mitmed $p < .001$; Levene'i test: $p = .037$), kasutati ainult mitteparametrilist ART-ANOVA-t. Tulemused ei näidanud statistiliselt olulisi peaeffekte ega interaktsioone ($p > .05$). Post-hoc võrdlused ei näidanud statistilist olulisust, kuigi mõnes võrdluses esines märkimisväärsed hinnangulisi erinevusi (kuni ± 49 ms).

GAMMi mudelite kohaselt ei olnud keelekeskkonnas veedetud eluea osakaal ega omandamise vanus statistiliselt oluliselt seotud MMN-i viivisega ($\beta = -0.089$, $p = .381$; $\beta = 0.16$, $p = .617$). Viivis oli oluliselt pikem vasakus frontaalses piirkonnas võrreldes keskse piirkonnaga ($\beta = 2.63$, $p = .013$). Devianti tüüp avaldas tugevat mõju: võrreldes tooni muutusega oli tooni ja kestuse muutusega deviant seotud oluliselt varasema MMN-iga ($\beta = -61.70$, $p < .001$). Mudelid selgitasid 20.6% varieeruvusest ning sisaldasid ka osalejatevahelist juhuslikku efekti ($\sigma = 17.5$).

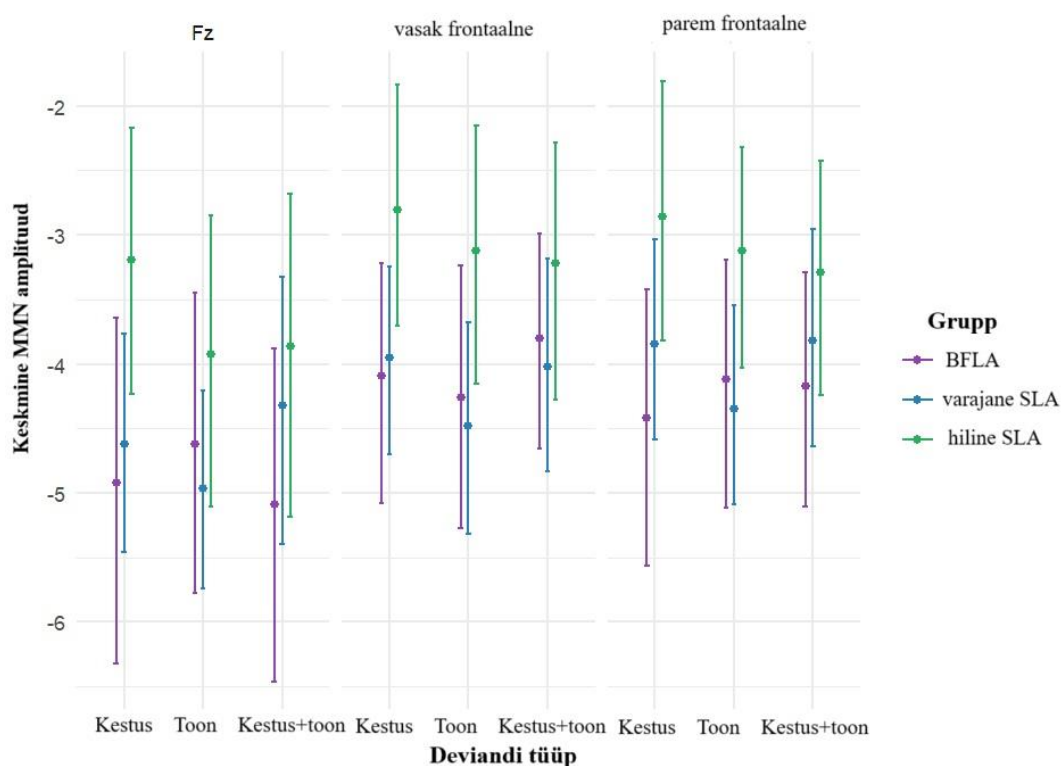
Seeria 2 stiimuli-järgse MMN amplituudid

Normaaljaotuse hindamiseks kasutati Shapiro–Wilki testi ning asümmeetriakordaja ja järsakusastme näitajaid. Enamik võrdluses kasutavaid rühmi olid normaaljaotuse lähedased, kuid kahes tingimuses ilmneseid märkimisväärsed kõrvalekalded: BFLA grupis kestuse ja tooni muutusega deviandi korral (skew = -1.25 , kurtosis = 1.88) ja kestuse muutusega deviandi korral (skew = -1.08 , kurtosis = 1.26). Parameetriline ANOVA näitas statistiliselt olulist peaeffekti grupil, $F(2, 204) = 7.25$, $p < .001$. ROI mõju ei olnud statistiliselt oluline ($p = .075$), samuti ei olnud oluline deviandi tüüp ega interaktsioonid ($p > .3$). Tulemusi kontrolliti ka mitteparameetrilise ART-ANOVA-ga, mis näitas, et grupi ($F(2, 603) = 20.74$, $p < .001$) ja ROI ($F(2, 603) = 5.45$, $p = .0045$) mõjud olid statistiliselt olulised. Devianti tüüp

Vältetaju ja kakskeelsus

ega interaktsioonid ei osutunud oluliseks ($p > .05$). Paarvõrdlused ART-mudelisi ei andnud statistiliselt olulisi tulemusi.

Post-hoc analüüs (Tukey ja emmeans) näitas, et hilise SLA grupi negatiivse ERP-tipu väärtus oli statistiliselt oluliselt vähem negatiivne võrreldes BFLA grupiga ($M = -3.35$, 95% CI $[-3.76, -2.94]$ vs $M = -4.12$, 95% CI $[-4.53, -3.71]$, $p < .0001$) ning varajase SLA grupiga ($M = -3.35$, 95% CI $[-3.76, -2.94]$ vs $M = -4.01$, 95% CI $[-4.41, -3.60]$, $p = .0007$). Enamik teisi kontraste ei olnud statistiliselt olulised ($p > .05$). Joonisel 13 saab näha keskmisi amplituude eri deviandi tüüpide ja gruppide lõikes erinevates ROIs.



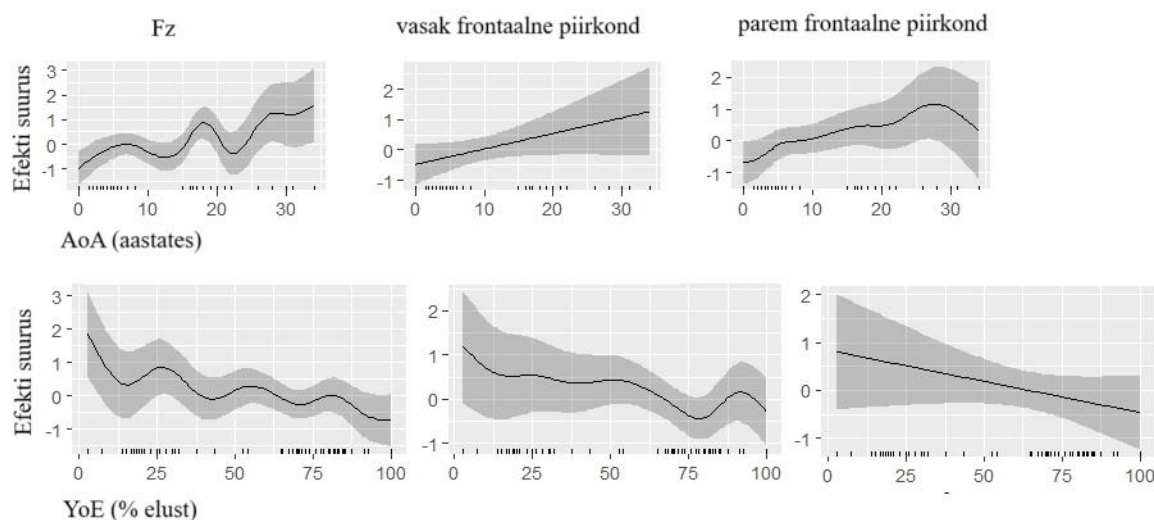
Joonis 13. Keskmised stiimuli-järgse MMN amplituudid seeria 2 puhul eri deviandi tüüpide ja gruppide lõikes kolmes ajukoore piirkonnas (Fz, vasak frontaalne, parem frontaalne). BFLA – samaaegne kakskeelsus (ingl. *bilingual first language acquisition*), SLA – järjestikune kakskeelsus (ingl. *second language acquisition*).

GAMMi mudelites polnud sõltuva muutuja ja peamise huvipakkuva tunnuse seosed lineaarsed ning varieerusid ajukoore piirkondade lõikes. YoE puhul ilmnes oluline mittelineaarne seos Fz piirkonnas ($\text{edf} = 8.32$, $F = 9.07$, $p < .001$), samuti vasakus frontaalses piirkonnas ($\text{edf} = 7.47$, $F = 5.51$, $p < .001$), viidates sellele, et suurem kokkupuude oli seotud negatiivsema MMN-iga. Paremas piirkonnas YoE mõju ei ilmnunud ($p = .17$). AoA mudelis

Vältetaju ja kakskeelsus

ilmnes samuti tugev mittelineaarne seos Fz piirkonnas ($\text{edf} = 8.55$, $F = 10.69$, $p < .001$), samuti paremal ($\text{edf} = 6.23$, $F = 5.10$, $p < .001$), ent vasakul piirkonnas mõju ei olnud statistiliselt oluline ($p = .078$) (joonis 14). Need tulemused viitavad sellele, et varasem keele omandamine oli seotud tugevama MMN-iga, kuid seos sõltus ajukoore piirkonnast.

MMN amplituud oli statistiliselt oluliselt negatiivsem Fz piirkonnas võrreldes lateraalsete piirkondadega (vasakul: $\beta = 0.63$, paremal: $\beta = 0.62$, mõlemad $p < .001$). LexEsti tulemus mõju ei avaldanud. Mõlemad mudelid selgitasid ligikaudu 12% varieeruvusest (YoE: 12.4%, AoA: 12.1%) ja sisaldasid olulist juhuslikku efekti osalejate lõikes ($\sigma \approx 1.66$), peegeldades individuaalseid erinevusi.



Joonis 14. Eesti keele omandamise vanuse (AoA) ning keelekeskkonnas viibitud aja (YoE) efektid stiimuli-järgse MMN amplituudile erinevates aju piirkondades (ROI) seerias 2.

Seeria 2 stiimuli-järgse MMN viivis

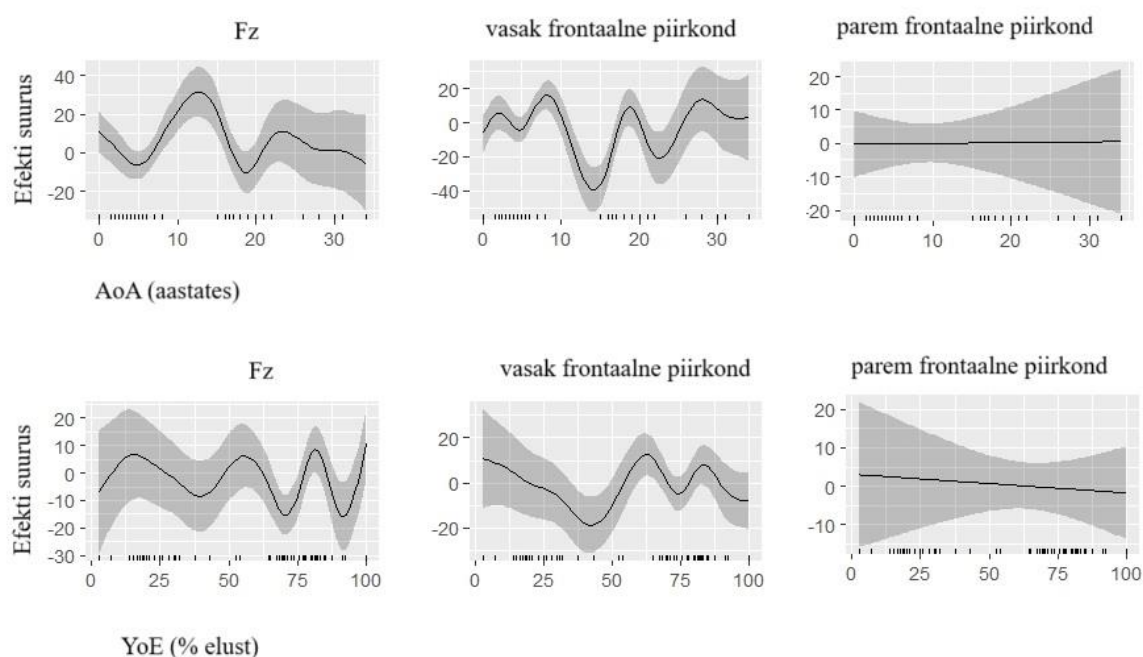
Kuna normaaljaotuse eeldus ei olnud täidetud – Shapiro–Wilki testi alusel esinesid kõrvalekaldeid kõikides gruppides ja deviandi tingimustes ($p < .05$), kasutati mitteparametrilist ART-ANOVA meetodit. Mitteparametriline ANOVA näitas statistiliselt olulist peaefekti deviandi tüübil, $F(2, 612) = 139.03$, $p < .001$, ning samuti interaktsiooni grupi ja deviandi tüübi vahel ($p = .0027$). ROI ja teised interaktsioonid ei olnud olulised.

Post-hoc analüüs näitas, et varajase SLA grupis esines toonimuutusega deviandi korral MMN ajastus ($M = 557.9$ ms, 95% CI [550, 566]) statistiliselt oluliselt varem kui tooni ja kestuse muutusega deviandi korral ($M = 661.3$ ms, 95% CI [653, 670]), $p = .012$. Ülejäänud

Vältetaju ja kakskeelsus

kontrastid ei olnud statistiliselt olulised ($p > .05$), kuigi mitmes võrdluses esines hinnanguliselt suuri erinevusi (kuni ~95 ms).

GAMM-mudelitest ilmnes statistiliselt oluline mittelineaarne seos Fz piirkonnas nii YoE ($edf = 8.54$, $F = 13.09$, $p < .001$) kui ka AoA puhul ($edf = 8.02$, $F = 6.64$, $p < .001$). Suurema keelekeskkonnas viibimisega kaasnes lühem MMN-i viivis, samas kui hilisema keele omandamisega kaasnes hilisem MMN-i tipp, eriti keskse frontaalse piirkonna puhul. Vasakus frontaalses piirkonnas esines samuti oluline mõju nii YoE puhul ($edf = 8.10$, $F = 5.97$, $p < .001$) kui ka AoA puhul ($edf = 8.71$, $F = 9.17$, $p < .001$). Paremas piirkonnas ükski seos statistiliselt oluliseks ei osutunud. Lisaks ilmnes, et MMN-i viivis oli oluliselt pikem vasakus ($\beta = -3.90$, $p < .001$) ja paremas frontaalses piirkonnas ($\beta = -5.39$, $p < .001$) võrreldes Fz-ga. Joonis 15 illustreerib neid tulemusi. LexEsti tulemus ei avaldanud statistiliselt olulist mõju MMN-i viivisele.



Joonis 15. Eesti keele omandamise vanuse (AoA) ning keelekeskkonnas viibitud aja (YoE) efektid stiimulijärgse MMN viivisele erinevates aju piirkondades (ROI) seerias 2.

Arutelu

Käesoleva magistritöö eesmärk oli uurida, kuidas vene-eesti kakskeelsete inimeste aju töötleb eesti keele kolmevältelist süsteemi eeltähelepanulisel tasandil (MMN komponendi abil) ning millist mõju avaldavad sellele teise keele omandamise algusvanus (AoA) ja keeleoskuse tase. Esimese hüpoteesi kohaselt pidi MMN vastus olema varasem või suurema amplituudiga

Vältetaju ja kakskeelsus

deviantsetele stiimulitele nende inimeste seas, kes hakkasid eesti keelt nooremas eas omandama. Analüüs kinnitas osaliselt H1 hüpoteesi – varajane kokkupuude eesti keelega andis märkimisväärse eelise, eriti varases eeltähelepanulise töötluse faasis. Silbi-järgsetes tingimustes ilmnis AoA tugev efekt MMN amplituudile: varajases lapsepõlves eesti keelt omandanud isikutele oli MMN negatiivsema amplituudiga võrreldes nendega, kes alustasid eesti keele õppimist hiljem. Stiimuli-järgse segmendi puhul oli tuvastatud AoA mõju MMN-le, kuid MMN amplituudi erinevused varase ja hilise keeleomandamise rühmade vahel esinesid üksnes ühes seerias. Stiimulijärgses töötlusetapis kaasnes hilisema keele omandamisega veidi ajaliselt hilisem MMN-i tipp, silbijärgses segmendis aga AoA mõju MMN viivisele ei leitud. H2 hüpoteesi kohaselt pidanuks kõrgema eesti keele oskusega kakskeelsetel olema automaatne vältetöötlus efektiivsem (suurema amplituudiga või varem ilmuv MMN). Meie tulemused seda ei kinnitanud – LexEsti sõnavaratesti skoor (kvantitatiivne keeleoskuse näitaja) ei korreleerunud oluliselt MMN parameetritega kummaski segmendis ega seerias.

Ülaltoodud tulemused viitavad, et keeleomandamise vanus on oluline tegur eesti keele häälikuliste kontrastide varases neurokognitiivses töötluses, kuid selle mõju ei ole töötlusprotsessi kõikides etappides ühtlane. See tulemus on kooskõlas muude kakskeelsuse uurimissuundade tulemustega, mille kohaselt varases eas teise keele omandanud isikute tajuprotsessid lähenevad suuremal määral emakeelsete kuulajate omadele, samas kui hiljem keele omandanud isikutele säilivad sagedamini emakeelsetest erinevad töötlusmustrid (Archila-Suerte et al., 2012). Käesolevas uuringus ei ilmnunud AoA statistiliselt olulist peaeefkti kogu ajaskaala ulatuses – varases või hilises eas keele omandamist alustanud rühmade MMN-lained ei erinenud globaalselt. See viitab, et isegi pärast niinimetatud sensitiivse perioodi lõppu alustanud keeleõppijad võivad piisava keelekeskkonna ja praktika tingimustes saavutada funktsionaalselt peaaegu samaväärse automaatse keelelise signaali eristusvõime kui varajases eas keel omandamist alustanud isikud. Seda järeldust toetavad ka uuringud, milles on leitud, et MMN parameetrid ei pruugi korreleeruda lineaarsetes seostes teise keele omandamise vanuse ega keelekasutuse kestusega, vaid pigem konkreetse ülesande käitumusliku sooritusega (Zevin jt, 2010). Leitud tulemused viitavad, et kogemus ja sihipärane keelekasutus võivad vähemalt osaliselt kompenseerida hilisema keeleomandamisega seotud piiranguid.

Antud uuringu valimis olid kõik osalejad vähemalt kesktasemel keeleoskusega, kusjuures varase ja hilise keeleomandamise rühmade keelekasutuse intensiivsus ja eneseraporteeritud

Vältetaju ja kakskeelsus

keeleskuse tasemed ei erinenud märkimisväärselt. Seega ei olnud hilisema omandamise rühm esindatud algtaseme õppijatega, vaid pigem pikaajalise keelekokkupuutega isikutega, kelle neurokognitiivsed mehhanismid võimaldasid edukat eesti keele välte töötlust. Samas ilmnes lühisegmentatsiooni tulemuste põhjal, et varajane keeleomandamine pakub teatud neuroplastilist eelist, soodustades helimustrite automaatset ja efektiivsemat diskrimineerimist. See eelis võib olla seotud nii pikema kokkupuutega sensitiivse perioodi vältel kui ka lapsepõlves omandatud peente akustiliste vihjete (nt intonatsioonimustrite) parema talletumisega (Werker & Hensch, 2015).

Keeleomandamise vanuse ja keeleskuse mõju vähenemine stiimulijärgses töötlustapis tõstatab küsimuse, kas hilisemates töötlusfaasides kaasatakse täiendavaid mehhanisme, mis vähendavad varajases faasis ilmnenu erinevusi. Üheks võimalikuks seletuseks on, et pärast kogu sõna ärakuulamist rakenduvad tugevamalt *top-down* protsessid, nagu sõna äratundmine ja konteksti kasutamine (Zora et. al., 2023). Need protsessid võivad olla sarnased sõltumata keele omandamise vanusest, mistõttu ühtlustuvad ka MMN vastused. Silbi-järgses segmentatsioonis toimus töötlus peamiselt tähelepanueelse tasandi mehhanismide toel, ilma leksikaalse informatsiooni panuseta. Stiimuli-järgse segmentatsiooni puhul võis aga aju juba kasutada kogu sõna või selle prosoodiamustrit kui täiendavat vihjet. On teada, et kuulajad teevad ennustusi prosoodia põhjal sõna äratundmiseks. Näiteks Zora et. al (2023) näitasid, et emakeelsed kuulajad kasutavad intonatsioonimustreid ennustavalt juba umbes 50 ms jooksul alates stiimuli algusest, hõlbustades seeläbi sõna äratundmist. Kui varajase keeleomandusega kuulajatel on sellised ootused ja prosoodilised mustrid (nn *templates*) ajus paremini välja kujunenud, võib see seletada, miks nad reageerisid MMN vastusega kiiremini juba esimese silbi järel. Hilisema keeleomandusega kuulajatel võivad need ennustused olla nõrgemad või aeglasemad, mille tõttu ilmnes erinevus alles hilisemas töötlusfaasis – ja ka siis suhteliselt tagasihoidlikult. Kuigi käesolev uuring ei võimalda otseselt hinnata ennustuspõhiste mehhanismide kasutamist, viitavad tulemused sellele, et segmentatsioonipõhine lähenemine toob esile olulised erinevused varase ja hilisema töötlustapi vahel. Edasised uuringud võiksid süvendatult käsitleda ennustuspõhise töötluse rolli keele omandamise vanuse ja keeleskuse kontekstis.

Viimaks käsitlem lühidalt MMN vastuste lateraalsust ja piirkondlikke erinevusi. Teoreetiliste käsitluste kohaselt on vasak ajupoolkera domineeriv keeleliste ja fonoloogiliste tunnuste, nagu kestuse ja foneemide, töötlemisel, samas kui parem ajupoolkera osaleb rohkem prosoodiliste tunnuste, näiteks intonatsiooni ja kõnemeloodia, töötluses (Zatorre & Belin,

Vältetaju ja kakskeelsus

2001). Käesoleva uuringu MMN tulemused näitasid maksimaalset negatiivsust keskjoonel Fz elektroodil ning olulisi vasaku ja parema ajupoolkera erinevusi ei ilmnunud. Vastused olid pigem sümmeetrilised, mis langeb kokku varasemate leidudega, kus samuti ei kinnitatud lateraalsuse mõju vältetöötlustes. Näiteks Kask jt (2021) ei leidnud olulisi vasak-parem erinevusi ei eesti- ega venekeelsete kuulajate MMN vastustes väldele. Tulli (2013) raportis ilmnis küll eestikeelsetel kuulajatel suurem MMN amplituud Q3 hälbe eristamisel vasakus ajupoolkeras, ent käesolevas uuringus ei täheldatud sellist domineerivat vasakpoolset töötlust. Need leiud viitavad, et kakskeelsetel kuulajatel toimub vältetunnuste töötlus tõenäoliselt mõlema ajupoolkera koostoimes. Ühe võimaliku selgitusena võib välja tuua eesti keele kvantiteedisüsteemi keeruka olemuse, mis ühendab endas nii segmentaalse kestuskomponendi kui ka suprasegmentaalse põhitooni komponendi. Leid on kooskõlas Malik-Moraleda jt (2024) seisukohaga, mille kohaselt teise keele omandamisel rakenduvad küll peamiselt vasakpoolsed keeleprotsessidega seotud ajupiirkonnad, kuid prosoodia töötlemisel kaasatakse vältimatult ka parem ajupoolkera. Seda toetavad ka varasemad neuroloogilised uuringud, mis on näidanud, et helide kestuse ja kõrguse töötlus on ajus vastavalt vasaku ja parema poolkera spetsialiseerumisega, kuid kui akustiline stiimul sisaldab mõlemat komponenti, toimub töötlus jaotatult (Zatorre & Belin, 2001).

Magistritöös analüüsiti esmakordselt lisaks silbi-järgsele ka stiimuli-järgset reaktsiooni eesti keele vältete deviantstiimulitele. Samuti kasutati senisest erinevalt koostatud stiimulikomplekti. See, et nii esimese kui ka teise seeria tulemused olid omavahel kooskõlas, võib viidata kasutatud mõõtmismeetodi ja stiimulite konstruktiivsele valiidsusele. Siiski ilmnesis uuringus mitmed piirangud. Esiteks puudus kontrollrühm emakeelsetest eestlastest, mis takistab L2 kuulajate tulemuste võrdlemist. Kuna esimese seeria stiimulid olid identsed Kask jt (2021) uuringus kasutatutega, kus osales ka eestikeelne kontrollrühm, on tulevikus võimalik see puudujääk täita ja tulemusi omavahel võrrelda. Teiseks piiras uuringu üldistatavust kasutatud stiimulmaterjali piiratus – analüüsiti vaid ühe sõnapaari („saada“ Q2 vs Q3) vältetöötlust MMN paradigmas. Selline kitsas stiimulivalik ei võimalda teha järeldusi vältetaju kohta laiemas keelelises kontekstis. Küll aga lisandus katses täiendav stiimulite komplekt („pole – poole – poole“), mille analüüs võimaldab saada avaramat ülevaadet vältetaju eripäradest. Lisaks ei uuritud keelekasutuse mõju, kuigi vastavasisuliselt andmeid koguti küsimustike kaudu ning nende analüüs on võimalik edasistes töödes. Samuti ei hinnatud katseisikutel teadlikku vältete eristamise võimet, kuna puudus käitumuslik katse. Kasutatud keeleoskuse mõõdik (LexEsti) ei võimaldanud hinnata osalejate fonoloogilist

Vältetaju ja kakskeelsus

teadlikkust piisava täpsusega. AoA rühmade sisemine heterogeensus oli samuti piiranguks – keele omandamise vanuse vahemikud olid laiad, mistõttu võisid mittelineaarsed mõjud jääda varjatuks.

Samuti on perspektiivikas suund treeningu- ja sekkumisuuringud. Kuna on leitud, et lühiajaline kuulamistreening võib parandada täiskasvanute L2 häälikutaju ja suurendada MMN vastust (nt Tamminen et. al., 2015), võiks analoogseid katseid teha eesti väldelega. Näiteks võiks fookustatud harjutused intonatsiooni eristamisel aidata hilise omandajatel paremini toonierinevust märkama õppida – ja seda saaks objektiivselt hinnata MMN komponendi muutuse kaudu enne ja pärast treeningut. Kui selline treening tõstab MMN amplituudi põhitoonihälbele, oleks see tugev tõend, et ka hilises eas saab fonoloogilist kuulmist täiustada ja et väiksem MMN polnud tingitud pöördumatust sensitiivse perioodi möödumisest, vaid lihtsalt vähesest harjumusest toonitunnusega.

Kokkuvõtteks näitas magistritöö, et keele omandamise vanus mõjutab eesti keele vältetöötlust töötlustapist sõltuvalt. Varajases, kohe pärast esimese silbi kuulmist toimivas töötlusfaasis ilmnis varajase keeleomandusega kuulajatel tugevam MMN vastus, mis viitab efektiivsemale automaatsele foneetilisele töötlusele. Hilisemas töötlusfaasis need erinevused vähenesid, mistõttu suutsid ka hilisema keeleomandusega isikud saavutada sarnase töötlustaseme. Keeleoskuse tase ei mõjutanud MMN parameetreid kummaski töötlustapis. Kokkuvõttes kinnitavad tulemused, et varajane keeleomandamine soodustab fonoloogilise kontrasti varasemat töötlemist.

Kasutatud kirjandus

Raamatud ja artiklid:

Albouy, P., Weiss, A., Baillet, S., & Zatorre, R. J. (2017). Selective Entrainment of Theta Oscillations in the Dorsal Stream Causally Enhances Auditory Working Memory Performance. *Neuron*, 94(1), 193-206.e5. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2017.03.015>

Archila-Suerte, P., Zevin, J., Bunta, F., & Hernandez, A. E. (2012). Age of acquisition and proficiency in a second language independently influence the perception of non-native speech. *Bilingualism: Language and Cognition*, 15(1), 190–201. <https://doi.org/10.1017/S1366728911000125>

Vältetaju ja kakskeelsus

Asu, E. L., Lippus, P., Pajusalu, K., & Teras, P. (2016). *Eesti keele hääldus*. Tartu Ülikooli Kirjastus.

Baker, C. (2011). *Foundations of bilingual education and bilingualism* (5th ed.). Multilingual Matters.

Barlow, J. A. (2014). Age of acquisition and allophony in Spanish-English bilinguals. *Frontiers in Psychology*, 5, Article 288. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00288>

Colantoni, L., Klassen, G., Patience, M., Radu, M., & Tararova, O. (2022). Perception and production of sentence types by Inuktitut-English bilinguals. *Languages*, 7(3), Article 193. <https://doi.org/10.3390/languages7030193>

Eek, A., & Meister, E. (2003). Foneetilisi katseid ja arutlusi kvantiteedi alalt (I). Häälikukestusi muutvad kontekstid ja välde. *Keel ja Kirjandus*, 11, 815–837.

Grosjean, F., & Li, P. (2013). *The psycholinguistics of bilingualism*. Wiley-Blackwell.

Dürschmid, S., Edwards, E., Reichert, C., Dewar, C., Hinrichs, H., Heinze, H.-J., Kirsch, H. E., Dalal, S. S., Deouell, L. Y., & Knight, R. T. (2016). Hierarchy of prediction errors for auditory events in human temporal and frontal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(24), 6755–6760. <https://doi.org/10.1073/pnas.1525030113>

Hoff, E. (2015). Language development in bilingual children. In E. Hoff (Ed.), *The Cambridge handbook of child language* (pp. 483–503). Cambridge University Press.

Kask, L., Pöldver, N., Lippus, P., & Kreegipuu, K. (2021). Perceptual asymmetries and auditory processing of Estonian quantities. *Frontiers in Human Neuroscience*, 15, Article 612617. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.612617>

Khare, V., Verma, A., Kar, B., Srinivasan, N., & Brysbaert, M. (2013). Bilingualism and the increased attentional blink effect: Evidence that the difference between bilinguals and monolinguals generalizes to different levels of second language proficiency. *Psychological Research*, 77(6), 728–737. <https://doi.org/10.1007/s00426-012-0466-4>

Klein, D., Mok, K., Chen, J.-K., & Watkins, K. E. (2014). Age of language learning shapes brain structure: A cortical thickness study of bilingual and monolingual individuals. *Brain and Language*, 131, 20–24. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2013.05.014>

Kodzassov, S. V., & Krivnova, O. F. (2001). *General phonetics*. Russian State University for the Humanities.

Vältetaju ja kakskeelsus

Krull, D., Traunmüller, H., & van Dommelen, W. A. (2003). The effect of local speaking rate on perceived quantity: A comparison between three languages. In *Proceedings of the 15th International Congress of Phonetic Sciences* (pp. 833–836).

<https://www.researchgate.net/publication/2570829>

Kuhl, P. K., Ramírez, R. R., Bosseler, A., Lin, J. F., & Imada, T. (2008). Infants' brain responses to speech suggest analysis by synthesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(49), 18760–18765. <https://doi.org/10.1073/pnas.0806792105>

Leppik, K., Lippus, P., & Asu, E. L. (2023). The perception and production of Estonian vowels and vocalic quantity contrasts by Spanish L1 learners. *Ampersand*, 11, 100147.

<https://doi.org/10.1016/j.amper.2023.100147>

Lippus, P., Pajusalu, K., & Allik, J. (2009). The tonal component of Estonian quantity in native and non-native perception. *Journal of Phonetics*, 37(4), 388–396.

Lippus, P., Pajusalu, K., & Allik, J. (2011). The role of pitch cue in the perception of the Estonian long quantity. In S. Frota, G. Elordieta, & P. Prieto (Eds.), *Prosodic categories: Production, perception and comprehension* (pp. 231–242). Springer.

Lutter, S. (2023). *Vene keelt esimese keelena kõnelevate Tartu lapsevanemate suhtumine kakskeelsusse ja varajasse keeleõppesse* [Bakalaureusetöö, Tartu Ülikool].

<https://hdl.handle.net/10062/91372>

Lyu, S., Põldver, N., Kask, L., Wang, L., & Kreegipuu, K. (2024). Effect of musical expertise on the perception of duration and pitch in language: A cross-linguistic study. *Acta Psychologica*, 244, 104195. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2024.104195>

Lõo K., Bleive B., Leppik K., Malmi A. (2024). LexEst. <https://sisu.ut.ee/lexest>

Malik-Moraleda, S., Jouravlev, O., Taliaferro, M., Mineroff, Z., Cucu, T., Mahowald, K., Blank, I. A., & Fedorenko, E. (2024). Functional characterization of the language network of polyglots and hyperpolyglots with precision fMRI. *Cerebral Cortex*, 34(3), Article bhae049. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhae049>

McGettigan, C., Faulkner, A., Altarelli, I., Obleser, J., & Scott, S. K. (2012). Speech comprehension aided by multiple modalities: Behavioural and neural interactions. *Neuropsychologia*, 50(5), 762–776. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.01.010>

Vältetaju ja kakskeelsus

Meister, L., & Meister, E. (2011). Perception of the short vs. Long phonological category in Estonian by native and non-native listeners. *Journal of Phonetics*, 39(2), 212–224.

<https://doi.org/10.1016/j.wocn.2011.01.005>

Näätänen, R. (2001). The perception of speech sounds by the human brain as reflected by the mismatch negativity (MMN) and its magnetic equivalent (MMNm). *Psychophysiology*, 38(1), 1–21. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.3810001>

Pettigrew, C., Murdoch, B., Chenery, H., & Kei, J. (2004). Review The relationship between the mismatch negativity (MMN) and psycholinguistic models of spoken word processing. *Aphasiology*, 18(1), 3–28. <https://doi.org/10.1080/02687030344000463>

Pulvermüller, F., & Shtyrov, Y. (2006). Language outside the focus of attention: The mismatch negativity as a tool for studying higher cognitive processes. *Progress in Neurobiology*, 79(1), 49–71. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2006.04.004>

Pliatsikas, C., Meteyard, L., Veríssimo, J., DeLuca, V., Shattuck, K., & Ullman, M. T. (2020). The effect of bilingualism on brain development from early childhood to young adulthood. *Brain Structure and Function*, 225(7), 2131–2152. <https://doi.org/10.1007/s00429-020-02115-5>

Saito, K. (2013). Age effects on late bilingualism: The production development of /ɹ/ by high-proficiency Japanese learners of English. *Journal of Memory and Language*, 69(4), 546–562. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2013.07.003>

Saud Alharbi, A., Foltz, A., Kornder, L., & Mennen, I. (2023). L2 acquisition and L1 attrition of VOTs of voiceless plosives in highly proficient late bilinguals. *Second Language Research*, 39(4), 1133–1163. <https://doi.org/10.1177/02676583221124011>

Shalgi, S., & Deouell, L. Y. (2007). Direct evidence for differential roles of temporal and frontal components of auditory change detection. *Neuropsychologia*, 45(8), 1878–1888. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.11.023>

Shestakova, A., Huotilainen, M., Čeponienė, R., Cheour, M., & Näätänen, R. (2003). Event-related potentials associated with second language learning in children. *Cognitive Brain Research*, 15(2), 132–143. [https://doi.org/10.1016/S0926-6410\(02\)00169-5](https://doi.org/10.1016/S0926-6410(02)00169-5)

Statistikaamet. (2022). *Rahva ja eluruumide loendus 2021: RL21439: Rahvastik võõrkeelte oskuse, soo, vanuserühma ja elukoha (haldusüksus) järgi, 31. detsember 2021.*

Vältetaju ja kakskeelsus

https://andmed.stat.ee/et/stat/rahvaloendus__rel2021__rahvastiku-demograafilised-ja-etno-kultuurilised-naitajad__voorkeeleoskus-murded/RL21439

Takahashi, C. (2023). L1 vowel perceptual boundary shift as a result of L2 vowel learning. *Journal of Phonetics*, 100, 101265. <https://doi.org/10.1016/j.wocn.2023.101265>

Tamminen, H., Peltola, M. S., Kujala, T., & Näätänen, R. (2015). Phonetic training and non-native speech perception—New memory traces evolve in just three days as indexed by the mismatch negativity (MMN) and behavioural measures. *International Journal of Psychophysiology*, 97(1), 23–29. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2015.04.020>

Werker, J. F., & Hensch, T. K. (2015). Critical Periods in Speech Perception: New Directions. *Annual Review of Psychology*, 66 (Volume 66, 2015), 173–196. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010814-015104>

Yao, Y., Chan, A., Fung, R., Wu, W. L., Leung, N., Lee, S., & Luo, J. (2020). Cantonese tone production in pre-school Urdu–Cantonese bilingual minority children. *International Journal of Bilingualism*, 24(4), 767–782. <https://doi.org/10.1177/1367006919884659>

Zatorre, R. J., & Belin, P. (2001). Spectral and temporal processing in human auditory cortex. *Cerebral Cortex*, 11(10), 946–953. <https://doi.org/10.1093/cercor/11.10.946>

Zevin, J. D., Datta, H., Maurer, U., Rosania, K. A., & McCandliss, B. D. (2010). Native language experience influences the topography of the mismatch negativity to speech. *Frontiers in Human Neuroscience*, 4, 212. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00212>

Zora, H., Schwarz, I.-C., & Heldner, M. (2015). Neural correlates of lexical stress: Mismatch negativity reflects fundamental frequency and intensity. *NeuroReport*, 26(13), 791–796. <https://doi.org/10.1097/WNR.0000000000000426>

Zora, H., Schwarz, I.-C., & Heldner, M. (2023). Predictive processing of prosody: Early neural responses to lexical stress patterns. *International Journal of Psychophysiology*, 187, 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2023.02.005>

Statistikatarkvara ja R-paketid:

Fox, J., & Weisberg, S. (2019). *An R companion to applied regression* (3rd ed.). Sage.

Kay, M., Wobbrock, J. O., & Haroz, S. (2021). ARTool: Aligned rank transform for nonparametric factorial ANOVAs (Version 0.11.1) [R package]. <https://cran.r-project.org/package=ARTool>

Vältetaju ja kakskeelsus

Lawrence, M. A. (2016). ez: Easy analysis and visualization of factorial experiments (Version 4.4-0) [R package]. <https://cran.r-project.org/package=ez>

Lenth, R. V. (2024). emmeans: Estimated marginal means, aka least-squares means (Version 1.10.0) [R package]. <https://cran.r-project.org/package=emmeans>

Revelle, W. (2024). psych: Procedures for psychological, psychometric, and personality research (Version 2.4.12) [R package]. <https://cran.r-project.org/package=psych>

R Core Team. (2024). *R: A language and environment for statistical computing* (Version 4.4.2). R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>

Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. Springer.

Wickham, H., François, R., Henry, L., & Müller, K. (2024). dplyr: A grammar of data manipulation (Version 1.1.4) [R package]. <https://cran.r-project.org/package=dplyr>

Wickham, H., Hester, J., & Bryan, J. (2023). readr: Read rectangular text data (Version 2.1.5) [R package]. <https://cran.r-project.org/package=readr>

Wickham, H., & Girlich, M. (2024). tidyr: Tidy messy data (Version 1.3.1) [R package]. <https://cran.r-project.org/package=tidyr>

Wood, S. N. (2017). *Generalized additive models: An introduction with R* (2nd ed.). CRC Press.

Lisa 1**Analüüsitud seeriade stiimulid**

	Konsonant 1	Vokaal 1	Esimese silbi kestus	Konsonant 2	Vokaal 2	Sõna kestus	Silpide kestussuhe (1,2-2,1 vastab Q2, 2,0-3,6 vastab Q3)
<i>SADA 170-</i> (<i>baassõna</i> <i>Q2</i>)	100	170	270	86	101	457	1,44
<i>SADA 290-</i> (<i>baassõna</i> <i>Q2</i>)	93	290	383	86	101	570	2,05
<i>SADA 170\</i> (<i>baassõna</i> <i>Q3</i>)	93	170	263	103	74	440	1,48
<i>SADA 290\</i> (<i>baassõna</i> <i>Q3</i>)	100	290	390	103	74	567	2,2
<i>SADA 200-</i> (<i>baassõna</i> <i>Q2</i>)	92	200	292	72	98	462	1,7
<i>SADA 200\</i> (<i>baassõna</i> <i>Q2</i>)	92	200	292	72	98	462	1,7
<i>SADA 271\</i> (<i>baassõna</i> <i>Q3</i>)	97	271	368	70	50	488	3,1
<i>SADA 271-</i> (<i>baassõna</i> <i>Q3</i>)	97	271	368	70	50	488	3,1

Mina, Sofia Lutter,
(*autori nimi*)

- mille juhendaja(d) on Liis Kask ja Pärtel Lippus
(juhendaja nimi)

2. annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi kaudu Creative Commonsi litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni;
3. olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
4. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Sofia Lutter
12.05.2025