

Tartu Ülikool

Sotsiaalteaduste valdkond

Psühholoogia instituut

Getter Kiissel

**Ajupoolkerade lateralisatsioon eesti keele vältestiimulite töötlemisel vene emakeelega
vene-eesti kakskeelsetel isikutel**

Uurimistöö

Juhendajad: Liis Kask ja Kairi Kreegipuu

Läbiv pealkiri: kakskeelsete lateralisatsioon veldete töötlemisel

Tartu 2026

**Ajupoolkerade lateralisatsioon eesti keele vältestiimulite töötlemisel vene emakeelega
vene-eesti kakskeelsetel isikutel**

Kokkuvõte

Käesolevas uurimistöös uurisin vene emakeelega vene-eesti kakskeelsete isikute ajupoolkerade lateralisatsiooni eesti keele vältestiimulite töötlemisel ($N = 68$, $M_{\text{vanus}} = 26,47$). Kakskeelsed olid jagatud kolme gruppi vastavalt eesti keele omandamise vanusele. Katseisikutega viidi läbi EEG katse, milles neile esitati eesti keele vältestiimuleid. Kontrollgrupina kasutati varasemas uuringus kogutud eesti emakeelega katseisikute andmeid ($N = 17$, $M_{\text{vanus}} = 22,88$). Selles töös keskendusin lahknevusnegatiivsuse (MMN) uurimisele, et tuvastada ajupoolkeradevahelised erinevused vältestiimulite töötlemises. Andmeanalüüsiks kasutasin korduvmõõtmiste ANOVA-t. Uurimistöö esimene hüpotees sai kinnitust: vene-eesti kakskeelsetel oli MMN-vastus vältestiimulite töötlemisel paremas ajupoolkeras tugevam kui eestlastel. Teine hüpotees ei saanud kinnitust: eri vanuses eesti keele omandamist alustanud vene-eesti kakskeelsete gruppide vahel ei ilmnenud ajupoolkerade lateralisatsioonis erinevust vältestiimulite töötlemisel. Uurimistöö põhjal võib järeldada, et keeletöötlus on pigem bilateraalne ning ajupoolkerade rolle keeletöötlemises võivad mõjutada mitmed erinevad tegurid.

Märksõnad: EEG, lateralisatsioon, lahknevusnegatiivsus, MMN, eesti keele vältesüsteem

Brain hemispheric lateralisation in the processing of Estonian quantity degree stimuli in Russian native-speaking Russian-Estonian bilinguals

Abstract

In this study, I examined hemispheric lateralisation in Russian native-speaking Russian-Estonian bilinguals during the processing of Estonian quantity degree stimuli ($N = 68$, $M_{age} = 26,47$). The participants were divided into three groups based on the age of acquisition of Estonian. Participants underwent an EEG experiment in which they were presented with Estonian quantity stimuli. The control group data from native-speaking Estonian participants was collected in an earlier study using a similar method ($N = 17$, $M_{age} = 22,88$). In this study, I focused on examining mismatch negativity (MMN) to identify hemispheric differences in quantity degree stimuli processing. I used repeated measures ANOVA for data analysis. The first hypothesis was confirmed: the MMN response in Russian-Estonian bilinguals was stronger in the right hemisphere during quantity degree stimuli processing compared to Estonians. The second hypothesis was not confirmed: no differences in hemispheric lateralisation during the processing of quantity degree stimuli were observed between the groups that acquired Estonian at different ages. Based on this study, it can be concluded that language processing is rather bilateral, and the roles of the hemispheres in language processing can be influenced by various factors.

Keywords: EEG, lateralisation, mismatch negativity, MMN, Estonian quantity degree system

Keeletöötlus on keeruline süsteem, milles osalevad mitmed piirkonnad nii aju vasakus kui ka paremas poolkeras, mis toetavad erinevaid keelelisi funktsioone (Friederici, 2011). Teaduslikku huvi on pälvinud küsimus, kuidas emakeele omadused mõjutavad teise keele töötlemist ajus. Näiteks on leitud, et vasak ajupoolkera vastutab rohkem sisulise töötluste eest, samas kui paremat ajupoolkera iseloomustab tundlikkus prosoodiale (Zatorre & Belin, 2001). Leitud on ka, et vanus, millal teist keelt hakatakse omandama, mõjutab keeletöötlust: Liu ja Cao (2016) leidsid, et varem teise keele omandanute keeletöötlus sarnaneb rohkem emakeele töötlustele. Käesolev töö keskendubki sellele, kas ja kuidas vene emakeelega vene-eesti kakskeelsete isikute eesti keele vältetaju lateralisatsioon erineb sõltuvalt keele omandamise ajast.

Keeleareng ning teise keele omandamine

Tulviste (2008) selgitab, et kõige intensiivsem kõne ja keele omandamise periood inimese elus on tema esimesed eluaastad. Pikalt oli arengupsühholoogias üheks levinumaks keele omandamise teooriaks kriitiline periood ehk aeg, mil laps on bioloogiliselt valmis keelt omandama. Praegu arvatakse aga, et selle asemel on olemas sensitiivne periood ehk aeg, kus keelt omandada on kõige kergem. See puudutab eelkõige keele foneetilist külge. Arvatakse, et teise keele fonoloogilise kompetentsuse saavutamise optimaalne periood lõpeb enne 3. eluaastat. Peale seda väheneb võime eristada neid häälikuid, mis emakeeles puuduvad ning see on ka põhjuseks, miks teist keelt hiljem omandades tekib tavaliselt aktsent.

Mayberry & Lock (2003) uurisid, kuidas vanus mõjutab esimese ja teise keele omandamist. Selleks viisid nad läbi grammatilisi teste erineva keelega kokkupuute ja keele omandamise vanusega täiskasvanute seas. Inimesed, kellel oli varajane teise keele kogemus, saavutasid kõikides ülesannetes taseme, mis sarnanes emakeele rääkijatele. Seevastu aga täiskasvanud, kellel oli vähene või puuduv keelekogemus, sooritasid ülesandeid kehvasti. Nad järeldasid, et keele omandamise alustamine varajases arengueas mõjutab oluliselt keele õppimise võimekust terve ülejäänud elu jooksul. Hull & Vaid (2007) leidsid, et teise keele omandamise vanus mõjutab ajupoolkerade lateralisatsiooni. Tulemustest selgus, et isikud, kes alustasid teise keele omandamist enne 6. eluaastat, töötlesid mõlemat keelt bilateraalsemalt, samas kui need, kes omandasid teise keele pärast 6. eluaastat, näitasid mõlema keele töötluste puhul vasaku ajupoolkera domineerimist.

Vanuse mõju teise keele omandamisel on oluline võtta arvesse, kuna keelegruppide seas esineb erinevusi. Kõik kakskeelsed inimesed ei ole samasuguse keeleõppe taustaga ning nad erinevad nii varasemate kogemuste kui ka keelepädevuse poolest. Pearson (2008) on jaganud kakskeelsed isikud gruppideks vastavalt teise keele omandamise vanusele. Kui laps hakkab teist keelt omandama juba sünnist saadik või enne 3. eluaastat, kuulub ta BFLA (*Bilingual First Language*) gruppi ning seda nimetatakse simultaanseks kakskeelsuseks. Juhul kui teise keele omandamine algab pärast 3. eluaastat, on tegemist järjestikuse kakskeelsusega, mis jaguneb veel kaheks grupiks: varane SLA (*Second Language Acquisition*) (kuni teismeeani) ja hiline SLA (alates puberteedieast).

Eesti keele eripära

Eesti keel on kolmevältesüsteem, mis eristab teda suuremast osast maailma keeltest (Lippus, 2011). Eristatakse kolme völdet: lühike (Q1), pikk (Q2) ja ülipikk (Q3). Eesti keeles on völte määramisel oluline põhitooni muutus ja teise silbi pikkus. Eesti keelt emakeelena kõnelejad kasutavad põhitooni muutust tähtsa vihjena kolmanda völte eristamisel, eesti keelt teise keelena kõnelejad on aga mõjutatud enda emakeele prosoodilisest süsteemist. Näiteks õppisid vene- ja soomekeelsed isikud eristama eesti keele völteid ilma põhitooni muutuse vihjet kasutamata (Lippus et al., 2009). Meister & Meister (2012) uurisid eesti keele völdete tajumist eestlastel (L1) ja vene keele taustaga inimestel (L2). Nad leidsid, et L2 osalejad suutsid eristada Q1 ja Q2 völdete erinevusi, kuid Q2 ja Q3 puhul see neil ei õnnestunud. Kuna vene keeles puudub selline fonoloogiline komponent, mis kasutaks põhitooni ja kestuse vihjeid sarnaselt eesti keele teise ja kolmanda völte eristusele, siis on vene emakeelega inimestel nende völdete eristamine keerulisem.

Ajupoolkerade lateralisatsioon keelestiimulite töötluses

Klein kolleegidega (2001) uurisid ajupoolkerade lateralisatsiooni hiina keelsete sõnade eristamisel hiina ja inglise emakeelega inimestel. Hiina keele (tonaalne keel) kõnelejatel aktiveerusid vasaku ajupoolkera frontaal-, parietaal- ja parietaal-okspitaal piirkonnad. Inglise keele (mittetonaalne keel) kõnelejatel aktiveerus hoopis aga parema ajupoolkera alumine frontaalsagar, mis on kooskõlas parema ajupoolkera rolliga tooni tajumisel. Tulemustest võib järeldada, et keelekogemus mõjutab auditiivsete stiimulite töötlemist ajus ning tonaalsete ja mittetonaalsete keelte puhul võib esineda erinevusi ajupoolkerade lateralisatsioonis. Kreitewolf ja kolleegid (2014) uurisid samuti ajupoolkerade lateralisatsiooni auditiivsete

stiimulite töötlemisel ning leidsid, et keelestiimulite prosoodia töötlemine hõlmab mõlema ajupoolkera funktsioone: parem ajupoolkera on tundlikum tooni tajumisel ja vasak ajupoolkera kõnetöötles. Lyu kolleegidega (2024) uurisid, kuidas emakeele taust mõjutab keelestiimulite töötlust. Nad leidsid, et pikaajaline kokkupuude spetsiifiliste auditiivsete omadustega emakeeles mõjutab võõrkeele tajumist nii eeltähelepanulisel kui ka tähelepanulisel tasandil. Näiteks tajusid hiina emakeele kõnelejad sõna kestuse muutust eesti keeles kui akustilist infot, millel puudub keeleline tähendus ning nad suutsid paremini eristada tooni muutust, kuna selle roll hiina keeles on domineeriv.

Ajupoolkerade lateralisatsiooni erinevuse uurimine on oluline, kuna aitab paremini mõista eesti keele õppimist teise keelena ajusisese töötlemise tasandil. See on hetkel eriti aktuaalne teema, kuna eestikeelsele haridusele ülemineku perioodil on tähtis teada, kuidas pakkuda tõhusat ja tõenduspõhist tuge eesti keele õppijatele. Käesolev töö täiendab varasemaid uuringuid, uurides ajupoolkerade lateralisatsiooni ja teise keele omandamise vanuse mõju vene emakeelega vene-eesti kakskeelsetel isikutel.

Elektroentsefalograafia ja lahknevusnegatiivsus

Hea viis keeletöötlemise uurimiseks ajus on elektroentsefalograafia (EEG). EEG mõõdab aju bioelektrilist aktiivsust, mis väljendub sündmusega seotud potentsiaalides (ERP - *event-related potential*). ERP-d on neurofüsioloogilised signaalid, mille abil saab uurida erinevaid kognitiivseid protsesse (Penny et al., 2021). MMN (*mismatch negativity*) ehk lahknevusnegatiivsus on aju eeltähelepanuline reaktsioon stiimulitele, mis on deviantid sageli esitatavate standardsete stiimulite seas (Näätänen et al., 2007). See tuvastab muutusi, mida inimene ei pruugi teadlikult tähele panna. MMN on ERP-i negatiivne komponent, mis saadakse lahutades standardse stiimuli poolt esile kutsutud sündmusega seotud potentsiaalid (ERP-d) deviantse stiimuli poolt esile kutsutud ERP-dest. MMN tekib tavaliselt umbes 100-250 ms peale stiimuli esitamist ja avaldub kõige tugevama intensiivsusega temporaal- ja frontaalpiirkondades (Sams et al., 1985).

Käesolev uurimistöö

Käesoleva töö eesmärgiks oli välja selgitada, milline on ajupoolkerade lateralisatsioon vene-eesti kakskeelsetel isikutel eesti keele vältestiimulite töötlemisel. Uurimistöö uurimisküsimused olid:

1) Kas vene emakeelega vene-eesti kakskeelsete isikute ajupoolkerade lateralisatsioon eesti keele vältestiimulite töötlusel erineb eesti keelt emakeelena kõnelejate ajupoolkerade lateralisatsioonist?

2) Kas teise keele omandamise vanus mõjutab vene emakeelega vene-eesti kakskeelsete isikute ajupoolkerade lateralisatsiooni?

Uurimisküsimustele vastamiseks seadsin hüpoteesid kirjanduse põhjal:

H1: Vene emakeelega vene-eesti kakskeelsete isikute MMN-reaktsioon on paremas ajupoolkeras tugevam kui eesti emakeele kõnelejal, sest nad tajuvad eesti keele veldete erinevust pigem prosoodilise kui sisulise infona. Varasemalt on leitud, et hiina keelt emakeelena kõnelejad tajusid kestuse muutust eesti keeles akustilise infona, millel puudub keeleline tähendus (Lyu et al., 2024).

H2: Nende vene emakeelega vene-eesti kakskeelsete isikute, kes hakkasid eesti keelt omandama enne 3. eluaastat (BFLA grupp), ajupoolkerade lateralisatsioon on sarnasem eesti emakeele kõnelejatele. Varasemalt on leitud, et varajane kokkupuude teise keelega mõjutab keele omandamise võimekust oluliselt (Mayberry & Lock, 2003).

Meetod

Valim

Kakskeelsete grupis oli 68 vene emakeelega vene-eesti kakskeelset inimest, kes valdavad eesti keelt vähemalt tasemel B1. Osalejate seas oli 26 meest ja 42 naist; kõige noorem osaleja oli 18-aastane ning kõige vanim 40-aastane, keskmine vanus oli 26,47 aastat. Kakskeelsed katseisikud jagati eesti keele omandamise vanuse järgi kolme gruppi: a) BFLA (*Bilingual First Language Acquisition*) - keel omandati vanuses 0-3 eluaastat; b) varane SLA (*Second Language Acquisition*) - keel omandati vanuses 4-12 eluaastat; c) hiline SLA grupp - keel omandati alates 13. eluaastat (Pearson, 2008). Grupid ei ole vanuselises ega soolises tasakaalus. Igas grupis on naiste osakaal suurem. BFLA grupis on keskmine vanus 24,13, varases SLA grupis 26,48 ja hilises SLA grupis 28,9 aastat (vt Tabel 1).

Eestlastest kontrollgrupi andmed on kogutud varasema uuringu raames (Kask, 2017). Kontrollgrupis oli 17 eesti keelt emakeelena kõnelejat, nendest 6 olid mehed ja 11 naised. Noorim osaleja oli 19-aastane, vanim 27-aastane ja keskmine vanus oli 22,88 aastat.

Tabel 1*Osalejate jagunemine gruppideks ning kirjeldav statistika*

		n	M	min	max	SD
BFLA	Naised	13	23,15	18	34	4,91
	Mehed	9	25,56	20	36	5,17
	Kokku	22	24,13	18	36	5,05
Varane SLA	Naised	16	26,75	19	39	7,32
	Mehed	9	26	20	40	6,3
	Kokku	25	26,48	19	40	6,84
Hiline SLA	Naised	13	28	20	39	5,97
	Mehed	8	30,38	21	38	6,61
	Kokku	21	28,9	20	39	6,17
Eestlased	Naised	11	23,33	19	27	3,39
	Mehed	6	22,64	19	27	2,77
	Kokku	17	22,88	19	27	2,91

Märkus. n - valim, M - keskmine vanus aastates, min - noorima osaleja vanus aastates, max - vanima osaleja vanus aastates, SD - standardhälve aastates, BFLA grupp (0-3), varane SLA grupp (4-12), hiline SLA grupp (13+)

Katseisikute leidmiseks saadeti uuringu kutse ülikooli erinevatesse meililistidesse ning lisati TÜ eksperimentaalpsühholoogia labori sotsiaalmeediasse (www.facebook.com/inimkatsed) ja uurimisrühma koduleheküljele (sisu.ut.ee/abc). Lisaks tehti postitusi Facebooki gruppidesse, mis olid suunatud nii välisüliõpilastele kui ka Tartu venekeelsetele elanikele. Samuti jagati informatsiooni katse kohta suuliselt ning Tartu Ülikooli hoonete teadetetahvlitel. Kõik osalejad said peale katset 10-eurose mõne Tartu kaubanduskeskuse kinkekaardi ning psühholoogia tudengitel oli võimalus teenida 3 katsepunkti.

Katseisikud pidid olema puhanud, normaalse või normaalseks korrigeeritud kuulmisega, füüsiliselt ja psüühiliselt terved ning ei tohtinud kasutada potentsiaalselt neuroloogiliste kõrvalmõjudega ravimeid. Samuti ei tohtinud katseisikutel olla esinenud neuroloogilisi traumasid ja kuulmisprobleeme.

Materjalid ja aparatuur

Eestlaste kontrollgrupi andmed koguti varasemas katses, milles kasutati samu stiimuleid ning mille EEG katse metoodika oli suuremas osas sarnane vene-eesti kakskeelsete uuringuga. Täpsemalt saab eestlaste uuringu kohta lugeda Kask (2017) magistritööst.

Uurimistöö autorina ma ise vene-eesti kakskeelsete katsete läbiviimisel ei osalenud, vaid tegelesin juba läbiviidud katsete andmete analüüsimisega.

Kakskeelsete katsed toimusid Ravila 14a Tartu Ülikooli psühholoogia instituudi eksperimentaalpsühholoogia labori ruumides. Enne laborisse tulekut pidid katseisikud täitma TÜ veebiküsitlus keskkonnas *LimeSurvey* taustaküsimustiku, mis sisaldas küsimusi demograafiliste omaduste (sugu, vanus, haridus), tervise (kuulmisprobleemide ja neuroloogiliste seisundite puudumise), psühhoaktiivsete ainete tarbimise, käelisuse, musikaalsuse, keeleoskuse, eesti keelega kokkupuutumise, selle õppimise (sh eesti keele või eesti keel teise keelena eksamitulemus, kursustest osavõtt ja/või omandatud keeletase) ja kasutamise kohta. Neid andmeid kasutati nii uuringusse kaasamise kriteeriumite täitmise kontrollimiseks kui ka individuaalsete erinevuste analüüsiks.

Eestlaste kontrollgrupi uuringus pidid osalejad täitma taustaküsimustiku psühholoogia instituudi uuringute keskkonnas Kaemus. Küsimustik sisaldas küsimusi demograafiliste omaduste (sugu, vanus, haridus), keeleoskuse, psühholoogiliste ja neuroloogiliste seisundite, narkootikumide tarvitamise, musikaalsuse ja käelisuse kohta. Täpsemat katse protseduuri saab lugeda Kask (2017) magistritööst.

Kakskeelsete katses viidi kohapeal laboris enne EEG katset läbi LexEst test. LexEst on Tartu Ülikooli eesti ja üldkeeleteaduse instituudi töörühma poolt välja töötatud keeletest, mis sisaldab 90 sõnapaari ning mille sooritamine võtab aega umbes 5 minutit (Lõo et al., 2024). Katses mõõdeti osalejate kuulmislaved audiomeetriga Interacoustics AS608, et kontrollida mõlema kõrvaga kuulmist. Samuti registreeriti osalejate kriitilise vilkumise sulandumise lävi (*CFF - critical flicker frequency*), mida kasutatakse, et saada objektiivne hinnang katseisiku kesknärvisüsteemi väsimusele (Mankowska et al., 2021). Neid andmeid ma käesolevas töös ei analüüsinud.

Enne katse algust paigaldati 20-30 minuti jooksul katseisikule erinevad psühhofüsioloogilise signaali sensorid, mis kõik kuuluvad BioSemi Inc. toodetud süsteemi. Katseisikule paigaldati 64 EEG aktiivelektroodi peanahale spetsiaalse mütsi abil, kus iga elektroodi jaoks on plastikust pesa, millesse lisatakse enne elektroodi kinnitamist elektrijuhtivust parandavat geeli (SignaGel). Lisaks kinnitati katseisiku näole ja kõrvalestadele 6 täiendavat aktiivelektroodi silmade liikumise ja kulmu kortsutuses osaleva lihase corrigator supercilii aktiivsuse salvestamiseks ning referentsi arvutamiseks.

Katsete jooksutamiseks kasutati MATLAB-i programmeerimiskeskonda koos Psychtoolbox funktsioonidega ning E-Prime tarkvarapaketti (Psychology Software Tools, Sharpsburg, USA).

Protseduur

Iga osaleja käis laboris ühel korral. 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. Enne katsete kogumi toimumist, selgitati katseisikule katse korraldust ning paluti lugeda ja allkirjastada informeeritud nõusoleku leht. Varasemas katses (Kask, 2017) käidi laboris kaks korda, kuid katsekordade vahel erinevust ei leitud.

Enne EEG katset registreeriti CFF, viidi läbi LexEst keeletest ja mõõdeti audiomeetriga kuulmislävi. Katse toimus elektriliselt varjestatud vaiksuses ja hämaras ruumis. Katseisik istus umbes 0,6 - 1,2 meetri kaugusel arvutiekraanist. EEG katse vältas umbes 60-90 minutit, mille ajal vaatas katseisik helita filmi. Film ei sisaldanud vägivaldseid, erootilisi ega muid häirivad stseene. Katseisikule esitati samaaegselt läbi kõrvaklappide auditoorseid keelelisi vältestiimuleid. Stiimuleid esitati igas seerias MATLABi skriptidega (MathWorks, Natick, MA, Ameerika Ühendriigid) ning kasutati juhuslikku stiimulitevahelist intervalli (IAI) 400, 425 või 450 ms. Igas MMN-seerias esitleti osalejale kokku standardstiimulit 315 korda ja deviantstiimuleid 300 korda (ehk 100 korda iga deviandi kohta). Heli valjus ei ületanud 40 dB. Katseisikul oli võimalik teha puhkepause iga 15-20 minuti jooksul ning võis katse soovi korral pooleli jätta. Maksimaalselt võttis uuringu läbiviimine laboris aega 3 tundi. EEG mõõtmise järel oli võimalik pead pesta laboris olemasolevate vahenditega.

Uuring koosnes mitmest eri vältestiimulitega seeriast – kakskeelsetega uuringus oli 8 seeriat (Lutter, 2025) ja eestlastega uuringus 5 seeriat (Kask, 2017). Käesolevas töös analüüsisin ainult seeriat ja stiimuleid, mis olid mõlemas uuringus samad ehk Kask (2017) poolt loodud vältestiimuleid, mis olid koostatud eesti keele sõna „sada“ põhjal (vt Tabel 2). Varasemalt on näidatud, et eesti emakeele kõnelejad tajuvad teise välte (Q2) stiimuleid kõige enam Q2-na siis, kui esimese silbi vokaali (V1) kestus on 170 ms ja kolmanda välte (Q3) stiimuleid kõige enam Q3-na siis, kui V1 kestus on 290 ms (Lippus et al., 2009). Käesolevas uurimistöös võrdlesin omavahel 2. vältet (kestuse muutus) ja 3. vältet (kestuse muutus koos põhitooni langusega).

Tabel 2*Katses kasutatavad vältestiimulid*

	Standard	2. vâlde	3. vâlde
Seeria	SADA 170-	SADA 290-	SADA 290\

Märkus: - tähistab kestuse muutust, \ tähistab toonilangust

Katseisiku EEG signaalid salvestati eraldi. Esmalt analüüsi neid erinevate biosignaalide töötlemise meetoditega. Seejärel töödeldi neid kvantitatiivsete andmeanalüüsi meetoditega, et tuvastada ja kvantifitseerida psühhofüsioloogilised korrelaadid (sealhulgas MMNi esinemine ja muutused), mis on visuaalse ja auditivse infotöötusega seotud.

Piirkond sai valitud vastavalt varasemale kirjandusele (Lyu et al., 2024) ja elektroodide omavahelisele korrelatsioonile ($r = 0,7$ või rohkem). Vasakpoolne ROI (*region of interest*) sisaldas elektroode AF3, F1, F3, F5, FC1, FC3, FC5 ning parempoolne ROI nendele vastavaid elektroode AF4, F2, F4, F6, FC2, FC4, FC6.

Andmed korrastasin programmis Microsoft Excel. Andmete analüüsimiseks kasutasin keskkonda JASP 0.19.3, milles viisin läbi korduvmõõtmiste ANOVA-d. Analüüsid viisin läbi pseudonüümitud andmetel. EEG joonised tegin programmis BrainVision Analyzer. Varasemalt on nendes katsetes saadud andmestiku põhjal kirjutanud tööd Puura (2025) ja Lutter (2025).

Eetika

Enne katset täitis iga katseisik informeeritud nõusoleku vormi. Uuringus osalemine oli vabatahtlik ning sellest oli võimalik loobuda igas uuringu etapis. Katse kutses tutvustati lühidalt uuringut ja selle eesmärke. Kui katseisik avaldas soovi katses osaleda, saadeti talle põhjalikum kirjeldus katse käigust ja logistilistest aspektidest. Valdav enamus infovahetusest toimus interneti teel, mis vähendab sotsiaalse mõjutatuse riski. Küsimuste korral oli võimalik pöörduda uuringu läbiviijate poole.

Analüüsides ei kasutatud isiku tuvastamist võimaldavaid andmeid. Katsele registreerumisel tuli sisestada oma nimi ja e-post, et saada unikaalne katsekood ja meeldetuletus katses osalemise aja kohta. Neid kasutati ainult osalejaga ühenduse võtmiseks ja ligipääs nendele andmetele oli vaid uuringu vastutavatel uurijatel. Analüüsides seda infot ei kasutatud ja need kustutati kolm kuud pärast andmekogumisperioodi lõppu (30.09.2025).

Kõik osalejad said peale katses osalemist 10-eurose mõne Tartu kaubanduskeskuse kinkekaardi ning psühholoogia üliõpilastel oli võimalus teenida 3 katsepunkti. Uurimus on läbi viidud Eesti Teadusagentuuri grandi PRG1151 „Tähelepanueelne informatsioonitöötlus ajus: seosed seisundite, püsitunnuste ja käitumisega“ (2021-2025) raames ning kooskõlastatud Tartu Ülikooli inimuuringute eetikakomitee poolt (nr 382/T-18).

Uuritav muutuja

Antud uuringu käigus ilmnes ERP-signaalis kaks eristuvat tippu: varajasem N1-komponent, mis tavaliselt tekib umbes 80-120 ms peale stiimuli esitamist (Rosburg et al., 2008) ja sellele järgnev MMN-komponent, mis tavaliselt tekib umbes 100-250 ms peale stiimuli esitamist (Sams et al., 1985). Varasemalt on leitud, et MMN on sobiv vahend keelestiimulite uurimiseks, kuna see on tundlik nii varasemale kogemusele kui ka akustilistele vihjetele (Näätänen et al., 2007), mis käesoleva uurimistöö puhul võiks tähendada, et see on hea vahend varasema teise keelega kokkupuute mõju uurimiseks. Sõnade kuulmisel tekkiv MMN on viidanud sellele, et ajus seotakse varasema keelekogemuse käigus kujunenud semantilised representatsioonid prosoodilise informatsiooniga (Zora et al., 2023). Seetõttu võiks MMN olla väärtuslik vahend eri ajal keeleõppega alustanute keeletöötluste uurimiseks, kuna gruppide varasemad keelekogemused erinevad üksteisest. Korpilahti kolleegidega (2001) leidsid, et keerukamate sõnade puhul võib MMN esineda ka hilisemas ajalisel vahemikus, umbes 400-450 ms pärast stiimuli esitamist (Korpilahti et al., 2001). Vastavalt varasemale kirjandusele ja stiimulite ülesehitusele analüüsisin käesolevas uurimistöös hilisemat MMN-komponenti ja valitud ajavahemikuks sai 420-480 ms.

Tulemused

Uuritavaks tunnuseks oli peakMMN20 ehk lahknevusnegatiivsuse lõik 20 millisekundit enne ja pärast esitatud stiimulist tekkinud tippu (*peak*). Raporteerimisel tõin välja F statistiku, vabadusastmed, olulisuse nivoo ja efektisuuruse. Samuti ka post hoc testi tulemused kui gruppide vahel ilmnes olulisi erinevusi. Statistilise olulisuse nivooks oli 0,05 ($p < 0,05$). Järgnevalt on kujutatud uuritava tunnuse (peakMMN20) keskmiseid väärtuseid iga grupi kohta (vt Tabel 3). Keskmiste väärtuse puhul paistab kõige rohkem silma eestlaste grupi erinevus teistest gruppidest 2. vältel puhul.

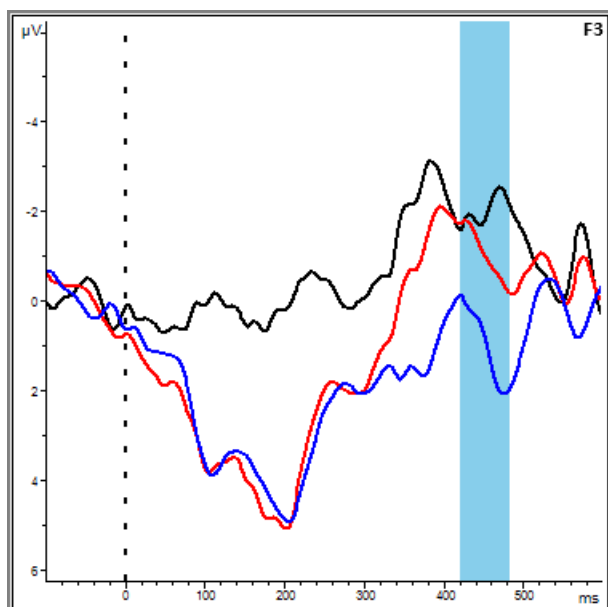
Tabel 3

Analüüsid kasutusel oleva tunnuse (peakMMN20) keskmised väärtused iga grupi kohta

		BFLA	Varane SLA	Hiline SLA	Eestlased
Vp ROI	M	-3,423	-3,226	-3,071	-4,681
2. vâlde	SD	1,874	2,171	1,778	2,234
Pp ROI	M	-3,613	-3,333	-3,52	-4,994
2. vâlde	SD	1,917	2,055	1,752	2,418
Vp ROI	M	-3,07	-2,939	-3,697	-3,332
3. vâlde	SD	1,407	1,79	1,838	1,55
Pp ROI	M	-3,308	-3,233	-3,777	-3,347
3. vâlde	SD	1,465	1,81	1,88	1,507

Märkus: Vp – vasakpoolne, Pp – parempoolne, ROI – *region of interest* ehk elektroodide kogum, M – peakMMN20 keskmine väärtus, SD – peakMMN20 standardhälve, BFLA grupp (0-3), varane SLA grupp (4-12), hiline SLA grupp (13+)

Joonisel 1 on esitatud F3 elektroodilt registreeritud standard- ja deviantstiimuli (2. vâlde) ERP kõverad ning nende erinevusena arvutatud lahknevusnegatiivsuse kõver kõikides vene-eesti kakskeelsete isikute gruppides koos. Antud ajavahemik (420-480 ms) sai valituks vastavalt meetodis kirjeldatule (hilisem MMN-komponent võiks võimaldada uurida teise keele kogemuse mõju keelestiimulite töötlusele).



Joonis 1. F3 elektroodilt registreeritud standardstiimuli, deviantstiimuli (2. vâlde) ja lahknevusnegatiivsuse ERP kõverad vene-eesti kakskeelsete grupis

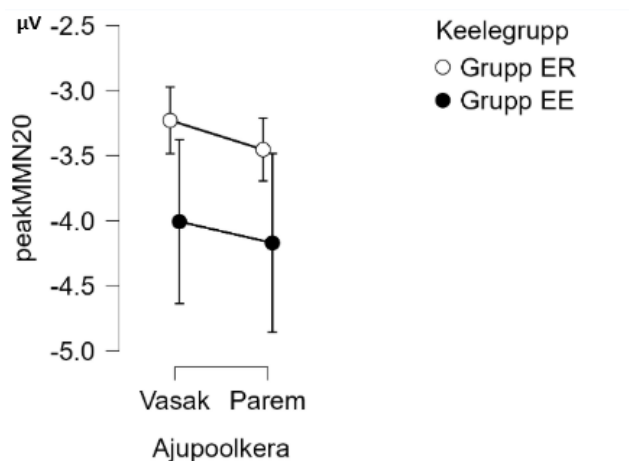
Märkus. Must joon - MMN, sinine - standard, punane - deviant (2. vâlde), helesinine riba - uuritav ajavahemik (420-480 ms), ms - millisekund, µV - mikrovolt, AF3 - elektrood

H1: Vene emakeelega vene-eesti kakskeelsete isikute MMN-reaktsioon on paremas ajupoolkeras tugevam kui eesti emakeele kõnelejal, sest nad tajuvad eesti keele veldete erinevust pigem prosoodilise kui sisulise infona

Esimese hüpoteesi kontrollimiseks viisin läbi 2x2-faktorilise korduvmõõtmiste ANOVA elektroodidegruppidega (ROI), kuhu olid koondatud omavahel korreleeruvad elektroodid (valituks said elektroodid, mille omavaheline korrelatsioon oli 0,7 või rohkem).

Korduvmõõtmiste ANOVA eelduseks on, et iga osaleja mõõtmised peavad olema sõltumatud teiste osalejate mõõtmistest, mis oli antud valimis täidetud. Faktoriteks olid ajupoolkera (vasakpoolne ja parempoolne ROI ehk *region of interest*) ning veld (2. veld ehk kestuse muutus ja 3. veld ehk kestuse muutus koos põhitooni langusega).

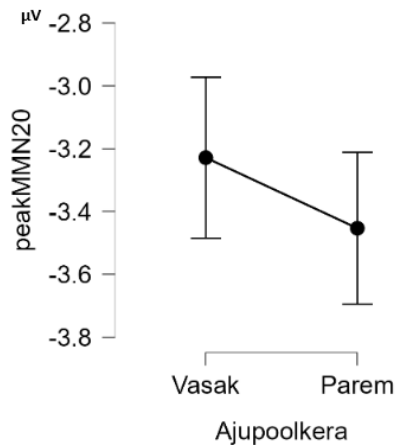
Katseisikutevaheliseks faktoriks oli keelegrupp (vene emakeelega kakskeelsed ehk grupp ER vs eestlased ehk grupp EE). Tingimuste jaotused vastasid normaaljaotuslikkuse eeldustele (järsakus ja asümmeetrilisus vahemikus [-1;1]; Shapiro-Wilki test $p > 0,5$). Analüüsi tulemustest selgus, et ajupoolkera peamõju oli statistiliselt oluline ($F(1;83) = 5,487$; $p = 0,022$, $\eta^2 \approx 0,002$) (Joonis 2). Holmi post hoc test näitas, et paremas ajupoolkeras olid veidi tugevamad MMN-vastused ($t(83) = 2,342$; $d = 0,105$; $MD = 0,194$). Ajupoolkera ja keelegrupi vahel ei ilmnenud statistiliselt olulist koosmõju ($F(1;83) = 0,135$; $p = 0,714$, $\eta^2 \approx 0$).



Joonis 2. Grupp ER ja grupp EE ajupoolkerade erinevus lähtuvalt peakMMN20-st keskmistatud seeriaste andmetel

Märkus. µV - mikrovolt, grupp ER – kakskeelsed, grupp EE - eestlased

Järgmisena viisin 2x2-faktorilise korduvmõõtmiste ANOVA läbi keelegruppides eraldi. Grupis ER ilmnas statistiliselt oluline ajupoolkera peamõju ($F(1;67) = 10,125$; $p = 0,002$, $\eta^2 = 0,012$). Holmi post hoc test näitas, et paremas ajupoolkeras olid veidi tugevamad MMN-vastused ($t(67) = 3,182$; $d = 0,124$; $MD = 0,225$) (Joonis 3). Grupis EE olulist erinevust ajupoolkerade vahel ei ilmnenu (F(1;16) = 0,877; $p = 0,363$, $\eta^2 = 0,004$).

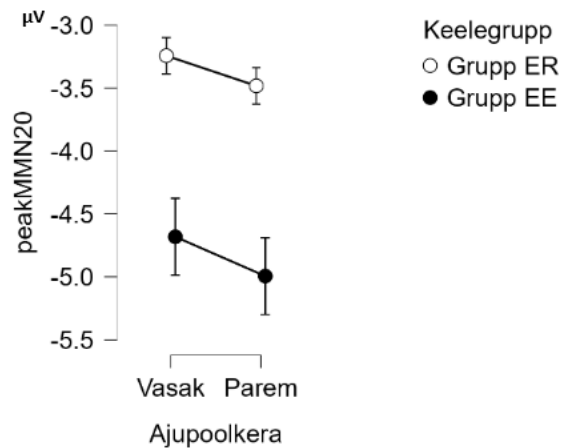


Joonis 3. Grupp ER ajupoolkerade erinevus lähtuvalt peakMMN20-st keskmistatud seeriade andmetel

Märkus. μV - mikrovolt

H1: täiendavad analüüsid

Viisin läbi 2x2-faktorilise (faktoriteks ajupoolkera ja vâlde) korduvmõõtmiste ANOVA ka mõlema vâlde puhul eraldi, et tuvastada ajupoolkeradevahelised erinevused konkreetsete vâldete lõikes. Katseisikutevaheliseks faktoriks oli keelegrupp (ER ja EE). Statistiliselt oluline erinevus ilmnas 2. vâlde (kestuse muutus) puhul ($F(1;83) = 5,815$; $p = 0,018$, $\eta^2 = 0,003$). Holmi post hoc test näitas, et paremas ajupoolkeras olid tugevamad MMN-vastused ($t(83) = 2,411$; $d = 0,138$; $MD = 0,276$) (Joonis 4). 3. vâlde (kestuse muutus koos põhitooni langusega) puhul statistiliselt olulist erinevust ajupoolkerade vahel ei ilmnenu ($F(1;83) = 0,808$; $p = 0,371$, $\eta^2 \approx 0$).



Joonis 4. Grupp ER ja grupp EE ajupoolkerade erinevus lähtuvalt peakMMN20-st kestuse muutuse (2. vâlde) seeria andmetel

Märkus. μV - mikrovolt, grupp ER – kakskeelsed, grupp EE - eestlased

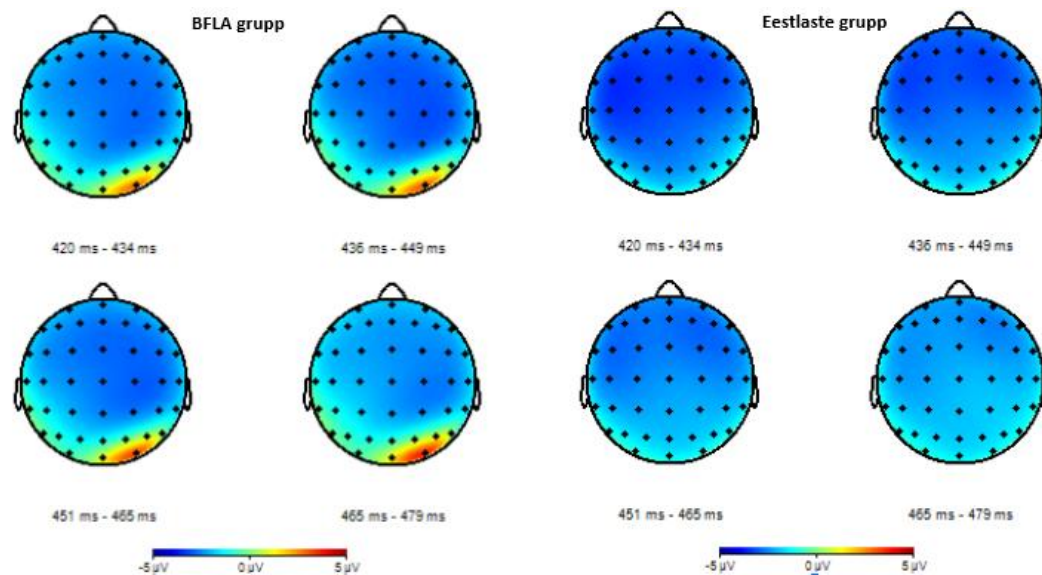
Viisin 2x2-faktorilise korduvmõõtmiste ANOVA eraldi läbi ka kõikide uuritavate elektroodipaaridega, et tuvastada ajupoolkeradevahelised erinevused konkreetsete elektroodipaaride lõikes grupis ER. Faktoriteks olid elektroodipaar (vasakpoolne ja parempoolne elektrood) ning vâlde (2. ja 3.). Ilmnes statistiliselt oluline erinevus elektroodide F3 ja F4 vahel ($F(1;67) = 11,68$; $p = 0,001$, $\eta^2 = 0,148$) ning F5 ja F6 vahel ($F(1;67) = 12,86$; $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,161$) 2. vâlde puhul. F4 elektroodilt registreeritud MMN oli tugevam võrreldes F3-elektroodiga ($t(67) = 3,417$; $d = 0,234$; $MD = 0,5$). F6 elektroodilt registreeritud MMN oli tugevam võrreldes F5-elektroodiga ($t(67) = 3,587$; $d = 0,314$; $MD = 0,566$). Samuti ilmnes statistiliselt oluline erinevus elektroodide F3 ja F4 vahel ($F(1;67) = 5,727$; $p = 0,02$, $\eta^2 = 0,079$) 3. vâlde puhul. F4 elektroodilt registreeritud MMN oli tugevam võrreldes F3-elektroodiga ($t(67) = 2,393$; $d = 0,187$; $MD = 0,357$).

H2: Nende vene emakeelega vene-eesti kakskeelsete isikute, kes hakkasid eesti keelt omandama enne 3. eluaastat (BFLA grupp), ajupoolkerade lateralisatsioon on sarnasem eesti emakeele kõnelejatele

Teise hüpoteesi kontrollimiseks viisin läbi 2x2-faktorilise (faktoriteks ajupoolkera ja vâlde) korduvmõõtmiste ANOVA, kus katseisikutevaheliseks faktoriks määrasin keele omandamise vanuse grupi. Grupid jagunesid: BFLA (0-3), varane SLA (4-12), hiline SLA (13+) ja eestlased. Ilmnes statistiliselt oluline ajupoolkera peamõju ($F(1;81) = 9,678$; $p = 0,003$, $\eta^2 = 0,003$). Holmi post hoc test näitas, et paremas ajupoolkeras olid veidi tugevamad MMN-vastused ($t(81) = 3,111$; $d = 0,113$; $MD = 0,211$). Grupi ja ajupoolkera koosmõju ei

olnud statistiliselt oluline ehk ükski grupp ei erinenud statistiliselt oluliselt teistest ($F(3;81) = 0,087$; $p = 0,967$, $\eta^2 \approx 0$).

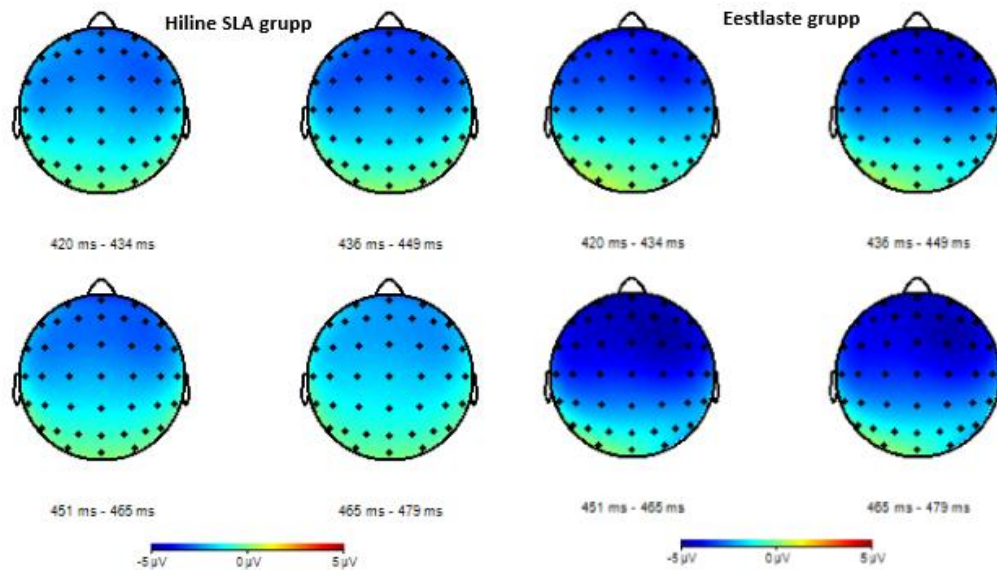
Järgneval joonisel (Joonis 5) on kujutatud EEG katse aktiivsusekaardid. Vasakul on kujutatud aktiivsuse jaotust 3. välte kuulmisel BFLA grupis ja paremal eestlaste kontrollgrupis.



Joonis 5. EEG katse ajuaktiivsuse jaotus 3. välte kuulmisel BFLA grupis (vasakul) ja eestlaste kontrollgrupis (paremal)

Märkus. Sinisem värv tähistab negatiivsemaid väärtuseid, μV - mikrovolt, ms – millisekund, BFLA grupp (0-3)

Järgneval joonisel (Joonis 6) on samuti kujutatud EEG katse aktiivsusekaardid. Vasakul on kujutatud aktiivsuse jaotust 2. välte kuulmisel hilises SLA grupis ja paremal eestlaste kontrollgrupis.



Joonis 6. EEG katse ajuaktiivsuse jaotus 2. välte kuulmisel hilises SLA grupis (vasakul) ja eestlaste kontrollgrupis (paremal)

Märkus. Sinisem värv tähistab negatiivsemaid väärtuseid, μV - mikrovolt, ms – millisekund, hiline SLA grupp (13+)

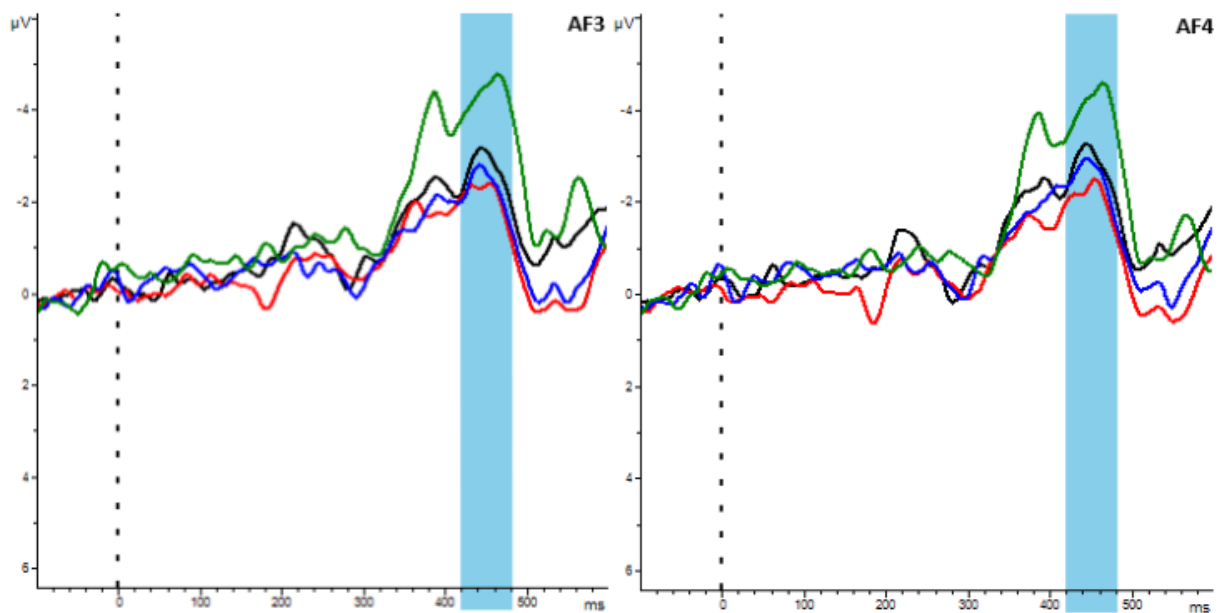
Lisaks uurisin grupis ER kolme taustaküsimustiku küsimust, mis olid seotud eesti keele omandamisega:

- 1) Q22 - “Kas Teiega räägiti lapsepõlves kodus eesti keeles?” (Jah/Ei)
- 2) Q25 - “Mis õppekeelega lasteaia/lastehoius Te käisite?” (Vene/Eesti/Vene ja eesti/Muu/Ei käinud lasteaia/lastehoius)
- 3) Q26 - “Mis õppekeelega algkoolis Te käisite?” (Vene/Eesti/Vene ja eesti/Muu)

Liasin need kõik eraldi 2x2-faktorilise (faktoriteks ajupoolkera ja välde) kordumõõtmiste ANOVA katseisikutevaheliseks faktoriks. Selgus, et see, kas osalejaga räägiti lapsepõlves kodus eesti keelt või mitte (Q22), ei mõjutanud ajupoolkerade lateralisatsiooni ehk puudus koosmõju ($F(1;66) = 0,003$; $p = 0,958$, $\eta^2 \approx 0$). Samuti ei mõjutanud lateralisatsiooni lasteaia/lastehoiu õppekeel (Q25) ($F(4;62) = 0,057$; $p = 0,994$, $\eta^2 \approx 0$) ega algkooli õppekeel (Q26) ($F(3;63) = 1,767$; $p = 0,163$, $\eta^2 = 0,002$).

Järgneval joonisel (Joonis 7) on kujutatud kõikide gruppide (BFLA, varane SLA, hiline SLA ja eestlased) lahknevusnegatiivsuse teke 2. välte (kestuse muutus) esitamisel.

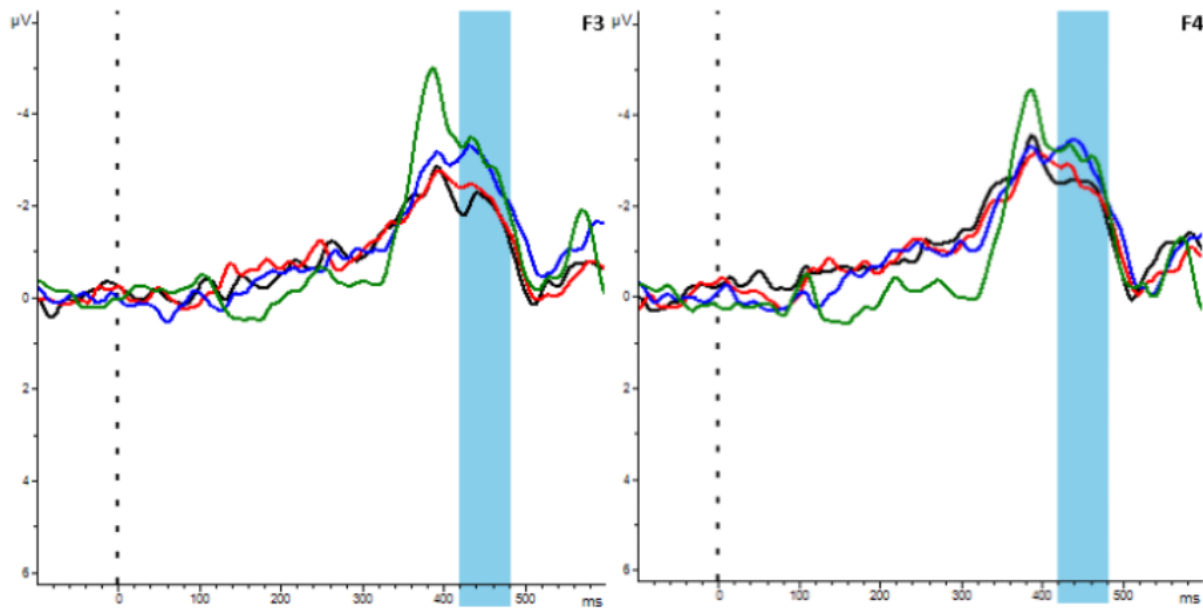
Vasakul on kujutatud AF3 elektroodilt registreeritud ja paremal elektroodilt AF4 registreeritud MMN.



Joonis 7. Elektroodilt AF3 ja AF4 registreeritud lahknevusnegatiivsused 2. välte (kestuse muutus) seeria andmetel

Märkus. Must joon tähistab BFLA (0-3) gruppi, punane tähistab varast SLA (4-12) gruppi, sinine tähistab hilit SLA (13+) gruppi, roheline tähistab eestlaste kontrollgruppi. Helesinine riba tähistab uuritavat ajavahemikku (420-480 ms). ms - millisekund, μV - mikrovolt, AF3 ja AF4 tähistavad elektroodi

Järgneval joonisel (Joonis 8) on kujutatud kõikide gruppide (BFLA, varane SLA, hiline SLA ja eestlased) lahknevusnegatiivsuse teke 3. välte (kestuse muutus + põhitooni langus) esitamisel. Vasakul on kujutatud F3 elektroodilt registreeritud ja paremal elektroodilt F4 registreeritud MMN.

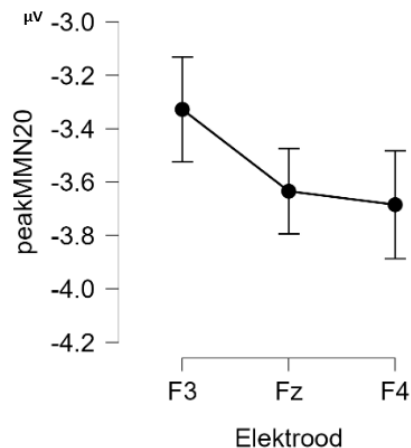


Joonis 8. Elektroodilt AF3 ja AF4 registreeritud lahknevusnegatiivsused 3. välte (kestuse muutus + põhitooni langus) seeria andmetel

Märkus. Must joon tähistab BFLA (0-3) gruppi, punane tähistab varast SLA (4-12) gruppi, sinine tähistab hilist SLA (13+) gruppi, roheline tähistab eestlaste kontrollgruppi. Helesinine riba tähistab uuritavat ajavahemikku (420-480 ms). ms - millisekund, μV - mikrovolt, F3 ja F4 tähistavad elektroodi

Täiendavad analüüsid Fz elektroodiga

Viisin F3 ja F4 elektroodipaari puhul läbi täiendavad 3x2-faktorilised kordumõõtmiste ANOVAd mõlema vältega grupis ER, kuhu lisasin elektroodi Fz, et kontrollida ajupoolkerade erinevust keskmisest elektroodist. Faktoriteks olid elektroodid (F3, F4, Fz) ja vâlde (2. ja 3.). Ilmnes statistiliselt oluline erinevus 2. vâlte puhul ($F(2;134) = 7,506$; $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,101$; $HF = 0,938$) (vabadusastmed korrigeerimata). Kuna Mauchly testi sfäärilisuse eeldus oli rikutud, siis tõin välja Huynh-Feldti väärtuse. Post hoc test näitas, et ilmnes oluline erinevus F3 ja Fz elektroodi vahel ($t(67) = 3,653$; $p = 0,002$; $d = 0,191$; $MD = 0,424$). Statistiliselt oluline erinevus oli ka elektroodide F3 ja F4 vahel ($t(67) = 3,417$; $p = 0,002$; $d = 0,225$; $MD = 0,5$). Samuti ilmnes statistiliselt oluline erinevus 3. vâlte puhul ($F(2;134) = 4,251$; $p = 0,016$, $\eta^2 = 0,06$). Post hoc test näitas, et ilmnes oluline erinevus F3 ja Fz elektroodi vahel ($t(67) = 2,531$; $p = 0,041$; $d = 0,162$; $MD = 0,306$) ning F3 ja F4 vahel ($t(67) = 2,393$; $p = 0,041$; $d = 0,189$; $MD = 0,357$) (Joonis 9).



Joonis 9. Elektroodide F3, Fz ja F4 erinevus lähtuvalt peakMMN20-st kestuse muutuse + põhitooni languse (3. vâlde) puhul vene emakeelega kakskeelsetel isikutel

Märkus. µV - mikrovolt

Arutelu

Käesoleva töö eesmärgiks oli välja selgitada, milline on ajupoolkerade lateralisatsioon vene emakeelega vene-eesti kakskeelsetel isikutel eesti keele vâltestiimulite töötlemisel. Esimene hüpotees, milleks oli, et vene emakeelega vene-eesti kakskeelsete isikute MMN-reaktsioon on paremas ajupoolkeras tugevam kui eesti emakeele kõnelejatel, sai kinnitust. Vene-eesti kakskeelsetel isikutel oli vâltestiimulite töötlemisel statistiliselt oluline erinevus ajupoolkerade vahel, samas kui eestlaste kontrollgrupis sellist tulemust ei ilmnenu. Teine hüpotees, milleks oli, et nende vene emakeelega vene-eesti kakskeelsete isikute, kes hakkasid eesti keelt omandama enne 3. eluaastat (BFLA grupp), ajupoolkerade lateralisatsioon on sarnasem eesti emakeele kõnelejatele, ei saanud kinnitust. Keele omandamise vanuse gruppide vahel ei ilmnenu ühtegi statistiliselt olulist erinevust.

H1: ajupoolkerade lateralisatsioon vene emakeelega kakskeelsetel isikutel

Tulemus, et vene emakeelega vene-eesti kakskeelsetel oli MMN-reaktsioon paremas ajupoolkeras tugevam, läheb kokku mitmete varasemate uuringutega. Zatorre ja Belin (2001) leidsid, et parem ajupoolkera on tundlikum prosoodilistele omadustele ning vasak ajupoolkera tegeleb rohkem sisulise töötusega. Samuti leidsid Wildgruber (2006) kolleegidega, et kõne lingvistiliste omaduste eristamine on rohkem seotud vasaku ajupoolkeraga. Seydell-Greenwald (2019) kolleegidega leidsid, et emotsionaalse prosoodia töötlemine oli seotud parema ajupoolkera frontotemporaalsete piirkondade aktivatsiooniga.

Arvestades, et MMN peegeldab aju eeltähelepanulist reaktsiooni stiimulitele (Näätänen et al., 2007), võis nende katses osalenute puhul, kes ei olnud eesti keelt hakanud õppima sünnist saadik (varane ja hiline SLA), veldete eristamine tugineda veidi enam prosoodilistele ja akustilistele vihjetele, mitte sisulisele töötlusele ning see võib olla ka põhjus, miks paremas ajupoolkeras esines veidi tugevam MMN-reaktsioon.

Arvesse tuleb võtta aga fakti, et kuigi erinevus oli statistiliselt oluline, siis efektisuurus oli väike ($d = 0,105$), mis viitab sellele, et erinevus oli küll olemas, kuid see oli praktilises mõttes nõrk. See tähendab, et tegemist ei ole absoluutse lateraliseeritusega, vaid kerge kallutusega. See läheb hästi kokku kaasaegse arusaamaga keeletöötlusest, kus prosoodiline ja keeleline töötlus ei ole rangelt lateraliseeritud, kuid esineb ajupoolkerade erinev tundlikkus keeletöötluse eri aspektidele (Kreitewolf et al., 2014).

Eestlaste kontrollgrupis ei ilmnenu erinevust ajupoolkerade vahel. Keeletöötlus hõlmab mõlemat ajupoolkera, kuid vasaku ajupoolkera roll on selles domineerivam (Riès et al., 2016). Zevin (2010) kolleegidega uurisid isikuid, kes rääkisid inglise keelt emakeelena ja isikuid, kes rääkisid inglise keelt teise keelena heal tasemel ning leidsid, et kuigi mõlemal grupil oli töötlus bilateraalne, siis emakeelena rääkijatel olid tugevamad vastused vasakus ajupoolkeras ning teise keelena rääkijatel paremas ajupoolkeras. Käesolevas uuringus ei pruukinud ajupoolkeradevaheline erinevus eestlaste kontrollgrupis välja tulla sellepärast, et valim oli väike ($n = 17$). Väike valim selgitab ka jooniselt nähtavaid laiasid usalduspiire. Kuna vene-eesti kakskeelsete valim jagunes omakorda eesti keele omandamise vanuse järgi kolmeks, siis oli kakskeelsete ja eestlaste gruppide võrdlus üsnagi ebavõrdne grupisuuruste poolest.

H1: täiendavad analüüsid

Täiendavatest analüüsides selgus, et 2. veldte (kestuse muutus) puhul erinesid ajupoolkerad üksteisest statistiliselt oluliselt – paremal olid veidi tugevamad MMN-vastused. Ka siin oli efektisuurus üsna väike ($d = 0,138$) ehk tulemust ei saa pidada tugevaks tõendiks lateraliseerituse kohta. Sellist erinevust ei ilmnenu 3. veldte (kestuse muutus + põhitooni langus) puhul. Varasemalt on leitud, et vene keele taustaga isikud suudavad paremini eristada 1. ja 2. veldet ning 2. ja 3. veldte eristamine on keerulisem. Üheks põhjuseks, miks vene emakeelega inimestel võib 3. veldte eristamine olla keerulisem, võib olla see, et vene keeles

puudub fonoloogiline komponent, mille abil saaks põhitooni ja kestuse vihjeid veldete eristamiseks kasutada. (Meister & Meister, 2012)

Nii teise kui ka kolmanda veldete eristamisel ilmnes statistiliselt oluline erinevus elektrootide F3 ja F4 vahel. MMN-vastus oli 2. veldete puhul F4 elektrootilt registreerituna tugevam ($d = 0,234$). MMN-vastus oli 3. veldete puhul samuti F4 elektrootilt registreerituna tugevam ($d = 0,314$). Efektisuurused on mõlema veldete puhul arvestatavad. Statistiliselt oluline erinevus oli ka 2. veldete eristamisel elektrootipaari F5 ja F6 vahel. MMN-vastus oli F6 elektrootilt registreerituna tugevam, kuid efektisuurus on siin pigem väike ($d = 0,187$). Sellised tulemused võisid ilmneda nende elektrootide frontaalse paigutuse pärast. Uuringud on näidanud, et lahknevusnegatiivsus avaldub kõige tugevama intensiivsusega temporaal- ja frontaalpiirkondades (Sams et al., 1985). Kõik tugevamad vastused tulid elektrootidelt, mis asusid paremal ajupoolkeral, mis läheb kokku varasemate uuringutena, kus teise keele omadusi võidakse tajuda akustilise infona (Lyu et al., 2024).

H2: ajupoolkerade lateralisatsioon keele omandamise vanuse gruppides

Käesolevast uuringust ei tulnud välja erinevust keele omandamise vanuse gruppide vahel. Kuigi grupid olid enam-vähem võrdse suurusega, siis võis tulemust mõjutada üleüldine valimi väike suurus ($n = 68$). Varasemalt on leitud, et need kakskeelsed isikud, kes hakkasid teist keelt omandama enne 6. eluaastat, töötlesid mõlemat keelt bilateraalsemalt kui need, kes hakkasid teist keelt omandama hiljem (Hull & Vaid, 2007). Liu ja Cao (2016) leidsid, et nendel kakskeelsetel, kes alustasid teise keele omandamist varem, hõlmab teise keele töötlus sarnasemaid piirkondi emakeele töötlusega, kui nendel kakskeelsetel, kes alustasid teise keele omandamist hiljem. Seega oleks teemat põnev edasi uurida suurema valimiga, kuna varasemad uuringud viitavad sellele, et see kui vanalt teist keelt hakatakse omandama, mõjutab ajupoolkerade lateralisatsiooni keeletöötlust.

Uurides taustaküsimustiku küsimusi, mis olid seotud vene keele omandamisega, ei ilmnenu samuti erinevust veldete töötlustes ajupoolkerade vahel. Selline tulemus võis tuleneda sellest, et küsimused ei pruukinu hästi peegeldada teise keele omandamist. Taustaküsimustiku näol oli tegemist subjektiivse enesekohase küsimustikuga ning keeletaset eraldi ei mõõdetud. Eesti keele oskuse taset mõjutavad peale lapsepõlve keelekeskkonna mitmed erinevad faktorid, nagu näiteks hetkene keelekeskkond, regulaarne praktiseerimine ja keele kasutamise intensiivsus.

Täiendavad analüüsid Fz elektroodiga

Täiendavad analüüsid Fz elektroodiga näitasid, et mõlema veldte eristamisel esinesid statistiliselt olulised erinevused elektroodide F3 ja Fz vahel ehk keskmises frontaalses piirkonnas esinesid tugevamad MMN-vastused kui vasakus ajupoolkeras. Keeletöötlus ajus hõlmab mitmeid erinevaid temporaalseid ja frontaalseid piirkondi (Ranjan & Singh, 2025), mis selgitab miks tsentraalsest elektroodist mõõdetud MMN-vastus võis olla tugevam kui F3 elektroodist mõõdetud vastus.

Uurimistöö piirangud ja edasised uurimissuunad

Uurimistöö välist valiidsust vähendab väike ning üsna homogeenne valim ($n = 68$), mis ei olnud soolises tasakaalus (mehi 26 ja naisi 42). Kuna valim oli veel omakorda jaotatud kolmeks grupiks vastavalt eesti keele omandamise vanusele, siis olid kõik grupid liiga väikesed, et teha üldistusi kogu populatsioonile.

Elektroentsefalograafia katse läbiviimisel võib esineda mitmeid tegureid, mis mõjutavad mõõtmistulemuste usaldusväärsust. Näiteks võivad EEG-andmetesse müra tekitada silmapilgutused ning otsaesise ja lõualihaste pingutamine. Samuti võib andmeid mõjutada elektroodimütsi ebatäpne paigutus või vale elektrijuhtivust parandava geeli kogus. (Light et al., 2011) Kuigi andmepuhastuse käigus saab erinevaid tekkinud artefakte vähendada, ei kindlusta see täielikult mõõtmiste korrektsust. Seetõttu võivad need tehnilised ja füsioloogilised faktorid vähendada uurimistöö sisemist valiidsust.

Lahknevusnegatiivsust on varem kasutatud keelestiimulite töötlemise uurimiseks mitmetes erinevates uuringutes (Lyu et al., 2024; Kask, 2017; Näätänen et al., 2007; Korpilahti et al., 2001). Ka käesolevas uuringus oli kasutusel just lahknevusnegatiivsus, kuna see võimaldab hinnata veldete töötlust eeltähelepanuliselt (Näätänen et al., 2007). Võrreldes näiteks varasema ERP-komponendi N1-ga, esindab MMN kõrgema järgu protsesse auditoorsete stiimulite erinevuse tuvastamisel (Takasago et al., 2020). Varasemad uuringud on viidanud sellele, et ka hilisem MMN-komponent võiks keeletöötlemise uurimisel väärtuslikuks osutada (Korpilahti et al., 2001).

Sarnast uuringut võiks korrata suurema ja paremini tasakaalustatud valimiga, kus igas keele omandamise vanuse grupis on rohkem katseisikuid. Varasemad uuringud viitavad sellele, et teise keele omandamise vanus mängib rolli ajupoolkerade lateralisatsioonis. Selline

lähenemine võimaldaks täpsemalt hinnata, kas ja mil määral mõjutab eesti keele teise keelena omandamise vanus ajupoolkerade lateralisatsiooni spetsiifiliselt just eesti keele völdete töötlemisel. Samuti võiks analüüsida teistsugust stiimulikomplekti ja uuringusse kaasata eri keeletasemega isikuid. Osalejaid võiks gruppidesse jagada objektiivse keeletesti tulemuse põhjal. Kuna antud katses mõõdeti katseisikute keeletaset nende subjektiivse hinnangu põhjal, siis võiks täpsem keeletaseme määramine anda paremini tõlgendatavaid tulemusi.

Käesolevas uurimistöös sai kinnitust hüpotees, et vene emakeelega vene-eesti kakskeelsete isikute MMN-reaktsioon on paremas ajupoolkeras tugevam kui eesti emakeele kõnelejatel. Völdete eristamine tugines ilmselt suuremal määral prosoodilistele vihjetele. Samas olid efektisuurused väikesed ning ei saa väita, et oleks esinenud tugevat lateraliseeritust. Teine hüpotees (nende vene emakeelega vene-eesti kakskeelsete isikute, kes hakkasid eesti keelt omandama enne 3. eluaastat (BFLA grupp), ajupoolkerade lateralisatsioon on sarnasem eesti emakeele kõnelejatele) ei saanud kinnitust ehk gruppide vahel erinevust ei ilmnenu, seda tõenäoliselt väikese valimi tõttu. Kokkuvõttes võib käesoleva uurimistöo põhjal järeldada, et keeletöötlus on ajus pigem bilateraalne ning kuna ajupoolkerade rolli keeletöötluses võivad mõjutada mitmed tegurid, siis tuleks uurimust korrata suurema ja mitmekesisema valimiga, et täpsemalt hinnata ajupoolkeradevahelisi erinevusi eesti keele völdete töötlemisel.

Kasutatud kirjandus

- Friederici, A. D. (2011). The brain basis of language processing: from structure to function. *Physiological Reviews*, 91(4), 1357-1392.
<https://doi.org/10.1152/physrev.00006.2011>
- Hull, R., & Vaid, J. (2007). Bilingual language lateralization: A meta-analytic tale of two hemispheres. *Neuropsychologia*, 45(9), 1987-2008.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.03.002>
- Kask, L. (2017). *Processing of language specific stimuli among Estonian and Russian native speakers: an EEG study*. [Master's thesis, University of Tartu].
- Klein, D., Zatorre, R. J., Milner, B., & Zhao, V. (2001). A cross-linguistic PET study of tone perception in Mandarin Chinese and English speakers. *NeuroImage*, 13(4), 646-653.
<https://doi.org/10.1006/nimg.2000.0738>
- Korpilahti, P., Krause, C. M., Holopainen, I., & Lang, A. H. (2001). Early and Late Mismatch Negativity Elicited by Words and Speech-Like Stimuli in Children. *Brain and Language*, 76(3), 332-339. <https://doi.org/10.1006/brln.2000.2426>
- Kreitewolf, J., Friederici, A. D., & Kriegstein, K. (2014). Hemispheric lateralization of linguistic prosody recognition in comparison to speech and speaker recognition. *NeuroImage*, 102(2), 332-344. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.07.038>
- Light, G. A., Williams, L. E., Minow, F., Sprock, J., Rissling, A., Sharp, R., Swerdlow, N. R., & Braff, D. L. (2010). Electroencephalography (EEG) and Event-Related Potentials (ERPs) with Human Participants. *Current Protocols in Neuroscience*, 52(1), Unit 6.25.1-24. <https://doi.org/10.1002/0471142301.ns0625s52>
- 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.
<https://doi.org/10.1016/j.wocn.2009.07.002>
- Lippus, P. (2011). *The acoustic features and perception of the Estonian quantity system*. [Doctoral Dissertation, University of Tartu]. DSpace.
<http://hdl.handle.net/10062/18923>

- Liu, H., & Cao, F. (2016). L1 and L2 processing in the bilingual brain: A meta-analysis of neuroimaging studies. *Brain and Language*, 159, 60-73.
<https://doi.org/10.1016/j.bandl.2016.05.013>
- Lutter, S. (2025). *Eesti keele vältestiimulite eeltähelepanuline töötus vene-eesti kakskeelsetel inimestel*. [Master's thesis, University of Tartu].
- Lyu, S., Pöldver, N., Kask, L., Wang, L., & Kreegipuu, K. (2024). Native language background affects the perception of duration and pitch. *Brain and Language*, 256.
<https://doi.org/10.1016/j.bandl.2024.105460>
- Lõo, K., Leppik, K., Malmi, A., Bleive, A., Rautaoja, T., & Bertram, R. (2024). *LexEst*. University of Tartu. <https://lexest.ut.ee/>
- Mankowska, N. D., Marcinkowska, A. B., Waskow, M., Sharma, R. I., Kot, J., & Winklewski, P. J. (2021). Critical Flicker Fusion Frequency: A narrative review. *Medicina*, 57(10), 1096. <https://doi.org/10.3390/medicina57101096>
- Mayberry, R. I., & Lock, E. (2003). Age constraints on first versus second language acquisition: Evidence for linguistic plasticity and epigenesis. *Brain and Language*, 87(3), 369-384. [https://doi.org/10.1016/S0093-934X\(03\)00137-8](https://doi.org/10.1016/S0093-934X(03)00137-8)
- Meister, L., & Meister, E. (2012). The production and perception of Estonian quantity degrees by native and non-native speakers. In *Proceedings of Interspeech 2012*, (pp. 887-890). <https://doi.org/10.21437/Interspeech.2012-268>
- 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(12), 2544-2590. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2007.04.026>
- Pearson, B. Z. (2008). *Raising a bilingual child* (1st ed.). Living Language.
- Penny, W. D., Kiebel, S. J., Kilner, J. M., & Rugg, M. D. (2002). Event-related brain dynamics. *Trends in Neurosciences*, 25(8), 387-389. [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(02\)02202-6](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(02)02202-6)

- Puura, L. (2025). *Eesti keele veldete tajumise ja musikaalsuse seos vene emakeelega katseisikutel*. [Research paper, University of Tartu]. DSpace.
<https://hdl.handle.net/10062/107698>
- Ranjan, A., & Singh, V. P. (2024). Language processing in the brain: An fMRI study. In *Advances in computers* (pp. 493–564). <https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2024.03.003>
- Ries, K. S., Dronkers, N. F., & Knight, R. T. (2016). Choosing words: left hemisphere, right hemisphere, or both? Perspective on the lateralization of word retrieval. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1369(1), 111-131. <https://doi.org/10.1111/nyas.12993>
- Rosburg, T., Boutros, N. N., & Ford, J. M. (2008). Reduced auditory evoked potential component N100 in schizophrenia — A critical review. *Psychiatry Research*, 161(3), 259–274. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2008.03.017>
- Takasago, M., Kunii, N., Komatsu, M., Tada, M., Kirihara, K., Uka, T., Ishishita, Y., Shimada, S., Kasai, K. & Saito, N. (2020). Spatiotemporal Differentiation of MMN From N1 Adaptation: A Human ECoG Study. *Frontiers in Psychiatry*, 11, 552062. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2020.00586>
- Tulviste, T. (2008). Kõne areng. In E. Kikas (Ed.), *Õppimine ja õpetamine koolieelses eas* (pp. 39-52). Tartu Ülikooli Kirjastus.
- Sams, M., Paavilainen, P., Alho, K., & Näätänen, R. (1985). Auditory frequency discrimination and event-related potentials. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 62(6), 437-448. [https://doi.org/10.1016/0168-5597\(85\)90054-1](https://doi.org/10.1016/0168-5597(85)90054-1)
- Seydell-Greenwald, A., Chambers, C. E., Ferrara, K., & Newport, E. L. (2020). What you say versus how you say it: Comparing sentence comprehension and emotional prosody processing using fMRI. *NeuroImage*, 209, 166509. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.116509>
- 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, 1251.

<https://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00212>

Zora, H., Wester, J., & Csépe, V. (2023). Predictions about prosody facilitate lexical access:

Evidence from P50/N100 and MMN components. *International Journal of*

Psychophysiology, 194, 112262. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2023.112262>

Wildgruber, D., Ackermann, H., Kreifelts, B., & Ethofer, T. (2006). Cerebral processing of

linguistic and emotional prosody: fMRI studies. *Progress in Brain Research*, 156,

249-268. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(06\)56013-3](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(06)56013-3)

Käesolevaga kinnitan, et olen korrektselt viidanud kõigile oma töös kasutatud teiste autorite poolt loodud kirjalikele töödele, lausetele, mõtetele, ideedele või andmetele. Olen nõus oma töö avaldamisega Tartu Ülikooli digitaalarhiivis.

/Getter Kiissel/