

Univerzitet u Beogradu

Biološki fakultet

Saška M. Žunić

**EEG KORELATI OBRADJE AUDITIVNIH
STIMULUSA KOD DECE SA SPECIFIČNIM
JEZIČKIM POREMEĆAJEM**

Doktorska disertacija

Beograd, 2024

University of Belgrade

Faculty of Biology

Saška M. Žunić

**EEG CORRELATES OF AUDITORY STIMULI
PROCESSING IN CHILDREN WITH SPECIFIC
LANGUAGE IMPAIRMENT**

Doctoral disertation

Belgrade, 2024

Mentori:

dr Miško Subotić, viši naučni saradnik, Istraživačko-razvojni institut „Institut za unapređenje životnih aktivnosti“

dr Nadežda Nedeljković, redovni profesor, Biološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

Članovi komisije:

Dr Ljiljana Jeličić, viši naučni saradnik, Istraživačko-razvojni institut „Institut za unapređenje životnih aktivnosti“

Dr Mile Vuković, redovni profesor, Fakultet za specijalnu edukaciju i rehabilitaciju, Univerzitet u Beogradu

Dr Milena Milošević, redovni profesor, Biološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

Datum odbrane:

Zahvalnica

Zahvaljujem se dr Mišku Subotiću, mom „naučnom ocu“ koji je potvrdio hipotezu da sve dobro u životu što radimo ima statističku značajnost. Duboko cenim vreme i trud koji je posvetio mentorisanju, sa pronicljivim i šaljivim diskusijama.

Zahvaljujem se dr Nadeždi Nedeljković, čija stručnost, ohrabrenje i konstruktivne povratne informacije su bili ključni u oblikovanju mog istraživanja i pomogli mi da se snađem u izazovima moje disertacije.

Zahvaljujem se dr Ljiljani Jeličić, prijatelju, kolegi, saradniku, što tačno predvidi kada kaže „sve će biti dobro“. Zahvalna sam joj na trudu, vremenu, angažovanju, i na razumevanju u izazovnim fazama istraživanja.

Zahvaljujem se dr Miletu Vukoviću, koji je ispunio moju želju i pristao da učestvuje u ovom procesu, a pre svega što je među prvima još od osnovnih studija učestvovao u mom akademskom rastu.

Zahvaljujem se dr Mileni Milošević, na stručnom i profesionalnom odnosu tokom izrade ove doktorske disertacije.

Zahvaljujem se dr Slavici Maksimović, „mojoj Slavici“ na apsolutno svemu otkad postoji u mom univerzumu.

Zahvaljujem se dr Ružici Bilibajkić, mojoj beta spektralnoj snazi koja je učinila da EEG korelati budu jasni mojoj kogniciji.

Zahvaljujem se mom Institutu i kolegama koji čine tim „ispred sveta“ na čelu sa dr Mirjanom Sovilj, koja je učinila da moje granice nisu one koje vidim, već beskonačne.

Zahvaljujem se mojoj „malobrojnoj“ porodici, majci i ocu pre svega.

Zahvaljujem se Goranu Žuniću, čoveku koji je ušao u moj „limbički sistem“ i koji je imao „strpljive“ sinapse sve ovo vreme.

EEG KORELATI OBRADJE AUDITIVNIH STIMULUSA KOD DECE SA SPECIFIČNIM JEZIČKIM POREMEĆAJEM

Sažetak

Osnovni cilj istraživanja je da se na osnovu linearnih (spektralna snaga, koherencija) i nelinearnih parametara (fraktalna dimenzija i entropija uzorka opisa EEG signala utvrde sličnosti i razlike pri auditivnoj obradi kod dece sa specifičnim jezičkim poremećajem u poređenju sa decom istog uzrasta tipičnog razvoja, i njihove promene u odnosu na uzrast dece. Auditivni stimuli primenjeni u studiji su bili: reči, nereči, dva tipa rečenica (potvrдна i upitna) i narativni diskurs.

Uzorak je činio 100 ispitanika podeljenih u četiri grupe: prva i druga grupa - deca uzrasta 4.0-4.11 godina (SJP=25, TP=25); treća i četvrta grupa - deca uzrasta 5.0-5.11 godina (SJP=25, TP=25).

Rezultati istraživanja su ukazali da se najveći broj statistički značajnih razlika, uzimajući u obzir sve auditivne stimulse i posmatrane parametre, javlja na elektrodama: Fp1, Fp2, F7, F4, F8, T5, T4, T6 i P4. To ukazuje na dinamičke procese koji se odvijaju u regijama odgovornim za prijem i obradu auditivnih i govorno-jezičkih signala, kao i regijama odgovornim za govorno-jezičku produkciju. Takođe je uočeno da se tip stimulusa u određenoj vrsti stimulusa retko javlja kao parametar na osnovu koga su se mogle statistički razlikovati podgrupe u okviru posmatranog uzorka. Utvrđeno je da mirno stanje i uzrast kao kovarijable imaju statistički značajan uticaj na vrednosti parametara tokom zadataka. Parametar fraktalna dimenzija pokazuje najviši nivo diskriminativnosti po pitanju grupa (TP/SJP) i uzrasnih grupa (4-4.11/5-5.11) tokom auditivne obrade rečenica.

Rezultati studije nedvosmisleno potvrđuju različitu osetljivost pojedinih parametara u opisivanju EEG signala tokom obrade auditivnih stimulusa različite kompleksnosti kod dece tipičnog i atipičnog razvoja.

Ključne reči: Elektroencefalografija, auditivna obrada, EEG korelati, analiza signala, specifični jezički poremećaj

Naučna oblast: Neuronauke

Uža naučna oblast: Razvojna neurofiziologija

EEG CORRELATES OF AUDITORY STIMULI PROCESSING IN CHILDREN WITH SPECIFIC LANGUAGE IMPAIRMENT

Abstract

The primary aim of the research is to determine the similarities and differences in auditory processing in children with specific language impairment (SLI) compared to typically developing (TD) children of the same age and their changes relative to the children's age, based on linear (spectral power, coherence) and nonlinear parameters (fractal dimension and sample entropy) describing EEG signals. The auditory stimuli used in the study included: words, non-words, two types of sentences (declarative and interrogative), and narrative discourse.

The sample consisted of 100 participants divided into four groups: the first and second groups were children aged 4.0-4.11 years (SLI=25, TD=25), and the third and fourth groups were children aged 5.0-5.11 years (SLI=25, TD=25).

Our research revealed that the highest number of statistically significant differences, considering all auditory stimuli and observed parameters occur at the electrodes: Fp1, Fp2, F7, F4, F8, T5, T4, T6, and P4. This suggests dynamic processes occurring in regions responsible for the reception and processing of auditory and speech-language signals, as well as regions responsible for speech-language production. It was also observed that the type of stimulus within a certain kind of stimulus rarely emerged as a parameter that could statistically differentiate subgroups within the observed sample. We also found that the resting state and age as covariates have a statistically significant impact on the parameter values during tasks.

The parameter fractal dimension shows the highest level of discriminative power regarding the groups (TD/SLI) and age groups (4-4.11/5-5.11) during auditory sentence processing. Our study results unequivocally confirm the different sensitivity of certain parameters in describing EEG signals during the processing of auditory stimuli of varying complexity in typically developing children and children with atypical development. These findings have significant implications for our understanding of auditory processing in children with specific language impairment.

Key words: Electroencephalography, auditory processing, EEG correlates, signal analysis, Specific Language Impairment

Scientific field: Neurosciences

Scientific subfield: Developmental neurophysiology

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1 Elektroencefalografija	1
1.1.1 Istorijat razvoja elektroencefalografije	1
1.1.2 Nervna ćelija	2
1.1.3 Akcioni potencijal	3
1.1.4 Moždani talasi	4
1.1.5 Moždani regioni	5
1.2 Analize EEG signala	7
1.2.1 Analiza spektralne snage	7
1.2.2 Analiza koherencije	7
1.2.3 Analiza fraktalne dimenzije	7
1.2.4 Analiza entropije uzorka	8
1.2.5 Lokalizacija izvora kortikalne aktivnosti	9
1.3 Auditivna obrada	9
1.3.1 Neurofiziologija auditivne obrade	9
1.3.2 Neurofiziologija obrade govornog signala	10
1.3.3 Neurofiziologija auditivne obrade kod dece tipičnog razvoja	12
1.3.3.1 EEG korelati obrade auditivnih stimulusa kod dece tipičnog razvoja	13
1.4 Specifični jezički poremećaj	14
1.4.1 Neurofiziologija auditivne obrada kod dece sa specifičnim jezičkim poremećajem	15
2. PREDMET, CILJ I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA	19
2.1 Predmet istraživanja	19
2.2 Ciljevi istraživanja	19
2.3 Hipoteze istraživanja	20
3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA	21
3.1 Uzorak istraživanja	21
3.2 Eksperiment	22
3.2.1 Procena govorno-jezičkog statusa i kognitivnog statusa	22
3.2.2 EEG snimanje i analiza EEG signala	24
3.2.2.1 Snimanje EEG signala	24
3.2.2.2 Protokol EEG snimanja	24
3.2.2.3 Stimulusi	25
3.2.2.4 Analiza EEG signala	26
3.3 Statistička analiza	28
4. REZULTATI	31
4.1 Rezultati govorno-jezičkih testova	31
4.2 Rezultati analize spektralne snage	32
4.2.1 Rezultati analize spektralne snage ritmova tokom auditivne obrade reči i nereči ...	32
4.2.2 Rezultati analize spektralne snage ritmova tokom auditivne obrade dva tipa rečenica	39
4.2.3 Rezultati analize spektralne snage ritmova tokom auditivne obrade narativnog diskursa	43
4.3 Rezultati analize fraktalne dimenzije	46
4.3.1 Rezultati analize fraktalne dimenzije tokom auditivne obrade reči i nereči	46

4.3.2	Rezultati analize fraktalne dimenzije tokom auditivne obrade dva tipa rečenica . . .	47
4.3.3	Rezultati analize fraktalne dimenzije tokom auditivne obrade narativnog diskursa .	49
4.4	Rezultati analize entropije	49
4.4.1	Rezultati analize entropije tokom auditivne obrade reči i nereči	49
4.4.2	Rezultati analize entropije tokom auditivne obrade dva tipa rečenica	51
4.4.3	Rezultati analize entropije tokom auditivne obrade narativnog diskursa	53
4.5	Zbirni prikaz statistički značajnih korelata EEG signala	53
4.6	Rezultati analize koherencije	56
4.6.1	Rezultati analize koherencije u mirnom stanju	56
4.6.2	Rezultati analize koherencije tokom auditivne obrade reči i nereči	56
4.6.3	Rezultati analize koherencije tokom auditivne obrade dva tipa rečenica	57
4.6.4	Rezultati analize koherencije tokom auditivne obrade narativnog diskursa	58
4.7	Rezultati analize dipola	59
5.	DISKUSIJA	65
5.1	Promene u spektralnoj snazi teta, alfa i beta ritma tokod auditivne obrade reči i nereči	65
5.2	Promene u spektralnoj snazi teta, alfa i beta ritma tokod auditivne obrade dva tipa rečenica	68
5.3	Promene u spektralnoj snazi teta, alfa i beta ritma tokod auditivne obrade narativnog diskursa	70
5.4	Promene u fraktalnoj dimenziji tokom auditivne obrade stimulusa	71
5.5	Promene u entropiji uzorka tokom auditivne obrade stimulusa	72
5.6	Promene u koherenciji tokom auditivne obrade stimulusa	73
5.7	Lokalizacija izvora EEG signala tokom auditivne obrade stimulusa	75
6.	ZAKLJUČAK	77
	PRILOZI	78
	LITERATURA	95

1. UVOD

1.1 Elektroencefalografija

Razvoj nauke i tehnike u modernom dobu omogućio je usavršavanje neuroimizing tehnika koje imaju za cilj detektovanje moždanih aktivnosti. Jedna od tih neuroimizing metoda koja se zasniva na detekciji električne aktivnosti ili električnih potencijala mozga pomoću elektroda postavljenih na površinu glave je elektroencefalografija (EEG).

EEG je dijagnostička, neinvazivna metoda kojom se dobija grafički prikaz električne aktivnosti mozga. U njenoj osnovi leži stalna promena električnog potencijala između dve tačke u odnosu na referentnu tačku, i sve to na nivou membrane ganglijskih ćelija CNS-a (Stemmer & Whitaker, 2008). Snimanje ovih promena napona je dobijeno postavljanjem elektroda (pojedinačnih ili integrisanih u kapu) na kožu glave. Naponi skalpa direktno reflektuju aktivnost neurona. Filtrirani EEG signal se digitalizuje preko analogno-digitalnog aparata i prikazuje se na ekranu računara. Tipičan EEG signal odraslog čoveka je oko 20–100V.

Prednost EEG-a za proučavanje moždane aktivnosti je visoka vremenska rezolucija, neinvazivnost u primeni, ekonomičnost i direktno merenje aktivnosti mozga. U neurolingvistici, EEG metoda je značajan instrument u istraživanju neuronskih mehanizama razvoja jezika i obrade govorno-jezičkog signala, kao i u proučavanju različitih poremećaja govora i jezika. EEG može poslužiti kao korisno sredstvo za razumevanje deficita kod dece sa specifičnim poremećajima govora i jezika u odnosu na decu tipičnog razvoja, kao što su deficiti auditivne pažnje koji su do sada više istraženi na nivou ponašanja (Stevens et al., 2013; Wray et al., 2017). Promene u takvim globalnim mentalnim stanjima su povezane sa promenama u distribuciji frekvencije i amplitude EEG-a. Kako tehnologija nastavlja da napreduje, primena EEG-a u neurolingvistici će se verovatno proširiti, pružajući dublji uvid u složenost jezičkih sposobnosti i funkcije mozga.

1.1.1 Istorijat razvoja elektroencefalografije

Proučavanje magnetizma i elektriciteta počinje u 17-om veku i vezuje se za ime Vilijema Gilberta, koji prvi objavljuje teoriju o prirodi elektriciteta i uvodi termin elektricitet. U istom periodu prvu elektrostatičnu mašinu projektovao je Oto Von Gerik. 150 godina kasnije italijanski naučnik Luidi Galvani je vršeći eksperimente na životinjama otkrio da mišići i nervne ćelije stvaraju elektricitet (Khoshbin, 2000; Schomer & Da Silva, 2012). Prvi konstruisani galvanometar koji je detektovao električnu pojavu i promene u intenzitetu, nije mogao da prati trenutnu električnu aktivnost. Pomoću galvanometra, 1870. godine, naučnik Ričard Katon je prvi napravio snimak električne aktivnosti mozga kod životinja. U eksperimentu na majmunima i zečevima, pomoću dve elektrode, došao je do zaključka da EEG aktivnost pomera površinsku (scalp) elektrodu na površini glave. Njegov eksperiment se smatra početkom nastanka elektroencefalografije. Prvi zapis električne aktivnosti mozga vezuje se za neuropsihijatra Hansa Bergera koji je početkom 20-og veka koristeći bipolarnu tehniku u području fronto-okcipitalnih delova glave, napravio 3-minutni zapis EEG-a na fotografskom papiru. Berger je diferencirao dve vrste "ritma" u ljudskom mozgu. Jedan sa 10 ponavljanja u sekundi, koji je nazvao "alfa ritam", i drugi sa 15 – 60 ponavljanja, koji je nazvao "beta ritam" (Schomer & Da Silva, 2012). Nakon Bergerovog otkrića nastaje ekspanzija istraživanja EEG-a u detekciji, dijagnostici i lečenju različitih neuroloških poremećaja.



William Gilbert



Luigi Galvani



Richard Caton



Hans Berger

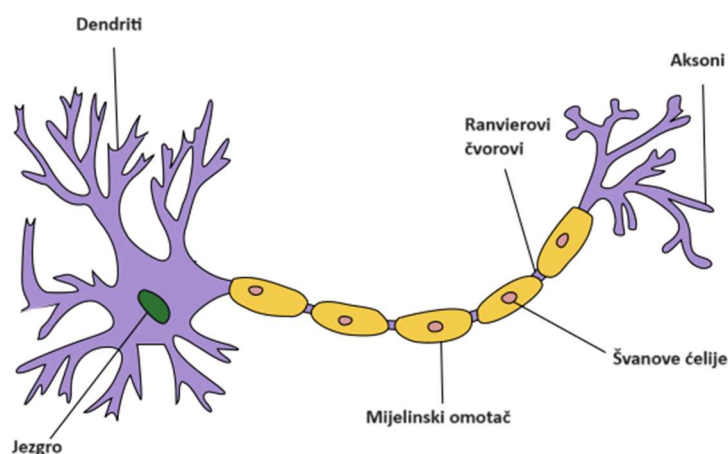
Slika 1. Naučnici koji se smatraju tvorcima elektroencefalografije

Naučnici Fišer i Lovenbah (Löwenbach & Lyman, 1940) su prvi snimili EEG kod životinja sa epileptiformnim promjenama. U SAD-u, na univerzitetu Harvard od 1930. godine, počinje epoha naučnika i neurologa koji se bave elektroencefalografijom. Lumis i drugi naučnici prvi snimaju EEG tokom spavanja (Pelayo, Hodgson, & Guilleminault, 2009); Donald Lindsli prvi detektuje sazrevanje EEG korelata. Grej Volter otkriva dominaciju delta talasa kod tumora mozga (Walter, 1950). EEG kompjuterizacija nastaje šezdesetih i sedamdesetih godina 20. veka korišćenjem brze Furijeve transformacije u analizi spektralne snage (Cooley & Tukey, 1965). U to vreme došlo je do pojave neuroimidžing tehnika (kompjuterska tomografija i magnetna rezonanca). Nove metode su jedno vreme dobile prioritet u odnosu na elektroencefalografiju. Zahvaljujući naučniku Franku Dufiju, EEG se ponovo uvodi kao moderna metodu u vidu kompjuterizovanog mapiranja mozga (Duffy, Iyer, & Surwillo, 2012).

1.1.2 Nervna ćelija

CNS se sastoji iz nervnih i glijalnih ćelija. Nervna ćelija se sastoji iz tela (jezgro, citoplazma) i nastavaka (dendriti i aksoni). Dendriti su kratki i razgranati i u funkciji su primanja informacija, dok je akson jedan dugačak nastavak i ima funkciju prenošenja informacija, odnosno, proizvodnje nervnog impulsa. Glijalne ćelije su neekscitabilne ćelije koje uglavnom služe kao mehanička podrška i nalaze se između neurona. U CNS-u se nervne ćelije dele na: astrocite, oligodendrocite, mikrogliju i endimocite. U perifernom nervnom sistemu (PNS) se dele na Švanove ćelije i satelitne ćelije. U PNS-u Švanove ćelije su važne u stvaranju mijelina koji predstavlja omotač oko aksona, dok su u

CNS-u za to zaduženi oligodendrociti. Mijelin ima posebne Ranvierove čvorove koji generišu akcioni potencijal (Slika 2). Akcioni potencijal se prenosi između nervnih ćelija pomoću dendrita i aksona, i ta veza se naziva sinapsa. Glavne fiziološke osobine nervne ćelije su ekscitabilnost i provodljivost.



Slika 2. Nervna ćelija

(preuzeto i adaptirano https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brain_regions.svg)

1.1.3 Akcioni potencijal

Fiziološka aktivnost ćelije javlja se prvenstveno na ćelijskoj membrani. Kada je ćelija stimulirana, ćelijska membrana prolazi kroz depolarizaciju, pomerajući membranski potencijal iz stanja mirovanja u stanje delovanja; javlja se akcioni potencijal. Potencijal mirovanja karakteriše višak negativnog naelektrisanja unutar membrane i pozitivnog naelektrisanja spolja, što rezultira polarizovanim stanjem sa tipičnom vrednošću od -70 mV. Ova polarizacija je posledica raspodele K^+ , Na^+ i Cl^- jona kroz ćelijsku membranu.

Akcioni potencijal (AP) se ponaša po zakonu "sve ili ništa". Usled aktivnosti presinaptičkog neurona ili stimulusa dolazi do promene polarizovanosti koja kada dostigne određeni nivo, izaziva akcioni potencijal. Nivo polarizovanosti je za 15-20 mV veći od potencijala mirovanja. Depolarizacija se odvija kroz promenu naelektrisanja, tako što unutrašnjost membrane postaje pozitivna a spoljašnjost negativna. Nakon stimulacije, ćelijska membrana postaje propustljiva, omogućavajući pozitivno naelektrisanim katjonima da uđu u ćeliju, a negativno naelektrisanim anjonima da izađu. Ovo kretanje jona uključuje priliv Na^+ , što dovodi do povećanog izliva K^+ na spoljašnju stranu membrane, suzbijajući depolarizujući efekat Na^+ struje. Nakon početne faze depolarizacije, membrana prolazi kroz repolarizaciju i hiperpolarizaciju, vraćajući se svom potencijalu mirovanja. Brza depolarizacija i naknadna repolarizacija membrane se naziva "šiljak" akcionog potencijala. Nakon ovog skoka, membrana postaje hiperpolarizovana pre nego što se konačno vrati u potencijal mirovanja. Akcioni potencijal je kratak, traje oko 1-2 milisekunde, dok faza hiperpolarizacije traje približno 30-40 milisekundi.

Akcioni potencijal se prenosi putem ćelijskih nastavaka i mijelina do druge nervne ćelije stvarajući vezu koja se naziva sinapsa. On se prenosi putem veze koja se naziva saltatorna kondukcija. Ako akcioni potencijal putuje duž vlakna koje se završava ekscitatornom sinapsom, ekscitatorni postsinaptički potencijal (EPSP) se javlja u sledećem neuronu. Ako putuju dva akciona potencijala duž istog vlakna sa kratkim intervalom, doći će do sumiranja EPSP-a koji pokreće akcioni potencijal

na postsinaptički neuron. Ako akcioni potencijal putuje duž vlakna koje se završava inhibicijom sinapse, tada će doći do hiperpolarizacije, što predstavlja inhibitorni postsinaptički potencijal (IPSP) (Schomer & Da Silva, 2012; Shepherd, 2003).

EPSP je promenjive amplitude, od 1-5mV i ne ponaša se po zakonu sve ili ništa. Nastaje tako što joni Na ulaze u ćeliju i smanjuju negativno naelektrisanje membrane, u narednih 15 ms joni K izlaze, a joni Cl ulaze i uspostavljaju opet potencijal mirovanja. IPSP nastaje tako što membrana postaje propustljiva za jone K⁺ i Cl⁻.

EEG aktivnost predstavlja vremensku i prostornu sumaciju svih promena akcionog potencijala u piramidalnim nervnim ćelijama. Piramidalne nervne ćelije su široko rasprostranjene u korteksu i amigdali. Prostorna sumacija se dešava kada se EPSP istovremeno aktivira različitim sinapsama, oslobađajući ekscitatorne neurotransmitere. Vremenska sumacija se, s druge strane, dešava kada dva impulsa brzo stignu do istog presinaptičkog neurona, stvarajući novi EPSP pre nego što se prethodni rasprši. Da bi se akcioni potencijal stvorio u postsinaptičkom neuronu, ili veliki broj sinapsi mora biti aktiviran istovremeno (prostorna sumacija) ili više puta u brzom nizu (vremenska sumacija) (Stokić, 2015).

1.1.4 Moždani talasi

Moždani talasi (ritmovi) (Slika 3) su oscilacije koje karakteriše određena amplituda, frekvencija i mesto nastanka. Stoga, moždane talase delimo na δ -talase (delta), θ -talase (teta), α -talase (alfa), β -talase (beta), i γ -talase (gama).

Delta talas je najsporiji talas koji je u opsegu od 0.4 do 4 Hz, amplitude je 60-100 μ V i obično traje duže od 0.25 sec (Schomer & Da Silva, 2012). Javlja se u korteksu frontalno kod odraslih, posteriorno kod dece i u talamusu. Fiziološki, ovi talasi su izraženi tokom sporotalasnog sna, ali samo kod odraslih. Kod beba, delta talasi takođe mogu biti u korelaciji sa pažnjom. Patološki, delta talasi se javljaju kod metaboličke encefalopatije, hidrocefalusa, subkortikalnih i difuznih lezija (Abraham, Dash, Pani, & García-Hernández, 2022).

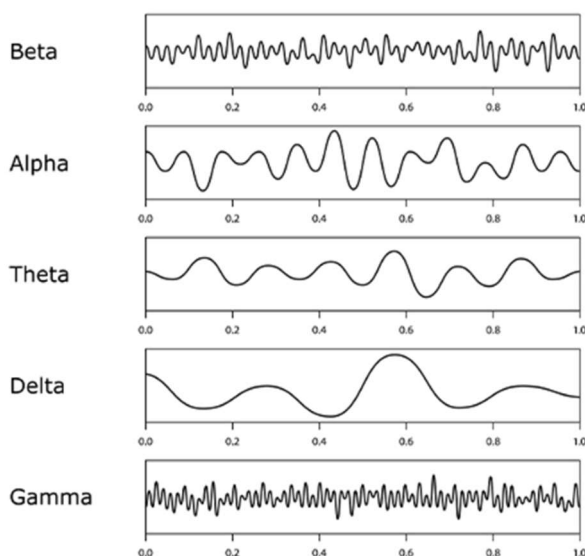
Teta talas je talas koji je u opsegu od 4 do 8Hz i ima amplitudu od oko 70 μ V. Javlja se u korteksu u frontalnom i temporalnom režnju i u hipokampusu (Marcuse, Fields, & Yoo, 2015). Fiziološki, javlja se kod povećanog mentalnog usmeravanja, memorijskih procesa ali i kod emocionalne napetosti. Patološki, pojavljuje se kod metaboličke encefalopatije (Schomer & Da Silva, 2012) i kod dece sa poremećajima iz spektra autizma (Kropotov, 2016).

Alfa talas je talas koji je u opsegu od 8 do 12 Hz, ima amplitudu približno 50 μ V. Javlja se uglavnom u potiljačnoj regiji i tu dostiže maksimalnu amplitudu. Fiziološki, prisutan je kod odraslih u budnom stanju ili u stanju mirovanja sa zatvorenim očima. Nestaje tokom spavanja i nastaje u trenutku fokusiranja pažnje na određeni zadatak (Moini & Piran, 2020).

Istraživanja su pokazala da je alfa talas u motoričkom korteksu uključen u inhibiciju planiranih akcija. U frontalnom režnju, alfa talasi su uključeni i u procese kratkoročne verbalne memorije, a neki istraživači ističu da i sinhronizacija i desinhronizacija alfa talasa može igrati ulogu u kognitivnim procesima. Čak ni granica između teta i alfa talasa nije jasna, a neki istraživači veruju da ovi talasi nisu nužno stabilni u svom konvencionalnom opsegu (Baars & Gage, 2013). Patološki, pojavljuje se u stanjima duboke kome.

Beta talas je u opsegu od 13 do 30Hz, niske amplitude 30 μ V (Schomer & Da Silva, 2012). Javlja se najviše u frontalnom režnju, a pored toga, rolandička beta se javlja u frontalnim i centralnim regionima. Fiziološki, prisutan je kod odraslih u budnom stanju, stanju fokusirane i organizovane pažnje. U literaturi se često deli na tri beta talasa u zavisnosti od frekvencijskog opsega: 1) niski beta talasi (12–15 Hz), povezani su sa fokusiranom, introvertnom koncentracijom; 2) beta talasi srednjeg opsega (15–20 Hz), povezani su sa povećanjem energije, anksioznosti i performansi; 3) visoki beta talasi (18–40 Hz), povezani sa izrazitim stresom, anksioznošću, paranojom, izraženim uzbuđenjem (Abhang, Gawali, & Mehrotra, 2016a). Patološki, javlja se kod Parkinsonove bolesti (Pettersson, Kühn, Neumann, & Fuentes, 2020) i kod ADHD-a.

Gama talas je u opsegu od 30 do 100 Hz. Javlja se tokom svesne percepcije. Zbog male amplitude i velike kontaminacije mišićnim artefaktima, gama talasi su potcenjeni i nisu široko proučavani u poređenju sa drugim sporim moždanim talasima. Visoka gama aktivnost na temporalnim lokacijama povezana je sa procesima pamćenja. Pored toga uključena je u procese pažnje, dugoročne i radne memorije. Patološki, javlja se kod psihijatrijskih poremećaja, šizofrenije, halucinacija, Alchajmerove bolesti i epilepsije (Malik & Amin, 2017).

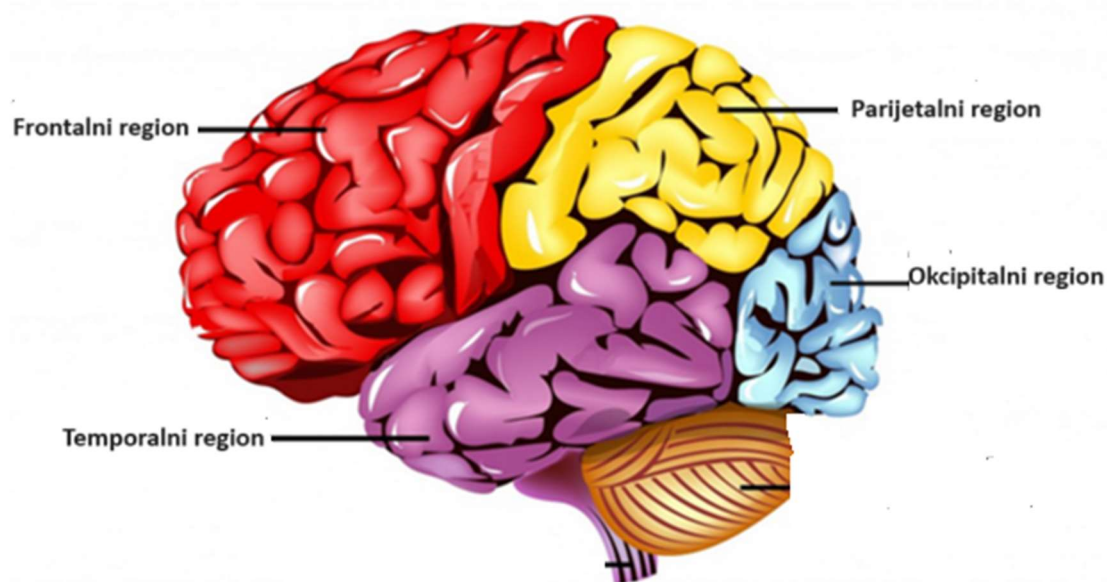


Slika 3. Moždani talasi

(Preuzeto sa: <https://www.coaching-place.com/the-depth-of-trance-and-brain-waves/>)

1.1.5 Moždani regioni

Za razumevanje neuronske osnove jezika značajan je onaj deo mozga koji je „evolucijski najmlađi“ (Ingram, 2009), a to je cerebralni korteks (moždana kora). Sam cerebralni korteks se deli na dve hemisfere: levu i desnu. Hemisferna dalja deoba ide na grubo simetrične moždane regione (režnjeve, *eng. Lobes*): frontalni (čeonni), temporalni (slepoočni), parijetalni (temeni) i okcipitalni (potiljačni) (Slika 4). U nastavku, ukratko ćemo objasniti koje uloge moždani regioni imaju u obradi govora i jezika.



Slika 4. Moždani regioni

(preuzeto i adaptirano https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brain_regions.svg)

Frontalni region je najveći moždani region koji se proteže do Silvijeve fisure, a podrazumeva delove kao što su primarni motorni, premotorni, prefrontalni korteks i zadnji regioni frontalnog korteksa. Njegova najvažnija zona je Broka oblast, koja citoarhitektonski odgovara Brodmanovoj arei 44, a neuroanatomski pripada zadnjem delu inferiornog frontalnog girusa (Vuković, 2016). Brokina zona je zadužena za adekvatnu govornu produkciju, i njeno oštećenje dovodi do Brokine afazije. Frontalni region je značajan za kogniciju i ponašanje, planiranje pokreta, zaključivanje, rešavanje problema, pažnju i koncentraciju (Baars & Gage, 2013; Pressman & Rosen, 2015).

Temporalni region se nalazi neposredno ispod dela frontalnog i parijetalnog reznja. Obuhvata primarni auditivni korteks koji odgovara Brodmanovoj arei 41 i 42. Njegova najvažnija zona je Vernikeova oblast koja citoarhitektonski odgovara Brodmanovoj arei 22. Neurolingvistički gledano, ova oblast je zadužena za razumevanje govora, a njeno oštećenje dovodi do Vernikeove afazije. S obzirom da ovom regionu pripadaju amigdala i hipokampus, zadužena je za emocionalno ponašanje. Dodatno, postoji veliki broj funkcija za koje se odgovornim smatra temporalni region, a to su: pažnja, memorija, auditivna obrada govora (Abhang, Gawali, & Mehrotra, 2016b).

Parijetalni region se nalazi između frontalnog i okcipitalnog regiona i obuhvata primarni somatosenzorni korteks koji odgovara Brodmanovoj arei 1, 2 i 3. Parijetalni region se smatra odgovornim za integraciju informacija o proprioceptiji, dodiru, prostornoj organizaciji i auditivnoj obradi jezika. Njegova recipročna veza sa temporalnim regionim igra ulogu u auditivnoj obradi i mentalnom leksikonu. Parijetalni i okcipitalni regioni učestvuju u integraciji vizuelnih informacija, dok veza sa prefrontalnim regionom služi za kontrolu pokreta (Tuite & Konczak, 2010).

Okcipitalni region je najmanji moždani region koji se nalazi iza parijetalnog regiona i podrazumeva primarni vizuelni korteks koji odgovara Brodmanovoj arei 17. Odgovoran je za obradu svih vizuelnih stimulusa. Novije studije ga zajedno sa parijetalnim regionom dovode u vezu sa obradom govornih signala.

1.2 Analize EEG signala

EEG kao neinvazivna metoda detektuje promene o električnoj aktivnosti mozga u vremenu. Samo na osnovu vizuelne inspekcije EEG trase, ne mogu se dobiti dovoljne informacije o ponašanju EEG signala. Za posmatranje EEG signala kao linearno dinamične pojave, primenjuju se linearne metode (analiza spektralne snage i analiza koherencije). S druge strane, EEG signal ima kompleksno ponašanje kada se posmatra nelinearno, primenom nelinearnih metoda (analiza fraktalne dimenzije i analiza entropije uzorka).

1.2.1 Analiza spektralne snage

Analiza spektralne snage (*eng. Spectral power, SP*) je linearna metoda koja predstavlja reprezentaciju energije različitih frekvencijskih komponenti prisutnih u EEG signalu. Spektralna analiza se izvodi korišćenjem tehnika spektralne analize kao što je brza Furijeova transformacija (*eng. Fast Fourier Transform, FFT*). FFT je matematički metod koji razlaže složeni EEG signal na njegove sastavne sinusoidne komponente u nizu frekvencija da bi ukazala na njenu veličinu (ili snagu). Na taj način, spektralna snaga na svakoj frekvenciji ukazuje na veličinu EEG aktivnosti unutar tog frekvencijskog opsega, obično merenu u mikrovoltima na kvadrat po Hercu ($\mu V^2/Hz$).

Razlaganjem složenih signala na komponente omogućava se lakše pojedinačno analiziranje. Ove komponente su specifična amplituda i faza, odnosno fazni ugao i njegoa trigonometrijska funkcija. Obično se u literaturi naučnici bave analizom relativne i apsolutne spektralne snage.

Relativna SP se definiše kao SP na određenom frekvencijskom opsegu koji se analizira u odnosu na ukupni frekvencijski opseg. Prednost relativne SP je u tome što se u provodljivosti lobanje i skalpa smanjuje međuindividualno odstupanje povezano sa apsolutnom snagom zbog međuindividualnih razlika (Bronzino, 2000). Međutim, nedostatak relativne SP po definiciji je da promena u jednom frekvencijskom opsegu, utiče na ukupni frekvencijski opseg, a samim tim utiče na promenu relativne SP ciljanog frekvencijskog opsega. Apsolutna SP se definiše kao SP na samo određenom frekvencijskom opsegu koji se analizira.

1.2.2 Analiza koherencije

Analiza koherencije (KOH) je mera koja određuje linearnu korelaciju između dva signala u funkciji frekventnih komponenti koje oni mogu sadržati, odnosno, to je matematička metoda koja se može koristiti da se utvrdi da li dva ili više senzora, ili regiona mozga, imaju sličnu moždanu aktivnost (Bowyer, 2016). Koherencija se generalno procenjuje na osnovu sličnosti sadržaja frekvencije na EEG sensorima. Statistička analiza se zatim može izvršiti na rezultatima koherentnosti kako bi se potvrdili dokazi o normalnoj ili abnormalnoj mrežnoj aktivnosti kod ispitanika. Ova tehnika kvantifikuje neuronske obrasce sinhronosti merene između prostorno odvojenih elektroda skalpa EEG-a (French & Beaumont, 1984). Metoda prvo obuhvata primenu FFT tehnike. Zatim se izvrši transformacija da bi se dobio prikaz vremenske frekvencije, nakon čega se jačina mrežnih interakcija procenjuje proračunom koherencije, koja meri sinhronizaciju između signala sa različitih elektroda na svakom FFT frekvencijskom proračunu. Rezultat je simetrična matrica koja ne daje informacije o usmerenosti već samo o povezanosti elektroda.

1.2.3 Analiza fraktalne dimenzije

Analiza fraktalne dimenzije (FD) je mera koja se koristi u različitim oblastima za opisivanje složenosti signala ili kompleksnosti signala (Higuchi, 1988; Katz, 1988). FD se može primeniti da bi

se razumelo kako se složeni i nepravilni obrasci u signalima menjaju tokom vremena i u različitim frekvencijskim opsezima.

Higučijev metod se koristi za izračunavanje fraktalne dimenzije (Gladun, 2020). Higučijeva metoda procenjuje dimenziju D fraktala (ili Hausdorfovog prostora) osnovnog vremenskog skupa gde data dimenzija meri stepen kompleksnosti fraktalnog oblika i varira u opsegu vrednosti od 1 do 2.

Stokić (2015) istražujući primenu nelinearnih metoda u analizi promena EEG teta ritma pri formiranju kratkoročne auditivne memorije kod ljudi, daje detaljan opis analize i primene ove metode u posmatranju kompleksnosti EEG signala. U istraživanju se opisuje prozorski Higučijev algoritam koji je osmišljen da pruži informacije o tome kako se neregularan signal menja tokom vremena. Algoritam je modifikovan u segmentu izbora dužine prozora u odnosu na frekvenciju uzorkovanja. Ovom modifikacijom, menjanjem širine prozora, može se prilagoditi preciznost analize. Primenom prozorskog Higučijevog algoritma omogućeno je utvrđivanje trenutka u vremenu kada je došlo do uticaja koji je doveo do nagle promene kompleksnosti EEG signala. Na ovaj način se dobija informacija o tome kada se u signalu pojavila neka nova komponenta što može ukazati na početak aktivnosti određenih centara (Čukić, Pokrajac, Stokić, Radivojević, & Ljubisavljević, 2018).

1.2.4 Analiza entropije uzorka

Analiza entropije uzorka (*eng. "sample entropy" – SampEn-SE*) je statistička metoda za procenu kompleksnosti sistema, odnosno mera zasnovana na ordinalnim obrascima snimljenih vremenskih serija, odnosno entropije. U 19. veku ovaj termin je uveden u termodinamiku, a tek kasnije ova mera je prilagođena teoriji informacija i analizi signala (Pappalettera et al., 2023). Prvi koji je koristio ovu analizu za procenu kompleksnosti EEG signala je Pinkus (Pincus, 1991), definišući pojam aproksimativne entropije (ApEn). Entropija je definisana kao mera informacije sadržane u datoj količini signala koja predstavlja i opisuje karakteristike nepravilnosti, složenosti ili nepredvidivosti signala, odnosno, utvrđuje koliko određeni obrazac entropije EEG signala meri količinu nepredvidivosti ili složenosti u signalu.

Manja vrednost entropije znači da EEG signal sadrži manje kompleksnih elemenata i da pokazuje ponavljajuće obrasce koji se mogu predvideti. Ovo može biti karakteristično za stanje poput dubokog sna, gde su moždani talasi spori i regularni. Veća vrednost entropije, s druge strane, sugerise da je signal složeniji, sa više nepredvidivih elemenata. Ovo može ukazivati na stanja povećane moždane aktivnosti, kao što su budnost, kognitivni zadatak ali i određeni neurološki poremećaji. U literaturi je ova mera kompleksnosti vremenskih serija korišćena za ispitivanje različitih kognitivnih procesa: vizuelne pažnje, emocionalnog izraza, percepcije reči tokom čitanja, radne memorije (Baggio & Fonseca, 2012; Jie, Cao, & Li, 2014; Wang et al., 2014).

Činjenica da moždani sistemi imaju tendenciju nelinearnog haotičnog ponašanja, mere entropije mogu se uspešno primeniti na EEG signalu da bi se otkrila njegova varijabilnost ili složenost. Varijabilnost i složenost proizilaze iz interakcije između pojedinačnih neurona i njihovih neuronskih kola i imaju tendenciju da se protežu na širokim prostorno-vremenskim skalama u mozgu (Keshmiri, 2020).

Kod auditivne obrade, nelinearne metode mogu otkriti kako različiti delovi slušnog puta obrađuju jezičke stimulse. Stoga, analiza FD i analiza SE mogu pomoći u identifikaciji obrazaca i nepravilnosti u auditivnoj obradi signala, koji mogu biti povezani sa različitim poremećajima auditivne i jezičke obrade.

1.2.5 Lokalizacija izvora kortikalne aktivnosti

Lokalizacija izvora EEG signala (*srp Standardizovana elektromagnetna tomografija niske rezolucije; eng. Standardized Low Resolution Electric Tomography- sLORETA*) može pomoći u određivanju specifičnih regiona mozga uključenih u obradu auditivnih informacija. Pruža trodimenzionalni prikaz moždane aktivnosti, omogućavajući istraživačima da identifikuju koje oblasti se aktiviraju kao odgovor na stimulaciju. Predstavlja slikoviti prikaz lokalizacije izvora EEG signala (Pascual-Marqui, 2002).

sLORETA koristi pojednostavljeni model glave koji se sastoji od tri koncentrične sfere, koje predstavljaju mozak, lobanju i skalp. Ovaj model je zasnovan na podacima Centra za snimanje mozga sa Neurološkog instituta u Montrealu (MNI305) i prikazan je korišćenjem MRI modela koga su opisali naučnici Talairah i Tournoux (Talairach & Tournoux, 1988). Kortikalna površina je podeljena na 2.394 voksela, svaki sa prostornom rezolucijom od 7 mm. Dodatno, grafički prikaz uključuje Brodmanove oblasti (Brodmanove aree BA), koje predstavljaju specifične regije korteksa definisane njihovim citoarhitektonskim karakteristikama.

1.3 Auditivna obrada

1.3.1 Neurofiziologija auditivne obrade

Auditivni sistem je senzorni sistem kojim primamo, prenosimo, obrađujemo i razumemo informaciju primljenu putem čula sluha. Spektar frekvencija koje može da percipira ljudsko uvo se kreće od 20Hz do 20000Hz.

Čulo sluha kao jedan od najosetljivijih organa u čovečijem organizmu ima veoma složenu i finu građu. Na osnovu anatomske strukture i specifične funkcije organ sluha možemo podeliti na:

- sprovodni (konduktivni) aparat koga čine spoljašnje i srednje uvo,
- senzorni (perceptivni) aparat koga čini unutrašnje uvo, i
- neuralni aparat koga čine slušni nerv, moždani slušni putevi i kortikalni slušni centri.

Na osnovu topografije možemo ga posmatrati kao periferni i centralni deo. Periferni deo predstavlja uvo i slušni nerv dok centralni obuhvata moždane slušne puteve i kortikalne centre. Zvučni talasi dolaze do spoljašnjeg uha i putuju kroz spoljašnji ušni kanal da bi stigli do bubne opne (*eng. tympanic membrane*). Pokret bubne opne pokreće vibraciju tri male kosti unutar srednjeg uha: čekić (*lat. Malleus*), nakovanj (*lat. Incus*) i uzengiju (*lat. Stapes*), koje prenose vibraciju na unutrašnje uvo preko ovalnog (vestibularnog) prozora, koji se nalazi na početku kohlee.

Kohlea je struktura ispunjena tečnošću (perilimfa) koja je spiralno uvijena oko centralnog stuba (modiolusa). Kohlea se sastoji od tri cevi (skala); vestibularna skala (*lat. scala vestibuli*), središnja skala (*lat. scala media*) i bubna skala (*lat. scala tympani*). Između bubne i središnje skale nalazi se bazilarna membrana, a na njenoj površini je Kortijev organ, (*lat. Organum spirale Corti*) koji se sastoji iz slušnih receptorskih ćelija. Unutar kohlee, mehanička energija se pretvara u električnu. Kortijev organ se sastoji iz tri reda spoljašnjih i jednog reda unutrašnjih trepljastih ćelija (*eng. Outer and Inner hair cells*). Baze ovih ćelija su u bazilarnoj membrani a vrhom su povezane

tektorijalnom membranom. Kada vestibularna skala i skala timpani osciliraju, bazilarna membrana se pomera sa tektorijalnom membranom. U zavisnosti od smera pomeranja, pokret će mehanički otvoriti ili zatvoriti kalijumove kanale i tako omogućiti aktivaciju ili deaktivaciju ćelije. Za razliku od drugih ćelija u mozgu, unutrašnje trepljaste ćelije nemaju aksone. One prenose informaciju, stvarajući sinapsu sa slušnim nervom. Većina (90%) slušnih nervnih vlakana dobija informacije iz unutrašnjih trepljastih ćelija (Delacroix & Malgrange, 2015).

Slušne informacije preko perifernog čula sluha i slušnog nerva stižu do centralnih slušnih jedara. Ova jedra obuhvataju 1) kohlearno jedro, 2) superiorna olivarna jedra, 3) lateralni lemniscus, 4) inferiorni kolikulus i 5) medijalno kolenasto telo (Guyton & Hall, 2012). Put dalje slušnom radijacijom ide do slušne kore koja je smeštena u gornjem temporalnom girusu (Guyton & Hall, 2012).

Auditivni slušni korteks se deli na primarni (somatosenzorni) i sekundarni (asocijativni). Primarni somatosenzorni korteks je odgovoran za primanje i obradu senzornih informacija koje dolaze iz somatskih čula, proprioceptivnih čula i visceralnih čula, dok je sekundarni somatosenzorni korteks odgovoran za prostornu i taktilnu memoriju koja je povezana sa čulnim doživljajima (Guyton & Hall, 2012).

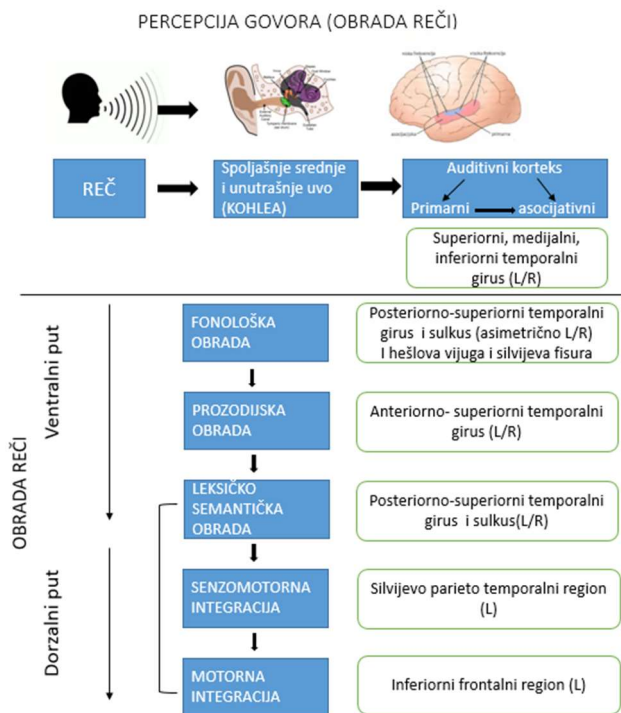
Auditivni korteks, prema Gajtonu (Guyton & Hall, 2012) nema jasnu tonotopsku organizaciju, ali ima važnu ulogu u lokalizaciji zvuka i analizi složenih zvukova kao što je ljudski govor i memorisanje informacija. Za razliku od sekundarnog slušnog korteksa, primarni slušni korteks se nalazi u gornjem temporalnom girusu u temporalnom regionu i prima signal od tačke do tačke iz ventralnog dela medijalnog genikulacionog kompleksa; odnosno, ima preciznu tonotopsku kartu.

1.3.2 Neurofiziologija obrade govornog signala

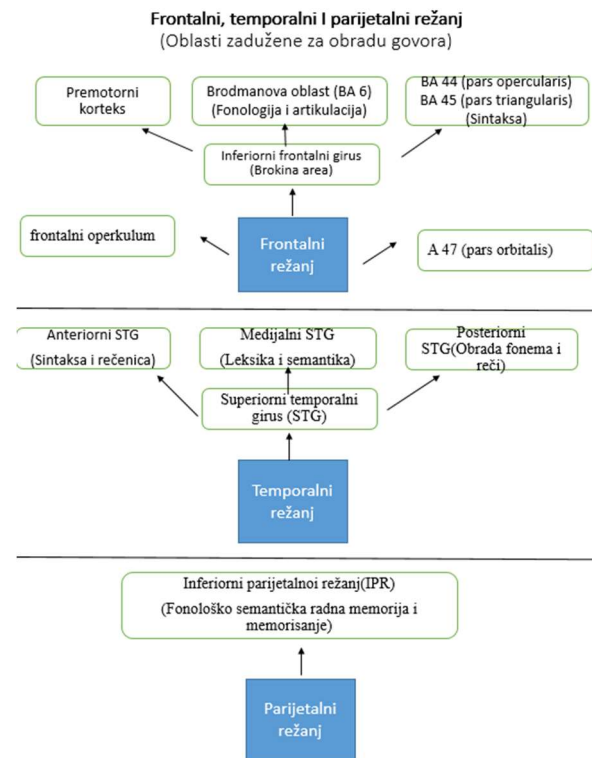
Vremenski omotač govornog signala fluktuiraju između 2 i 50 Hz i prenosi i fonetske i prozodijske informacije (Rosen, 1992). Kontinuirani govor daje izražene niskofrekventne modulacije (između 2 i 20 Hz) u svom vremenskom omotaču: veoma niskofrekventne modulacije amplitude u zvukovima signaliziraju pojavu slogova (± 4 Hz, ± 250 ms) i fonema (15 –20 Hz, ± 50 ms) i pokreću percepciju govora (Poeppel, 2003).

Percepcija govora je složena pojava zasnovana na sistematskoj i tačnoj upotrebi auditivnih govornih obrazaca. Ona se odvija u nekoliko faza, od kojih se svaka javlja unutar različitih komponenti auditivnog sistema. Početni korak u percepciji govora počinje kada zvučni talasi uđu u uho. Kako ovi talasi putuju kroz spoljašnji slušni kanal, zvuk, koji je u ovoj fazi mehanički oblik energije, prolazi kroz bubnu opnu i sistem slušnih košćica. Ovaj proces se nastavlja sve dok zvuk ne stigne do hlee, gde se kroz niz psihofizioloških i biohemijskih procesa transformiše u električni oblik energije. Električni signali zatim putuju nervnim putevima do primarnih slušnih zona korteksa. U ovoj fazi slušnog procesa dolazi do prepoznavanja zvuka, a u višim kortikalnim strukturama se odvija interpretacija govornih informacija (Crystal, 1995)..

Prema Hičkoku i Poepelu (Hickok & Poeppel, 2007), obrada govornog signala podrazumeva dvostruki model organizacije obrade govora, koji ukazuje na to da mozak realizuje dve aktivnosti kod auditivne obrade govornih informacija. S jedne strane, govorni signal mora biti povezan sa konceptualno-semantičkom reprezentacijom, odnosno govor mora da se razume. S druge strane, mozak mora da poveže semantičke informacije sa motorno-govornim sistemom, odnosno, govor mora da se produkuje.



Slika 5. Obrada govora i moždani putevi



Slika 6. Obrada govora i moždani regioni

U obradi reči, rečenica i govora uopšte, smatra se da učestvuju dva puta: ventralni ili prednji i dorzalni ili zadnji put (Slika 5). Ventralni put, uključuje strukture u gornjem i srednjem delu temporalnog režnja i zadužen je za razumevanje govornih informacija. Dorzalni put, uključuje strukture zadnjeg *planum temporale* regiona i zadnje delove frontalnog regiona i vrši prevođenje akustičnih govornih signala u artikulacione informacije, koje su neophodne za produkciju govora. Za razliku od ustaljenog mišljenja da obrada govora uglavnom zavisi od leve hemisfere, veliki broj činjenica pokazuje da je ventralni tok bilateralno organizovan. Dorzalni tok, kako pokazuje većina istraživanja je levostrano dominantan. Činjenica je da se dve hemisfere razlikuju u pogledu brzine stvaranja diskretnog signala u frekvencijskom opsegu (*eng. Sampling rate*), pri čemu leva hemisfera radi brže (25–50 Hz), a desna hemisfera sporije (4–8 Hz) (Poepel, 2003).

Govorna stimulacija aktivira bilateralno gornji (superiorni) temporalni girus (STG) i gornji (superiorni) temporalni sulkus (STS). Većina naučnika ističe da je aktivacija simetrična u obe hemisfere (Hickok & Poeppel, 2007). Prema Broki (Broca, 1861), postojala je hipoteza da disfunkcija leve hemisfere dovodi do gubitka sposobnosti prepoznavanja reči (Clower & Finger, 2001). Međutim, sva novija neuroimaging istraživanja govore u prilog činjenici da desna hemisfera samostalno može biti od velikog značaja u razumevanju govora na nivou reči. Hičkok u svom radu ističe nekoliko savremenih modela govora i jezika i predviđa različite obrasce lateralizacije za različite jezičke nivoe (Hickok & Poeppel, 2007).

Kada reč dođe do asocijativne kore prvo se javlja fonološka obrada reči koja aktivira posteriorni STS koji uključuje i regione koji ga okružuju, Hešlovu vijugu i Silvijevu fisuru. Smatra

se da je ova aktivnost bilateralna, ali ne podjednako između hemisfera. Stimulacija rečenicom dovodi do aktivacije anteriornog STG koji se smatra odgovornim za sintaksičku i prozodijsku obradu govornog signala i za percepciju reči bez značenja. Tokom razumevanja govora, fonološke informacije se koriste za pristup semantičkim predstavama reči. Prema tome, posle fonološke obrade dolazi do leksičko-semantičke obrade za koju je zadužen veliki deo korteksa, ali glavnu ulogu ipak ima posteriorni deo temporalnog režnja. Ovde dolazi i do aktivacije parijetalnog regiona što znači da i somatosenzorna oblast učestvuje u procesu razumevanja reči (Slika 6). Jedna teorija prema Hičkoku (2012) ukazuje da se nakon percepcije, fonološke i leksičko-semantičke obrade javlja aktivacija mreže regiona koji uključuju auditivne oblasti u gornjem temporalnom sulku, motorna područja u levom donjem frontalnom girusu (Brokina zona), dorzalno levo planum temporale i Silvijev parijeto-temporalni region. Trenutna hipoteza je da STS regioni kodiraju senzorno zasnovane reprezentacije govora, motorni regioni kodiraju motorne reprezentacije govora, a oblast koju nazivamo senzomotorni integracioni sistem, smatra se medijumom između senzornih i motornih govornih reprezentacija, odnosno, vrši pripremu za govornu produkciju. Hickok (2012) aktivaciju donjeg frontalnog girusa u percepciji govora objašnjava činjenicom da, da bismo razumeli reč motorna reprezentacija te reči mora biti aktivirana u mozgu.

1.3.3 Neurofiziologija auditivne obrade kod dece tipičnog razvoja

Auditivna percepcija govora zahteva složenu aktivnost koja uključuje fonološku obradu govornog signala i razumevanje istog kroz pristupanje mentalnom leksikonu.

Ingram (Ingram, 2009), govoreći o vezi između jezika i mozga ističe, da aktivacija moždanih regija kod dece, tokom slušne obrade nema ustaljen obrazac. Nekoliko razvojnih studija je pokazalo je da se obrada jezika, neuronska topografija i funkcije menjaju u toku sazrevanju mozga dece. Sazrevanje regiona mozga, utiče da se aktivacija menja u zavisnosti od godina, pola i od sveobuhvatnog socioemocionalnog funkcionisanja u dečjem periodu. Takođe, način slušanja govornih informacija može usmeriti zaključivanje o samoj obradi. Dihotomno slušanje je fenomen koji podrazumeva prednost desnog uva, a samim tim leve hemisfere u percepciji govornih signala, za razliku od negovornih zvukova čiji put percepcije vodi od levog uva do desne hemisfere. Selektivno slušanje je fenomen koji ukazuje da slušaoci različito percipiraju iste govorne signale.

Dugo se smatralo da se slušna obrada govora isključivo vezuje za regione u levoj hemisferi. Međutim, novije studije ukazuju na bilateralnu obradu govora i jezika, posebno tokom sazrevanja mozga. Frontalni region je zadužen za obradu jezika, kogniciju i ponašanje (Baars & Gage, 2013; Pressman & Rosen, 2015), dok je temporalni region značajan za jezik, pamćenje i sluh (Kuzniecky & Jackson, 2005). Inteligencija je u konekciji sa ova dva regiona (Dharani, 2014). Parijetalni region je značajan za formiranje mentalnog leksikona, ali i za somatosenzornu integraciju (Tuite & Konczak, 2010). Određeni delovi ovih regiona su uključeni u eksplicitnije jezičke funkcije, npr. inferiorni frontalni girus (oblast Broka) je značajan za jezičku produkciju (Farah et al., 2019); prefrontalni region za pažnju i pamćenje; superiorni temporalni girus (Vernikeova oblast) za percepciju govora (Dharani, 2014); dok je inferiorni parijetalni režanj vezan za neke elemente jezičke obrade (Binkofski, Klann, & Caspers, 2016). Brokina i Vernikeova zona su dva dobro poznata regiona, za koja se sa pravom smatra da su okosnica govora i jezika. U mnogim publikacijama se ističe da auditivna obrada kod dece tipične populacije, aktivira inferiorne frontalne regione, zadnje temporalne i parijetalne regione (Khoshkhoo, Leonard, Mesgarani, & Chang, 2018; Kovelman et al., 2012; Zattore & Schönwiesner, 2011). Na bilateralnu aktivaciju prednjeg i zadnjeg gornjeg temporalnog regiona tokom slušne percepcije govora ukazale su studije Haesen, Boets, & Wagemans (2011), Hickok & Poeppel (2007), Kuuluvainen et al., (2014), Recasens, Gross, & Uhlhaas (2018) i inferiornog frontalnog girusa kod dece tipične populacije (Berthier et al., 2020).

Skeide i saradnici (Skeide, Brauer, & Friederici, 2014) su ukazali da su sintaksa i semantika tokom obrade jezika povezane sa levim gornjim temporalnim girusom kod dece uzrasta od 4 godine. Preciznije, leva fronto-temporalna aktivacija je dokazana kod dece uzrasta od 5 godina, što je identično ponašanju mozga kod odraslih (Wadhwa & Kakkar, 2020; Wu, Vissienon, Friederici, & Brauer, 2016; Xiao, Friederici, Margulies, & Brauer, 2016).

1.3.3.1 EEG korelati obrade auditivnih stimulusa kod dece tipičnog razvoja

Iz perspektive moždanih talasa, niže oscilacije alfa ritma su uključene u različite mentalne procese, kao što je pažnja, dok se veće oscilacije alfa ritma javljaju tokom semantičke obrade govora (Klimesch, 2012). Teta i alfa talasi su najvažniji talasi u frontalnim i centralnim regionima tokom sazrevanja mozga. Studija Guntekin et al. (2020) je pokazala veću vrednost teta i alfa talasa u parijetalnom i okcipitalnom regionu kod dece uzrasta od 6 godina tokom auditivne percepcije u poređenju sa odraslima gde je veća performansa ovih ritmova u centralnim i frontalnim regionima. Studije na odraslima pokazuju prisustvo sporih oscilacija alfa ritma u okcipitalnim regionima tokom slušanja reči (Steinmetzger & Rosen, 2017). Prema Štrausu i saradnicima (Strauß, Kotz, Scharinger, & Obleser, 2014) slušanje višesložnih reči povezano je sa aktivacijom teta talasa u levom frontalnom i desnom srednjem temporalnom regionu, dok je slušanje nereči povezano sa aktivacijom alfa talasa u parijeto-okcipitalnim regionima.

Tokom rasta mozga i sazrevanja EEG aktivnosti, spektralna snaga fluktuirala (Cirelli et al., 2014), što se ogleda u smanjenju spektralne snage delta i teta ritma, kao i povećanju SP alfa i beta ritma (Lüchinger, Michels, Martin, & Brandeis, 2012; Rodríguez-Martínez, Barriga-Paulino, Rojas-Benjumea, & Gómez, 2015). Mišković, Orekhova, Perone su naučnici koji akcentiraju u istraživanjima stavljaju na elektrogenezu i navode da, tokom detinjstva, moždani talasi imaju tendenciju tranzicije i mešanja (Mišković et al., 2015; Orekhova, Stroganova, Posikera, & Elam, 2006; Perone, Palanisami, & Carlson, 2018) Takođe ističu, da kod dece uzrasta 3-5 godina, alfa i teta ritmovi dominiraju nad zadnjim regionima, dok amplituda teta talasa opada sazrevanjem, a amplituda beta talasa raste. U ranom dečjem uzrastu dominiraju teta talasi i povezani su sa ponašanjem i emocionalnim reakcijama deteta. Takođe se u ranom dečjem uzrastu, tokom auditivne obrade, javlja aktivacija teta talasa u prednjim regionima, a kod starije dece u zadnjim regionima. Prema Peroneu (Perone, Palanisamy, & Carlson, 2018) i saradnicima SP beta ritma je veća kada su oči otvorene nego kada su oči zatvorene, dok se SP teta ritma i alfa ritma ponaša obrnuto. Sličan obrazac je bio i u posteriornim regionima, uz veću SP beta i teta ritma, dok je SP alfa ritma bila manja, kada su oči otvorene.

Veliki broj istraživača je proučavao ulogu beta ritma kod dece tokom slušne obrade jezika zbog njegove multiregionalne i asimetrične aktivacije (Gilley, Walker, & Sharma, 2014; Rodríguez-Martínez et al., 2015; Vanvooren, Hofmann, Poelmans, Ghesquière, & Wouters, 2015).

Moždani beta talasi, sa opsegom od 13–30 Hz, uglavnom se nalaze u frontalnim regionima, tokom tipičnog razvoja (Kaminska, Eisermann, & Plouin, 2019) i u centralnim oblastima, nazvanim frontalna beta i Rolandička beta (Kropotov, 2010). Štaviše, beta talas se može podeliti u dva opsega: niska beta (13-20 Hz), uključena u fokus i pažnju i visoka beta (21-30 Hz), povezana sa anksioznošću i hiperaktivnošću (Abhang, Gawali, & Mehrotra, 2016; Kropotov, 2016). Osim toga, aktivacija beta ritma je povezana sa motoričkim veštinama (Kim & Chung, 2008; Weiss & Mueller, 2012).

Na predškolskom uzrastu u toku slušne percepcije aktivira se ventralni put, koji uključuje gornji temporalni girus i Broka oblast (Farah et al., 2019), dok se kod starije dece aktivira dorzalni put (Skeide et al., 2014). Druge studije (Clarke et al., 2013; Sharma et al., 2021) su kod dece uzrasta od četiri do šest godina pokazale, bilateralno inferiornu, medijalnu i desnu superiornu frontalnu

desinhronizaciju beta ritma u područjima F3, F4, F7 i F8 (Scrivener & Reader, 2022). Perone i saradnici (Perone et al., 2018) su ukazali na pozitivnu korelaciju između uzrasta i zadataka pažnje u posteriornoj aktivaciji beta ritma. Vanvuren (Vanvooren et al., 2015) smatra da je slušna obrada univerzalna, ali tokom uzrasta postaje specifičnija i asimetrična, posebno za beta ritam. Prema ovoj autorki, tokom obrade jezika u petogodišnjem uzrastu, u poređenju sa odraslima, utvrđena je difuzna desinhronizacija niske beta aktivnosti. Pored toga, aktivacija se javila i bilateralno u inferiornim temporalnim regionima koji se odnose na T3 i T4 pozicionirane elektrode. U istoj studiji, sinhronizacija beta ritma je takođe bila bilateralna, u frontalnim i temporalnim regionima, ali više desno-lateralizovana. Kropotov (Kropotov, 2010) je našao negativne korelacije niske snage beta ritma sa F3 i P3 elektrodama i srednje snage beta ritma sa Fp2 elektrodom tokom zadataka koji su uključivali detekciju brzine u izvršavanju auditivnih zadataka. Visoka snaga beta ritma je bila u negativnoj korelaciji za zadatkom dihotomnog slušanja na F4 elektrodi. Studije koje su istraživale niske frekvencije beta ritma, sa opsegom od 13-25 Hz, 13-20 Hz, 15-25 Hz i zadatke slušanja otkrile su smanjenje bete u parijetookcipitalnim regionima; povećanje visoke bete u fronto centralnim regionima; kao i smanjenje niske frekvencije beta opsega u levom frontalnom i temporalnom regionu tokom slušne obrade nepoznatih stimulusa (Fisher et al., 2008; Kim & Chung, 2008; Shahin, Picton, & Miller, 2009).

Veće promene beta ritma se javljaju kod starije dece, dok je prisustvo promena teta i alfa ritma izraženije kod dece predškolskog uzrasta (Lyakso, Frolova, & Matveev, 2020; Panda, Emami, Valiante, & Pang, 2021). Prema Peroneu, za beta ritam tokom dečjeg razvoja, nejasno je šta se može očekivati u različitim zadacima ili stanjima (Perone et al., 2018).

Vrlo mali broj istraživanja bavi se primenom nelinearnih metoda u ispitivanju obrade jezika u dečjem razvoju, a dostupna istraživanja su ograničena metodologijom. Studije koje su koristile analizu entropije, pokazale su povećanje entropije u zavisnosti od uzrasta, odnosno, kompleksnost signala se menja sa uzrastom i povećanje entropije na stimulusima sa kraćim vremenskim trajanjem i smanjenje na stimulusima sa dužim vremenskim trajanjem (Polizzotto, Takahashi, Walker, & Cho, 2015). Kešmiri (Keshmiri, 2020) smatra da postojanje kompleksnosti signala u mozgu doprinosi njegovom razvoju, a da nedostatak može ukazivati na proces starenja ili određenih kognitivnih oštećenja. U jednoj studiji poredeći vrednost entropije kod odraslih i dece, pronađena je redukovana kompleksnost (vrednost entropije) u cingularnom girusu i hipokampusu kod odraslih (Yang et al., 2013).

1.4 Specifični jezički poremećaj

Komunikacija je fundamentalni aspekt ljudskog postojanja, sastavni deo svakodnevnog života, od suštinskog značaja za efektivnu društvenu interakciju i lično izražavanje misli, emocija i namera. Kroz komunikaciju, pojedinci mogu da artikulišu misli, emocije i namere, angažujući se u aktivnostima kao što su razgovori, pevanje, traženje utehe, pozdravljanje, informisanje, raspitivanje i molitva. Iako postoje različiti oblici komunikacije, uključujući govor tela i pisanje, jezik i govor su najzastupljeniji i najvažniji. Sposobnost efikasne komunikacije putem govora i jezika nije od vitalnog značaja samo za lični razvoj, već i za akademski i profesionalni razvoj. Obrada jezika i mehanizmi koji stoje iza toga postali su značajna oblast proučavanja, posebno u neurolingvistici i kognitivnima naukama, pa razumevanje neuronske osnove jezika može dovesti do značajnog napretka u naučnim, dijagnostičkim i terapijskim oblastima.

Specifični jezički poremećaj (SJP) (*eng. Specific Language Impairment*) je poremećaj koji podrazumeva kašnjenje u razumevanju i produkciji jezika, a koje se ne može pripisati gubitku sluha, intelektualnom invaliditetu ili neurološkom deficitu (Leonard, 2017). Ovaj poremećaj se najčešće manifestuje tako što svi ili pojedini aspekti govora i jezika (semantika, morfologija, sintaksa, fonologija, gramatika, prozodija, artikulacija i sl.) mogu biti u razvojnog kašnjenju ili atipični u odnosu na decu tipičnog razvoja.

Specifični jezički poremećaj, je kao tema jako aktuelan među naučnicima, od kojih treba izdvojiti imena kao što su Lorens B. Leonard kao i Doroti Bišop, koji ga sa posebnom pažnjom proučavaju.

Prema Bišop (1992), prvi znak SJP-a je najčešće odložen početak usvajanja receptivnog i ekspresivnog rečnika. Pored toga, u rečniku uglavnom preovladavaju imenice i glagoli, dok je usvajanje adekvatne upotrebe prideva, niskofrekventnih reči, reči bez značenja, kao i apstraktnih reči mnogo lošije. Postoji veliki broj studija koji govore o teškoći u učenju reči i bogaćenju leksičkog fonda kod dece sa SJP (Gray, 2004; McGregor, Oleson, Bahnsen, & Duff, 2013; Nash & Donaldson, 2005; Sheng & McGregor, 2010).

Osim toga, deca sa SJP imaju poteškoće da produkuju reči sa složenim suglasničkim grupama, odnosno reči sa klusterskim kombinacijama ili da analiziraju fonološku strukturu reči. Fonološki deficiti predstavljaju problem u organizaciji glasova u određene govorne segmente, odnosno poteškoće sa fonološkom svesnošću (Anthony, Lonigan, Driscoll, Phillips, & Burgess, 2003).

Morfološki deficiti se odnose na problem u strukturisanju reči i mehanizmima za stvaranje reči. Ove poteškoće uključuju nemogućnost generisanja prošlog, sadašnjeg ili budućeg vremena, neadekvatnu upotrebu jednine i množine, kao i greške pri menjanju reči po rodu i padežu.

Sintaksički deficiti se odnose na poteškoće u struktuiranju rečenica. Deca sa SJP imaju poteškoća da analiziraju rečenice sa složenom sintaksičkom konstrukcijom, da adekvatno produkuju rečenice u aktivnom, pasivnom ili upitnom obliku. Agramatična rečenica se često karakteriše odsustvom određenih članova, veznika, priloga i predloga, a često i glagola.

Kod dece sa SJP može biti prisutan i motorički deficit (Vuković, Vuković, & Stojanović, 2010). Ne treba zanemariti ni činjenicu da se kod dece sa SJP javlja deficit pažnje i emocionalne kompetencije (Vacas, Antolí, Sánchez-Raya, & Pérez-Dueñas, 2021; Victorino & Schwartz, 2015), što dodatno utiče na sveobuhvatno jezičko funkcionisanje. U literaturi se SJP naziva i razvojni jezički poremećaj ili razvojna disfazija.

1.4.1. Neurofiziologija auditivne obrada kod dece sa specifičnim jezičkim poremećajem

Deca sa SJP nemaju neurološke deficite, ali imaju specifičnosti u organizaciji moždanih funkcija: atipičnu lateralizovanost - levu lateralizovanost, atipičnu slušnu obradu sa deficitom brze slušne obrade, selektivnu pažnju, u poređenju sa vršnjacima tipičnog razvoja (Arbel & Donchin, 2014; Badcock, Bishop, Hardiman, Barry, & Watkins, 2012; Dlouha, Novak, & Vokral, 2007; Girbau-Massana, Garcia-Marti, Marti-Bonmati, & Schwartz, 2014; Stevens, Sanders, & Neville, 2006). Webster i Ševel (2004) navode brojna MRI istraživanja koja ukazuju na atipične obrasce i asimetriju jezičkog korteksa kod dece sa SJP u zonama perisilvijske regije, frontalne regije, pars triangularis i u delovima parijetalnog regiona (Webster & Shevell, 2004). Oni smatraju, da je loša fonološka radna memorija glavna i osnovna smetnja kod dece sa SJP. Najčešće istraživan EEG

korelat, kako pokazuje literatura, je spektralna snaga ritmova kako kod dece sa SJP tako i kod dece tipičnog razvoja, dok su ostali EEG korelati (fraktalna dimenzija, entropija) malo istraživani.

Termin koji se u publikacijama Bišop (Bishop, Hardiman, & Barry, 2012; Bishop & McArthur, 2005) često pojavljuje je „nizak nivo oštećenja“ (*eng. "low/level impairment"*), a odnosi se na slušnu percepciju kod dece sa SJP. U drugim elektrofiziološkim studijama se ističe da je slušna obrada kod dece sa SJP atipična, sa temporalnim slušnim deficitima i značajno lošija u poređenju sa decom iz tipične populacije, (Basu, Krishnan, & Weber-Fox, 2010; Bishop & McArthur, 2004; Kujala & Leminen, 2017; McArthur & Bishop, 2005). Pretpostavlja se da su temporalni slušni deficiti uzrokovani odloženim i izmenjenim slušnim sazrevanjem i mogu uključivati poteškoće u percepciji tokom fonološkog razvoja (Bishop, 2007; Hsu & Bishop, 2014; Korpilahti & Lang, 1994; Tallal, 2000). Poteškoće u praćenju suprasegmentnih promena u govoru mogu uticati na percepciju tempa govora kao i percepciju višesložnih reči (Corriveau, Pasquini, & Goswami, 2007). Davids i saradnici navode da dodatni otežavajući faktor adekvatne slušne percepcije kod dece sa SJP može biti problemi sa pažnjom (Davids et al., 2011). Distraktibilnost, vigiľnost i selektivnost pažnje se često javljaju u ovoj populaciji dece. Drugi autori navode da se kod dece sa SJP javlja aktivacija u desnoj hemisferi tokom percepcije složenih reči (Friedrich, Herold, & Friederici, 2009; Shafer, Schwartz, & Martin, 2011). Tačnije, studije su pokazale veću aktivaciju u desnom temporalnom režnju i manju aktivaciju u levom temporalnom režnju, što nije slučaj kod dece iz tipične populacije. Istraživanja van Bijnen, Kärkkäinen, Helenius, & Parviainen (2019) govore u prilog činjenici da deca sa SJP aktiviraju samo levu hemisferu tokom slušanja u poređenju sa decom iz tipične populacije koja aktiviraju obe hemisfere sa različitim intenzitetima, u različitim oblastima.

Bišop (2013) je stavila akcenat na atipičnu hemisfernu lateralizaciju jezika kod dece sa SJP, uz zaključak da aktiviranje različitih, a netipičnih regiona mozga u obradi jezika, predstavlja kompenzacijski ili maladaptivni mehanizam u auditivnom ponašanju mozga. Prema Bedkoku i saradnicima (Badcock et al., 2012), deca sa SJP pokazuju smanjenu moždanu aktivnost u levom frontalnom girusu u poređenju sa vršnjacima iz tipične populacije. Smanjena moždana aktivnost u ovoj populaciji je utvrđena i u mnogim drugim studijama i lokalizovana u gornjem temporalnom sulku (Poeppel, Idsardi, & Van Wassenhove, 2008), superiornom temporalnom girusu (de Guibert et al., 2011) i u levim parijetalnim regionima (Ellis Weismer, Plante, Jones, & Tomblin, 2005). U jednoj studiji u kojoj je zadatak bio slušanje i ponavljanje neredi, deca sa SJP, uzrasta od 9 do 11 godina, su pokazala aktivaciju subkortikalnih regiona (talamus i globus palidus), za razliku od dece iz tipične populacije istog uzrasta, koja su pokazala kortikalnu aktivaciju lokalizovanu u bilateralnim zadnjim i gornjim temporalnim vijugama i frontalnim girusima (Pigdon et al., 2020). Slični rezultati su dobijeni u studiji pasivnog i aktivnog slušanja priče (gde se zahtevao odgovor), pokazujući aktivaciju u bilateralnom temporalnom girusu i levom frontalnom girusu (Vannest et al., 2009). Čen i saradnici (Chen, Tsao, & Liu, 2016) u studiji sa MMN odgovorima kod dece sa „odloženim razvojem ekspresivnog jezika“, nalaze značajne razlike u centralnim regionima (Fz-Cz) u odnosu na druge kortikalne lokacije regiona. Ovi rezultati su dobijeni za decu uzrasta od 3 do 5 godina, dok su razlike nestale u kasnijim uzrastima. ERP (*eng. Evoked potential responses-ERP*) studija slušanja priče kod dece sa SJP ukazuje na smanjenu levo temporalnu i povećanu desno temporalnu aktivnost u odnosu na decu iz tipične populacije (Shafer et al., 2001). Ova studija ukazuje na izraženiju uključenost desnog temporalnog korteksa dese sa SJP. EEG koherencija, mera funkcionalne povezanosti između regiona mozga, obično je niža kod dece sa SJP, posebno između frontalnih i temporalnih regiona (Andreu, Sanz-Torrent, & Trueswell, 2013).

Pregledom literature, u prvom redu EEG i ERP studija, uočavaju se dominantne karakteristike atipične obrade auditivnih stimulusa kod dece sa SJP. Među njima su atipični odgovor na leksičko-

semantičke i leksičko-fonološke informacije. Ovi atipični odgovori ukazuju da deca sa SJP drugačije obrađuju jezičke informacije, verovatno zbog deficita pažnje, izmenjene radne memorije ili izmenjenog pristupa mentalnom leksikonu, što utiče na njihovu sposobnost da uče i adekvatno koriste i razumeju jezik. Takođe, auditivna obrada se kod dece sa SJP realizuje kroz atipičnu lateralizaciju, neadekvatno angažovanje ili odsustvo angažovanja regiona zaduženih za govorno-jezičku percepciju, atipičnu funkcionalnu povezanost regiona koji u tipičnom razvoju učestvuju u procesu auditivne obrade. Kod dece sa SJP javlja se atipična aktivnost teta ritma koja se ispoljava kroz teškoće sa zadacima koji zahtevaju brzu slušnu obradu, kao što je razlikovanje različitih fonema ili razumevanje brzog govora. Kod njih se registruje i atipična aktivnost alfa ritma, koja je ključna za efikasnu obradu zadataka vezanih za jezik. Alfa ritmovi su često povezani sa pažnjom i radnom memorijom i značajni su za razumevanje i produkciju jezika. Aktivnost beta ritma je takođe atipična kod dece sa SJP, a važna je u složenim kognitivnim procesima i za razumevanju složenih jezičkih konstrukcija. Multiregionalna aktivnost tokom auditivne obrade koja je ili lateralizovana ili bilateralna ukazuje na maladaptivno ili kompenzatorno ponašanje moždanih aktivnosti kod dece sa SJP.

2. PREDMET, CILJ I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

2.1 Predmet istraživanja

Predmet ovog istraživanja su elektrofiziološki korelati moždane aktivnosti dece uzrasta četiri do šest godina tipičnog razvoja i dece sa SJP pri auditivnoj obradi signala različite kompleksnosti. Za opisivanje EEG signala korišćeni su linearni (spektralna snaga, koherencija) i nelinearni parametri (fraktalna dimenzija i entropija uzorka) za identifikaciju razlika u auditivnoj obradi između posmatranih grupa ispitanika.

2.2 Ciljevi istraživanja

Osnovni cilj istraživanja je da se na osnovu definisanih parametara opisa EEG signala utvrde sličnosti i razlike tokom auditivne obrade signala različite kompleksnosti kod dece sa specifičnim jezičkim poremećajem u poređenju sa decom istog uzrasta tipičnog razvoja, i njihove promene u odnosu na uzrast dece. Iz osnovnog cilja proizilaze metodološki ciljevi, poređani redosledom kojim su sprovedeni.

Metodološki ciljevi istraživanja:

1) Utvrditi da li postoji razlika u spektralnoj snazi moždanih ritmova tokom auditivne obrade različitih stimulusa u posmatranim podgrupama ispitanika (TP/SJP, 4.0-4.11/5.0-5.11 godina);

2) Utvrditi da li postoji razlika u koherenciji moždanih ritmova tokom auditivne obrade različitih stimulusa u posmatranim podgrupama ispitanika (TP/SJP, 4.0-4.11/5.0-5.11 godina);

3) Utvrditi da li postoji razlika u fraktalnoj dimenziji moždanih ritmova tokom auditivne obrade različitih stimulusa u posmatranim podgrupama ispitanika (TP/SJP, 4.0-4.11/5.0-5.11 godina);

4) Utvrditi da li postoji razlika u entropiji moždanih ritmova tokom auditivne obrade različitih stimulusa u posmatranim podgrupama ispitanika (TP/SJP, 4.0-4.11/5.0-5.11 godina);

5) Utvrditi izvore EEG signala tokom auditivne obrade u odnosu na dve grupe ispitanika (TP/SJP), i u odnosu na tip auditivnih stimulusa primenom sLORETA tehnike.

Iz osnovnog cilja proizilaze metodološki zadaci, poređani redosledom kojim su sprovedeni:

1) Prikupljanja podataka;

2) Preprocesiranje signala: Vizuelna provera kvaliteta signala, uklanjanje artefakata primenom odgovarajućih softverskih alata, odabir i segmentacija podataka za dalju analizu; odnosno segmentiranje EEG podataka u epohe koje odgovaraju vremenskim intervalima u kojima su prezentovani različiti auditivni stimulusi;

3) Analiza podataka u MATLAB platformi pomoću skripti ili paketa za dobijanje vrednosti ciljanih parametara EEG korelata;

4) Primena statističkih metoda (deskriptivna statistika, t-test, dvofaktorska ANOVA, GLMM model) za ispitivanje statističke značajnosti i razlika izabranih parametara (spektralna snaga teta, alfa, i beta ritma; koherencija; fraktalna dimenzija; entropija uzorka, između posmatranih podgrupa

ispitanika tokom auditivne obrade signala različite složenosti (reči/nereči, potvrдна/upitna rečenica, narativni diskurs - kratka priča).

5) Prikaz trokomponentnog modela glave sa izvorima EEG signala tokom perioda mirnog stanja i auditivne obrade reči, nereči, dve vrste rečenica i narativnog diskursa.

2.3 Hipoteze istraživanja

Na osnovu pregleda literature i napisanog do sada, formulisane su hipoteze istraživanja:

1) Postoje razlike u vrednostima spektralne snage teta, alfa i beta ritma tokom auditivne obrade reči i nereči između dve grupe ispitanika;

2) Postoje uzrasne razlike u vrednostima spektralne snage teta, alfa i beta ritma tokom auditivne obrade reči i nereči između dve grupe ispitanika;

3) Postoje razlike u vrednostima spektralne snage teta, alfa i beta ritma tokom auditivne obrade dva tipa rečenica između dve grupe ispitanika;

4) Postoje uzrasne razlike u vrednostima spektralne snage teta, alfa i beta ritma tokom auditivne obrade dva tipa rečenica između dve grupe ispitanika;

5) Postoje razlike u vrednostima spektralne snage teta, alfa i beta ritma tokom auditivne obrade narativnog diskursa između dve grupe ispitanika;

6) Postoje uzrasne razlike u vrednostima spektralne snage teta, alfa i beta ritma tokom auditivne obrade narativnog diskursa između dve grupe ispitanika;

7) Postoje razlike u vrednostima fraktalne dimenzije i entropije uzorka tokom auditivne obrade reči i nereči između dve grupe ispitanika;

8) Postoje uzrasne razlike u vrednostima fraktalne dimenzije i entropije uzorka tokom auditivne obrade reči i nereči između dve grupe ispitanika;

9) Postoje razlike u vrednostima fraktalne dimenzije i entropije uzorka tokom auditivne obrade dva tipa rečenica između dve grupe ispitanika;

10) Postoje uzrasne razlike u vrednostima fraktalne dimenzije i entropije tokom auditivne obrade dva tipa rečenica između dve grupe ispitanika;

11) Postoje razlike u vrednostima fraktalne dimenzije i entropije tokom auditivne obrade narativnog diskursa između dve grupe ispitanika;

12) Postoje uzrasne razlike u vrednostima fraktalne dimenzije i entropije uzorka tokom auditivne obrade narativnog diskursa između dve grupe ispitanika;

13) Postoje razlike u vrednostima koherencije za teta, alfa i beta ritam tokom auditivne obrade svih merenih auditivnih stimulusa.

3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Istraživanje je sprovedeno u poliklinici Instituta za eksperimentalnu fonetiku i patologiju govora „Đorđe Kostić“ i Laboratoriji za kognitivna istraživanja u okviru Istraživačko-razvojnog instituta “Institut za unapređenje životnih aktivnosti”, obe smeštene u Beogradu, u Republici Srbiji. Istraživanje je sprovedeno od septembra 2020. godine do decembra 2021. godine. Uzorak istraživanja su činila deca uzrasta od 4 do 6 godina. U realizaciji istraživanja su učestvovali stručnjaci različitih profila: logoped-audiolingvista, dečji psiholog i dečji neurolog.

3.1 Uzorak istraživanja

Uzorak se sastojao od 100 ispitanika uzrasta od 4 do 6 godina, podeljenih u dve grupe: a) eksperimentalna grupa (E) koju čini 50-oro dece sa specifičnim jezičkim poremećajem (SJP) i b) kontrolna grupa (K) koju čini 50-oro dece tipičnog govorno-jezičkog razvoja. Obe grupe su podeljene po uzrasnim kategorijama u 2 podgrupe:

1. Prva podgrupa - deca uzrasta 4 godine (4.0 do 4.11 godina; E=25, K=25)
2. Druga podgrupa - deca uzrasta 5 godina (5.0 do 5.11 godina; E=25, K=25)

Na osnovu logopedске i psihološke procene, ispitanici su svrstani u jednu od dve grupe.

Eksperimentalnu grupu, E=50, čine ispitanici koji su dijagnostikovani u Institutu za eksperimentalnu fonetiku i patologiju govora „Đorđe Kostić“ (IEFPG) u Beogradu, a koji su dobili dijagnozu Specifičnog jezičkog poremećaja, odnosno *Disordo orationis (receptivus)* – F80.2 prema Međunarodnoj klasifikaciji bolesti 10 (SZO, 1992). Deca sa SJP su dijagnostikovana od strane audiolingviste-logopeda, a jedan od inkluzivnih kriterijuma je bio da deca nisu imala prethodne logopedске tretmane.

Kontrolnu grupu, K=50, čine ispitanici sa urednim govorno-jezičkim razvojem, odnosno deca iz tipične populacije (TP), koja su uključena iz lokalne zajednice (vrtići i lični kontakti) na teritoriji grada Beograda. Kontrolna grupa je uključena sa ciljem određivanja razvojnih normi neophodnih za poređenje ispitivanih grupa.

Kriterijumi za uključivanje u konačni uzorak bili su sledeći: a) svi učesnici su bili izvorni govornici srpskog jezika, b) sa normalnim ili korigovanim vidom, c) normalnim sluhom, d) bez neuroloških oštećenja, e) bez upotrebe bilo kakvih lekova koji mogu da utiču na obradu EEG signala (moždanu aktivnost), i f) sa normalnom neverbalnom inteligencijom (uz postojanje velike razlike između performansi na neverbalnom i verbalnom testu inteligencije kod dece sa SJP). Kriterijum za uključivanje u studiju bio je manipulativni koeficijent inteligencije od 85 ili viši, sa jezičkom merom 1,25 standardnih devijacija ispod proseka (Tomblin, Records, & Zhang, 1996).

Svi učesnici su bili dečaci. Razlog za to je značajno veće prisustvo govorno-jezičke patologije kod dečaka nego kod devojčica (Tomblin et al, 1997; Trauner & Nass, 2017). Svi učesnici su bili desnoruki, prema *Edinburškom inventaru* (Oldfield, 1971). Studiju je odobrio Etički komitet Instituta za eksperimentalnu fonetiku i patologiju govora. Istraživanje je sprovedeno u skladu sa Helsinškom deklaracijom o etičkim principima i naučnim eksperimentima na ljudima (br. 3/2020; Datum:

septembar 28, 2020). Svi roditelji/staratelji su dali pismeni informisani pristanak za učešće svoje dece u studiji. Razvojne karakteristike uzorka po podgrupama date su u Tabeli 1.

Tabela 1. Razvojne karakteristike ispitanika

Uzrast 4.0-4.11 godina (N=50)	Uzrast u mesecima		IQm	
	AS	SD	AS	SD
TP grupa (N=25)	55.76	4.20	103.28	7.95
SJP grupa (N=25)	53.88	4.82	100.48	4.69
<i>p</i>	.148		.136	
Uzrast 5.0-5.11 godina (N=50)	Uzrast u mesecima		IQm	
	AS	SD	AS	SD
TP grupa (N=25)	68.04	2.61	103.56	8.63
SJP grupa (N=25)	67.20	3.33	100.12	10.03
<i>p</i>	.301		.200	

TP: Tipična populacija; SJP: Specifični jezički poremećaj; AS: aritmetička sredina; SD: standardna devijacija; IQm: manipulativni koeficijent inteligencije; p: vrednost verovatnoće (statistička značajnost, $p < .005$).

3.2 Eksperiment

Eksperimentalno istraživanje se sastojalo iz dva dela:

- 1) Procena govorno-jezičkog statusa i kognitivnog profila;
- 2) EEG snimanje i analiza EEG signala;

3.2.1 Procena govorno-jezičkog statusa i kognitivnog statusa

Procena govorno-jezičkog statusa je sprovedena primenom sledećih testova:

1. *Test rečnika za decu od 3 do 7 godina (Kostic & Vladislavljevic, 1983)*

Test rečnika se sastoji od 5 subtestova u okviru kojih su reči raspoređene prema leksičkom uzrastu. Za uzrast od 4 godine test rečnik sadrži 40 imenica, dok za uzrast od 5 godina sadrži 60 imenica. Testiranje se sprovodi individualno. Od ispitanika se traži da imenuje pojmove prikazane na slici. Na primer, ispitaniku se pokaže slika kuće, a zatim postavlja pitanje: „Šta je to na slici?“ Ako se dobije odgovor kuća, onda se postavlja sledeće pitanje: „Šta je to kuća?“. Ukoliko se dobije validna definicija kuće, upisuje se 1 poen.

2. *Pibodi slikovni test rečnika (Dunn & Dunn, 1997)*

Predstavlja test receptivnog rečnika. Sadrži 4 zadatka za uvežbavanje i 204 zadatka grupisanih u 17 nizova sa po 12 slika. Nizovi slika koji se pokazuju ispitaniku poređani su od lakših prema težim. Svaki zadatak se sastoji od četiri crno-bele ilustracije smeštene na jednoj stranici. Zadatak ispitanika je da odabere sliku koja najbolje odražava značenje reči koju je izgovorio ispitivač. Ispitivač beleži tačne odgovore. Ukupan zbir tačnih odgovora ispitanika oduzima se od maksimalnog broja bodova. Na taj način se dobija sirovi skor koji se pretvara u standardne devijacije i percentile. Test je namenjen osobama uzrasta od 2.6 do 90 i više godina. Test se primenjuje kao test receptivnog rečnika i kao test procene verbalnih sposobnosti.

3. *Token test (Kostic & Vladislavljivic, 1983; Vukovic, Vukovic, & Stojanovic, 2010)*

Neuropsihološki test koji se koristi za procenu razumevanja jezika, posebno kod osoba sa različitim jezičkim smetnjama. Test procenjuje razumevanje verbalnih naloga različite složenosti, počevši od jednostavnijih pa sve do složenijih instrukcija. Test sadrži 62 zadatka podeljena u pet delova. Prva četiri dela sadrže po 10, a peti sadrži 22 zadatka. Ispitivač verbalnim putem predstavlja zadatak koji ispitanik treba da izvrši manipulativnim putem. Testovni material sadrži 20 elemenata koji se razlikuju po obliku (pravougaoni, okrugli), dimenziji (manji, veći) i boji (plava, crvena, zelena, žuta i bela). Broj tačno izvršenih zadataka se boduje da bi se dobio ukupan sirovi skor.

Procena kognitivnog profila je izvršena primenom dva različita instrumenta (RTČ-P i REVISK), u zavisnosti od uzrasta deteta:

4. *RTČ-P (Čturić, 1987)*

Razvojni test Čturić (RTČ-P) (Čturić, 1987) procenjuje psihomotorni razvoj odojčadi, male dece i predškolske dece. Test ocenjuje razvoj: psihomotornih veština, okulomotornih veština, govora, auditivno-motornih reakcija, komunikacije i društvenosti, verbalnog izražavanja znanja, kao i emocionalni razvoj. RTČ-P je osmišljen za decu uzrasta od 2 do 8 godina i sastoji se od 7 podskala, pri čemu svaka sadrži po 6 zadataka. Između subtestova postoji kontinuitet u zadacima koji uključuju rukovanje pojedinim predmetima. Tokom primene testa koriste se različiti materijali, poput zvečke, zvonca, lončića, bočice i lopte. Test se uvek primenjuje u prisustvu roditelja ili odrasle osobe. Postignuti rezultat deteta odražava koeficijent mentalnog razvoja.

5. *REVISK (Biro, 1998)*

REVISK predstavlja srpsku revidiranu verziju Wechsler-ove skale za procenu inteligencije kod dece. Instrument pruža uvid u totalni, verbalni i manipulativni skor. Verbalna i manipulativna subskala se sastoje od po pet subtestova. Verbalni subtestovi obuhvataju Informacije, Shvatanje, Računanje, Sličnosti i Brojeve. Subtestovi manipulativne subskale su Dopune, Strip, Kosove kocke, Predmeti i Šifra. Viši rezultat ukazuju na viši nivo kognitivnog funkcionisanja.

3.2.2 EEG snimanje i analiza EEG signala

EEG snimanje i analiza EEG signala se odvijala prema EEG protokolu Laboratorije za kognitivna istraživanja u Istraživačko-razvojnom institutu „Institut za unapređenje životnih aktivnosti“ u Beogradu, Srbija.

3.2.2.1 Snimanje EEG signala

EEG signali su snimani Nixon Kohden (EEG - 1200K Neurofax) uređajem sa kapom sa fiksnim položajem Ag/AgCl površinskih elektroda (Electrocap, broj modela 16755, International, Inc). Elektrode se pre snimanja pune elektro-provodnim gelom radi smanjenja otpora. Korišćeno je 19 elektroda ((Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, F7, F8, T3, T4, T5, T6, O1, O2, Fz, Cz, i Pz) primenom Internacionalnog sistema 10/20 za pozicioniranje elektroda sa standardnim karakteristikama otpora. Otpor elektroda prema glavi je bio ispod 5 k Ω i razlika otpora između dve elektrode ne veća od 1 k Ω u longitudinalnoj monopolarnoj montaži. Referentne elektrode su postavljene na A1 i A2 (lobulus ušnih školjki). Donja granična frekvencija analognog filtra je postavljena na 0,53 Hz, a gornja na 35 Hz.

Takođe, korišćene su i dodatne elektrode za registraciju srčanog ritma, pokreta očiju, pokreta ekstremiteta i aktivnosti vilične muskulature, u cilju detekcije artefakata u EEG signalu. Za registraciju srčanog ritma postavljeni su senzori za puls na zglobove šake; za detekciju pokreta očiju, korišćeni su horizontalni i vertikalni elektrookulogrami na očnim kopcima; za registraciju pokreta ekstremiteta korišćeni su senzori postavljeni na podlakticu, nadlakticu, i na skočne zglobove nogu; za detekciju aktivnosti vilične muskulature korišćeni su senzori na levom i desno maseteričnom mišiću. Uključen je filter za uklanjanje smetnji do kojih može dovesti strujna mreža (notch filter za frekvenciju od 50 Hz). Učestanost uzorkovanje signala bila je 200 Hz.

3.2.2.2 Protokol EEG snimanja

Tokom snimanja, ispitanici su smešteni u udoban sedeći položaj, u zvučno i električno izolovanoj sobi. Ispitanici su sedeli u prostoru ograđenom belim paravanima (sledećih dimenzija: širina 1,5x 2m; visina je visina prostorije), da bi se eliminisala vizuelna stimulacija koja može imati uticaj na eksperimentalni zadatak. Svi EEG snimci su načinjeni oko podneva (12 časova, +/- 1 sat). Pre EEG snimanja, ispitanici i njihovi roditelji/staratelji su detaljno obavešteni o toku eksperimenta. Iskusni istraživač je postavio EEG kapu na glavu deteta. Roditelj/staratelj je bio prisutan prilikom postavljanja kape sa elektrodama. Kada su tehnički uslovi za snimanje bili ispunjeni, deci su data usmena uputstva na početku svakog EEG snimanja. Ispitanici su dobili instrukciju da minimiziraju svoje pokrete (treptanje, pokrete glave, pokrete ekstremiteta, gutanje, stezanje vilične i mimične muskulature) tokom snimanja mirnog stanja i tokom zadataka slušanja, kako bi se smanjilo prisustvo artefakata u EEG trasi. Eksperiment se sastojao iz dva dela:

Prvi deo EEG snimanja sastojao se od snimanja perioda bez auditivne stimulacije - “period mirnog stanja” - u trajanju oko 2 minuta (sa periodom kraćeg ili dužeg snimanja u zavisnosti od pažnje dece). Zadatak ispitanika bio je da drže oči otvorene i posmatraju belo platno. Tokom snimanja mirnog stanja ispitanici su imali slušalice u ušnom kanalu koje u potpunosti blokiraju prijem zvuka. Čist ton od 1 kHz, u trajanju od 500ms, ukazao je na početak i kraj snimanja perioda mirnog stanja. Period mirnog stanja se koristi kao osnova za poređenje dve grupe ispitanika.

Drugi deo EEG snimanja predstavljao je snimanja EEG signala tokom auditivne stimulacije. Auditivna stimulacija se sastojala od 5 setova auditivnih stimulusa za kategorije: reč (10 stimulusa), nereč (10 stimulusa), potvrđnu rečenicu (10 stimulusa), upitnu rečenicu (10 stimulusa) i narativni diskurs (1 stimulus). Stimulusi su prezentovani preko slušalica postavljenih u spoljašnji slušni kanal (za ispitanike) i preko dodatnog para slušalica (za ispitivača). Prezentacija stimulusa u okviru svakog seta izvršena je po principu slučajne raspodele (randomizacija). Kao i u prvom delu, čist ton frekvence 1 kHz u trajanju od 500 ms je ukazao na početak zadatka, nakon čega su usledile 2 sekunde pauze. Nakon pauze, ispitanici su slušali auditivno prezentovane stimuluse sa intervalom između reči od 1500 ms. Posle svakog seta stimulusa, ispitanici su imali 10s odmora tokom kojih je snimano stanje mirovanja. Nakon svake serije stimulusa usledio je period od 2 minuta tokom kojih su ispitanici mogli da se odmore, popiju vodu i pomeraju se u skladu sa potrebama.

Prezentacija svakog od zadataka bila je pod kontrolom softvera za sinhronizaciju snimanja EEG-a i prezentacije stimulusa - Presentation software (Neurobehavioral Systems, Inc) – koji radi pod operativnim sistemom *Windows 10*.

3.2.2.3 Stimulusi

Korišćeni su auditivni stimulusi iz postojeće baze auditivnih stimulusa EEG protokola (koristi se u Laboratoriji za kognitivna istraživanja u Istraživačko-razvojnom institutu „Institut za unapređenje životnih aktivnosti“ u Beogradu, Srbija). Stimulusi su izgovoreni od strane profesionalnog muškog govornika, koji je pročitao stimuluse, jedan po jedan, bez varijacija u melodiji, ritmu i bez emocionalnog izražavanja. Stimulusi su snimljeni i digitalizovani pomoću Handy Recordera H4N (serijski broj 00217460, ZOOM Corporation, Japan) u 16-bitnoj rezoluciji i brzini uzorkovanja od 44,1 kHz. Snimci pojedinačnih stimulusa su zatim izolovani u pojedinačne fajlove i u daljoj obradi ujednačeni po intenzitetu i filtrirani radi eliminacije buke.

Pojedinačni, obrađeni snimci su zatim korišćeni za dalju analizu.

Vrsta i karakteristike auditivnih stimulusa su:

a) Reč (10 stimulusa): Najfrekventnije imenice ženskog roda u srpskom jeziku (reči sa najvećom učestalošću pojavljivanja u standardnom srpskom jeziku) prema Dečjem frekvencijskom rečniku (Lukić, 1983) korišćene su kao stimulusi slušanja reči. Konačnu listu odabranih reči predstavljalo je pet dvosložnih i pet trosložnih reči. Sve reči su bile izbalansirane po dužini (četiri glasa po dvosložnoj reči i šest glasova po trosložnoj reči).

b) Nereč (10 stimulusa): Nereči su reči koje prate fonološka pravila srpskog jezika, ali nemaju semantičko značenje u srpskom jeziku. Prilikom formiranja nereči razmatrana je učestalost glasova u srpskom jeziku. Pored toga, trudili smo se da liste reči i nereči budu fonetski ujednačene. Konačna lista uključivala je pet dvosložnih i pet trosložnih nereči.

Prosečno trajanje stimulus reči i nereči je 500 ms (485 - 525 ms).

c) Potvrđna rečenica (10 stimulusa): rečenica je skup reči koja ima određeno značenje. Rečenice su predstavljale 10 prostih, potvrđnih, obaveštajnih rečenica sa subjekat-predikat rečeničnom strukturom. Vrste reči su uključivale imenice, glagole i prideve. Stimulus-rečenice su sastavljali audiolingvisti-logopedi sa iskustvom koristeći visoko frekvencijske reči.

d) Upitna rečenica (10 stimulus): Upitne rečenice su rečenice kojima se postavlja određeno pitanje. Ovaj set stimulusa je obuhvatio 10 upitnih prostih i prosto-proširenih rečenica koje su takođe sastavljali logopedi-audiolingvisti sa iskustvom. Upitne rečenice su predstavljale 10 najfrekventijih pitanja koje logopedi-audiolingvisti primenjuju u audiolingvističkom tretmanu.

Prosečno trajanje potvrdnih i upitnih stimulus rečenica je 1310 ms (1030 – 1590 ms).

e) Narativni diskurs (1 stimulus): Stimulus je predstavljao slušanje poznate priče (*Crvenkapa*). Narativni diskurs se sastojao iz 15 prosto-proširenih rečenica.

Trajanje stimulus priče je 36.5 s.

3.2.2.4 Analiza EEG signala

A) Priprema EEG signala (preprocesiranje EEG signala).

Iz snimljenog EEG-a otklonjene se sve smetnje/artefakti (treptaji očnih kapaka, visokovoltirani segmenti, visokofrekventne komponente električnog signala koje su uzrokovane aktivnošću grupa mišića koji su fizički blizu poziciji pojedinačnih elektroda za snimanje EEG-a, a koji se mogu prepoznati pažljivim pregledanjem snimljenih trasa. Artefakti srčane aktivnosti uklonjeni su istovremeno tokom snimanja EEG-a korišćenjem ugrađenog filtera za elektrokardiogram (EKG). Sirovi fajlovi su zatim konvertovani u *.eeg format* da bi za dalju analizu bili uvezeni u EEGLAB softver koji je implementiran u MATLAB 7.10 (*R2021a*, The Math Works, Natick, Massachusetts, USA) platformi (Brunner, Delorme, & Makeig, 2013). Svi podaci su filtrirani korišćenjem FIR propusnog filtera sa propusnim opsegom od 1,6 Hz do 30 Hz. Podaci su ponovo referencirani na usrednjenu vrednost svih elektroda za svaki stimulus za svakog ispitanika. Matematički je određena referenca usrednjavanjem signala sa svih elektroda, a onda se signal svake elektrode referencirao u odnosu na dobijeni usrednjeni signal. Deo EEG trase koji se uzima za dalju analizu je period mira i period auditivne stimulacije (vremenski okvir EEG trase koji odgovara vremenskom trajanju stimulusa). Analiza nezavisnih komponenti (ICA- *eng. Independent Component Analysis*) je izvršena da bi se uklonili artefakti treptanja oka i mišićne aktivnosti iz odabranih EEG segmenata.

B) Kreiranje baze podataka.

Nakon preprocesiranja EEG signala, kreirana je baza podataka EEG segmenata za svaki zadatak i ispitivanje. Za period mirnog stanja (*eng. resting state*, RS), podaci su segmentirani po 10 sekundi za svaku epohu. Broj epoha uključenih u dalju analizu bio je pet za RS period, po ispitaniku, što je rezultiralo ukupno 500 EEG epoha. Za period slušanja reči (WL- *eng. word listening*) ili slušanja nereči (NWL-*eng. nonword listening*), označeni podaci u EEG trasi su segmentirani u epohama u trajanju od 1 sekunde. Za period slušanja reči i nereči, označeni podaci su imali 10 stimulusa po ispitaniku, što je rezultiralo ukupno 1000 EEG epoha. Za period slušanja rečenica (potvrdnih i upitnih), označeni podaci u EEG trasi su segmentirani u epohama u trajanju od 2 sekunde. Takođe, broj epoha po ispitaniku je 10 što je rezultiralo ukupno 1000 EEG epoha. Za period slušanja narativnog diskursa, podaci su segmentirani po 5 sekundi za svaku epohu. Broj epoha uključenih u dalju analizu bio je 3, po ispitaniku (segmentirani su delovi trase na početku, u sredini i na kraju slušanja narativnog diskursa), što je rezultiralo ukupno 300 EEG epoha. Svi podaci su sačuvani u *.set* formatu.

Konačan broj EEG epoha za sve stimulse bio je 4800: Mirno stanje=500 EEG epoha; reči=1000 EEG epoha; nereči=1000 EEG epoha; potvrдна rečenica=1000 EEG epoha; upitna rečenica=1000 EEG epoha; narativni diskurs= 300 EEG epoha.

Sve dobijene epohe su analizirane u Matlab programskom paketu primenom različitih skripti specijalno kreiranih za ciljane EEG analize. U sledećem odeljku dat je opis EEG analiza i formula koje su korišćene u MATLAB skriptama.

C) Analize EEG signala

Spektralna analiza. Sve epohe izdvojene iz snimaka (tj. relevantni odsecci snimaka EEG-a) Furijeovom transformacijom (*FFT*, eng. *fast Fourier transform*), preslikane su iz vremenskog u frekvencijski domen kako bi se omogućila analiza po frekvencijskim opsezima (ritmovima).

Formula za izračunavanje FFT-a je: $X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]e^{-i2\pi kn/N}$, $k = 0, \dots, N - 1$;
gde je N broj uzoraka, $x[n]$ je signal, a k je indeks frekvencijske komponente.

Spektralna snaga je računata pomoću Velčovog metoda (Welch, 1967) sa formulom: $P(f) = F(x(t))^2$.¹

Dobijeni podaci su usrednjeni po frekvencijskim podopsezima kako bi se dobila usrednjena spektralna snaga za svaki podopseg: teta opseg (4-8 Hz), alfa opseg (8-12 Hz) i beta 1 opseg (13-23 Hz). Razlog zašto nismo koristili ceo opseg beta talasa su literaturni podaci koji ukazuju da je niska frekvencija beta talasa sa opsegom od 13–23 Hz povezana sa razvojem jezika kod dece i odraslih (Foley et al., 2020; Sharma et al., 2021).

Fraktalna dimenzija predstavlja meru složenosti i kompleksnosti u kratkim vremenskim intervalima. Pomoću nje se stiče uvid u dinamiku promene kompleksnosti tokom kognitivnih zadataka. Sve epohe u fraktalnoj analizi su utvrđene pomoću Higučijevog algoritma za računanje fraktalne dimenzije signala.²

Entropija uzorka je mera neuređenosti sistema ili nepredvidivosti EEG signala.

Entropija uzorka za svaku epohu računata je prema formuli: $SampEn(m, r, N) = -\ln\left(\frac{A}{B}\right)$;

gde je m , dužina podniza koji se poredi, r je prag sličnosti, N je broj tačaka u vremenskoj seriji, A je broj parova podnizova dužine $m+1$ koji su slični (unutar rastojanja r) i B je broj parova podnizova dužine m koji su slični (unutar rastojanja r). Pomenute vrednosti smo podesili: $r=0,5$; $m=2$.³

¹ preuzeto iz Nidermejerove knjige *Elektroencefalografija*, gde u poglavlju Bazični mehanizmi EEG-a, ima detaljno opisan postupak primene spektralne snage (Niedermeyer & da Silva, 2005).

² Više informacija doktorska disertacija *Primena nelinearnih metoda u analizi promena eeg teta ritma pri formiranju kratkoročne auditivne memorije kod ljudi*, gde je fraktalna dimenzija kao analiza, centralna tema (Stokić, 2015)

³ Po uzoru na publikaciju u kojoj se takođe pratio trend promene entropije u razvojnom periodu (Polizzotto, Takahashi, Walker, & Cho, 2015). Za detaljniji postupak primene ove analize pogledati rad autora Ričmana i Murmana (Richman & Moorman, 2000).

Analiza EEG koherencije je mera funkcionalne povezanosti kortikalnih regija tokom obrade stimulusa. Prvo se Furijeovom transformacijom dobijaju frekvencijske komponente 2 signala koje merimo.

Zatim se izračunaju kros-spektri za dva signala i potom se računa koherencija prema formuli:

$$C_{xy}(f) = \frac{S_{xy}(f)^2}{S_{xx}(f)S_{yy}(f)};$$

gde je $S_{xy}(f)$ ukrštena spektralna gustina između signala $x(t)$ i $y(t)$, $S_{xx}(f)$ je spektralna gustina snage signala $x(t)$, $S_{yy}(f)$ je spektralna gustina snage signala $y(t)$, a $S_{xy}(f)^2$ predstavlja kvadrat magnitude ukrštene spektralne gustine⁴.

Pošto se koherentnost kreće između vrednosti 0 i 1, u razmatranje su uzeti samo podaci kod kojih je vrednost koherencije veća ili jednaka 0.8 (visoka koherencija), po uzoru na referencu (Grosse, Cassidy, & Brown, 2002).

Metoda analize dipola (eng. *Standardized Low Resolution Electromagnetic Tomography (sLORETA)*) je metoda koja se koristi za određivanje lokacije neuralne električne aktivnosti u mozgu na osnovu EEG signala snimljenih na skalpu. Primenili smo sLORETA tehniku koji obezbeđuje 3D sliku moždane aktivnosti i uključuje određivanje potencijalnog izvora koji proizvode posmatrani EEG stimulusi. Tehnika koristi trokomponentni kružni model glave (Montreal Neurological Institute – MNI305) predstavljen na MRI modelu. Rezultate o lokalizaciji izvora merenog EEG signala smo predstavili sa informacijama koje uključuju Brodmanove aree (BA) i MNI koordinate.

3.3 Statistička analiza

Statistička analiza je urađena u softverskom paketu SPSS 21 (proizvođač: IBM, Chicago, IL, USA). Bihevioralni podaci su obrađeni deskriptivnom statistikom gde su dobijene aritmetičke sredine i standardne devijacije sa 95% intervalom poverenja. Korišćen je Šapiro-Vilk test radi ispitivanja raspodele i normalnosti distribucije varijabli koje će biti uključene u analizu. U zavisnosti od rezultata normalnosti distribucije podataka urađena je parametrijska ili neparametrijska statistika. Nivo značajnosti je određen: $p < 0.05$.

Statistička analiza kod ispitivanja SP teta, alfa i beta ritma, fraktalne dimezije i entropije uzorka, tokom slušanja stimulus: reči/nereči, potvrdna/upitna rečenica je podrazumevala zbog ponovljenih merenja složeniji statistički pristup. Korišćen je generalizovani linearni mešoviti model (eng. *Generalized Linear Mixed model-GLMM*), sa ponovljenim merenjima. Model sa ponovljenim merenjima korišćen je za auditivne stimulse reči/nereči i potvrdne/upitne rečenice, dok za priču nije korišćen model sa ponovljenim merenjima. Koristili smo GLMM sa sledećim parametrima:

- Vrsta merenja koja se ponavljaju (zadatak slušanje reči/slušanje nereči; zadatak slušanja potvrdnih/upitnih rečenica);
- Fiksni efekti (fiksni faktori i kovarijante): Grupa, uzrast, uzrasna grupa, zadatak slušanja, IQm, Pibodi slikovni test rečnika, Token test, Test rečnika, grupa*uzrasna grupa, grupa*zadatak slušanja, uzrasna grupa*zadatak slušanja, grupa*uzrasna grupa*zadatak slušanja;
- Ciljna distribucija i odnos (Link funkcija), Distribucija-Gama; Link funkcija identitet;

⁴ Za više objašnjenja treba pogledati knjigu Električne zone mozga: neurofizika EEG-a, autora Nuneza i Šrinivasana (Nunez & Srinivasan, 2006).

- Opcije modela: Maksimalan broj iteracija = 400; Varijabilnost stepena slobode kroz testove; Testovi fiksnih efekata i koeficijenata, Robusna procena.

Ovaj model je primenjen kod svih 19 elektroda i kod svih pomenutih analiza.

Statistička analiza EEG korelata kod ispitivanja narativnog diskursa je takođe urađena u GLMM-u sa sledećim parametrima:

Fiksni efekti (fiksni faktori i kovarijante): Grupa, uzrast, uzrasna grupa, zadatak slušanja, IQm, Pibodi slikovni test rečnika, Token test, Test rečnika, grupa*uzrasna grupa, grupa*zadatak slušanja, uzrasna grupa*zadatak slušanja, grupa*uzrasna grupa*zadatak slušanja;

- Ciljna distribucija i odnos (Link funkcija), Distribucija-Gama; Link funkcija identitet;

- Opcije za izgradnju modela: Maksimalan broj iteracija = 400; Varijabilnost stepena slobode kroz testove; Testovi fiksnih efekata i koeficijenata, Robusna procena.

Statistički značajni faktori dobijene u GLMM-u smo dalje analizirali primenom jednosmernog testa ANOVE (Analiza varijanse, *eng. OneWay Analysis of Variance*) da bi utvrdili da li su postojale i kolike su bile razlike.

Za statistički značajne interakciju grupa*uzrasna grupa dobijene u GLMM-u, definisali smo novu varijablu koju smo nazvali *grupauzrasnagrupa* i primenili jednosmernu ANOVU sa Games-Hovell Post hoc testom da bismo ispitali da li postoji statistički značajna razlika između podgrupa. Podgrupe su definisane kao: 1-TP grupa, uzrast 4.0-4.11 godina, 2-TP grupa, uzrast 5.0-5.11 godina, 3-SJP grupa, uzrast 4.0-4.11 godina i 4-SJP grupa, uzrast 5.0-5.11 godina.

Izuzeci

Za analizu rezultata SP alfa i beta ritma tokom auditivne obrade reči i nereči primenili smo pored GLMM-a, dodatno, drugačiji statistički pristup:

Za ispitivanje SP beta ritma tokom slušanja stimulus reči i nereči, GLM model je primenjen pored svih 19 elektroda i na regionima od interesa (ROI). ROI je definisan na osnovu funkcionalnih i anatomskih kriterijuma za obradu jezika. ROI označava srednju vrednost zbira beta spektralnih snaga elektroda, prema njihovoj lokaciji: levi frontalni region (LFR-Fp1, F3, F7), desni frontalni region (RFR-Fp2, F4, F8), levi temporalni region (LTR-T3, T5), desni temporalni region (RTR-T4, T6), levi centroparijetalni region (LCPR-C3, P3), desni centroparijetalni region (RCPR-C4, P4) i centralni region (CR-Fz, Cz, Pz).

Za ispitivanje SP alfa ritma tokom slušanja stimulus reči i nereči, posmatrali smo odvojeno uzrasne grupe (4.0-4.11/5.0-5.11 godina). Statistička analiza SP alfa ritma tokom slušanja reči i nereči je podrazumevala primenu Studentovog T testa za nezavisne uzorke (*eng. Independent sample T test*). T test je korišćen kod ispitivanja statistički značajnih razlika u EEG korelatima tokom mirnog stanja između dve grupe ispitanika kao i u zadacima slušanja reči i nereči. Za procenu homogenosti varijansi korišćen je Levenov test. Primenom dvofaktorske ANOVE dobijeni su podaci o uticaju različitih faktora (grupa, stimulus) na auditivnu obradu stimulusa.

Kod statističke obrade SP alfa ritma gde je u periodu mirnog stanja bilo statistički značajnih razlika, u nastavku su korišćene normalizovane vrednosti spektralne snage. Normalizovane vrednosti SP alfa ritma su dobijene sledećom formulom:

$$Reč(normalizovano) = \frac{mir-reč}{mir} \text{ i } nereč(normalizovano) = \frac{mir-nereč}{mir}$$

gde je mir srednja vrednost SP alfa ritma tokom perioda mira, a reč i nereč su srednje vrednosti SP alfa ritma tokom perioda slušanja stimulus reč i /ili nereč.

4. REZULTATI

Težište istraživanja bilo je usmereno na analizu EEG korelata auditivne obrade reči i nereči i karakteristike tri moždana ritma: teta, alfa i beta ritma, dobijenih analizom spektralne snage. Kako je već napomenuto u uvodu, deca sa SJP u periodu od 4 do 6 godina, imaju poteškoće u auditivnoj obradi reči a u mnogo većoj meri, u obradi nereči koja se ogleda kroz poteškoće u fonološkoj obradi zajedno sa fonološkom diskriminacijom, pristupu mentalnom leksikonu, semantičkoj obradi, aktivnoj radnoj memoriji. Ovo ukazuje da će obrada složenijih jezičko-semantičkih i fonološko-leksičkih konstrukcija kao što su auditivna obrada rečenica i diskursa takođe biti otežana, a i teže objašnjiva zbog uključenosti mnogo složenijih kognitivnih procesa u obradi jezika.

Rezultati su predstavljeni po poglavljima, prema vrsti EEG analize koja je bila primenjena. U svakoj analizi prikazani su rezultati za različite auditivne stimulse poređani po svojoj fonetsko-fonološkoj i semantičkoj složenosti: najpre auditivni stimulusi reči i nereči, zatim stimulusi potvrdne i upitne rečenice i na kraju stimulus narativni diskurs. Pored toga, predstavljeni su i rezultati govorno-jezičkih testova.

Uz sve pomenute podatke dodali smo, na kraju, zbirni prikaz statistički značajnih korelata EEG signala (spektralna snaga-SP, fraktalna dimenzija FD, entropija uzorka-SE) nastalih tokom obrade auditivnih stimulusa.

Moramo naglasiti da rezultate nelinearnih analiza treba uzeti sa oprezom zbog toga što je primena nelinearnih analiza zahtevala adekvatnu dužinu segmenta koji se analizira kao i neopterećenost artefaktima. Kako uzorak ispitanika čini dečja populacija, EEG trase su imale veći broj artefakata koji su otklanjani analizom pomenutom u poglavlju *Metodologija*. Takođe, kratki segmenti možda ne obuhvataju punu složenost EEG signala, dok veoma dugi segmenti mogu otežavati tumačenje rezultata (Yentes et al., 2013). Pored toga treba naglasiti uticaj heterogenosti EEG podataka: EEG signali značajno variraju između pojedinaca, pogotovo, u dečjoj populaciji. Ova varijabilnost može da utiče na pouzdanost rezultata dobijenih merama entropije i fraktalne dimenzije.

4.1 Rezultati govorno-jezičkih testova

U tabeli 2, predstavljena je deskriptivna statistika za sve instrumente procene govora i jezika; za dve uzrasne grupe kod TP i dece sa SJP. Kod dece uzrasta 4.0-4.11 godina postoji statistički značajna razlika u postignuću na svim govorno-jezičkim testovima u obe grupe (TP/SJP): Pibodi slikovni test rečnika ($F=.605$, $t(48)=8.077$, $p<0.001$); Token test ($F=12,304$, $t(33,384)=13,119$, $p<0,001$); Test rečnika ($F=14,762$, $t(30,446)=8,853$, $p<0,001$). Isto tako, kod dece uzrasta 5.0-5.11 godina u obe grupe (TP/SJP) postoji statistički značajna razlika u postignuću na svim govorno-jezičkim testovima: Pibodi slikovni test rečnika ($F=1,491$, $t(48)=42,016$, $p<0,001$); Token test ($F=30,865$, $t(27,404)=9,266$, $p<0,001$); Test rečnik ($F=14,104$, $t(30,631)=6,776$, $p<0,001$).

Tabela 2. Deskriptivni podaci govorno-jezičkih testova

Uzrast 4.0-4.11 godina	Pibodi slikovni test rečnika		Token test		Test rečnika	
	AS	SD	AS	SD	AS	SD
TP grupa	126.84	11.70	35.40	2.91	7.96	1.56
SJP grupa	95.36	15.583	16.80	6.46	9.96	4.23
Uzrast 5.0-5.11 godine	Pibodi slikovni test rečnika		Token test		Test rečnika	
	AS	SD	AS	SD	AS	SD
TP grupa	132.72	12.70	36.96	2.01	7.40	1.73
SJP grupa	94.56	18.89	22.52	7.52	0.72	4.61

TP: Tipična populacija; SJP: Specifični jezički poremećaj; AS: aritmetička sredina; SD: standardna devijacija

4.2 Rezultati analize spektralne snage

4.2.1 Rezultati analize spektralne snage ritmova tokom auditivne obrade reči i nereči

A) Teta frekvencijski opseg

GLMM sa ponovljenim merenjima je ukazao da statistički značajan uticaj na SP teta ritma tokom auditivne obrade reči i nereči ima uzrasna grupa, i vrsta auditivnog stimulusa u zadatku slušanja u levoj okcipitalnoj elektrodi O1. Pored toga, model je ukazao da statistički značajan uticaj na SP teta ritma tokom auditivne obrade reči i nereči ima interakcija grupa*uzrasna grupa na elektrodama: Fp1, P3, P4, O1, F7, T5 i Pz (Tabela 3). Za druge interakcije i faktore nije pronađena statistička značajnost. Varijabla grupa nije imala statistički značajan uticaj na model kao fiksni faktor ali jeste kao interakcija sa uzrasnom grupom.

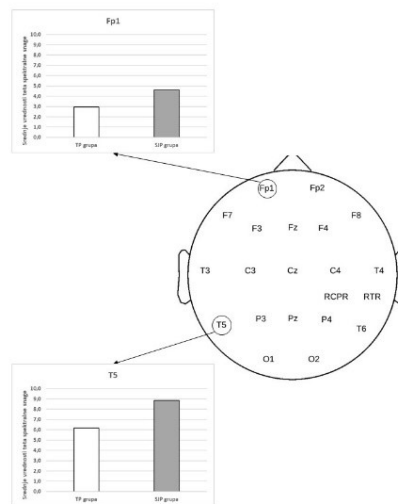
Tabela 3. Faktori koji su imali statističku značajnost u GLMM-u kod analize SP teta ritma tokom auditivne obrade reči i nereči

Elektrode	Uzrasna grupa		Zadatak slušanja		Grupa*uzrasna grupa	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Fp1					4.99	.028
P3					4.15	.047
P4					4.54	.035
O1	6.95	.009	3.91	.050	4.59	.034
F7					5.77	.018
T5					5.48	.021
Pz					9.35	.003

p: vrednost verovatnoće (statistička značajnost, $p < .005$); F: F vrednost distribucije.

Za elektrodu O1 gde varijabla slušanja reči i nereči ima statistički značajan uticaj na model, jednosmerni test ANOVE je pokazao da su srednje vrednosti SP teta ritma veće kod slušanja nereči (O1: M=12.47, SD=8.04), u odnosu na slušanje reči (O1: M=11.56, SD=6.53).

Za interakciju grupa*uzrasna grupa, formirali smo novu varijablu *grupauzrasnagrupa* i sproveli smo jednosmerni test ANOVA sa *Games-Howell Post hoc* testom da bismo ispitali statistički značajne razlike između podgrupa varijable *grupauzrasnagrupa*. Zbog povećanog opsega pouzdanosti rezultati ukazuju da ne postoji statistički značajna razlika između 4 podgrupe varijable *grupauzrasnagrupa* na P3, P4, O1, F7 i Pz elektrodama. Za Fp1 elektrodu uočene su statistički značajne razlike između podgrupa 2 i 4, odnosno starije TP grupe i starije SJP grupe ($p=.035$). Vrednosti SP teta ritma su bile više kod SJP grupe (M=4.63, SD=4.07) u odnosu na TP grupu (M=2.97, SD=1.54) (Slika 7). Za T5 elektrodu uočene su statistički značajne razlike takođe između podgrupa 2 i 4, odnosno starije TP grupe i starije SJP grupe ($p=.045$) sa višom SP teta ritma kod SJP dece (M=8.83, SD=5.92) u odnosu na TP grupu (M=6.16, SD=3.39) (Slika 7).



Slika 7. Prikaz statističke značajnosti za interakciju grupa*uzrasna grupa kod SP teta ritma tokom auditivne obrade reči i nereči

B) Alfa frekvencijski opseg

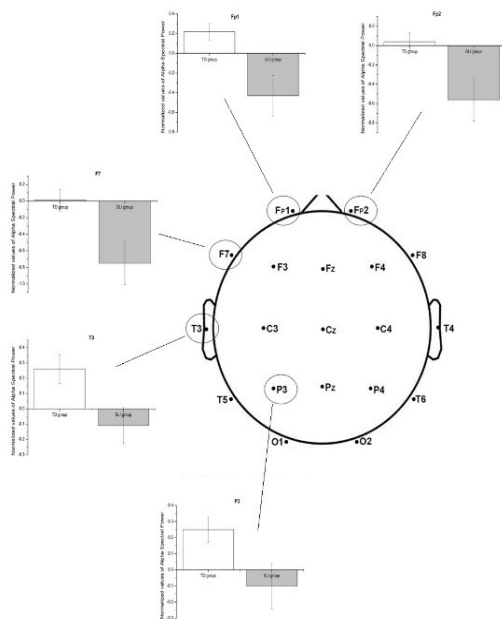
SP alfa ritma smo posmatrali kod dve uzrasne grupe odvojeno korišćenjem t-testa za nezavisne uzorke i primenom dvofaktorske ANOVE. Kod svih 19 elektroda, SP alfa ritma, tokom perioda mira, i perioda slušanja reči i nereči, između dve grupe (TP i SJP), uzrasta 4.0-4.11 nije uočena statistički značajna razlika u srednjoj vrednosti SP alfa ritma.

Poređenjem srednjih vrednosti SP alfa ritma t-testom za nezavisne uzorke, u tri perioda (period mira, i period slušanja reči i nereči) između dve grupe ispitanika uzrasta 5.0-5.11 pronađene su statistički značajne razlike.

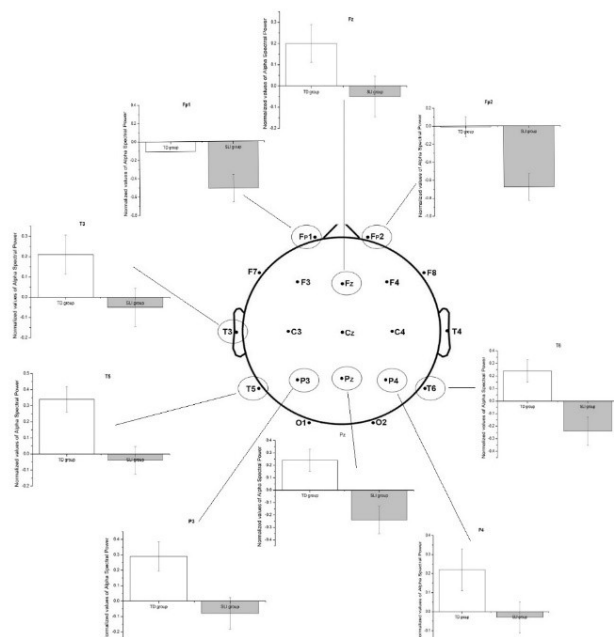
Rezultati SP alfa ritma u mirnom stanju (Prilog 1, Tabela 1), pokazuju da su statistički značajne razlike pronađene za 15 elektroda između SJP i TP grupe uzrasta 5.0-5.11 godina, i to u: Fp1 $t(51)=3,474$ $p<.001$, Fp2: $t(51)=3.304$, $p<.002$, F3: $t(51)=2.044$, $p<.046$, F4: $t(51)=2.035$, $p<.048$, P3: $t(51)=3,418$, $p<.002$, P4: $t(51)=3,152$, $p<.003$, O1: $t(51)=2.145$, $p<.037$, O2: $t(51)=3,108$, $p<.004$, F7: $t(51)=2.376$, $p<.021$, F8: $t(51)=2.095$, $p<.041$, T3: $t(51)=2.655$, $p<.011$, T5: $t(51)=3.264$, $p<.002$, T6: $t(51)=2.620$, $p<.012$, Fz: $t(51)=2.588$, $p<.013$ i Pz: $t(51)=3.664$, $p<.001$. Veće vrednosti SP alfa ritma su pronađene kod TP grupe u periodu mirnog stanja.

Zbog prisustva statistički značajnih razlika u SP alfa ritma u mirnom stanju između SJP i TP grupe, uporedili smo normalizovane vrednosti SP alfa ritma tokom slušanja reči. Rezultati ukazuju na statistički značajnu razliku (videti Prilog 1, Tabela 1 sa deskriptivnom statistikom) u Fp1: $t(48)=3.086$ $p<.003$, Fp2: $t(48)=2.584$ $p<.013$, P3: $t(48)=2.328$ $p<.024$, O2: $t(48)=2.569$ $p<.013$, F7: $t(48)=2.768$, $p<.008$, T3: $t(48)=2.549$ $p<.014$ elektrode. Tokom slušanja stimulus reči ispitanici TP grupe su imali niže vrednosti SP alfa ritma u poređenju sa SJP grupom (Slika 8).

Slični rezultati, sa izraženijom alfa desinhronizacijom u TP grupi, primećeni su i za period slušanja stimulus nereči. Statističkom analizom su upoređene normalizovane vrednosti SP alfa ritma kod perioda slušanja nereči i ukazale su na značajne razlike u Fp1: $t(48)=3.403$ $p<.001$, Fp2: $t(48)=3.230$ $p<.002$, P3: $t(48)=2.773$ $p<.008$, P4: $t(48)=2.022$ $p<.049$, T3: $t(48)=2.072$ $p<.044$, T5: $t(48)=3.356$ $p<.002$, T6: $t(48)=2.786$ $p<.008$, Fz: $t(48)=2.122$ $p<.039$, i Pz: $t(48)=3.583$ $p<.001$ elektrodi, (videti Prilog 1-Tabelu 1). Tokom slušanja stimulus nereči ispitanici TP grupe su imali niže vrednosti SP alfa ritma u poređenju sa SJP grupom (Slika 9).



Slika 8. Model glave sa rasporedom elektroda i grafikoni sa statistički značajnim promenama između TP i SJP grupe tokom slušanja reči za alfa ritam



Slika 9. Model glave sa rasporedom elektroda i grafikoni sa statistički značajnim promenama između TP i SJP grupe tokom slušanja nereči za alfa ritam

U nastavku, normalizovane srednje vrednosti SP alfa ritma između slušanja reči i slušanja nereči su upoređene primenom dvofaktorske ANOVE (Tabela 4), a grupni efekti su bili statistički značajni. Nije bilo statistički značajnih razlika u srednjim vrednostima između grupa stimulusa (reč naspram – nereč). Pokazalo se da nema statistički značajne interakcije između stimulusa i grupe (stimulus*grupa; $p>0.05$ na svim elektrodama).

Tabela 4. Grupne interakcije kod analize SP alfa ritma tokom slušanja reči/nereči na svih 19 elektroda kod dece uzrasta 5.0-5.11 godina

p: vrednost verovatnoće (statistička značajnost, $p<.005$); F: F vrednost distribucije.

Elektrode	Uticao grupe		Uticao stimulusa		Uticao grupa* stimulus	
	F	p	F	p	F	P
Fp1	20.811	.001	.469	.495	.010	.921
Fp2	16.598	.001	.340	.561	.039	.843
F3	2.928	.09	.079	.779	.192	.663
F4	1.142	.288	.051	.823	.009	.923
C3	.014	.907	.570	.452	.829	.365
C4	.630	.429	.616	.434	.052	.821
P3	12.799	.001	.069	.793	.005	.945
P4	.985	.323	.258	.612	.490	.486
O1	.024	.878	.001	.992	.326	.569
O2	6.915	.010	.522	.472	.108	.743
F7	7.436	.008	.042	.837	.037	.849
F8	4.025	.048	.032	.858	.001	.987
T3	10.774	.001	.006	.941	.296	.588
T4	2.493	.118	.012	.911	.896	.346
T5	13.398	.001	.009	.924	.999	.32
T6	10.783	.001	.121	.729	.180	.673
Fz	3.396	.068	.048	.827	1.734	.191
Cz	3.518	.064	1.097	.298	.057	.812
Pz	3.159	.079	1.743	.19	1.742	.19

Dodatno, primenili smo GLMM sa ponovljenim merenjima kada smo posmatrali obe uzrasne grupe (4.0-4.11/5.0-5.11 godina) i obe ispitivane grupe zajedno (TP/SJP) tokom auditivne obrade reči i nereči. GLMM je ukazao da faktor grupa ima statistički značajan uticaj na model u Fp1 elektrodi. Faktor uzrasna grupa, takođe ima statistički značajan uticaj na model u bilateralno frontalnim (Fp1, F4, Fz), levo parijetalno-okcipitalnim (P3, O1) elektrodama i u desno temporalnoj (T4) elektrodi. Interakcija grupa*uzrasna grupa je pokazala statističku značajnost posebno u prefrontalnim elektrodama bilateralno (Fp1, Fp2), bilateralno temporalnim (T5, T6), i parijetalnim elektrodama pozicioniranim levo (P3) i centralno (Pz) (Tabela 5).

Za elektrode na kojima je uzrasna grupa imala statistički značajan uticaj na model, a interakcioni član nema statistički značajan uticaj na model jednosmerni test ANOVE je pokazao da su srednje vrednosti SP alfa ritma veće u mlađoj grupi (O1: $M=9.54$, $SD=10.89$; T4: $M=2.15$, $SD=1.59$; Fz: $M=2.70$, $SD=1.38$) u odnosu na stariju grupu (O1: $M=8.92$, $SD=7.97$; T4: $M=2.13$, $SD=1.43$; Fz: $M=2.55$, $SD=1.62$). Interakcioni član grupa*uzrasna grupa je u varijabli *grupauzrasnagrupa* primenom jednosmernog testa ANOVE sa Games-Howell post hoc testom ukazala da su statistički značajne razlike pronađene za podgrupe 2 i 4, odnosno starije TP grupe i starije SJP grupe na elektrodama Fp1 ($p=.045$), Fp2 ($p=0.44$), T5 ($p=.035$) sa višom SP alfa ritma kod SJP grupe, što je potvrđeno i primenom dvofaktorske ANOVE kod ispitivanja SP alfa ritma u starijoj grupi dece (Tabela 4).

Tabela 5. Faktori koji su imali statističku značajnost u GLMM-u kod analize SP alfa ritma tokom auditivne obrade reči i nereči

Elektrode	Grupa		Uzrasna grupa		Grupa*uzrasna grupa	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Fp1	5.90	.017	5.36	.022	5.57	.020
Fp2					5.13	.025
P3			6.84	.010	5.13	.025
O1			8.07	.008		
T4			4.46	.036		
T5					8.21	.005
T6					5.52	.021
Fz			8.11	.005		
Pz					5.29	.023

p: vrednost verovatnoće (statistička značajnost, $p < .005$) *F*: *F* vrednost distribucije.

C) Beta frekvencijski opseg

Razlike između vrednosti SP beta ritma tokom mirnog stanja između uzrasnih grupa, kao i između SJP i TP grupa, analizirane su univarijantnom analizom, a Levenov test o jednakosti varijansi grešaka je pokazao da se može izvršiti univarijantna analiza $F(3,96)=1.10$, $p=.353$. Univarijantna analiza prosečne SP beta ritma tokom mirnog stanja je pokazala je da grupa (SJP/TP) i uzrasna grupa (4.0-4.11/5.0-5.11) nisu imale statistički značajan uticaj kao glavni faktori ili kao interakcija grupa*uzrasna grupa (vidi Prilog 2, Tabela 1).

GLMM sa ponovljenim merenjima je ukazao da značajan uticaj na SP beta ritma okom auditivne obrade ima grupa u temporalno pozicioniranim elektrodama: T3 ($p=.005$), T6 ($p=.002$); dodatno i LTR ($p=.007$) i RTR ($p=.027$). Pored toga, uzrasne grupe imaju statistički značajan uticaj na beta procesiranje u elektrodama F4 ($p=.044$), i T6 ($p=.001$), kao i na RTR ($p=.013$) i RCPR ($p=.030$). GLMM je ukazao statistički značajne razlike interakciji grupa*uzrasna grupa u Fp1 ($p=.025$), F8 ($p=.010$), T5 ($p=.027$) i Fz ($p=.037$) elektrodama. Za druge interakcije nije pronađena statistička značajnost. Zadatak slušanja (slušanja reči ili nereči) nije imala statistički značajan uticaj na model, ni kao fiksni faktor ni kao interakcija.

Jednosmerni test ANOVA je izvršen da bi se odredile razlike u SP beta ritma u grupama (SJP/TP), različitim uzrasnim grupama (4.0-4.11/5.0-5.11 godina) i u interakciji grupa*uzrasna grupa u onim elektrodama i ROI, koje su pokazale statističku značajnost u GLMM-u (Tabela 6).

Tabela 6. Faktori koji su imali statističku značajnost u GLMM-u kod analize SP beta ritma tokom auditivne obrade reči i nereči

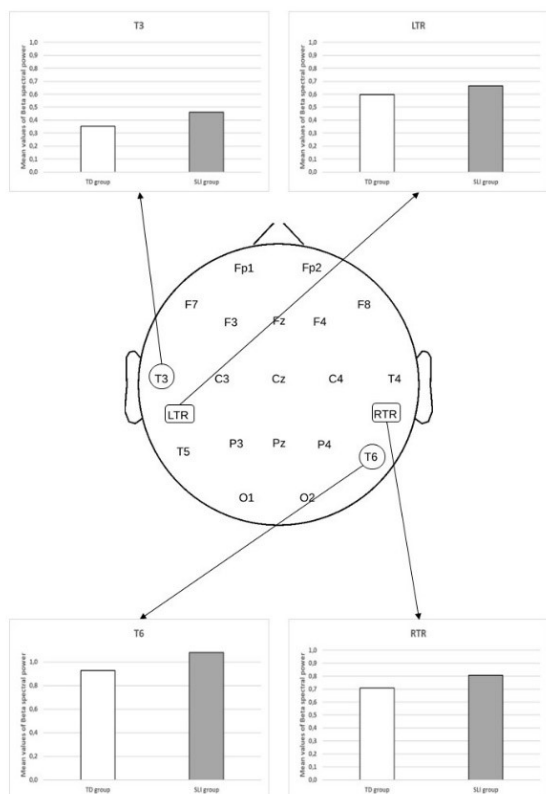
Elektrode	Grupa		Uzrasna grupa		Grupa*uzrasna grupa	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Fp1					3.89	.010
F4			2.29	.132		
F8					2.42	.067
T3	8.24	.005				
T5					9.03	.000
T6	10.09	.002	7.35	.007		
Fz					7.16	.000
LTR	11.86	.001				
RTR	15.48	.000	16.57	.000		
RCPR			23.08	.000		

p: vrednost verovatnoće (statistička značajnost, $p < .005$); *F*: *F* vrednost distribucije.

Za elektrode i ROI gde grupa ima statistički značajan uticaj na model, a gde interakcioni član nema statistički značajan uticaj na model, jednosmerni test ANOVE je pokazao da su srednje vrednosti SP beta ritma veće u SJP grupi (T3: $M=0.46$, $SD=0.45$, T6: $M=1.08$, $SD=0.61$, LTR: $M=0.66$, $SD=0.35$, RTR: $M=0.80$, $SD=0.42$), u poređenju sa TP grupom (T3: $M=0.35$, $SD=0.28$, T6: $M=0.92$, $SD=0.47$, LTR: $M=0.59$, $SD=0.27$, RTR: $M=0.70$, $SD=0.29$), (Slika 10).

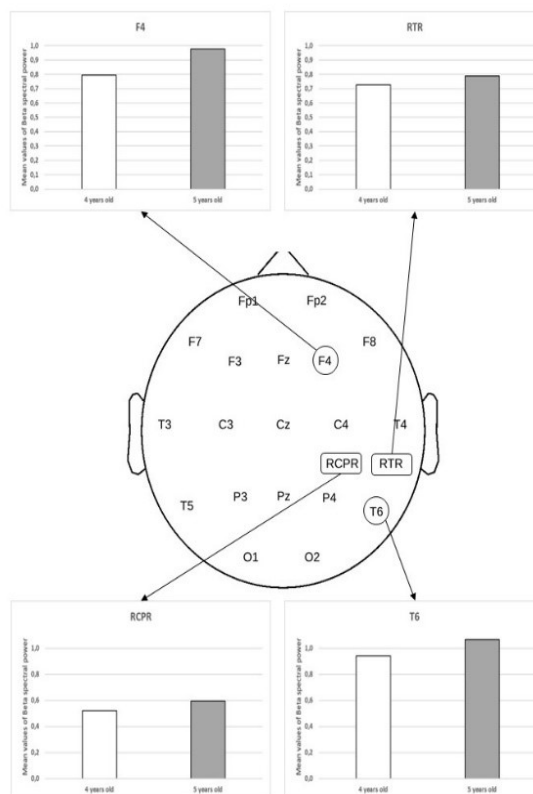
Za elektrode i ROI gde je uzrasna grupa imala statistički značajan uticaj na model i gde interakcioni član nema statistički značajan uticaj na model, jednosmerni test ANOVE je pokazao da su srednje vrednosti SP beta ritma veće u starijoj grupi u poređenju sa mlađom grupom (mlađa grupa: F4 ($M=0.79$, $SD=0.46$), T6 ($M=0.94$, $SD=0.59$), RTR ($M=0.72$, $SD=0.38$), RCPR ($M=0.52$, $SD=0.21$), starija grupa: F4 ($M=0.97$, $SD=0.57$), T6 ($M=1.06$, $SD=0.50$), RTR ($M=0.78$, $SD=0.34$), RCPR ($M=0.59$, $SD=0.27$); (Slika 11).

Dalje, sproveli smo jednosmerni test ANOVA sa Games-Hovell Post hoc testovima da bismo ispitali značajnost razlika između podgrupa varijable *grupauzrasnagrupa* (pogledajte Prilog 2, Tabela 2).



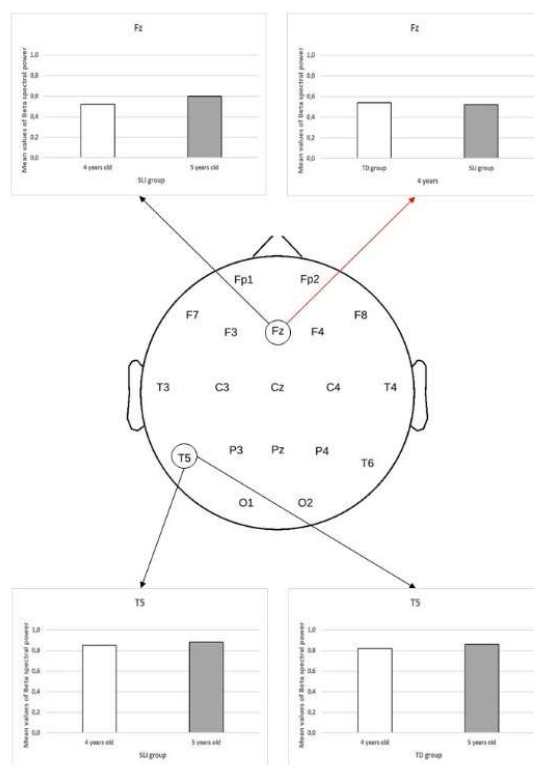
Slika 10. Prikaz statistički značajnih grupnih efekata kod SP beta ritma tokom slušanja reči i nereči

(TD: *eng. Typical development*- tipična populacija; SLI: *eng. Specific Language Impairment*, Specifični jezički poremećaj; LTR: *eng. Left*, levi temporalni region; RTR: *eng. Right*, desni temporalni region; RCPR: *eng. Right*, desni centroparijetalni region).



Slika 11. Prikaz statistički značajnih efekata uzrasne grupe kod SP beta ritma tokom slušanja reči i nereči

Jednosmerni test ANOVA sa Games-Hovell post-hoc testom je pokazao da ne postoji statistički značajna razlika između 4 podgrupe varijable *grupauzrasnagrupa* za Fp1 elektrodu. Za T5 elektrodu uočene su statistički značajne razlike između podgrupa 1 i 2, odnosno mlađe TP grupe i starije TP grupe ($p=.019$) i podgrupe 3 i 4, odnosno mlađe SJP grupe i starije SJP grupe ($p=.015$). Za Fz elektrodu uočene su statistički značajne razlike između podgrupa 1 i 3, odnosno mlađe dece TP grupe i mlađe dece SJP grupe ($p=.020$), i podgrupe 3 i 4, odnosno mlađe dece SJP grupe i starije dece SJP grupe ($p=.001$). Za statistički značajne elektrode (T5 i Fz), u obe grupe (TP/SJP), SP beta ritma je veća kod starije dece. Statistički značajna razlika SP beta ritma koja se javila između TP i SJP dece na mlađem uzrastu u centralnoj frontalnoj elektrodi (Fz) bila je u korist TP dece (Slika 12). Dodatno, dobijene su značajne razlike za interakcioni član *grupauzrasnagrupa* između podgrupa 2 i 3, odnosno TP grupe uzrasta 5.0-5.11 godina i SJP grupe uzrasta 4.0-4.11 godina, za F8 ($p=.031$), T5 ($p=.001$). i Fz elektrodu ($p=.001$), sa višim vrednostima SP beta ritma u starijoj TP grupi.



Slika 12. Prikaz statističke značajnosti za interakciju grupa*uzrasna grupa kod SP beta ritma tokom slušanja reči i nereči

(TD: *eng. Typical development* tipična populacija; SLI: *eng. Specific Language Impairment*, Specifični jezički poremećaj; crvena strelica: pokazuje značajnu razliku dobijenu samo u Fz elektrodi između dve grupe (TP/SJP) u mlađoj grupi)

4.2.2 Rezultati analize spektralne snage ritmova tokom auditivne obrade dva tipa rečenica

A) Teta frekvencijski opseg

GLMM sa ponovljenim merenjima je ukazao da statistički značajan uticaj na SP teta ritma tokom auditivne obrade 2 tipa rečenica (Tabela 7), ima varijabla grupa, u bilateralno frontalnim (Fp1, Fp2, F8), bilateralno temporalnim (T3, T4, T5 i T6), parijetalnim (P4, Pz) elektrodama i dodatno, u okcipitalnoj (O1) i levo centralnoj (C3) elektrodi. Pokazalo se da varijabla uzrasna grupa ima uticaj na model koji je statistički značajan u bilateralno temporalnim elektrodama (T3 i T4). Za ostale varijable i interakcije nisu pronađene statističke značajnosti. Varijabla tip rečenica, nije imale statistički značajan uticaj na model, ni kao fiksni faktor ni kao interakcija.

Tabela 7. Faktori koji su imali statističku značajnost u GLMM-u kod analize SP teta ritma tokom auditivne obrade dva tipa rečenica

Elektrode	Grupa		Uzrasna grupa	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Fp1	34.88	.001		
Fp2	24.68	.001		
C3	10.94	.001		
P4	7.43	.009		
O1	4.24	.045		
F8	10.79	.002		
T3	22.56	.001	6.02	.016
T4	20.24	.001	8.67	.004
T5	5.33	.023		
T6	16.93	.001		
Pz	5.69	.020		

p: vrednost verovatnoće (statistička značajnost, $p < .005$); *F*: *F* vrednost distribucije.

Za elektrode na kojima grupa ima statistički značajan uticaj na model, jednosmerni test ANOVE je pokazao da su srednje vrednosti SP teta ritma veće u SJP grupi, u poređenju sa TP grupom (videti, prilog 3, Tabela 1).

Za elektrode na kojima je uzrasna grupa imala statistički značajan uticaj na model, jednosmerni test ANOVE je pokazao da su srednje vrednosti SP teta ritma tokom auditivne obrade 2 tipa rečenica, više u starijoj grupi u odnosu na mlađu grupi (mlađa grupa: T3 (M=4.14, SD=2.56), T4 (M=4.84, SD=3.53), starija grupa: T3 (M=4.21, SD=3.32), T4 (M=5.00, SD=3.13).

B) Alfa frekvencijski opseg

GLMM sa ponovljenim merenjima je pokazao da statistički značajan uticaj na SP alfa ritma tokom auditivne obrade 2 tipa rečenica (Tabela 8) ima grupa na elektrodama pozicioniranim bilateralno frontalno (Fp1, Fp2, F7, F8) i temporalno desno (T4). Pored toga, uzrasna grupa je imala uticaj na auditivnu obradu na elektrodama F3, T4 i Fz. Varijabla slušanja različitih rečenica je imala uticaj na model na elektrodi T5. Kada posmatramo interakciju grupa*uzrasna grupa statistički značajan uticaj na model je pronađen na elektrodi T6. Za druge interakcije nije pronađena statistička značajnost.

Tabela 8. Faktori koji su imali statističku značajnost u GLMM–u kod analize SP alfa ritma tokom auditivne obrade dva tipa rečenica

Elektrode	Grupa		Uzrasna grupa		Zadatak slušanja		Grupa*uzrasna grupa	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Fp1	4.34	.001						
Fp2	27.93	.001						
F3			8.55	.004				
F7	9.96	.027						
F8	6.50	.012						
T4	6.83	.010	7.62	.006				
T5					4.44	.039		
T6							4.41	.045
Fz			7.34	.007				

p: vrednost verovatnoće (statistička značajnost, $p < .005$); *F*: *F* vrednost distribucije.

Jednosmerni test ANOVE, za elektrode gde grupa ima statistički značajan uticaj na model, a gde interakcioni član nema statistički značajan uticaj na model, je pokazao da su srednje vrednosti SP alfa ritma veće u SJP grupi, za Fp1: $M=2.79$, $SD=2.71$; Fp2: $M=2.95$, $SD=2.45$; F7: $M=3.27$, $SD=3.57$; F8: $M=2.70$, $SD=1.54$ i T4: $M=2.79$, $SD=2.71$; u poređenju sa TP grupom, za Fp1: $M=1.79$, $SD=1.14$; Fp2: $M=1.88$, $SD=1.11$; F7: $M=2.43$, $SD=1.38$; F8: $M=2.51$, $SD=1.33$ i T4: $M=2.57$, $SD=2.01$).

Za elektrode gde je uzrasna grupa imala statistički značajan uticaj na model i gde interakcioni član nema statistički značajan uticaj na model, jednosmerni test ANOVE je pokazao da su srednje vrednosti SP alfa ritma veće u starijoj grupi nego u mlađoj grupi (mlađa grupa: F3 ($M=2.86$, $SD=1.42$), T4 ($M=2.52$, $SD=1.70$), Fz ($M=2.56$, $SD=1.33$); starija grupa: F3 ($M=2.94$, $SD=1.73$), T4 ($M=2.77$, $SD=1.98$), Fz ($M=2.75$, $SD=1.52$)).

Zadatak slušanja auditivnog stimulusa je statističku značajnost imala na elektrodi T5, gde se pokazalo da je SP alfa ritma veća kod slušanja potvrđnih (T5: $M=4.89$, $SD=3.92$) u poređenju sa slušanjem upitnih rečenica (T5: $M=4.16$, $SD=2.37$).

Za interakciju grupa*uzrasna grupa, u elektrodi T6 gde je dobijena statistički značajna razlika, formirali smo novu varijablu *grupauzrasnagrupa* i sproveli smo jednosmerni test ANOVA sa Games-Hovell Post hoc testom da bismo ispitali statistički značajne razlike između podgrupa varijable *grupauzrasnagrupa*. Zbog povećanog opsega pouzdanosti rezultati pokazuju da ne postoji statistički značajna razlika između 4 podgrupe varijable *grupauzrasnagrupa* na T6 elektrodi.

C) Beta frekvencijski opseg

GLMM sa ponovljenim merenjima je ukazao da statistički značajan uticaj na SP beta ritma tokom auditivne obrade 2 tipa rečenica (Tabela 9), ima grupa u frontalnim regionima bilateralno (Fp1, Fp2, F7, F8), dodatno u elektrodama C3, T6 i Pz. Za varijablu uzrasna grupa, statistički značajan uticaj je pronađen na bilateralno frontalnim (F3, F4, F7), bilateralno temporalnim (T3, T4) i desnostrano, centro-parijetalnim (C4, P4) pozicioniranim elektrodama. Kada posmatramo interakciju grupa*uzrasna grupa, statistička značajnost je pronađena u F8 elektrodi. Za ostale elektrode i interakcije nisu pronađene statističke značajnosti. Varijabla slušanja dva tipa rečenica nije imala statistički značajan uticaj na model, ni kao fiksni faktor ni kao interakcija.

Tabela 9. Faktori koji su imali statističku značajnost u GLMM-u kod analize SP beta ritma tokom auditivne obrade dva tipa rečenica

Elektrode	Grupa		Uzrasna grupa		grupa*uzrasna grupa	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Fp1	16.62	.001				
Fp2	10.83	.002				
F3			9.35	.003		
F4			9.74	.002		
C3	5.86	.017				
C4			5.89	.016		
P4			6.43	.012		
F7	7.68	.020	4.64	.032		
F8			8.74	.004	4.100	.047
T3			8.64	.004		
T4			9.33	.003		
T6	12.58	.001				
Pz	5.28	.032				

p: vrednost verovatnoće (statistička značajnost, $p < .005$); *F*: *F* vrednost distribucije.

Za faktor grupa, deskriptivna statistika jednosmernog testa ANOVE pokazala je da je SP beta ritma veća kod SJP grupe na elektrodama Fp1 (SJP: $M=1.34$, $SD=1.70$; TP: $M=.48$, $SD=.29$), Fp2 (SJP: $M=1.50$, $SD=1.83$; TP: $M=.64$, $SD=.52$), C3 (SJP: $M=.50$, $SD=.36$; TP: $M=.42$, $SD=.27$), F7 (SJP: $M=1.76$, $SD=2.05$; TP: $M=1.08$, $SD=.81$), T6 (SJP: $M=1.08$, $SD=.74$; TP: $M=.84$, $SD=.45$), i Pz (SJP: $M=.54$, $SD=.32$; TP: $M=.49$, $SD=.22$).

Jednosmerni test ANOVE, za elektrode gde uzrasna grupa ima statistički značajan uticaj na model, a gde interakcioni član nema statistički značajan uticaj na model, pokazao je da su srednje vrednosti SP beta ritma veće u starijoj grupi, u poređenju sa mlađom grupom (Starija grupa, F3: M=1.07, SD=.79; F4: M=1.20, SD=.90; C4: M=.56, SD=.34; P4: M=.65, SD=.41; F7: M=1.63, SD=2.09; Mlađa grupa: F3: M=.91, SD=.79), F4: M=.85, SD=.56), C4 : M=.48, SD=.24), P4: M=.53, SD=.22), F7: M=1.21, SD=.81).

Međutim, za temporalno lokalizovane elektrode veća srednja vrednost SP beta ritma je bila u mlađoj grupi: T3 (M=1.04, SD=1.24) i T4 (M=.98, SD=.97), a manje vrednosti u starijoj grupi: T3 (M=.84, SD=1.26) i T4 (M=.84; SD=1.23).

Za interakciju grupa*uzrasna grupa, u elektrodi F8 gde je dobijena statistički značajna razlika, formirali smo novu varijablu *grupauzrasnagrupa* i sproveli smo jednosmerni test ANOVA sa Games-Hovell Post hoc testom da bismo ispitali statistički značajne razlike između podgrupa varijable *grupauzrasnagrupa*. Zbog povećanog opsega pouzdanosti rezultati pokazuju da ne postoji statistički značajna razlika između 4 podgrupe varijable *grupauzrasnagrupa* na F8 elektrodi.

4.2.3 Rezultati analize spektralne snage ritmova tokom auditivne obrade narativnog diskursa

A) Teta frekvencijski opseg

GLMM je ukazao da statistički značajan uticaj na SP teta ritma tokom auditivne obrade narativnog diskursa (Tabela 10), ima varijabla grupa na elektrodama Fp2 i F7; I varijabla uzrasna grupa na elektrodi C3. Interakcija grupa*uzrasna grupa je pokazala statističku značajnost na elektrodi T3. Za ostale elektrode i interakcije nisu pronađene statistički značajne razlike. Zadatak slušanja (narativnog diskursa) nije imala statistički značajan uticaj na model, ni kao fiksni faktor ni kao interakcija.

Tabela 10. Faktori koji su imali statističku značajnost u GLMM-u kod analize SP teta ritma tokom auditivne obrade narativnog diskursa

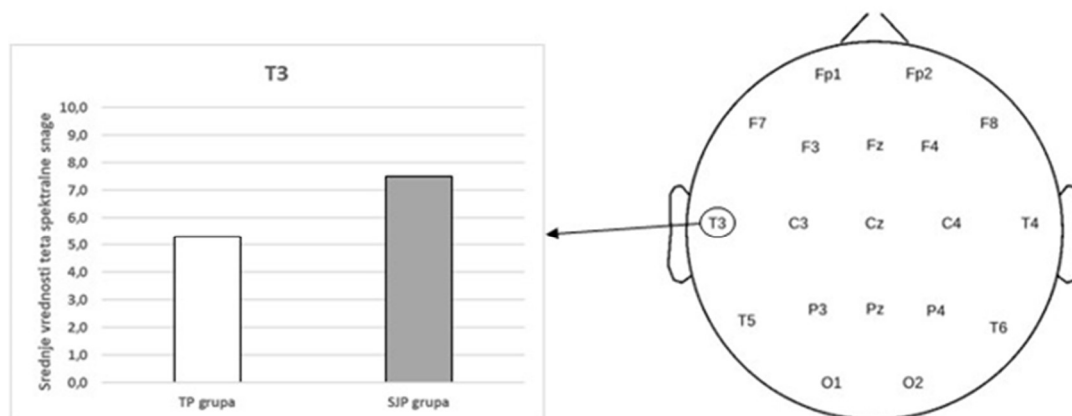
Elektrode	Grupa		Uzrasna grupa		grupa*uzrasna grupa	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Fp2	4.48	.038				
C3			4.95	.029		
F7	4.02	.049				
T3					6.34	.014

p: vrednost verovatnoće (statistička značajnost, $p < .005$); *F*: *F* vrednost distribucije.

Daljom statističkom analizom, za faktore gde je GLMM pokazao statističku značajnost, utvrdili smo da je za faktor grupa, SP teta ritma veća kod SJP grupe (Fp2: M=9.66, SD: 11.36 i F7: M=6.90, SD=3.88) u poređenju sa TP grupom (Fp2: M=6.72, SD=3.55 i F7: M=6.42, SD=3.51).

Tamo gde je uzrasna grupa imala statističku značajnost SP teta ritma je bila veća kod starije grupe (5.0-5.11 godina) u odnosu na mlađu grupu (4.0-4.11 godina) za elektrodu C3 (Starija grupa: C3: M=6.43, SD=7.22; Mlađa grupa: C3: M=5.09, SD=1.68).

Za interakciju grupa*uzrasna grupa, na elektrodi T3 sproveli smo jednosmerni test ANOVA sa Games-Hovell Post hoc testom da bismo ispitali statistički značajne razlike između podgrupa varijable *grupauzrasnagrupa*. Uočene su statistički značajne razlike između podgrupa 2 i 4, odnosno starije TP grupe i starije SJP grupe ($p=.013$). Vrednosti SP teta ritma su bile više kod SJP grupe (M=7.50, SD=2.94) u odnosu na TP grupu (M=5.31, SD=1.65) (Slika 13).



Slika 13. Prikaz statističke značajnosti za interakciju grupa*uzrasna grupa kod SP teta ritma tokom auditivne obrade narativnog diskursa

B) Alfa frekvencijski opseg

GLMM je ukazao da statistički značajan uticaj na SP alfa ritma tokom auditivne obrade narativnog diskursa, jedino ima varijabla uzrasna grupa (Tabela 11) na dve elektrode: lokalizovanim levo centralno (C3) i desno parijetalno (P4). Za ostale elektrode i interakcije nisu pronađene statističke značajnosti. Varijabla grupa, nije imala statistički značajan uticaj na model, ni kao fiksni faktor ni kao interakcija.

Daljom statističkom analizom, otkriveno je da je SP alfa ritma veća kod starije dece (C3: M=4.53, SD=5.25, P4: M=5.06, SD=5.97) u poređenju sa mlađom grupom dece (C3: M=3.45, SD=3.27, P4: M=3.99, SD=4.37).

Tabela 11. Faktori koji su imali statističku značajnost u GLMM-u kod analize SP alfa ritma tokom auditivne obrade narativnog diskursa

Elektrode	Uzrasna grupa		Grupa*uzrasna grupa	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
C3	9.81	.002		
P4	4.03	.048		
T5			4.13	.045

p: vrednost verovatnoće (statistička značajnost, $p < .005$); *F*: *F* vrednost distribucije.

Za interakciju grupa*uzrasna grupa, u elektrodi T5 gde je dobijena statistički značajna razlika, formirali smo novu varijablu *grupauzrasnagrupa* i sproveli smo jednosmerni test ANOVA sa Games-Hovell Post hoc testom da bismo ispitali statistički značajne razlike između podgrupa varijable *grupauzrasnagrupa*. Zbog povećanog opsega pouzdanosti rezultati pokazuju da ne postoji statistički značajna razlika između 4 podgrupe varijable *grupauzrasnagrupa* na T5 elektrodi.

C) Beta frekvencijski opseg

GLMM je ukazao da statistički značajan uticaj na SP beta ritma tokom auditivne obrade narativnog diskursa (Tabela 12), ima varijabla grupa na elektrodi F8, i varijabla uzrasna grupa na bilateralno frontalnim (Fp1, Fp2) elektrodama i na levo temporalnoj (T5) elektrodi. Interakcija grupa*uzrasna grupa je pokazala statističku značajnost na elektrodi F7. Za ostale elektrode i interakcije nisu pronađene statističke značajnosti.

Tabela 12. Faktori koji su imali statističku značajnost u GLMM-u kod analize SP beta ritma tokom auditivne obrade narativnog diskursa

Elektrode	Grupa		Uzrasna grupa		Grupa*uzrasna grupa	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Fp1			7.66	.007		
Fp2			4.28	.042		
F7					4.13	.046
F8	7.45	.008				
T5			10.63	.002		

p: vrednost verovatnoće (statistička značajnost, $p < .005$); *F*: *F* vrednost distribucije.

Deskriptivnom statistikom je utvrđeno da je za faktor grupa SP beta ritma na F8 elektrodi, veća kod TP grupe (TP: M=1.56, SD=.94; SJP: M=1.32, SD=.64).

Jednosmerni test ANOVE, za elektrode gde uzrasna grupa ima statistički značajan uticaj na model, a gde interakcioni član nema statistički značajan uticaj na model, pokazao je da su srednje vrednosti SP beta ritma veće u starijoj grupi, u poređenju sa mlađom grupom: Starija grupa (Fp1: M=2.09, SD=2.06; Fp2: M=1.65, SD=1.18; T5: M=.91, SD=.38), mlađa grupa (Fp1: M=1.45, SD=1.13; Fp2: M=1.60, SD=1.20; T5: M=.83, SD=.32).

Za interakciju grupa*uzrasna grupa otkrivenoj na F7 elektrodi sproveli smo jednosmerni test ANOVA sa Games-Hovell Post hoc testom da bismo ispitali statistički značajne razlike između podgrupa varijable *grupauzrasnagrupa*. Zbog povećanog opsega pouzdanosti rezultati pokazuju da ne postoji statistički značajna razlika između 4 podgrupe varijable *grupauzrasnagrupa* na F7 elektrodi.

4.3 Rezultati analize fraktalne dimenzije

4.3.1 Rezultati analize fraktalne dimenzije tokom auditivne obrade reči i nereči

GLMM sa ponovljenim merenjima je ukazao da statistički značajan uticaj na fraktalnu dimenziju tokom auditivne obrade reči i nereči (Tabela 13), ima varijabla grupa na desno pozicioniranim elektrodama, frontalno (F4), temporalno (T4) i parijetalno (P4). Varijabla uzrasna grupa je pokazala statistički značajan uticaj na model na 16 elektroda, i to bilateralno frontalno (Fp1, Fp2, F3, F4, F8, Fz), bilateralno temporalno (T3, T4, T6), bilateralno centro-parijetalno (C3, Cz, C4, P4, Pz) i bilateralno okcipitalno (O1, O2). Zadatak slušanja auditivnih stimulusa (slušanje reči/nereči), nije imala statistički značajan uticaj na model, ni kao fiksni faktor ni kao interakcija.

Deskriptivnom statistikom u jednosmernom testu ANOVE, otkrili smo da je za faktor grupa, veća FD vrednost bila kod TP grupe (F4: M=1.34, SD=.08; P4: M=1.26, SD=.05; T4: M=1.33, SD=.08) u odnosu na SJP grupu (F4: M=1.32, SD=.07; P4: M=1.25, SD=.07; T4: M=1.31, SD=.06).

Faktor uzrasna grupa, koji je imao statistički značajan uticaj na GLMM, statističkom analizom pokazuje da je FD veća u starijoj uzrasnoj grupi (5.0-5.11 godina) u odnosu na mlađu uzrasnu grupu (4.0-4.11 godina) za sve statistički značajne elektrode (videti, Prilog 4, Tabela 1).

Tabela 13. Faktori koji su imali statističku značajnost u GLMM-u kod analize fraktalne dimenzije tokom auditivne obrade reči i nereči

Elektrode	Grupa		Uzrasna grupa	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Fp1			40.42	.001
Fp2			119.17	.001
F3			18.15	.001
F4	5.11	.025	10.02	.002
C3			42.49	.001
C4			38.77	.001
P4	4.50	.035	6.90	.009
O1			14.07	.001
O2			13.86	.001
F8			16.05	.001
T3			4.61	.033
T4	7.35	.007	58.02	.001
T6			28.94	.001
Fz			13.96	.001
Cz			6.73	.011
Pz			8.48	.004

p: vrednost verovatnoće (statistička značajnost, $p < .005$); *F*: *F* vrednost distribucije.

4.3.2 Rezultati analize fraktalne dimenzije tokom auditivne obrade dva tipa rečenica

GLMM sa ponovljenim merenjima je ukazao da statistički značajan uticaj na fraktalnu dimenziju tokom auditivne obrade 2 tipa rečenica (Tabela 14) u velikom broju imaju faktori grupa i uzrasna grupa. Za faktor grupa statistička značajnost je dobijena kod svih 19 elektroda. Za varijablu uzrasna grupa statistička značajnost je otkrivena kod 15 elektroda. Varijabla slušanja različitih tipova rečenica, nije imala statistički značajan uticaj na model, ni kao fiksni faktor ni kao interakcija.

Tabela 14. Faktori koji su imali statističku značajnost u GLMM-u kod analize fraktalne dimenzije tokom auditivne obrade rečenica

Elektrode	Grupa		Uzrasna grupa	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Fp1	82.35	.001	6.21	.014
Fp2	68.18	.001	6.10	.015
F3	83.42	.001	5.78	.018
F4	73.48	.001	7.36	.008
C3	82.76	.001	5.04	.026
C4	81.69	.001		
P3	74.39	.001	5.74	.018
P4	67.38	.001	6.94	.009
O1	73.65	.001	6.41	.012
O2	83.91	.001	4.44	.037
F7	121.20	.001	10.82	.001
F8	81.78	.001	9.65	.002
T3	91.04	.001	5.16	.024
T4	77.98	.001	7.12	.008
T5	90.33	.001	5.32	.022
T6	58.65	.001	8.48	.004
Fz	72.13	.001		
Cz	53.81	.001		
Pz	55.74	.001		

p: vrednost verovatnoće (statistička značajnost, $p < .005$); *F*: *F* vrednost distribucije.

U nastavku, grupne razlike dobijene u GLMM-u analizirali smo jednosmernim testom ANOVE i dobili da je SJP grupa imala veće FD vrednosti u odnosu na TP grupu kod svih 19 elektroda (videti, Prilog 4, Tabela 2).

Faktor uzrasna grupa, koji je imao statistički značajan uticaj na GLMM, statističkom analizom pokazuje da je FD veća u mlađoj uzrasnoj grupi (4.0-4.11 godina) u odnosu na stariju uzrasnu grupu (5.0-5.11 godina) za sve statistički značajne elektrode (videti, Prilog 4, Tabela 3).

4.3.3 Rezultati analize fraktalne dimenzije tokom auditivne obrade narativnog diskursa

GLMM je ukazao da statistički značajan uticaj na fraktalnu dimenziju tokom auditivne obrade narativnog diskursa (Tabela 15) ima faktor uzrasna grupa na elektrodama pozicioniranim fronto-parijetalno (F3, F4, P4). Interakcija grupa*uzrasna grupa je takođe imala statističku značajnost na elektrodi Fp1. Varijabla grupa nije imala statistički značajan uticaj na model kao fiksni faktor.

Tabela 15. Faktori koji su imali statističku značajnost u GLMM-u kod analize fraktalne dimenzije tokom auditivne obrade narativnog diskursa

Elektrode	Uzrasna grupa		Grupa*uzrasna grupa	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Fp1			5.41	.023
F3	10.45	.002		
F4	10.02	.002		
P4	4.69	.033		

p: vrednost verovatnoće (statistička značajnost, $p < .005$); *F*: *F* vrednost distribucije.

Za faktor uzrasna grupa rezultati deskriptivne statistike dobijene jednosmernim testom ANOVE, pokazuju da je FD veća kod starije grupe (F3: $M=1.62$, $SD=.14$; F4: $M=1.62$, $SD=.15$; P4: $M=1.50$, $SD=.15$) u poređenju sa mlađom grupom (F3: $M=1.60$, $SD=.14$; F4: $M=1.58$, $SD=.11$; P4: $M=1.47$, $SD=.13$).

Za interakciju grupa*uzrasna grupa otkrivenoj na Fp1 elektrodi sproveli smo jednosmerni test ANOVA sa Games-Hovell Post hoc testom da bismo ispitali statistički značajne razlike između podgrupa varijable *grupauzrasnagrupa*. Zbog povećanog opsega pouzdanosti rezultati pokazuju da ne postoji statistički značajna razlika između 4 podgrupe varijable *grupauzrasnagrupa* na Fp1 elektrodi.

4.4 Rezultati analize entropije

4.4.1 Rezultati analize entropije tokom auditivne obrade reči i nereči

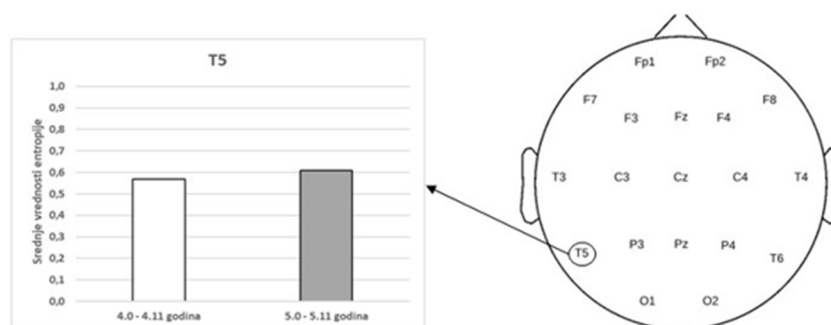
GLMM sa ponovljenim merenjima je ukazao da statistički značajan uticaj na entropiju tokom auditivne obrade reči i nereči (Tabela 16), ima varijabla grupa najviše u frontalnim regionima bilateralno (Fp1, Fp2, F3, F4, Fz), u bilateralno centralnim (C3, C4, Cz) i na O1 elektrodi. Interakcija grupa*uzrasna grupa je pokazala statističku značajnost na elektrodama F8, T5 i Fz elektrodi. Za ostale elektrode i interakcije nisu pronađene statističke značajnosti. Varijabla slušanja reči i nereči nije imala statistički značajan uticaj na model, ni kao fiksni faktor ni kao interakcija. Varijabla grupa nije imala statistički značajan uticaj na model kao fiksni faktor.

Tabela 16. Faktori koji su imali statističku značajnost u GLMM-u kod analize entropije tokom auditivne obrade reči i nereči

Elektrode	Uzrasna grupa		Grupa*uzrasna grupa	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Fp1	18.09	.001		
Fp2	7.2	.008		
F3	4.85	.029		
F4	4.58	.034		
C3	5.30	.025		
C4	15.80	.001		
O1	4.67	.032		
F8			6.72	.011
T5			2.10	.027
Fz	8.69	.004		
Cz	8.31	.005	11.35	.001

p: vrednost verovatnoće (statistička značajnost, $p < .005$); *F*: *F* vrednost distribucije.

Daljom statistikom, za faktor uzrasna grupa, rezultati pokazuju da je vrednost entropije veća kod starije grupe u poređenju sa mlađom grupom (videti prilog 5, Tabela 1).



Slika 14. Prikaz statističke značajnosti za interakciju grupa*uzrasna grupa kod vrednosti entropije tokom auditivne obrade reči i nereči

Za interakciju grupa*uzrasna grupa, sproveli smo jednosmerni test ANOVA sa *Games-Howell Post hoc* testom da bismo ispitali statistički značajne razlike između podgrupa varijable *grupauzrasnagrupa*. Zbog povećanog opsega pouzdanosti rezultati ukazuju da ne postoji statistički značajna razlika između 4 podgrupe varijable *grupauzrasnagrupa* na F8, i Cz elektrodama. Za T5

elektrodu (Slika 14) uočene su statistički značajne razlike između podgrupa 1 i 2, odnosno mlađe TP grupe i starije TP grupe ($p=.006$) sa višom SE kod kod starije TP grupe ($M=.61$, $SD=.06$) u odnosu na mlađu TP grupu ($M=.57$, $SD=.05$).

4.4.2 Rezultati analize entropije tokom auditivne obrade dva tipa rečenica

GLMM sa ponovljenim merenjima je ukazao da statistički značajan uticaj na entropiju tokom auditivne obrade 2 tipa rečenica (Tabela 17) imaju faktori grupa, uzrasna grupa i interakcija grupa*uzrasna grupa.

Tabela 17. Faktori koji su imali statističku značajnost u GLMM-u kod analize entropije tokom auditivne obrade dva tipa rečenica

Elektrode	Grupa		Uzrasna grupa		Grupa*uzrasna grupa	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Fp1	98.28	.001	4.52	.035		
Fp2	93.28	.001	3.99	.048		
F3	96.02	.001				
F4	92.23	.001				
C3	105.88	.001				
C4	131.23	.001				
P3	93.16	.001	3.99	.047		
P4	84.25	.001				
O1	107.08	.001	4.78	.030		
O2	95.09	.001				
F7	122.85	.001				
F8	115.05	.001			6.20	.015
T3	127.83	.001				
T4	122.97	.001				
T5	116.80	.001				
T6	77.88	.001	4.46	.036		
Fz	97.05	.001				
Cz	99.84	.001			5.00	.029
Pz	89.73	.001	4.11	.044		

p: vrednost verovatnoće (statistička značajnost, $p<.005$); *F*: *F* vrednost distribucije.

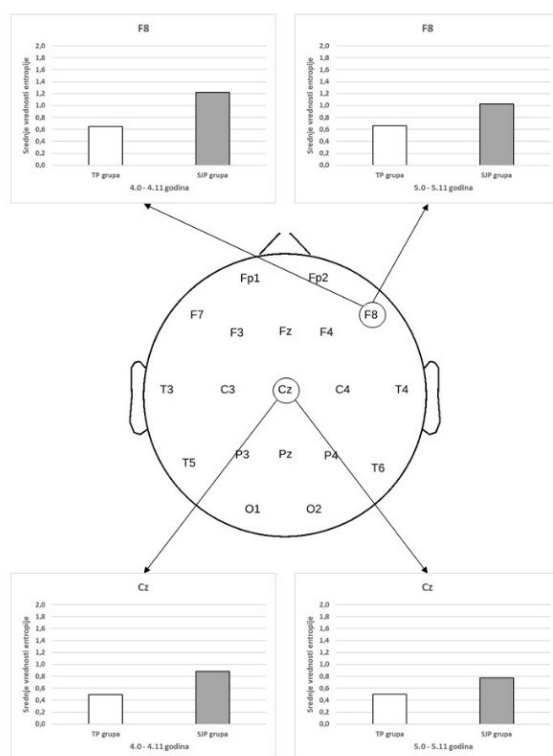
Za faktor grupa statistička značajnost je dobijena kod svih 19 elektroda. Za varijablu uzrasna grupa statistička značajnost je otkrivena kod bilateralno frontalnih (Fp1, Fp2), parijeto-okcipitalnih

(P3, Pz, O1) elektroda i levo temporalne elektrode (T6). Varijabla slušanja različitih tipova rečenica, nije imala statistički značajan uticaj na model, ni kao fiksni faktor ni kao interakcija.

U nastavku, grupne razlike koje su male statistički značajan uticaj na GLMM analizirali smo jednosmernim testom ANOVE i dobili da je SJP grupa imala veće SE vrednosti u odnosu na TP grupu kod svih 19 elektroda (videti, Prilog 5, Tabela 2).

Faktor uzrasna grupa, koji je imao statistički značajan uticaj na GLMM, pokazuje da je SE vrednost veća u mlađoj uzrasnoj grupi (4.0-4.11 godina) u odnosu na stariju uzrasnu grupu (5.0-5.11 godina) za sve statistički značajne elektrode (videti, Prilog 5, Tabela 3).

Za interakciju grupa*uzrasna grupa, sprovedli smo jednosmerni test ANOVA sa *Games-Howell Post hoc* testom da bismo ispitali statistički značajne razlike između podgrupa varijable *grupauzrasnagrupa*. Za F8 elektrodu uočene su statistički značajne razlike između podgrupa 1 i 3, odnosno mlađe TP grupe i mlađe SJP grupe ($p=.001$), i kod podgrupa 2 i 4 odnosno starije TP grupe i starije SJP grupe ($p=.001$). Za Cz elektrodu, takođe, uočene su statistički značajne razlike između podgrupa 1 i 3, odnosno mlađe TP grupe i mlađe SJP grupe ($p=.001$), i kod podgrupa 2 i 4 odnosno starije TP grupe i starije SJP grupe ($p=.001$).



Slika 15. Prikaz statističke značajnosti za interakciju grupa*uzrasna grupa kod vrednosti entropije tokom auditivne obrade dva tipa rečenica

Rezultati *post hoc* analize pokazuju da je u obe uzrasne grupe (4.0-4.11/5.0/5.11) SE vrednosti tokom auditivne obrade dva tipa rečenica viša kod SJP grupe u odnosu na TP grupu (Slika 15) (mlađa grupa za F8 (SJP: $M=1.22$, $SD=.41$; TP: $M=.65$, $SD=.13$) i Cz (SJP: $M=.88$, $SD=.34$; TP: $M=.49$,

SD=.09); Starija grupa za F8 (SJP: M=1.03, SD=.39; TP: M=.66, SD=.10) i Cz (SJP: M=.77, SD=.28; TP: M=.50, SD=.09).

4.4.3 Rezultati analize entropije tokom auditivne obrade narativnog diskursa

GLMM je ukazao da statistički značajan uticaj na entropiju tokom auditivne obrade narativnog diskursa jedino ima interakcija grupa*uzrasna grupa na dve elektrode (F4 i C4), prikazanoj u tabeli 18. Varijabla grupa i uzrasna grupa nisu imale statistički značajan uticaj na model kao fiksni faktori, dok zadatak slušanja nije imao statistički značajan uticaj na model, ni kao fiksni faktor ni kao interakcija.

Tabela 18. Faktori koji su imali statističku značajnost u GLMM-u kod analize entropije tokom auditivne obrade narativnog diskursa

Elektrode	Grupa*uzrasna grupa	
	<i>F</i>	<i>p</i>
F4	4.29	.042
C4	7.48	.008

p: vrednost verovatnoće (statistička značajnost, $p < .005$); *F*: *F* vrednost distribucije.

Za interakciju grupa*uzrasna grupa, sproveli smo jednosmerni test ANOVA sa *Games-Howell Post hoc* testom da bismo ispitali statistički značajne razlike između podgrupa varijable grupauzrasnagrupa. Zbog povećanog opsega pouzdanosti rezultati ukazuju da ne postoji statistički značajna razlika između 4 podgrupe varijable grupauzrasnagrupa na F4 i C4 elektrodama.

4.5 Zbirni prikaz statistički značajnih korelata EEG signala

U tabeli 19 dat je zbirni prikaz statistički značajnih korelata EEG signala nastalih tokom obrade auditivnih stimulusa reči i nereči. Uočava se da na skoro sve posmatranim parametrima mirno stanje ima statistički značajan uticaj na GLMM odnosno da vrednosti posmatranih parametara zavise od vrednosti u mirnom stanju na skoro svim elektrodama (18 do 19 elektroda). Izuzetak je SP beta ritma, gde je mirno stanje pokazalo statističku značajnost na 14 elektroda. U odnosu na druge EEG parametre, uzrast se kod analize entropije javlja kao dominantna kovarijabla (na 18 elektroda), koja ima statistički značajan uticaj na model. Kod SP teta ritma kovarijabla uzrast nije pokazala statistički značajan uticaj na model. *Uzrasna grupa* se kod analize FD (na 16 elektroda) i analize SE (na 9 elektroda) javlja kao kovarijabla koja ima statistički značajan uticaj na model. Kod analize SP svih ritmova (teta, alfa, beta) veći je uticaj interakcije *Grupa*Uzrasna grupa* na GLMM nego kod analize entropije. Kod analize FD-a nije primećena statistička značajnost u interakciji *Grupa*Uzrasna grupa*.

Tabela 19. Zbirni prikaz statistički značajnih korelata EEG signala nastalih tokom obrade auditivnih stimulusa reči i nereči

E	θ				α					β				FD				SE					
	M	UG	ZS	G*UG	M	G	U	UG	G*UG	M	G	U	UG	G*UG	M	G	U	UG	M	U	UG	G*UG	
Fp1																							
Fp2																							
F3																							
F4																							
C3																							
C4																							
P3																							
P4																							
O1																							
O2																							
F7																							
F8																							
T3																							
T4																							
T5																							
T6																							
Fz																							
Cz																							
Pz																							
Zbir	18	1	1	6	18	1	5	7	6	14	2	5	2	4	19	3	7	16	19	18	9	3	

E – elektroda; M–mirno stanje; G – Grupa; U- Uzrast; UG - Uzrasna grupa; G*UG - Grupa* Uzrasna grupa; ZS - Zadatak slušanja; θ-teta ritam; α-alfa ritam; β-beta ritam; FD-fraktalna dimenzija; SE- entropija.

Tabela 20. Zbirni prikaz statistički značajnih korelata EEG signala nastalih tokom obrade auditivnih stimulusa dva tipa rečenica

E	θ				α						β				FD				SE						
	M	G	U	UG	M	G	U	UG	ZS	G*UG	M	G	U	UG	G*UG	M	G	U	UG	M	G	U	UG	G*UG	
Fp1																									
Fp2																									
F3																									
F4																									
C3																									
C4																									
P3																									
P4																									
O1																									
O2																									
F7																									
F8																									
T3																									
T4																									
T5																									
T6																									
Fz																									
Cz																									
Pz																									
Zbir	17	11	16	2	19	5	16	3	1	1	14	6	14	8	1	19	19	19	15	16	19	19	6	2	

E – elektroda; M–mirno stanje; G – Grupa; U- Uzrast; UG - Uzrasna grupa; G*UG - Grupa* Uzrasna grupa; ZS - Zadatak slušanja; θ-teta ritam; α-alfa ritam; β-beta ritam; FD-fraktalna dimenzija; SE- entropija.

U tabeli 20 dat je zbirni prikaz statistički značajnih korelata EEG signala nastalih tokom obrade auditivnih stimulusa 2 tipa rečenica. Mnogo veći obrazac raznolikosti tokom obrade ovih

stimulusa je prisutan u odnosu na obradu reči i nereči. Kao i kod rezultata analize stimulusa reči i nereči, uočava se da na skoro sve posmatranim parametrima mirno stanje ima statistički značajan uticaj na GLMM. U odnosu na druge EEG parametre, uzrast i grupa se kod FD i SE analize javljaju kao dominantne kovarijable (na svih 19 elektroda), koje imaju statistički značajan uticaj na model. Uzrasna grupa je takođe pokazala statistički značajan uticaj na model na 15 elektroda kod FD analize. Interakcija *Grupa*Uzrasna* grupa nije imala statistički značajan uticaj na model kod analize SP teta ritma i FD analize, dok je kod ostalih EEG korelata imala statističku značajnost na malom broju elektroda (jednu ili dve elektrode).

U tabeli 21 dat je zbirni prikaz statistički značajnih korelata EEG signala nastalih tokom obrade auditivnog stimulusa narativni diskurs. Broj statistički značajnih kovarijabli u EEG korelatima koje su imale uticaj na GLMM je manji u odnosu na prethodne ispitivane auditivne stimulse. Kovarijable *mirno stanje* i *uzrast* su takođe imale statistički značajan uticaj na model, otkrivenom na velikom broju elektroda kod svih ispitivanih EEG parametara. Izuzetak je kovarijabla *mirno stanje* koja ni u jednoj elektrodi nije pokazala statistički značajan uticaj na model kod SE analize.

Tabela 21. Zbirni prikaz statistički značajnih korelata EEG signala nastalih tokom obrade auditivnog stimulusa narativni diskurs

E	θ					α			β				FD				SE			
	M	G	U	UG	G*	M	UG	UG	M	G	U	UG	UG	M	U	UG	UG	U	G*	
Fp1																				
Fp2																				
F3																				
F4																				
C3																				
C4																				
P3																				
P4																				
O1																				
O2																				
F7																				
F8																				
T3																				
T4																				
T5																				
T6																				
Fz																				
Cz																				
Pz																				
Zbir	17	2	13	1	1	18	17	2	1	17	1	18	3	1	17	19	3	1	12	2

E – elektroda; *M*–mirno stanje; *G* – Grupa; *U*- Uzrast; *UG* - Uzrasna grupa; *G*UG* - Grupa* Uzrasna grupa; *ZS* - Zadatak slušanja; *θ*-teta ritam; *α*-alfa ritam; *β*-beta ritam; *FD*-fraktalna dimenzija; *SE*- entropija.

4.6 Rezultati analize koherencije

Rezultati analize koherencije smo predstavili u vidu brojčane učestalosti i procentualne zastupljenosti određenih parova elektroda koji su imali indeks koherentnosti veći od 0.8. Za svaki set ispitivanih auditivnih stimulusa predstavili smo najčešće koherentne veze.

4.6.1 Rezultati analize koherencije u mirnom stanju

Tokom stanja mirovanja, vrednosti koherencije su bile umerene u različitim regionima mozga, što ukazuje na osnovni nivo sinhronizacije (videti, Prilog 6, Tabela 1).

Za frekvencijski opseg teta ritma, tri najčešća para elektroda sa visokim indeksom koherentnosti u mirnom stanju kod obe ispitivane grupe bila su Fp1-F3, Fp1-Fp2 i Fp2-F4. Kod TP dece najveći broj koherencija bio je levostrano frontalno (Fp1-F3), dok je kod SJP grupe najčešća aktivacija bila desnostrano frontalno (Fp2-F4).

Za frekvencijski opseg alfa, tri najčešće koherentne veze takođe su bile lokalizovane bilateralno frontalno za parove elektroda Fp1-Fp2, Fp1-F3 i Fp2-F4. Kod TP dece procentualno je najveći broj veza koherencije bio u Fp1-Fp2, dok je kod SJP grupe bio u Fp2-F4.

Za frekvencijski opseg beta ritma, 20% ispitanika imalo je koherenciju na paru elektroda levostrano frontalno Fp1-F3, dok je kod SJP grupe 16% ispitanika imalo koherenciju desnostrano frontalno Fp2-F4.

4.6.2 Rezultati analize koherencije tokom auditivne obrade reči i nereči

Rezultati analize koherencije ukazuju da tokom obrade auditivnih stimulusa reči, a i nereči (Slika 16) postoji veliki broj visokih vrednosti koherentnosti, uključujući i različite regione mozga kod sva tri ritma.

Tokom auditivne obrade reči u obe ispitivane grupe (TP/SJP) prvih 5 procentualno najviše zastupljenih koherentnih veza je kod sva tri ritma uključivao frontalne i temporalne regione bilateralno, i jednu parijeto-okcipitalnu vezu (P4-O2) kod TP grupe u frekvencijskom opsegu beta ritma. Broj koherentnih veza je opadao sa povećanjem frekventnog opsega tokom auditivne obrade reči u obe ispitivane grupe (TP/SJP) (videti, Prilog 6, Tabela 2).

Za frekvencijski opseg teta ritma, tokom auditivne obrade reči, visok procenat koherentnosti je bio kod TP grupe u paru Fp1-Fp2, Fp1-F3 dok je kod SJP grupe procenat koherentnih veza veći, a najizraženiji je u parovima elektroda Fp1-F3 i Fp2-F4.

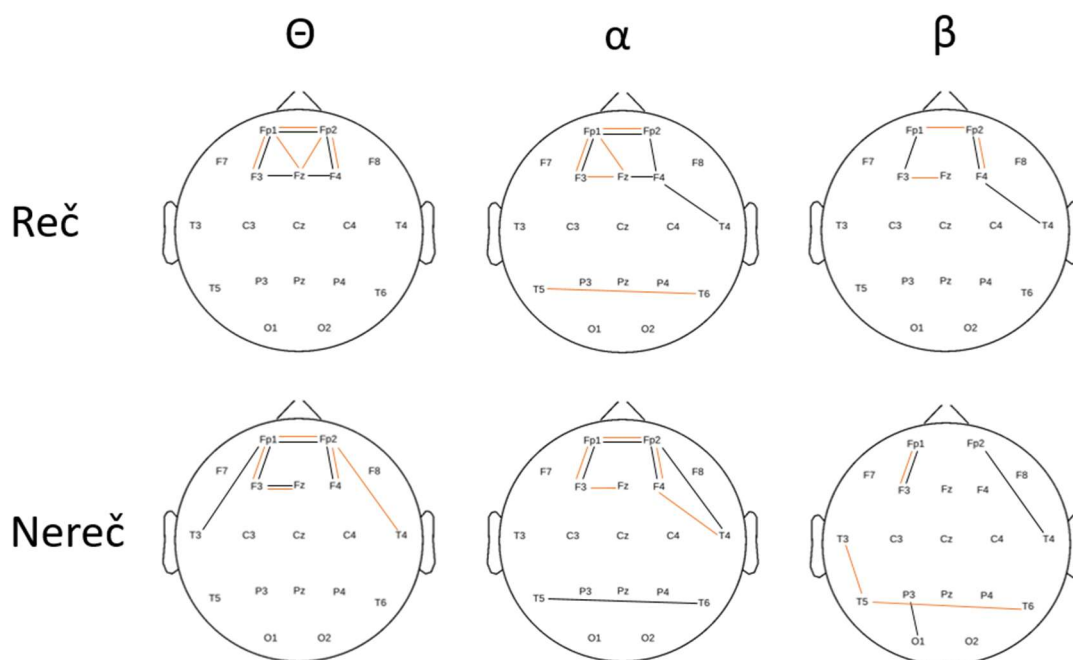
Za frekvencijski opseg alfa ritma tokom auditivne obrade reči, 60% ispitanika iz obe grupe (SJP/TP) je imalo visok procenat koherentnosti na paru elektroda Fp1-Fp2. Ostale najizraženije koherencijske veze su uključivale Fp1-F3, Fp2-F4. Odvojeno izražena koherencijska veza je primećena i kod para F4-T4 kod TP grupe i para T5-T6 kod SJP grupe.

Za frekvencijski opseg beta ritma tokom auditivne obrade reči prisutan je mnogo manji broj koherentnih veza; 30 % veza je bilo kod TP grupe za elektrode Fp1-F3, a kod SJP grupe, 32%, za elektode F3-Fz.

Tokom auditivne obrade nereči prvih 5 procentualno najviše zastupljenih koherentnih veza je kod sva tri ritma uključivao isključivo frontalne i temporalne regione bilateralno (videti, Prilog 6, Tabela 3).

Za sva tri frekvencijska opsega (teta, alfa, beta) sa različitom procentualnom zastupljenošću, kod TP grupe, najveći broj visokih vrednosti koherencije je imalo par elektroda levostrano frontalno Fp1-F3. Kod SJP grupe je ovaj par elektroda takođe imao visok procenat zastupljenosti u teta i beta ritmu, dok je u alfa ritmu 58% imala koherentna veza Fp1-Fp2. Na slici 16 prikazano je prvih 5 najčešće zastupljenih veza.

Dodatno kod teta ritma, tokom auditivne obrade nereči u TP grupi koherencija je bila prisutna i u paru levo lateralizovano Fp1-T3, a kod SJP grupe desno lateralizovano Fp2-T4. Kod alfa ritma, tokom auditivne obrade nereči, odvojeno, koherencija je uočena na paru Fp2-T4 kod TP grupe, i na paru F4-T4 kod SJP grupe. Takođe, kod beta ritma tokom auditivne obrade nereči pored koherencija u frontalnim i temporalnim regionima, kod TP grupe primećena je i koherencija levo lateralizovana na paru P3-O1, a kod SJP grupe na paru T3-T5.



Slika 16. Najzastupljenije koherencije kod auditivne obrade reči i nereči

Crna linija-koherentne veze TP grupe, crvena linija-koherentne veze SJP grupe; Θ-teta ritam; α-alfa ritam; β-beta ritam;

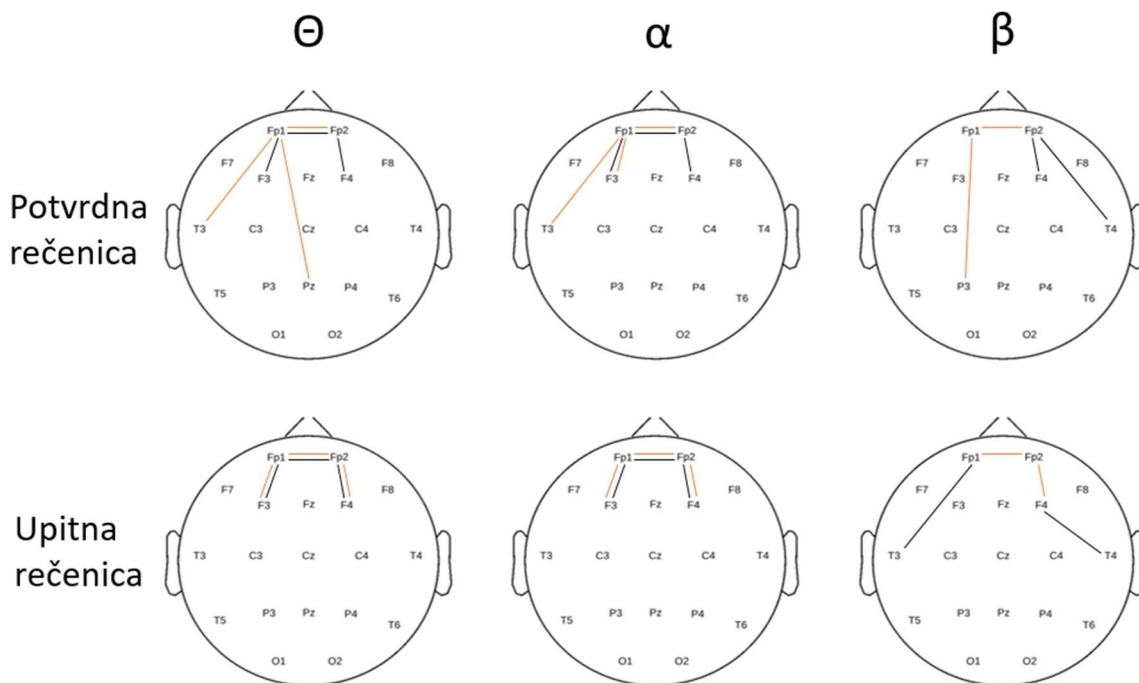
4.6.3 Rezultati analize koherencije tokom auditivne obrade dva tipa rečenica

Rezultati analize koherencije tokom auditivne obrade dva tipa rečenica takođe ukazuju na veći broj koherencija u frontalnom i temporalnom regionu (Slika 17).

Kod auditivne obrade potvrdnih rečenica najveći broj koherentnih veza je bio za teta ritam, dok je za beta ritam bio najmanji (videti, prilog 6, Tabela 4). U frekventijskom opsegu teta i alfa ritma tokom auditivne obrade potvrdnih rečenica, koherentna veza Fp1-F3 je imala najveću zastupljenost u TP grupi (teta ritam 22%; alfa ritam 18%), a u SJP grupi par elektroda Fp1-Fp2 (teta ritam 18%, alfa ritam 8%).

Za frekventijski opseg beta ritma tokom auditivne obrade potvrdnih rečenica, kod TP dece koherencija je bila desnostrano u elektrodama Fp2-F4, a kod SJP dece bilateralno, Fp1-Fp2.

Kod auditivne obrade upitnih rečenica, zastupljenost je takođe bila umerena i slična za sva tri ritma (teta, alfa, beta), a uz to, mnogo manji broj koherencija je pronađen u frekventijskom opsegu beta ritma (videti, prilog 6, Tabela 5). U sva tri frekventijska opsega (teta, alfa, beta), tokom auditivne obrade upitnih rečenica, kod TP grupe, najveći broj visokih vrednosti koherencije je bio za par elektroda levostrano frontalno Fp1-F3. Kod SJP grupe, opet, u sva tri frekventijska opsega (teta, alfa, beta) tokom auditivne obrade upitnih rečenica, najveći broj visokih vrednosti koherencije je bio za par elektroda lokalizovanih prefrontalno bilateralno Fp1-Fp2.



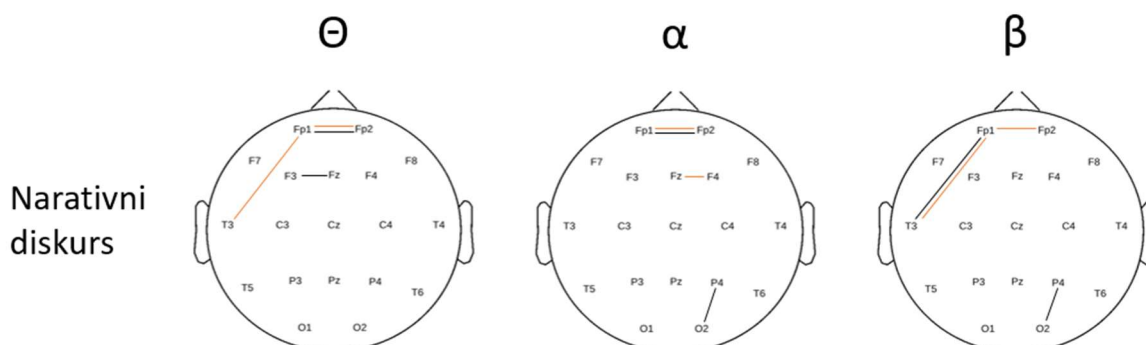
Slika 17. Najzastupljenije koherencije kod auditivne obrade dva tipa rečenica

Crna linija-koherentne veze TP grupe, crvena linija-koherentne veze SJP grupe; Θ-teta ritam; α-alfa ritam; β-beta ritam;

4.6.4 Rezultati analize koherencije tokom auditivne obrade narativnog diskursa

Rezultati koherencije tokom auditivne obrade narativnog diskursa za sva tri ritma (teta, alfa, beta) ukazuju na najmanju količina koherentnosti (videti, prilog 6, Tabela 6). Koherencije između elektroda lokalizovanih prefrontalno (Fp1-Fp2) su bile izraženo prisutne u frekventijskim opsezima teta i alfa ritma tokom auditivne obrade narativnog diskursa i kod obe grupe ispitanika (TP/SJP). Razlike u koherencijskim vezama tokom auditivne obrade narativnog diskursa su uočene: za frekventijski opseg teta ritma na paru elektroda F3-Fz kod TP grupe, i na paru elektroda Fp1-T3, kod

SJP grupe; za frekvencijski opseg alfa ritma, na paru elektroda P4-O2 kod TP grupe, i na paru elektroda F4-Fz kod SJP grupe. Koherencije u frekvencijskom opsegu beta ritma tokom auditivne obrade narativnog diskursa su kod obe grupe (TP/SJP) uočene na paru elektroda Fp1-T3, a odvojeno na paru elektroda P4-O2 kod TP grupe i na paru elektroda Fp1-Fp2, kod SJP grupe (Slika 18).



Slika 18. Najzastupljenije koherencije kod auditivne obrade narativnog diskursa

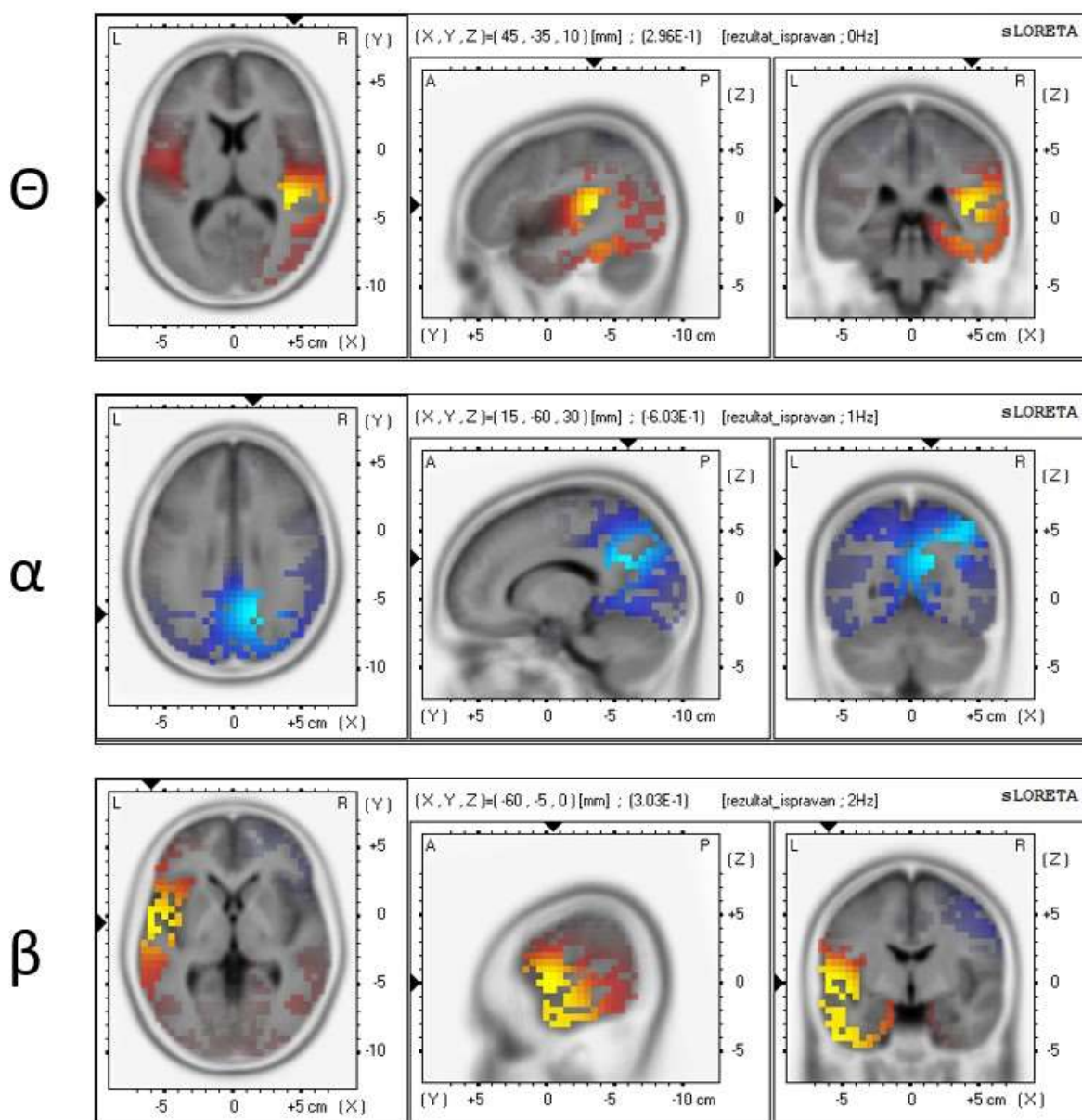
*Crna linija-koherentne veze TP grupe, crvena linija-koherentne veze SJP grupe;
 Θ -teta ritam; α -alfa ritam; β -beta ritam;*

4.7 Rezultati analize dipola

Lokalizacija izvora EEG signala primenom softvera sLORETA, može da pruži korisne informacije sa 19 kanala, ali postoje ograničenja u prostornoj rezoluciji, pokrivenosti i tačnosti zbog malog broja kanala, pa dobijene rezultate treba pre posmatrati kao indikatore nego rezultate na osnovu kojih se mogu donositi pouzdani zaključci.

Izvor lokalizacije je, za auditivne stimulse merene u našoj studiji, pokazao značajne tačke najviše u frontalnom i temporalnom režnju.

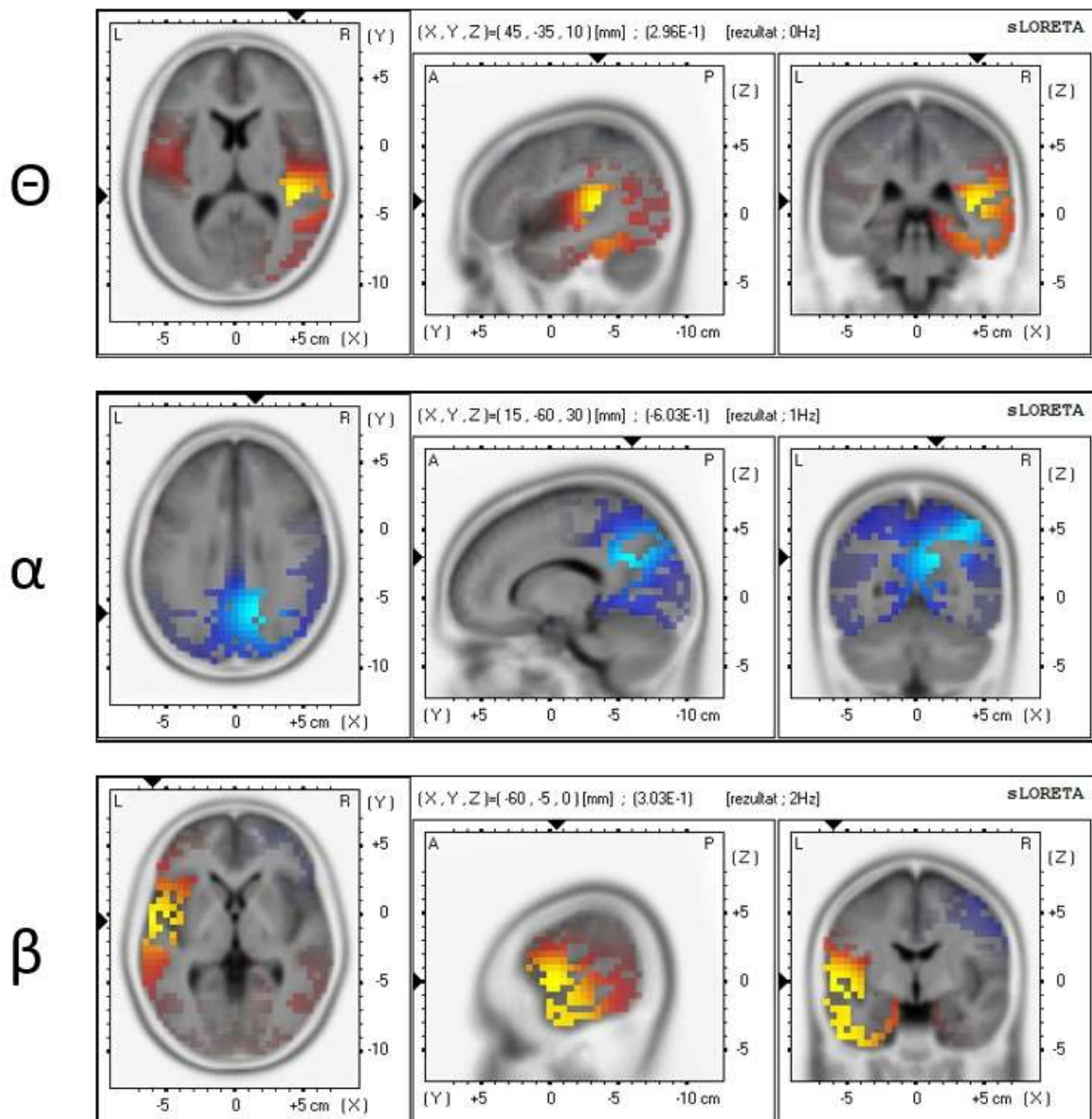
Lokalizacija izvora EEG signala tokom auditivne obrade stimulusa reč, pokazuje povećane aktivnost teta i beta ritma ali smanjenu aktivnost alfa ritma u SJP grupi u poređenju sa TP grupom, (Slika 19). Izvor lokalizacije teta ritma je pronađen u superiornom temporalnom girusu (BA 41; MNI koordinate: $x=45, y=-35, z=10$). Izvor lokalizacije beta ritma je pronađen takođe u superiornom temporalnom girusu (BA 22; MNI koordinate: $x=-60, y=-5, z=0$). Izvor lokalizacije alfa ritma je zabeleženo u parijetalnom režnju, prekuneusu (BA 41; MNI koordinate: $x=7, y=-53, z=30$) i kretalo se ka okcipitalnom režnju, kuneusu (BA 7; MNI koordinate: $x=8, y=-68, z=30$).



Slika 19. Lokalizacija izvora EEG signala kod auditivne obrade reči

Θ-teta ritam; α-alfa ritam; β-beta ritam;

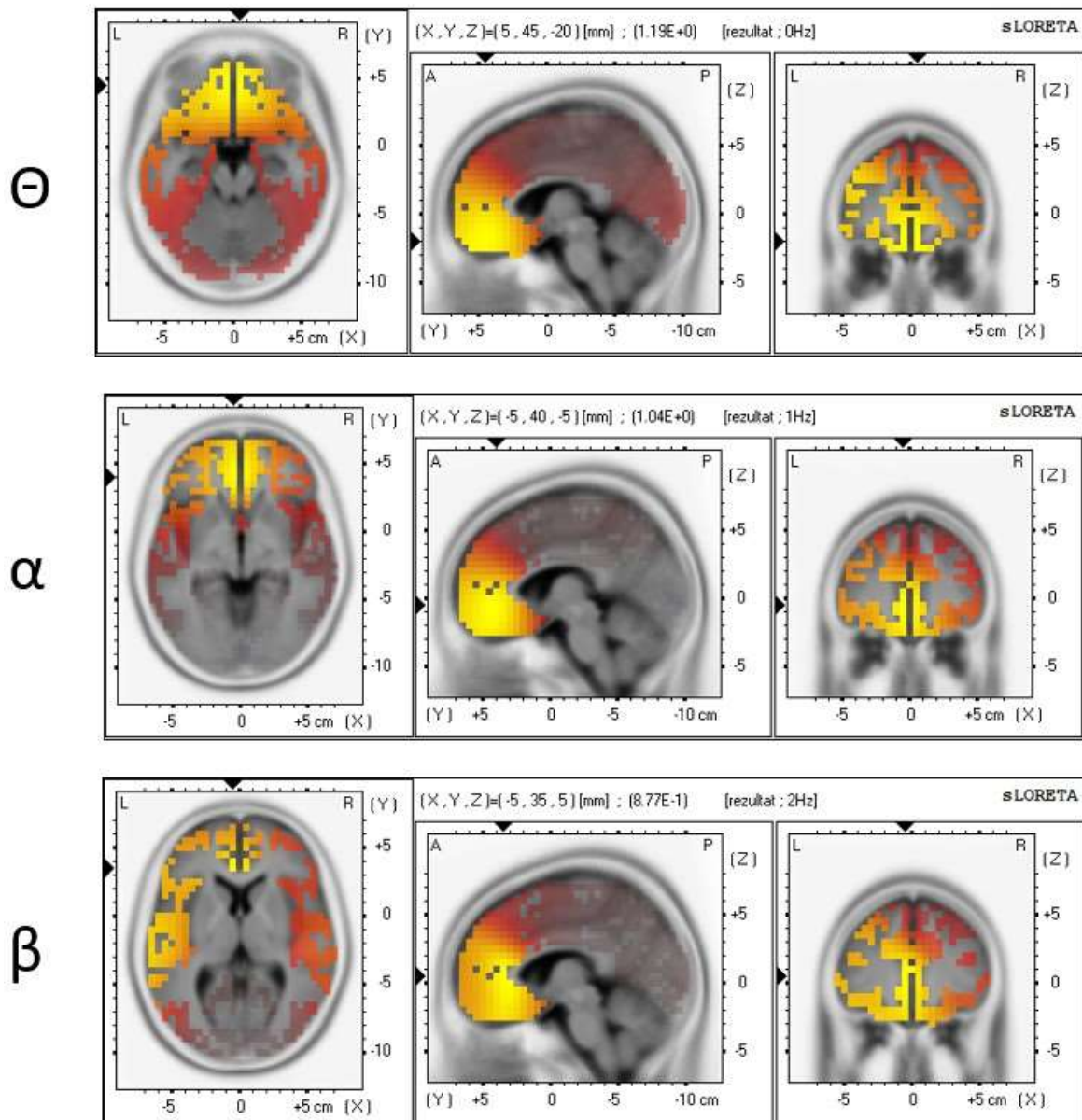
Tokom auditivne obrade nereči obrazac porasta ili smanjena izvora lokalizacije je bio isti kao kod auditivne obrade reči. Izvor lokalizacije teta i beta ritma sa identičnim MNI koordinatama i BA lokacijama je bila i kod obrade nereči (Slika 20). Izvor aktivnosti alfa ritma je zabeležen u delu parijetalnog režnja (BA 31; MNI koordinate: $x=0, y=-57, z=30$), i u delu okcipitalnog režnja (BA 41; MNI koordinate: $x=7, y=-53, z=30$).



Slika 20. Lokalizacija izvora EEG signala kod auditivne obrade neregularnih rečenica

Θ -teta ritam; α -alfa ritam; β -beta ritam;

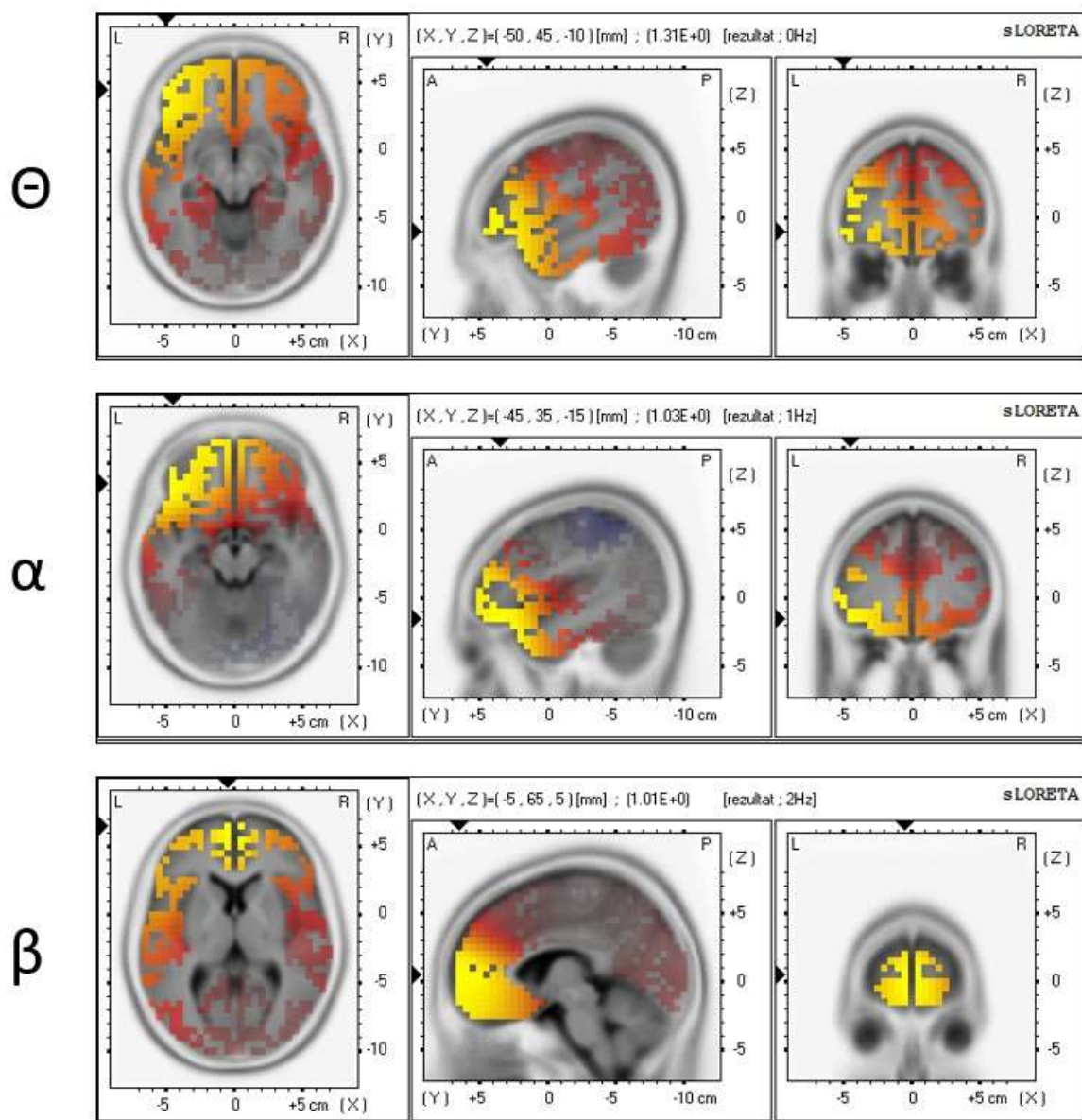
Auditivna obrada stimulusa potvrdnih rečenica je pokazala povećanje izvora lokalizacije teta i beta ritma i smanjenje izvora lokalizacije alfa ritma u SJP grupi u poređenju sa TP grupom (Slika 21). Izvor lokalizacije teta ritma je zabeležen u superiornom frontalnom girusu (BA 11; MNI koordinate: $x=6, y=56, z=-20$). Izvor lokalizacije alfa ritma je zabeležen u superiornom temporalnom girusu (BA 22; MNI koordinate: $x=-56, y=0, z=-5$). Izvor lokalizacije beta ritma je zabeležen u superiornom temporalnom girusu (BA 22; MNI koordinate: $x=52, y=-29, z=5$) i kretalo se ka inferiornom frontalnom girusu (BA 47; MNI koordinate: $x=47, y=23, z=5$).



Slika 21. Lokalizacija izvora EEG signala kod auditivne obrade potvrđnih rečenica

Θ-teta ritam; α-alfa ritam; β-beta ritam;

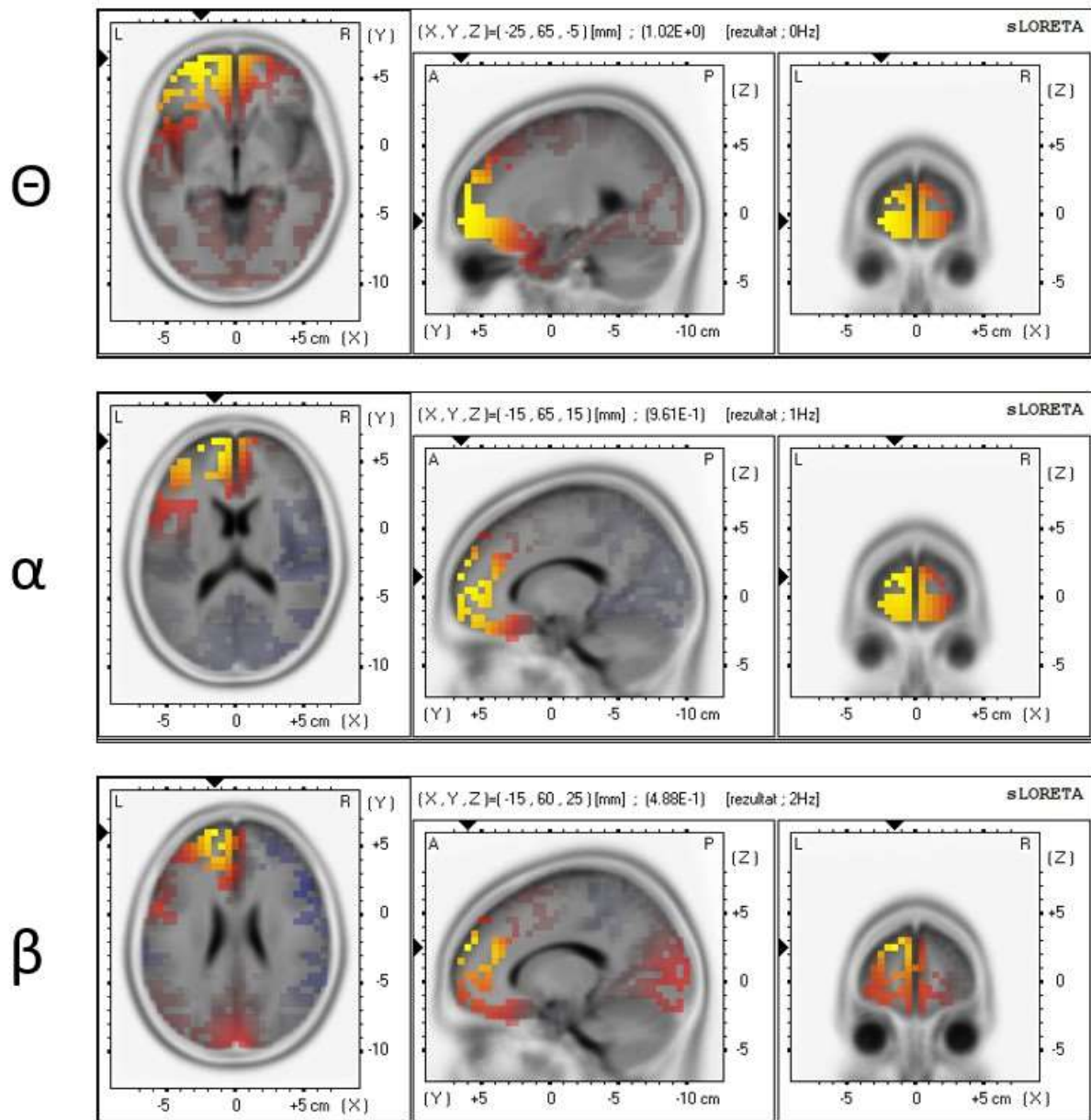
Auditivna obrada stimulusa upitnih rečenica je pokazala sličan obrazac izvora lokalizacije EEG signala u svim merenim frekvencijskim opsezima (teta, alfa, beta) kao i kod obrade potvrđnih rečenica (Slika 22). Teta i alfa ritam je imao isti obrazac izvora aktivacije u inferiornom frontalnom girusu (BA 47; MNI koordinate: $x=-50, y=45, z=-10$). Izvor lokalizacije beta ritma je zabeležen u medijalnom frontalnom girusu (BA 10; MNI koordinate: $x=-5, y=65, z=5$).



Slika 22. Lokalizacija izvora EEG signala kod auditivne obrade upitnih rečenica

Θ-teta ritam; α-alfa ritam; β-beta ritam;

Kod auditivne obrade narativnog diskursa (Slika 23) lokalizacija izvora signala je bila isključivo u frontalnom režnju za sva tri moždana ritma (teta, alfa, beta), tačnije u superiornom frontalnom girusu (BA 10) sa diskretnim promenama u MNI koordinatama: teta ritam ($x=-25, y=65, z=-5$), alfa ritam ($x=5, y=49, z=15$) i beta ritam ($x=-15, y=60, z=25$).



Slika 23. Lokalizacija izvora EEG signala kod auditivne obrade narativnog diskursa

Θ -teta ritam; α -alfa ritam; β -beta ritam;

5. DISKUSIJA

Analiza elektrofizioloških korelata moždane aktivnosti tokom auditivne obrade signala različite kompleksnosti dece uzrasta četiri do šest godina tipičnog razvoja i dece sa specifičnim jezičkim poremećajem je ukazala na postojanje različitih obrazaca u auditivnoj obradi između posmatranih grupa ispitanika. Dobijeni rezultati su delom u saglasnosti sa prethodnim studijama, koje navode da su kod dece sa SJP uočeni različiti obrasci tokom auditivne obrade signala, što pruža mogućnost boljeg razumevanja deficita specifičnog jezičkog poremećaja (Basu, Krishnan et al. 2010, Davids, Segers et al. 2011, Shafer, Schwartz et al. 2011, Bishop 2013, Arbel and Donchin 2014). Sa druge strane, novija pregledna studija ističe da istraživanja auditivne obrade signala kod dece sa SJP imaju kontradiktorne ishode (Barman, Prabhu, Mekhala, Vijayan, & Narayanan, 2021).

Uzimajući u obzir činjenicu da ispitivanje produkcije i percepcije reči i nereči može biti značajan dijagnostički parametar za postavljanje dijagnoze SJP (Coady & Evans, 2008; Kalnak, Peyrard-Janvid, Forssberg, & Sahlén, 2014), inicijalno mesto u diskusiji, imajući u vidu zastupljenost naučnih istraživanja, pripada rezultatima analize spektralne snage ritmova tokom auditivne obrade reči i nereči u posmatranim podgrupama dece (deca iz TP/deca sa SJP; uzrast 4.0-4.11/ 5.0-5.11).

5.1 Promene u spektralnoj snazi teta, alfa i beta ritma tokom auditivne obrade reči i nereči

Teta ritam. Rezultati SP teta ritma su pokazali da je statistička značajnost prisutna kod zadatka slušanja dva stimulusa (reči/ nereči) sa višom SP teta ritma kod slušanja nereči pronađeno na elektrodi O1 nezavisno od grupe (TP/SJP) i uzrasne grupe (4.0-4.11/ 5.0-5.11 godina). Uočeno je da postoji značajna interakcija između starosti ispitanika i grupe (TP/SJP) na elektrodama Fp1, P3, P4, O1, F7, T5 i Pz. Iako interakcioni član ima statistički značajan uticaj na model, pokazuje se da se ne može uočiti statistički značajna razlika između podgrupa na svim elektrodama. Samo na elektrodi Fp1 levo prefrontalno i levo temporalno deca sa SJP uzrasta 5.0-5.11 godina imaju više vrednosti SP teta ritma u odnosu na TP decu istog uzrasta.

Odsustvo razlika SP teta ritma tokom auditivne obrade reči i nereči između dve ispitivane mlađe grupe može se dovesti u vezu sa nezrelošću auditivnog sistema koje je prisutno u ovom uzrasnom periodu (Tallal 2000, Hsu and Bishop 2014). Razlike SP teta ritma između SJP i TP grupe na starijem uzrastu u skladu su sa rezultatima studije koja pokazuje da deca sa SJP često imaju povišenu snagu teta ritma, posebno u frontalnim i centralnim delovima mozga (Gul, Baron et al. 2023). Povišena teta aktivnost se dovodi u vezu sa smetnjama u pažnji, radnoj memoriji i zadacima jezičke obrade (Mitchell, McNaughton et al. 2008). U skladu sa tim moguće je pretpostaviti da specifičnosti u teta ritmu odražavaju neurofiziologiju koja ide u prilog specifičnom jezičkom poremećaju.

Alfa ritam. Rezultati SP alfa ritma u mirnom stanju i tokom auditivne obrade reči i nereči pokazuju da nije bilo statistički značajne razlike u mlađoj grupi ispitanika (4.0-4.11 godina), bez obzira na razvijenost govora i jezika (TP/SJP). Odsustvo statistički značajnih razlika kod mlađe grupe ispitanika za alfa ritam tokom auditivne obrade reči i nereči može se objasniti mogućom nezrelošću moždanih regiona (Bishop 2013, Hsu and Bishop 2014). Naime, u posmatranom uzrasnom periodu još uvek traje maturacija moždanih funkcija, odnosno elektrogeneze, a samim tim i alfa ritma (Eisermann, Kaminska et al. 2013).

U starijoj uzrasnoj grupi (5.0-5.11), u stanju mirovanja su postojale statistički značajne razlike između TP i SJP grupe, sa nižim vrednostima SP alfa ritma kod dece sa SJP, u skoro svim regionima

mozga (14 od 19 elektroda je pokazalo statističku značajnost): prefrontalni, prednje temporalni, srednje temporalni, zadnje temporalni, parijetalni i okcipitalni regionu).

Rezultati su pokazali statistički značajne razlike u SP alfa ritma između TP i SJP grupe tokom auditivne obrade reči i nereči. Rezultati su pokazali da je SP alfa ritma tokom obrade reči viša kod SJP grupe u odnosu na TP grupu bilateralno u prefrontalnom (Fp1, Fp2), levom frontalnom (F7), levom temporo-parijetalnom (P3, T3) i okcipitalnom (O2) regionu. Tokom auditivne obrade nereči, pojavio se sličan obrazac ponašanja SP alfa ritma kao tokom auditivne obrade reči, sa većom SP alfa ritma kod dece sa SJP. Razlike su pronađene u prefrontalnom (Fp, Fp2), srednje-temporalnom (T3), zadnjem temporalnom (T5, T6) i parijetalnom regionu (P3, P4, Pz).

Niže vrednosti SP alfa ritma kod dece sa SJP tokom stanja mirovanja pronađene su i u studiji Stanojević i saradnika (Stanojević, Fatić et al. 2023), koji su uočili razlike u levim temporalnim, parijetalnim i okcipitalnim moždanim regionima. de Bie i saradnici (de Bie, Boersma et al. 2012), su u MRI studiji, kod dece tipičnog razvoja, ukazali na aktivaciju i povezivanje prednjih (anteriornih) i zadnjih (posteriornih) regiona, uključujući senzomotorne, auditivne i vizuelne regione tokom mirnog stanja. Stoga se smanjena SP alfa ritma kod dece sa SJP mlađeg uzrasta može povezati sa nižom aktivacijom i slabijim umrežavanjem moždanih regija.

Razlike SP alfa ritma u starijoj grupi tokom auditivne obrade reči i nereči su ukazale na niže vrednosti kod TP dece. Razlike koje smo dobili u pomenutim regionima mogu se tumačiti u odnosu na nalaze drugih studija koje su ukazale na ulogu pojedinih regija tokom auditivne obrade govorno-jezičkog signala. Tako, Karunanaja i saradnici (Karunanayaka, Holland et al. 2007) povezuju parijetalne regije sa Vernike-Broka petljom tokom auditivne obrade govora. EEG studije kod dece predškolskog uzrasta dokumentuju da je stabilni alfa ritam lokalizovan u okcipitalnim i parijetalnim regionima (Recasens, Gross et al. 2018, Lyakso, Frolova et al. 2020), kao i u fronto-parijetalnim regionima (Foxe and Snyder 2011). Štaviše, u levom frontalnom regionu, stabilan alfa ritam se javlja tokom auditivne pažnje (Khoshkhoo, Leonard et al. 2018). Prisutne razlike SP alfa ritma kod dve grupe ispitanika (TP/SJP) tokom auditivne obrade reči i nereči pronađene bilateralno u temporalnim regionima su u skladu sa studijama koje su dokumentovale oscilatornu aktivaciju mozga u prednjem (anteriornom) temporalnom girusu tokom auditivne obrade reči (DeWitt and Rauschecker 2012), kao i srednjem (medijalnom) i prednjem temporalnom girusu tokom auditivne obrade nereči (Turkeltaub and Coslett 2010). Takođe, prisutne razlike u SP alfa ritma u parijetalnim i okcipitalnim regionima tokom obrade reči je potvrđena i u drugim studijama, koje su ukazale na nižu aktivaciju alfa ritma u parijeto-okcipitalnim regionima tokom slušanja nereči u poređenju sa percepcijom reči sa značenjem kod ispitanika tipične populacije (Strauß, Kotz et al. 2014), a dodatno, i tokom memorijskih zadataka (Jaušovec and Jaušovec 2012). Bilateralne parijetalne i temporalne razlike u SP alfa ritma tokom auditivne obrade nereči mogle bi se objasniti prisustvom dugotrajnog mentalnog leksikona u parijetalnim regionima (Graham and LaBar 2012) i aktivnošću Vernikeove oblasti, multiregionalno lokalizovane u različitim delovima temporalnih i parijetalnih regiona (Scott and Johnsrude 2003).

Rezultati istraživanja SP alfa ritma tokom auditivne obrade reči i nereči su u suprotnosti sa nalazima drugih EEG studija koje su imale sličan eksperimentalni dizajn, ali su se fokusirale na različite neurorazvojne poremećaje. Kao primer navodimo studiju u kojoj su deca sa epilepsijom imala trend veće alfa desinhronizacije u potiljačnim (okcipitalnim) regionima u poređenju sa svojim vršnjacima, ali bez statistički značajnih razlika (Krause, Boman et al. 2008). U studiji sa zdravim odraslim osobama, Strand i saradnici (Strand, Forssberg et al. 2008) nisu pronašli nikakvu vezu između aktivnosti alfa ritma u parijetalnim regionima i procesima auditivne pažnje.

Nalazi navedenih studija, zajedno sa rezultatima ovog istraživanja o SP alfa ritma tokom auditivne obrade reči i nereči, ukazuju na različite obrasce procesiranja dece sa SJP i dece tipičnog

razvoja u regionima uključenim u auditivnu obradu. Stoga rezultati mogu biti značajni EEG biomarkeri kod dece sa specifičnim jezičkim poremećajem.

Beta ritam. Rezultati su pokazali da postoje statistički značajne uzrasne i grupne razlike kod SP beta ritma tokom auditivne obrade reči i nereči. Rezultati ukazuju da deca sa SJP imaju veću SP beta ritma u komparaciji sa TP decom i to lokalizovano bilateralno temporalno (T3, T6, LTR, RTR). Takođe, veća SP beta ritma tokom auditivne obrade reči i nereči, uočena je kod starije dece u desno lateralizovanim (frontalnim, temporalnim i centroparijetalnim) regionima (F4, T6, RTR, RCPR), bez obzira na razvijenost govora i jezika (TP/SJP). Uzrasno-grupne razlike SP beta ritma tokom auditivne obrade reči i nereči su pronađene u levo temporalnoj elektrodi (T5) sa višom SP beta ritma kod starije grupe u TP grupi, i takođe, sa višom SP beta ritma kod starije dece u SJP grupi. Uzrasno-grupne razlike tokom auditivne obrade reči i nereči su pronađene i u Fz elektrodi u mlađoj grupi sa višom SP beta ritma kod TP grupe u poređenju sa SJP grupom.

Razlike u SP beta ritma između SJP i TP grupe lokalizovane bilateralno temporalno tokom auditivne obrade reči i nereči su u saglasnosti sa literaturnim podacima (Binder 2015, Javed, Reddy et al. 2022), koji ukazuju da se beta ritam, slično kao alfa ritam tokom auditivne obrade, pozicionira u Vernikeovoj regiji, odnosno levom zadnjem gornjem temporalnom girusu (Binder 2015, Javed, Reddy et al. 2022), koji je uključen u složene jezičke sposobnosti, kao što je semantika (Vanvooren, Poelmans et al. 2014). Dodatno, ovaj rezultat potvrđuje činjenicu da se auditivno jezičko procesiranje odvija najviše u temporalnim regionima (Dick, Solodkin et al. 2010, Yoo, Ryu et al. 2017, Ross, Molholm et al. 2022). Odsustvo ili smanjenje SP beta ritma tokom auditivne obrade reči i nereči u očekivanim regionima mozga u TP grupi, na što su ukazali rezultati ovog istraživanja, kao i rezultati drugih studija, moglo bi se objasniti prisustvom nepoznatih stimulusa (Davidson and Indefrey 2007, Shahin, Picton et al. 2009, Engel and Fries 2010), ili je rezultat spremnosti za motornu aktivnost koja je vezana za beta ritam (Weiss and Mueller 2012). Van Elketal i saradnici (van Elk, van Schie et al. 2010) dokumentovali su smanjenje aktivacije prefrontalnog beta ritma tokom pasivnog slušanja zbog odsustva motoričkih zadataka kod dece tipične populacije. Literatura navodi da je povećanje SP beta ritma i smanjenje SP alfa ritma povezano sa većim angažovanjem pažnje (MacLean, Arnell et al. 2012, Pitchford and Arnell 2019).

Rezultati SP beta ritma tokom auditivne obrade reči i nereči između uzrasnih grupa ispitanika su ukazali na desno-lateralizovanu aktivaciju u frontalnim, temporalnim i centro-parijetalnim regionima. Izraženije prisustvo SP beta ritma tokom auditivne obrade reči i nereči bilateralno u frontalnim i temporo-parijetalnim regionima je takođe dokumentovano tokom zadataka koji uključuju pasivno slušanje govora (Hickok and Poeppel 2007, Poeppel 2014). Viša vrednost SP beta ritma tokom auditivne obrade reči i nereči u starijoj grupi, uočena u našim rezultatima, potvrđuje činjenicu da se SP beta ritma povećava tokom sazrevanja moždane aktivnosti (Uhlhaas, Roux et al. 2010, Miskovic, Ma et al. 2015, Perone, Palanisamy et al. 2018). Dodatno, razlike i prisustvo SP beta ritma u temporalnim regionima tokom auditivne obrade reči i nereči, povezano sa uzrastom u SJP i TP grupi, ukazuje na prisustvo već pomenutog fonološkog dekodiranja, kao i na Vernike-Broka petlju artikulacije sa sekundarnim konekcijama sa parijetalnim regionima uključenim u auditivnu obradu govora (Karunanayaka, Holland et al. 2007). Kao i u rezultatima SP alfa ritma tokom auditivne obrade reči i nereči, razlike SP beta ritma tokom auditivne obrade reči i nereči pronađene u centroparijetalnim regionima sugerišu na postojanje mentalnog leksikona (Waldhauser, Johansson et al. 2012), i njegovu angažovanost u semantičkom i fonološkom dekodiranju (Coslett and Schwartz 2018, Wu, Morales et al. 2022).

Konzistentno prisustvo značajnih uzrasnih razlika kod SP beta ritma povezano sa auditivnom obradom reči i nereči, unutar dve ispitivane grupe (TP/SJP), sa unilateralno izraženim razlikama,

isključivo u desno-lateralizovanim regionima, sa odsustvom statistički značajnih razlika u levo-lateralizovanim regionima kod dece sa SJP, može sugerisati na neadekvatnost obrade ovih auditivnih stimulusa u ciljanim moždanim regionima (levo lateralizovani regioni), (Whitehouse and Bishop 2008), ili ukazivati na prisustvo kompenzatornih mehanizama (Badcock, Bishop et al. 2012). Kod dece sa tipičnim razvojem, iako se percepcija govora smatra levo lateralizovanom funkcijom (Holland, Vannest et al., 2007), postoje dokazi o homologiji između desne i leve strane mozga tokom percepcije govora sve do šest godina života (Olulade, Seydell-Greenwald et al., 2020). Kod dece sa SJP takođe postoje dokazi da se auditivna i jezička obrada odvijaju i u desnoj hemisferi (Soriano-Mas, Pujol et al. 2009).

Rezultati komparacije vrednosti SP beta ritma kod elektroda i ROI pokazuju da određeni ROI imaju statistički značajan uticaj na SP beta ritma tokom auditivne obrade reči i nereči. Kao što je ranije pomenuto, ROI se zasniva na funkcionalnim i anatomskim kriterijumima za obradu jezika. Obrada jezika uključuje različite regione mozga, kao što su frontalni (Baars and Gage 2013, Pressman and Rosen 2015), temporalni (Kuzniecky and Jackson 2005) i parijetalni region (Tuite and Konczak 2010). Prema Karunanajaki i saradnicima (Karunanayaka, Holland et al. 2007) specifični delovi ova tri regiona uključeni su u artikulacionu petlju počev od dekodiranja do produkcije govora. Zbog toga smo u analizi SP beta ritma tokom auditivne obrade reči i nereči analizirali ne samo ROI, već i specifične ROI delove, odnosno rezultate koji su dobijeni sa lokacija pojedinačnih elektroda.

Dobijeni rezultati za posmatrane ROI pokazuju da postoji statistički značajna razlika u SP beta ritma u RTR i RCPR kada se posmatra uzrast ispitanika. Naime, SP beta ritma je viša kod mlađih ispitanika. Kada se posmatra nivo govorno-jezičke razvijenosti, uočava se statistički značajna viša vrednost SP beta ritma u LTR i RTR regionima kod dece sa SJP. Razlike dobijene u ovim regionima mogu se povezati sa rezultatima studija koje ukazuju na auditivnu obradu (Dharani 2014), semantičku obradu (Hickok and Poeppel 2007), i memorijsku integraciju različitih stimulusa u dugotrajni mentalni leksikon (Uncapher, Hutchinson et al. 2011).

Takođe, rezultati nekih studija su potvrdili da je beta ritam značajno prisutan u frontalnim regionima (frontalna beta), (Kaminska, Eisermann et al. 2019, Rayson, Debnath et al. 2022). Dokumentovano je snažno angažovanje frontalnih regiona u različitim auditivnim zadacima (Ross, Molholm et al. 2022) i zadacima pažnje (Abhang, Gawali et al. 2016). Isto tako, studije su ukazale na izrazitu levo lateralizovanu percepciju govora kod dece i odraslih (Peelle 2012, Poeppel 2014), što nije uočeno u ovim rezultatima SP beta ritma tokom auditivne obrade reči i nereči.

Generalno možemo zaključiti da interakcije u posmatranim regionima ukazuju na složenu međuzavisnost uzrasta i nivoa govorno-jezičke razvijenosti. Navedeno upućuje na zaključak o nezavršenom procesu maturacije i diferencijacije funkcija koje učestvuju u auditivnoj obradi govorno-jezičkog signala.

5.2 Promene u spektralnoj snazi teta, alfa i beta ritma tokom auditivne obrade dva tipa rečenica

Rezultati SP teta ritma su pokazali da su razlike u obradi auditivnih stimulusa dva tipa rečenica uočene između dve grupe (TP/SJP) sa višom SP teta ritma kod dece sa SJP u frontalnim (Fp1, Fp2, F8) i temporalnim regionima bilateralno (T3, T4, T5, T6). Pored toga, razlike su postojale i u desnoj i centralno parijetalnoj (P4, Pz), okcipitalnoj (O1) i levo centralnoj (C3) elektrodi. Uzrasne razlike kod SP teta ritma tokom auditivne obrade dva tipa rečenica su izražene isključivo u temporalnim regionima (T3,T4) sa trendom više SP teta ritma kod starijih ispitanika. U studiji sa decom predškolskog uzrasta, Orekhova je takođe ukazala na porast teta aktivnosti u posteriornim regionima tokom jezičke obrade (Orekhova, Stroganova et al. 2006).

Rezultati SP alfa ritma tokom auditivne obrade dva tipa rečenica pokazuju značajne grupne razlike sa višom SP alfa ritma kod dece sa SJP u frontalnim elektrodama (Fp1, Fp2, F7, F8) i u desnoj temporalnoj (T4) elektrodi. Uzrasne razlike su pokazale povećanje SP alfa ritma tokom auditivne obrade dva tipa rečenica sa uzrastom u levoj frontalnoj (F3), centralno frontalnoj (Fz) i desno temporalnoj (T4) elektrodi. Takođe, rezultat ukazuje na statistički značajnu razliku u auditivnoj obradi dva tipa rečenica gde je viša SP alfa ritma pronađena kod potvrdnih rečenica u poređenju sa upitnim rečenicama u levo temporalnoj elektrodi (T5) bez obzira na grupu (TP/SJP) ili uzrasnu grupu (4.0-4.11/5.0-5.11).

Rezultati SP beta ritma tokom auditivne obrade dva tipa rečenica pokazuju značajne grupne razlike sa višom SP beta ritma kod dece sa SJP u frontalnim regionima bilateralno (Fp1, Fp2 i F7), levoj centralnoj (C3), desnoj temporalnoj (T6) i parijetalnoj (Pz) elektrodi. Uzrasne razlike kod SP beta ritma tokom auditivne obrade dva tipa rečenica su takođe ukazale na izraženije prisustvo SP beta ritma na većem broju regiona i to: bilateralno u fronto-temporalnim regionima i desno-lateralizovano u centro-parijetalnim regionima. Rezultati ukazuju da je SP beta ritma tokom auditivne obrade dva tipa rečenica bila viša sa uzrastom ispitanika u svim regionima, izuzev u bilateralno temporalnim regionima (T3, T4), gde je SP beta ritma tokom auditivne obrade dva tipa rečenica bila viša u mlađoj grupi.

Rezultati SP alfa ritma tokom auditivne obrade dva tipa rečenica ukazuju na određeni nedostatak alfa desinhronizacije kod dece sa SJP u poređenju sa TP decom, posebno u regionima odgovornim za auditivnu pažnju i percepciju (temporalni i frontalni). Studije jasno dokumentuju da deca sa SJP imaju smetnje u fonološkoj obradi (Corriveau, Pasquini et al. 2007, Davids, Segers et al. 2011), učenju novih reči (Sheng and McGregor 2010), repetitiji nereči (Kalnak, Peyrard-Janvid et al. 2014), selektivnoj pažnji (Finneran, Francis et al. 2009, Victorino and Schwartz 2015), kao i siromašan vokabular (McGregor, Oleson et al. 2013).

Uzrasne i grupne razlike SP beta ritma tokom auditivne obrade dva tipa rečenica najviše zastupljene u frontalnim i centralnim regionima navode na podatak o prisustvu frontalne bete i rolandičke bete (Kropotov 2010, Kaminska, Eisermann et al. 2019). Niža vrednost SP beta ritma tokom auditivne obrade dva tipa rečenica uočena je u bilateralno temporalnim regionima kod TP dece u starijoj grupi (5.00-5.11), suprotno od očekivanog trenda beta moždanog ritma kada je u pitanju TP grupa. Dodatno, uočene niže vrednosti SP beta ritma u temporalnim regionima bilateralno tokom auditivne obrade dva tipa rečenica u starijoj grupi ispitanika, bez obzira na govorno-jezičku razvijenost, takođe su u suprotnosti sa trendom beta moždanog ritma, čija SP raste sa uzrastom dece (Miskovic, Ma et al. 2015). Navedeni rezultati SP beta ritma tokom auditivne obrade dva tipa rečenica mogu se delom objasniti nezrelošću auditivnog sistema u dečjem uzrastu (Tallal 2000, Hsu and Bishop 2014) i neadekvatnom brzinom u obradi auditivnih stimulusa (Park, Miller et al. 2015). Niža vrednost SP beta ritma tokom auditivne obrade dve vrste rečenica kod TP grupe u odnosu na SJP grupu može se objasniti (kao kod SP beta ritma tokom auditivne obrade reči i nereči) nalazima studija koje ukazuju da se SP beta ritma smanjuje kada se pojavi nepoznati stimulus (Davidson and Indefrey 2007, Shahin, Picton et al. 2009, Engel and Fries 2010), ili kada postoji odsustvo motoričke aktivnosti (van Elk, van Schie et al. 2010, Weiss and Mueller 2012).

Rezultati SP teta i beta ritma tokom auditivne obrade dva tipa rečenica su pokazali razlike u temporalnim bilateralnim i desnim parijetalnim regijama. Shodno tome, jedna fMRI studija sa odraslima je pokazala da se desna temporo-parijetalna aktivacija dešava tokom razumevanja rečenice (Partovi, Jacobi et al. 2012) i tokom pasivnog slušanja govora (Ocklenburg, Hugdahl et al. 2013, Miró, Ripollés et al. 2014).

Značajne grupne razlike u SP teta ritma tokom auditivne obrade dva tipa rečenica u brojnim moždanim regionima mogu se pripisati sazrevanju ovih regiona u ovom razvojnom periodu. Pored toga, niže SP vrednosti alfa i teta ritmova kod TP dece tokom auditivne obrade dva tipa rečenica podržavaju činjenicu uredne elektrogeneze, s obzirom da se SP alfa i teta ritmova smanjuje sa uzrastom (Miskovic, Ma et al. 2015, Perone, Palanisamy et al. 2018).

Bilateralno izraženije prisustvo moždanih ritmova (teta, alfa, beta) tokom auditivne obrade dva tipa rečenica, dovodi nas do zaključka da obrada jezika nije lateralizovana funkcija. Međutim, naučnici smatraju da se akustička obrada govornog signala i artikulacija govora realizuju bilateralno (Bradshaw, Thompson et al. 2017), dok se razumevanje i generisanje jezika smatraju lateralizovanim funkcijama (Peelle 2012).

5.3 Promene u spektralnoj snazi teta, alfa i beta ritma tokom auditivne obrade narativnog diskursa

Auditivna obrada narativnog diskursa je pokazala statistički značajne grupne i uzrasne razlike na malom broju elektroda za sva tri frekvencijska opsega.

Rezultati SP teta ritma tokom obrade narativnog diskursa su ukazali na višu SP teta ritma kod dece sa SJP bez obzira na uzrast (4.0-4.11/5.0-5.11) u desnoj (Fp2) i levoj frontaloj frontalnoj (F7) elektrodi. Uzrasna razlika sa višom SP teta ritma kod starije dece (5.0-5.11) bez obzira na grupu (TP/SJP) je uočena u levoj centralnoj elektrodi C3. Uzrasno-grupne razlike su bile uočene u starijoj grupi (5.0-5.11), sa višom SP teta ritma kod SJP grupe na levoj temporalnoj (T3) elektrodi.

Rezultati SP alfa ritma tokom auditivne obrade narativnog diskursa su pokazali statističku značajnost u elektrodama C3 i P4, koje su u korelaciji sa uzrastom, odnosno više vrednosti SP alfa ritma su prisutne kod starije grupe. Razlike između TP i SJP grupe nisu uočene u SP alfa ritma tokom auditivne obrade narativnog diskursa.

Rezultati SP beta ritma tokom auditivne obrade narativnog diskursa su pokazali više vrednosti SP beta ritma kod dece tipičnog razvoja u poređenju sa decom sa SJP u desnoj frontalnoj elektrodi (F8). Uzrasne razlike kod SP beta ritma tokom auditivne obrade narativnog diskursa su pokazale višu SP beta ritma kod starije grupe bilateralno u prefrontalnim elektrodama (Fp1, Fp2) i levoj temporalnoj elektrodi (T5).

Slušanje priče je pokazalo izraženije prisustvo SP alfa ritma u starijoj grupi ispitanika, koje se može dovesti u korelaciju sa promenom SP alfa ritma u odnosu na uzrast u centro-parijetalnim elektrodama. Uočene razlike u ovim regionima se objašnjavaju činjenicom da su ovi regioni zaduženi za integraciju senzornih informacija (Tuite and Konczak 2010), dok aktivacija frontalnih, parijetalnih i temporalnih regiona zajedno, ukazuje na pristup mentalnom leksikonu koji je aktiviran usled slušanja poznate priče. Mentalni leksikon je podržan umrežavanjem kortikalnih regija prvenstveno unutar leve hemisfere, koje se nalaze u temporalnom, frontalnom i parijetalnom režnju. Ove oblasti rade sinhrono kako bi realizovale razumevanje, produkciju i pronalaženje reči i njihovih značenja (Binder, Desai et al. 2009, Friederici 2015).

Možemo navesti da se viša SP teta ritma i niža SP beta ritma tokom auditivne obrade narativnog diskursa kod dece sa SJP može objasniti deficitima u slušnoj percepciji (Bishop and McArthur 2005, Bishop, Hardiman et al. 2012, Kujala and Leminen 2017), sa mogućim prisustvom

atipične moždane asimetrije (Bishop 2013), i bilateralnom i difuznom govornom percepcijom u poređenju sa TP decom (Bishop, Hardiman et al. 2012).

U skladu sa podacima iz literature (Miskovic, Ma et al. 2015, Perone, Palanisamy et al. 2018), niža SP teta i viša SP beta ritma tokom auditivne obrade narativnog diskursa kod TP grupe u poređenju sa SJP grupom se objašnjava sazrevanjem auditivnog sistema i elektrogeneze moždanih ritmova.

Kako je već spomenuto u uvodnom delu, kod SJP postoji termin „niskog nivoa oštećenja“ u slušnoj percepciji (Bishop and McArthur 2005, Bishop, Hardiman et al. 2012, Kujala and Leminen 2017), sa mogućim prisustvom atipične moždane asimetrije (Bishop 2013), i sa bilateralno difuznom govornom percepcijom kod SJP grupe u poređenju sa TP grupom (Bishop, Hardiman et al. 2012).

Niže vrednosti SP beta ritma kod TP dece, u određenim regionima mozga tokom auditivne obrade auditivnih stimulusa (reč/nereč, potvrдна rečenica/upitna rečenica), ukazuju da je sazrevanje moždane aktivnosti još uvek u toku (Hsu and Bishop 2014). Vanvuren (Vanvooren, Hofmann et al. 2015) je dokumentovala smanjenu neuronsku sinhronizaciju za frekvencijski opseg beta ritma kod dece predškolskog uzrasta, odnosno, kod petogodišnje dece tokom auditivne obrade, što bi se moglo objasniti, već pomenutom nezrelošću moždane aktivnosti (Hsu and Bishop 2014), ili neadekvatnim razvojem fonološke svesti koja je tipična za to razvojno doba (Anthony, Lonigan et al. 2003, Vanvooren, Poelmans et al. 2014). Štaviše, jedna studija dokumentuje da suštinske razlike u auditivnom sazrevanju postaju očigledne tek od pete godine (Skoe, Krizman et al. 2015).

Dodatno, niža SP beta ritma tokom auditivne obrade stimulusa (reč/nereč, potvrдна rečenica/upitna rečenica) kod TP grupe, se može objasniti odsustvom interesovanja za auditivne stimuluse tokom pasivnog slušanja istih.

5.4 Promene u fraktalnoj dimenziji tokom auditivne obrade stimulusa

Rezultati analize FD tokom auditivne obrade reči i nereči ukazuju na uzrasne (4.0-4.11/ 5.0-5.11 godina) i grupne razlike (TP/SJP). Grupne razlike su se ogledale sa višim vrednostima FD kod TP grupe u desno lokalizovanim elektrodama (frontalno, parijetalno i temporalno), a uzrasne razlike sa višim vrednostima kod starije grupe dece (5.00-5.11), zastupljene multiregionalno (16 od 19 elektroda).

Međutim, rezultati analize FD tokom auditivne obrade dva tipa rečenica su pokazali grupne razlike na svih 19 elektroda, i uzrasne razlike na 15 od 19 elektroda. U grupnim razlikama viša vrednost FD je uočena kod SJP dece, a u uzrasnim razlikama viša vrednost je uočena kod mlađe grupe (4.0-4.11).

Rezultati analize FD tokom auditivne obrade narativnog diskursa su pokazali uzrasne razlike bez obzira na grupu (TP/SJP), sa višim FD vrednostima kod starije dece, bilateralno u frontalnim elektrodama (F3, F4) i u desnoj parijetalnoj (P4) elektrodi. Grupne razlike (TP/SJP) u analizi FD tokom auditivne obrade narativnog diskursa nisu uočene.

Viša vrednost FD tokom auditivne obrade reči i nereči kod TP grupe i starije uzrasne grupe (5.0-5.11) je očekivani rezultat, koji govori u prilog da je kod TP dece, auditivna obrada reči i nereči dovela do povećanja kompleksnosti EEG signala koja se povećavala sa uzrastom (Kang, Chen et al. 2019). Suprotno, niža FD tokom auditivne obrade reči i nereči kod SJP grupe ukazuje na nezrelost moždanih regiona (Kujala and Leminen 2017).

Viša vrednost FD u grupi mlađih ispitanika i u SJP grupi tokom auditivne obrade dva tipa rečenica, govori u prilog tome da rečenice, koje smo definisali kao složene sintaksičko-semantičke konstrukcije, predstavljaju složen i kompleksan signal. Rečenica se može definisati kao složen signal zbog svoje kompleksne strukture i mnoštva lingvističkih i kognitivnih procesa koji se pokreću tokom njene auditivne obrade (Friederici 2002): radna memorija, pažnja, razumevanje, integracija svih informacija, povezivanje fonologije sa sintaksom. Autori novijih istraživanja ukazuju na atipičnu aktivaciju umrežavanja velikog broja regiona kod dece sa deficitima auditivnog procesiranja (Alvand, Kuruvilla-Mathew et al. 2022).

Tokom slušanja poznate priče, analiza FD nije ukazala na grupne razlike. Dobijeni rezultati sugerišu da fraktalna dimenzija kao parametar koji se koristio za opisivanje moždane aktivnosti tokom auditivne obrade narativnog diskursa kod TP i SJP dece uzrasta od 4 do 6 godina, nije dovoljno informativna na način da se uoči razlika između posmatranih grupa dece. Bišop (Bishop, Carlyon et al. 1999) je takođe u jednoj studiji ukazala da je moguće da kod neke dece sa SJP ne postoje razlike u auditivnom procesiranju kada ih poredimo sa vršnjacima tipičnog govorno-jezičkog razvoja. Dodatno, Smit u svojoj doktorskoj disertaciji iznosi zapažanje o odsustvu korelacije između brzine auditivnog procesiranja i razvijenosti jezičkih sposobnosti (Smyth 2021).

5.5 Promene u entropiji uzorka tokom auditivne obrade stimulusa

Entropija uzorka, kako je već napomenuto, je mera nepredvidivosti i neregularnosti moždane aktivnosti (Li, Ouyang et al. 2007). Uzrasne i grupne razlike u vrednostima entropije su imale vrlo sličan obrazac kao i rezultati fraktalne dimenzije.

Rezultati entropije tokom auditivne obrade reči i nereči su ukazali na postojanje uzrasnih razlika, sa višim vrednostima entropije kod starije grupe (5.0-5.11), pronađenim u frontalnim (Fp1, Fp2, F3, F4, Fz) i centralnim (C3, C4, Cz) elektrodama bilateralno. Uzrasno-grupne razlike tokom auditivne obrade reči i nereči su bile prisutne u levoj temporalnoj (T5) elektrodi kod TP grupe, sa višim vrednostima SE tokom auditivne obrade reči i nereči u starijoj grupi ispitanika. Odsustvo statistički značajnih razlika u SE tokom auditivne obrade reči i nereči ukazuje da na posmatranom uzorku, SE ne može ukazati na razlike između posmatranih grupa ispitanika, što ne ide u prilog tome da SE može biti značajan faktor za razlikovanje grupa tokom auditivne obrade reči i nereči.

Auditivna obrada dva tipa rečenica je kod analize entropije pokazala značajne grupne i uzrasne razlike u velikom broju regiona. Grupne razlike su ukazale na više vrednosti SE kod SJP grupe, koje su obuhvatile celu mrežu moždanih regiona. Uzrasne razlike su ukazale na više vrednosti SE tokom auditivne obrade dva tipa rečenica kod mlađe grupe bilateralno u prefrontalnom (Fp1, Fp2), parijetalnom (P3, Pz) okcipitalnom (O1) regionu, kao i u levom temporalnom (T6) regionu. Uzrasno-grupne razlike SE tokom auditivne obrade dva tipa rečenica su ukazale na razlike između TP i SJP dece na desnoj frontalnoj (F8) i centralnoj (Cz) elektrodi, kao i u okviru uzrasnih grupa (4.0-4.11/5.0-5.11). SE je bila viša kod SJP dece u odnosu na TP decu, bez obzira na uzrast dece.

Rezultati analize SE tokom auditivne obrade narativnog diskursa su pokazali uzrasno-grupne razlike u desnom fronto-centralnim elektrodama (F4, C4), koje u daljoj analizi nisu imale statističke značajnosti. Naši rezultati ukazuju da obe grupe (TP/SJP) i obe uzrasne grupe (4.0-4.11/5.0-5.11) različito obrađuju stimulus priču, ali da ta razlika nije statistički značajna.

Više vrednosti entropije tokom auditivne obrade dva tipa rečenica kod mlađe dece i SJP grupe ukazuju na obradu složenog i nepredvidivog signala. Ovo je očekivano kada su u pitanju stimulusi koji se smatraju složenim u sintaksičko-semantičkom smislu. Podatak iz literature ukazuje da

promena kompleksnosti zavisi i od dužine signala. Naime, kraći stimuli utiču na povećanje kompleksnosti za razliku od signala sa dužim vremenskim serijama (Costa, Goldberger et al. 2005). Prema tome, dobijene razlike SE kod različitih grupa ispitanika tokom slušanja tri vrste stimulusa mogu uistinu biti posledica dužine signala, odnosno načina na koji se računa entropija, a ne kortikalnih procesa koji leže u osnovi generisanih EEG signala.

Kardi i saradnici navode da se prisustvo auditivnih kortikalnih odgovora isključivo u desnoj hemisferi smatra biomarkerom koji označava prisustvo jezičkih poremećaja kod dece (Cardy, Tannock et al. 2010). Odsustvo kompleksnosti EEG signala u očekivanim regionima tokom auditivne obrade narativnog diskursa u našoj studiji može se jednim delom objasniti time da poznata priča nije angažovala delove mozga povezane sa auditivnom obradom zbog nedovoljno zanimljivog auditivnog signala, odnosno činjenicom da monoton zadatak smanjuje kompleksnost signala (McIntosh, Kovacevic et al. 2008).

Poredeći rezultate za različite parametre (spektralna snaga, fraktalna dimenzija i entropija) uočavaju se neke bitne razlike u dobijenim nalazima. Kod spektralne snage, pored razlika koje se uočavaju na nivou govorno-jezičkih i starosnih grupa, u velikoj meri je zastupljen i interakcioni član *grupa*uzrasna grupa*. Kod nelinearnih parametara, fraktalne dimenzije i entropije, dominiraju razlike između govorno-jezičkih i uzrasnih grupa, bez ili uz minimalne interakcije između njih. Ovo može biti posledica stvarne razlike u kvalitetu izabranih parametara koji opisuju EEG signal tokom auditivne obrade stimulusa različite kompleksnosti. Međutim, ovo može biti i posledica preprocesiranja EEG signala, pošto su nelinearni parametri podložni većem uticaju uklanjanja artefakata. Artefakti su u ciljanoj populaciji ispitanika posebno izraženi pošto se radi o deci uzrasta 4 do 6 godina, i deci sa specifičnim jezičkim poremećajem koja često manifestuju nezrelo ponašanje i smanjenu saradljivost. Neophodna su dalja ciljana istraživanja kako bi se utvrdilo koji od posmatranih parametara i koji od auditivnih stimulusa predstavljaju optimalan izbor za klasifikaciju pojedinih podgrupa u posmatranom uzorku ispitanika.

Očekivano je, sa aspekta razvoja govora i jezika, kao i maturacije moždane aktivnosti, da postoji interakcija između uzrasta i nivoa govorno-jezičke razvijenosti, te nam se čini da je spektralna snaga u posmatranim ritmovima možda adekvatniji parametar za realnije opisivanje ovih procesa, kao i da na posmatranoj populaciji dece može poslužiti kao biomarker za diferencijaciju tipične i atipične populacije dece.

5.6 Promene u koherenciji tokom auditivne obrade stimulusa

Koherencija kao mera funkcionalne povezanosti tokom auditivne obrade svih ispitivanih stimulusa (reči/nereči, potvrdna/upitna rečenica, narativni diskurs) je pokazala najveći stepen intra i interhemisferne koherencije u frontalnim i temporalnim regionima. Možemo zaključiti da su ova dva regiona vodeća kada je u pitanju procesiranje govora i jezika što potvrđuju i druge studije (Kuzniecky and Jackson 2005, Baars and Gage 2013, Wadhwa and Kakkar 2020).

Rezultati koherencije za teta ritam tokom auditivne obrade reči kod obe ispitivane grupe (TP/SJP) pokazuju veze koherencije isključivo bilateralno u prefronto-frontalnim parovima elektroda (TP grupa: Fp1-Fp2; Fp1-F3; SJP grupa: Fp1-F3; Fp2-F4). Rezultati koherencije za teta ritam tokom auditivne obrade nereči kod obe ispitivane grupe (TP/SJP) pokazuju veze koherencije u frontalno temporalnim parovima elektroda. Kod TP grupe tokom auditivne obrade nereči u frekvencijskom opsegu teta ritma, uočena je levo lateralizovana fronto-temporalna koherencija na paru elektroda Fp1-T3, a kod SJP grupe fronto-temporalna koherencija je uočena desnostrano na paru elektroda Fp2-T4.

Rezultati koherencije za alfa ritam tokom auditivne obrade reči pokazuju kod obe grupe ispitanika (TP/SJP) najzastupljenije koherencije bilateralno prefrontalno, na paru elektroda Fp1-Fp2. Odvojeno, koherencija za frekvencijski opseg alfa ritma je uočena tokom auditivne obrade reči desno lateralizovano fronto-temporalno na paru elektroda F4-T4 kod TP grupe i bilateralno temporalno na paru elektroda T5-T6 kod SJP grupe. Rezultati koherencije za alfa ritam tokom auditivne obrade nereči pokazuju kod obe grupe ispitanika (TP/SJP) najzastupljenije koherencije takođe, bilateralno prefrontalno, na paru elektroda Fp1-Fp2. Odvojeno, koherencija za frekvencijski opseg alfa ritma tokom auditivne obrade nereči je uočena desno lateralizovano prefronto-temporalno na paru elektroda Fp2-T4 kod TP grupe, i takođe, desno lateralizovano fronto-temporalno na paru elektroda F4-T4 kod SJP grupe.

Koherencija beta ritma tokom auditivne obrade reči je kod TP grupe bila bilaterano frontalna na parovima elektroda, Fp1-F3, Fp2-F4 i desno lateralizovano temporalna na parovima elektroda F4-T4. Kod SJP grupe rezultati koherencije za beta ritam tokom auditivne obrade reči ukazuju na koherencije lokalizovane bilateralno frontalno na parovima elektroda Fp1-Fp2, F3-Fz, Fp2-F4. Koherencija u frekvencijskom opsegu beta ritma tokom auditivne obrade nereči, je, pored frontalnih i temporalnih konekcija uočena levo lateralizovano parijeto-okcipitalno na paru elektroda P3-O1 kod TP grupe i levo lateralizovano temporalno na paru elektroda T3-T5.

Rezultati koherencije tokom auditivne obrade dva tipa rečenica su pokazale umerenu zastupljenost za sva tri ritma (teta, alfa, beta ritam) Broj koherentnih veza je takođe opadao sa povećanjem frekvencijskog opsega, odnosno najveći broj koherentnih veza je bio za teta ritam, dok je za beta ritam bio najmanji.

Rezultati koherencije tokom auditivne obrade potvrdnih rečenica su ukazale da je u frekvencijskom opsegu teta i alfa ritma, najzastupljenija koherencija levo lateralizovana u frontalnom regionu na paru elektroda Fp1-F3 prisutna u TP grupi, a bilateralno u prefrontalnom regionu na paru elektroda Fp1-Fp2 u SJP grupi. Koherencija u frekvencijskom opsegu beta ritma tokom auditivne obrade potvrdnih rečenica, je uočena desno lateralizovano u frontalnom regionu na paru elektroda Fp2-F4, i bilateralno u prefrontalnom regionu na paru elektroda Fp1-Fp2 kod SJP grupe.

Rezultati koherencije tokom auditivne obrade upitnih rečenica za frekvencijske opsege sva tri moždana ritma (teta, alfa, beta) tokom auditivne obrade upitnih rečenica pokazuju koherenciju levo lateralizovano u frontalnom regionu na paru elektroda Fp1-F3, dok je kod SJP grupe koherencija uočena na paru elektroda Fp1-Fp2 kod SJP grupe.

Koherencije tokom auditivne obrade narativnog diskursa su pokazale najmanju zastupljenost za sva tri ritma (teta, alfa, beta). Rezultati koherencije za frekvencijske opsege teta i alfa ritma tokom auditivne obrade narativnog diskursa su ukazale na koherencije najizraženije bilateralno u prefrontalnim regionima na paru elektroda Fp1-Fp2, a kod frekvencijskog opsega beta ritma levo lateralizovano u prefrontalno-temporalnom regionu na paru elektroda Fp1-T3 kod obe grupe ispitanika (TP/SJP). Uočeno je da je koherencija tokom auditivne obrade narativnog diskursa u frekvencijskom opsegu alfa i beta ritma prisutna desno lateralizovano, u parijeto-okcipitalnim regionu na paru elektroda P4-O2 kod TP grupe, a bilateralno u frontalnom regionu na parovima elektroda F4-Fz i Fp1-Fp2, kod SJP grupe.

Broj koherencijskih veza kod svih ispitivanih auditivnih stimulusa je opadao sa povećanjem frekvencijskog opsega, dok je mnogo manji broj veza bio prisutan kod SJP grupe. Ovim se potvrđuje atipična moždana asimetrija (Bishop 2013) i nezrelost auditivne percepcije (Bishop and McArthur 2005, Bishop, Hardiman et al. 2012, Kujala and Leminen 2017) kod dece sa SJP. Jedna EEG studija je dokumentovala korelaciju teta koherencije u fronto-parijetalnim regionima i razvijenosti receptivnog jezika (Bradley, Smith et al. 2024).

Takođe, broj koherencija je opadao sa povećanjem složenosti auditivnog stimulusa, odnosno najveći broj koherencijskih veza je zabeležen tokom obrade reči i nereči, a najmanji tokom obrade narativnog diskursa. Suprotno, u jednoj studiji slušanja priče rezultati su pokazali funkcionalnu povezanost velikog broja regiona, sa najvećom aktivacijom alfa talasa tokom slušanja narativnog diskursa. Naime, najviše angažovani regioni bili su delovi ventralnog puta i deo okcipitalnog režnja, čija aktivacija se objašnjava dečjom vizuelizacijom koja se dešava tokom slušanja priče (Farah, Meri et al. 2019). Naš rezultat se može jednim delom objasniti studijom koja je pokazala da vrednosti koherencije imaju tendenciju da budu niže tokom dobro poznatih zadataka, što ukazuje da je mozgu potrebno manje napora da obradi poznate auditivne stimuluse (De Castelnau, Albaret et al. 2008). Rezultati koherencije tokom auditivne obrade dva tipa rečenica, a najviše narativnog diskursa ukazuju na slabiju sinhronizaciju i povezanost u određenim regionima mozga. Manja zastupljenost koherencije sugerise da je neuronska komunikacija između ovih regiona manje koordinirana, što može uticati na integraciju auditivnih informacija i obrade jezika tokom ovog auditivnog zadatka.

Dodatno, rezultati ovog istraživanja su pokazali da i u periodu mirnog stanja postoji funkcionalna povezanost određenih regiona/EEG elektroda. Može se zaključiti, po uzoru na drugu studiju (Raichle and Mintun 2006) da iako mozak nije aktivno angažovan u određenim zadacima, postoji određeni nivo umežavanja moždanih regija.

5.7 Lokalizacija izvora EEG signala tokom auditivne obrade stimulusa

sLORETA daje vizuelni prikaz lokalizacije izvora EEG signala. Vizuelno gledano, najveći broj aktiviranih centara tokom auditivne obrade svih ispitivanih auditivnih stimulusa (reči/nereči, potvrдна/upitna rečenica, narativno diskurs) u obe ispitivane grupe (TP/SJP) je zabeležen bilateralno u frontalnom i temporalnom režnju. Razlike između auditivne obrade reči i nereči kod obe ispitivane grupe (TP/SJP) nisu postojale kada je u pitanju lokalizacija izvora EEG signala. Ovo ukazuje da je auditivna obrada reči, kao i auditivna obrada nereči imala isti izvor lokalizacije EEG signala. Sličan obrazac je uočen i tokom auditivne obrade potvrđnih i upitnih rečenica.

Tokom auditivne obrade reči i nereči, kod obe ispitivane grupe (TP/SJP) najveći broj izvora lokalizacije za teta i beta ritam je zabeležen u temporalnim regionima, i za alfa ritam u posteriornim regionima, što ukazuje na aktivaciju u regionima zaduženim za obradu govora (Steinmetzger and Rosen 2017, Perone, Palanisamy et al. 2018). Frontalni i temporalni regioni su posebno angažovani u procesiranju različitih auditivnih stimulusa, što je dodatno pojašnjeno u studiji koja ukazuje da je frontalni region prvenstveno angažovan u procesima pažnje, dok je temporalni region više uključen u razumevanje auditivnih signala (Defenderfer et al., 2021).

Auditivna obrada dva tipa rečenica kod obe ispitivane grupe (TP/SJP), kod frekvencijskih opsega svih moždanih ritmova (teta, alfa, beta) je pokazala izvor lokalizacije EEG aktivnosti u frontalnim i temporalnim regionima.

Kada je u pitanju obrada narativnog diskursa, lokalizacija izvora EEG signala je pokazala isključivo frontalnu aktivaciju kod sva tri moždana ritma kod obe grupe ispitanika (TP/SJP). Ovaj nalaz ukazuje na angažovanje radne memorije i pažnje (Pressman and Rosen 2015, Abhang, Gawali et al. 2016), što je važan preduslov za razumevanje priče. Drugim rečima, angažovanje ovih regiona ukazuju da je tokom auditivne obrade narativa došlo do povećanja pažnje, aktiviranja mentalnog leksikona i adekvatne auditivne obrade (Baggio and Fonseca 2012, Baars and Gage 2013, Jie, Cao et al. 2014, Wang, Huang et al. 2014).

6. ZAKLJUČAK

Uzimajući u obzir kompleksnost signala, rezultati ukazuju da se najveći broj statistički značajnih razlika (uključujući sve parametre) javio tokom auditivne obrade rečenica, zatim reči i nereči, i na kraju narativnog diskursa. Iz toga proizilazi da narativni diskurs nije optimalan izbor auditivnog stimulusa za ispitivanu populaciju dece.

Tokom auditivne obrade rečenica dominiraju razlike po uzrastu (4-4.11/5-5.11) i grupi (TP/SJP), dok se tokom auditivne obrade reči i nereči dominantna razlika uočava u interakcionom članu *uzrast*grupa*. Takođe je uočeno da se tip stimulusa u određenoj vrsti stimulusa retko javljao kao parametar na osnovu koga su se mogle statistički razlikovati podgrupe u okviru posmatranog uzorka. Utvrđeno je da mirno stanje i uzrast kao kovarijable imaju statistički značajan uticaj na vrednosti parametara tokom zadataka, te ih je neophodno uvrstiti u analize koje imaju za cilj pronalaženje razlika između podgrupa sličnih uzoraka.

Parametar fraktalna dimenzija pokazuje najviši nivo diskriminativnosti po pitanju grupa (TP/SJP) i uzrasnih grupa (4-4.11/5-5.11) tokom auditivne obrade rečenica. Kako se javlja skoro na svim elektrodama (kod grupe TP/SJP na 19 elektroda), dodatna istraživanja su neophodna kako bi se utvrdilo da li razlike u fraktalnoj dimenziji stvarno potiču od razlika u karakteristikama EEG signala posmatranih grupa ili su posledica preprocesiranja signala.

Rezultati istraživanja su ukazali da se najveći broj statistički značajnih razlika (uzimajući u obzir sve auditivne stimuluse i posmatrane parametre) javlja na elektrodama: Fp1, Fp2, F7, F4, F8, T5, T4, T6 i P4. To ukazuje na dinamičke procese koji se odvijaju u regijama odgovornim za prijem i obradu auditivnih i govorno-jezičkih signala, kao i regijama odgovornim za govorno-jezičku produkciju. Dobijeni rezultati sugerišu na primenu eksperimentalne postavke koja bi podrazumevala ispitivanje EEG korelata sa većim brojem elektroda samo u regijama od interesa. To bi značajno pojednostavilo i olakšalo proceduru EEG snimanja u populaciji dece mlađeg uzrasta, posebno dece sa neurorazvojnim poremećajima.

Sumirajući prethodno navedeno, možemo zaključiti da se naučni doprinos studije ogleđa u tome što ukazuje na različitu osetljivost pojedinih parametara u opisivanju EEG signala tokom obrade auditivnih stimulusa različite kompleksnosti. Stoga se nameće neophodnost daljih istraživanja u oblasti EEG korelata moždanih osnova kognitivnih funkcija kod dece tipičnog razvoja i dece sa neurorazvojnim poremećajima uzrasta 4 do 6 godina. Naše istraživanje je ukazalo da je dinamika procesiranja auditivnih stimulusa visoko uslovljena uzrasnim kategorijama posmatrane dece, te su dalja istraživanja neophodna u cilju boljeg razumevanje kognitivnih procesa koji su uslovljeni uzrastom dece, kao i atipičnostima u govorno-jezičkom razvoju.

Stručni značaj ovog istraživanja ogleđa se u mogućem unapređenju dijagnostičkih procedura i terapijskih modela rehabilitacije dece sa specifičnim jezičkim poremećajem. Dijagnostički značaj se ogleđa kroz kreiranje standardizovanih EEG dijagnostičkih protokola i definisanje biomarkera kao bioloških indikatora za dijagnozu specifičnog jezičkog poremećaja. EEG korelati dobijeni u istraživanju mogu poslužiti kao klinički biomarkeri za SJP i na taj način poboljšati i objektivizirati diferencijalnu dijagnostiku neurorazvojnih poremećaja kojima pripada i SJP. Terapijski značaj se ogleđa kroz objektivnu procenu neurorazvojnog statusa i planiranje terapijskih modela zasnovanih na proceni definisanih biomarkera.

PRILOZI

Prilog 1.

Tabela 1. Razlike u normalizovanim srednjim vrednostima spektralnih snaga alfa ritma u periodu mira, periodu slušanja reči i periodu slučanja nereči u grupi SJP i TP dece uzrasta 5 godina

Elektrode	Grupa	Mir (95%IP)	t(51)	p	Reč normalizovano (95%IP)	t(48)	p	Nereč normalizovano (95%IP)	T(48)	p
Fp1	SJP	1.4(1.07-1.74)	3.474	.001	-.43(-.83- -.02)	3.086	.003	-.51(-.80- -.21)	3.403	.001
	TP	2.54(1.96-3.12)								
Fp2	SJP	-1.41(1.08-1.73)	3.304	.002	-.56(-.99- -.12)	2.584	.013	-.68(-1.03- -.32)	3.230	.002
	TP	2.33(1.87-2.8)								
F3	SJP	2.62(2.01-3.23)	2.044	.046	-.09(-.31-.13)	.826	.413	-.10(-.3-.09)	1.686	.098
	TP	3.75(2.86-4.64)								
F4	SJP	2.67(2.12-3.22)	2.035	.048	-.14(-.40-0.12)	.689	.494	-.12(-.33-.07)	.822	.415
	TP	3.79(2.81-4.76)								
C3	SJP	3.6(1.83-5.37))	.718	.476	.06(-.08-.21)	.928	.358	.08(-.07-.25)	-.569	.572
	TP	4.64(3.3-5.98))								
C4	SJP	3.86(2.36-5.36)	1.373	.176	-.11(-.29-.07)	.746	.459	-.01(-.17-.16)	.389	.699
	TP	5.24(3.66-6.82)								

Elektrode	Grupa	Mir (95%IP)	t(51)	p	Reč normalizovano (95%IP)	t(48)	p	Nereč normalizovano (95%IP)	T(48)	p
P3	SJP	3.58(2.64-4.52)	3.418	.002	-.10 (-.38-.17)	2.328	.024	-.08(-.28-.12)	2.773	.008
	TP	7.43(5.27-9.59)								
P4	SJP	3.85(2.72-4.97))	3.152	.003	-.01(-.22-.20)	.161	.873	-.03(-.20-.12)	2.022	.049
	TP	8.28(5.72-10.85)								
O1	SJP	9.87(5.53-14.21)	2.145	.037	-.01(-.38-.37)	-.287	.776	-.18(-.7-.33)	.528	.600
	TP	18.1(12.41-23.79)								
O2	SJP	7.77(5.39-10.16)	3.108	.004	-.36(-.92-.18)	2.569	.013	-.46 (-1.14-.21)	1.407	.166
	TP	24.58(14.13-35.02)								
F7	SJP	1.96(1.45-2.47)	2.376	.021	-.75 (-1.26- -.25)	2.768	.008	-.76(-1.62-.1)	1.492	.142
	TP	2.95(2.29-3.6)								
F8	SJP	2.18(1.68-2.68)	2.095	.041	-.34(-.67--.01)	1.313	.195	-.31(-.56- -.06)	1.560	.125
	TP	3.14(2.39-3.9)								

Elektrode	Grupa	Mir (95%IP)	t(51)	p	Reč normalizovano (95%IP)	t(48)	p	Nereč normalizovano (95%IP)	T(48)	p
T3	SJP	1.62(1.2-2.04)	2.655	.011	-.11 (-.35-.12)	2.549	.014	-.05(-.24-.13)	2.072	.044
	TP	2.87(2.08-3.67)								
T4	SJP	2.21(1.62-2.81)	1.904	.063	.03(-.16-.23)	.522	.604	-.09(-.40-.21)	1.586	.119
	TP	3.63(2.2-5.06)								
T5	SJP	4.31(3.32-5.31)	3.264	.002	.03(-.13-.20)	1.849	.071	-.04(-.21-.13)	3.356	.002
	TP	8.82(6.28-11.35)								
T6	SJP	5.4(3.49-7.31)	2.620	.012	-.08(-.35-.18)	1.916	.061	-.18(-.44-.07)	2.786	.008
	TP	10.21(6.98-13.44)								
Fz	SJP	2.48(1.9-3.07)	2.588	.013	.07(-.05-.19)	.394	.695	-.05(-.25-.13)	2.122	.039
	TP	3.87(3.03-4.71)								
Cz	SJP	4.28(2.87-5.7)	1.257	.214	.06 (-.08-.20)	1.479	.146	.01(-0.13-.14)	1.170	.248
	TP	5.59(4.11-7.07)								
Pz	SJP	3.69(2.87-4.5)	3.664	.001	.07(-.08-.31)	1.579	.121	-.24(-.46- -.02)	3.583	.001
	TP	7.52(5.47-9.57)								

Legenda: TP: tipična populacija; SJP: specifični jezički poremećaj; p: p vrednost(na osnovu Studentovog T-testa); IP: Interval poverenja 95%.

Prilog 2.

Tabela 1. Rezultati srednjih vrednosti spektralne snage beta ritma kod mirnog stanja

Efekat	<i>F</i>	<i>p</i>
Grupa	.351	.555
Uzrasna grupa	1.683	.198

F statistika; p vrednost je prikazana.

Tabela 2. Post hoc rezultati za novu varijablu *grupauzrasnagrada* (Games-Howell post hoc test)

<i>E</i>	<i>grupauzrasnagrada</i> (95%CI)	<i>grupauzrasnagrada</i>	<i>p vrednost</i> (post hoc)	<i>E</i>	<i>grupauzrasnagrada</i> (95%CI)	<i>grupauzrasnagrada</i>	<i>p vrednost</i> (post hoc)
Fp1	1.45 (.35-.54)	2	.805	F8	1.91 (.71-1.12)	2	.127
		3	.212			3	.565
		4	.056			4	.815
	2.49 (.40-.59)	1	.805		2.89 (.72-1.06)	1	.127
		3	.772			3	.031
		4	.396			4	.448
	3.43 (.35-.52)	1	.212		3.82 (.63-1.01)	1	.565
		2	.772			2	.031
		4	.914			4	.222
	4.60 (.48-.73)	1	.056		4.85 (.70-1.01)	1	.815
		2	.396			2	.448
		3	.914			3	.222
<i>E</i>	<i>grupauzrasnagrada</i> (95%CI)	<i>grupauzrasnagrada</i>	<i>p vrednost</i> (post hoc)	<i>E</i>	<i>grupauzrasnagrada</i> (95%CI)	<i>grupauzrasnagrada</i>	<i>p vrednost</i> (post hoc)
T5	1.82 (.72-.91)	2	.019	Fz	1.54 (.45-.62)	2	.730
		3	.113			3	.020
		4	.624			4	.806
	2.86 (.73-.99)	1	.019		2.66 (.53-.80)	1	.730
		3	.001			3	.001
		4	.251			4	.994
	3.85 (.70-1.01)	1	.113		3.52 (.46-.57)	1	.020
		2	.001			2	.001
		4	.015			4	.001
	4.88 (.79-.97)	1	.624		4.60 (.52-.67)	1	.806
		2	.251			2	.994
		3	.015			3	.001

E: lokacija elektroda; 1: TP grupa 4 godine; 2: TP grupa 5 godina; 3: SJP grupa 4 godine; 4: SJP grupa 5 godina; *p* *p*-vrednost (zasnovana na post hoc analizi); CI: 95% interval poverenja; TP: tipična populacija; SJP: specifični jezički poremećaj.

Prilog 3

Tabela 1 Rezultati srednjih vrednosti SP teta ritma tokom auditivne obrade rečenica iyme]u TP i SJP grupe

Elektrode	Grupa	M	SD
Fp1	SJP	7.16	5.99
	TP	3.09	1.46
Fp2	SJP	7.67	6.50
	TP	3.30	1.69
F3	SJP	7.34	5.86
	TP	5.45	2.13
F4	SJP	6.75	3.93
	TP	5.48	2.25
C3	SJP	6.06	6.09
	TP	3.69	1.83
C4	SJP	6.49	8.07
	TP	4.64	2.09
P3	SJP	7.88	7.62
	TP	5.85	3.67
P4	SJP	8.07	6.28
	TP	5.65	3.12
O1	SJP	13.94	11.38
	TP	11.51	6.90
O2	SJP	13.74	8.63
	TP	12.25	7.69
F7	SJP	8.40	11.00
	TP	4.58	2.29
F8	SJP	6.48	3.79
	TP	4.44	2.11
T3	SJP	5.40	3.38
	TP	2.96	1.80
T4	SJP	6.04	3.73
	TP	3.80	2.43
T5	SJP	9.24	6.09
	TP	6.93	3.34
T6	SJP	11.51	7.86
	TP	7.45	3.85
Fz	SJP	7.21	4.00
	TP	6.03	2.91
Cz	SJP	9.93	6.97
	TP	7.83	3.59
Pz	SJP	9.91	8.85
	TP	7.26	5.14

M: eng. Mean value, Srednja vrednost, SD: Standardna devijacija; TP: tipična populacija; SJP: specifični jezički poremećaj.

Prilog 4

Tabela 1 Rezultati srednjih vrednosti fraktalne dimenzije tokom auditivne obrade reči i nereči između uzrasnih grupa

Elektrode	Uzrasna grupa	M	SD
Fp1	4 godine	1.33	0.08
	5 godina	1.34	0.08
Fp2	4 godine	1.34	0.10
	5 godina	1.34	0.09
F3	4 godine	1.34	0.10
	5 godina	1.34	0.07
F4	4 godine	1.33	0.08
	5 godina	1.35	0.08
C3	4 godine	1.28	0.08
	5 godina	1.27	0.05
C4	4 godine	1.27	0.08
	5 godina	1.27	0.06
P3	4 godine	1.26	0.06
	5 godina	1.27	0.05
P4	4 godine	1.26	0.07
	5 godina	1.26	0.06
O1	4 godine	1.26	0.07
	5 godina	1.28	0.07
O2	4 godine	1.27	0.07
	5 godina	1.28	0.08
F7	4 godine	1.39	0.10
	5 godina	1.40	0.09
F8	4 godine	1.37	0.09
	5 godina	1.37	0.07
T3	4 godine	1.34	0.09
	5 godina	1.33	0.07
T4	4 godine	1.33	0.08
	5 godina	1.33	0.07
T5	4 godine	1.30	0.07
	5 godina	1.31	0.08
T6	4 godine	1.28	0.07
	5 godina	1.30	0.06
Fz	4 godine	1.27	0.07
	5 godina	1.29	0.06
Cz	4 godine	1.22	0.07
	5 godina	1.23	0.06
Pz	4 godine	1.23	0.06
	5 godina	1.24	0.05

M: eng. Mean value, Srednja vrednost, SD: Standardna devijacija;

Tabela 2 Rezultati srednjih vrednosti fraktalne dimenzije tokom auditivne obrade rečenica između SJP i TP grupe

Elektrode	Grupa	M	SD
Fp1	SJP	1.59	.24
	TP	1.34	.11
Fp2	SJP	1.60	.22
	TP	1.36	.12
F3	SJP	1.52	.19
	TP	1.34	.10
F4	SJP	1.51	.17
	TP	1.34	.08
C3	SJP	1.43	.16
	TP	1.27	.07
C4	SJP	1.46	.21
	TP	1.27	.09
P3	SJP	1.41	.16
	TP	1.26	.07
P4	SJP	1.42	.17
	TP	1.26	.07
O1	SJP	1.45	.18
	TP	1.25	.08
O2	SJP	1.46	.20
	TP	1.25	.10
F7	SJP	1.62	.19
	TP	1.40	.11
F8	SJP	1.57	.17
	TP	1.39	.09
T3	SJP	1.61	.23
	TP	1.34	.11
T4	SJP	1.57	.22
	TP	1.34	.10
T5	SJP	1.46	.16
	TP	1.29	.07
T6	SJP	1.46	.18
	TP	1.28	.08
Fz	SJP	1.53	.23
	TP	1.26	.15
Cz	SJP	1.36	.16
	TP	1.19	.18
Pz	SJP	1.40	.17
	TP	1.21	.19

M: eng. Mean value, Srednja vrednost, SD: Standardna devijacija; TP: tipična populacija; SJP: specifični jezički poremećaj

Tabela 3 Rezultati srednjih vrednosti fraktalne dimenzije tokom auditivne obrade rečenica između uzrasnih grupa

Elektrode	Uzrasna grupa	M	SD
Fp1	4 godine	1.48	.22
	5 godina	1.45	.22
Fp2	4 godine	1.51	.21
	5 godina	1.45	.21
F3	4 godine	1.43	.17
	5 godina	1.42	.18
F4	4 godine	1.42	.16
	5 godina	1.43	.16
C3	4 godine	1.36	.15
	5 godina	1.34	.15
C4	4 godine	1.37	.19
	5 godina	1.36	.19
P3	4 godine	1.34	.14
	5 godina	1.33	.15
P4	4 godine	1.35	.16
	5 godina	1.33	.15
O1	4 godine	1.35	.16
	5 godina	1.35	.18
O2	4 godine	1.36	.18
	5 godina	1.36	.20
F7	4 godine	1.52	.18
	5 godina	1.49	.19
F8	4 godine	1.49	.17
	5 godina	1.46	.16
T3	4 godine	1.50	.24
	5 godina	1.45	.22
T4	4 godine	1.48	.23
	5 godina	1.43	.18
T5	4 godine	1.39	.16
	5 godina	1.37	.15
T6	4 godine	1.38	.18
	5 godina	1.36	.15
Fz	4 godine	1.42	.22
	5 godina	1.37	.25
Cz	4 godine	1.30	.15
	5 godina	1.26	.22
Pz	4 godine	1.33	.16
	5 godina	1.27	.23

M: eng. Mean value, Srednja vrednost, SD: Standardna devijacija

Prilog 5

Tabela 1 Rezultati srednjih vrednosti entropije tokom auditivne obrade reči i nereči između uzrasnih grupa

Elektrode	Uzrasna grupa	M	SD
Fp1	4 godine	0.59	0.09
	5 godina	0.61	0.08
Fp2	4 godine	0.60	0.09
	5 godina	0.61	0.08
F3	4 godine	0.60	0.09
	5 godina	0.61	0.08
F4	4 godine	0.61	0.08
	5 godina	0.63	0.09
C3	4 godine	0.56	0.06
	5 godina	0.58	0.06
C4	4 godine	0.56	0.07
	5 godina	0.58	0.08
P3	4 godine	0.55	0.06
	5 godina	0.57	0.07
P4	4 godine	0.54	0.07
	5 godina	0.56	0.07
O1	4 godine	0.52	0.07
	5 godina	0.55	0.07
O2	4 godine	0.53	0.08
	5 godina	0.55	0.08
F7	4 godine	0.63	0.10
	5 godina	0.65	0.10
F8	4 godine	0.63	0.09
	5 godina	0.64	0.08
T3	4 godine	0.62	0.08
	5 godina	0.63	0.08
T4	4 godine	0.62	0.08
	5 godina	0.63	0.08
T5	4 godine	0.59	0.07
	5 godina	0.61	0.08
T6	4 godine	0.57	0.08
	5 godina	0.59	0.08
Fz	4 godine	0.54	0.07
	5 godina	0.56	0.06
Cz	4 godine	0.48	0.06
	5 godina	0.51	0.07
Pz	4 godine	0.50	0.06
	5 godina	0.51	0.08

M: eng. Mean value, Srednja vrednost, SD: Standardna devijacija;

Tabela 2 Rezultati srednjih vrednosti entropije tokom auditivne obrade rečenica između SJP i TP grupe

Elektrode	Grupa	M	SD
Fp1	SJP	1.18	.50
	TP	0.62	.15
Fp2	SJP	1.19	.49
	TP	0.64	.15
F3	SJP	1.09	.45
	TP	0.63	.16
F4	SJP	1.07	.41
	TP	0.63	.14
C3	SJP	0.97	.35
	TP	0.58	.13
C4	SJP	0.96	.35
	TP	0.57	.12
P3	SJP	0.94	.37
	TP	0.56	.12
P4	SJP	0.95	.38
	TP	0.56	.12
O1	SJP	1.00	.40
	TP	0.54	.13
O2	SJP	1.03	.45
	TP	0.54	.17
F7	SJP	1.21	.45
	TP	0.67	.17
F8	SJP	1.13	.41
	TP	0.66	.12
T3	SJP	1.28	.51
	TP	0.64	.16
T4	SJP	1.21	.48
	TP	0.64	.15
T5	SJP	1.02	.37
	TP	0.60	.13
T6	SJP	1.00	.39
	TP	0.59	.15
Fz	SJP	1.02	.40
	TP	0.55	.13
Cz	SJP	0.83	.32
	TP	0.50	.09
Pz	SJP	0.90	.37
	TP	0.51	.11

M: eng. Mean value, Srednja vrednost, SD: Standardna devijacija; TP: tipična populacija; SJP: specifični jezički poremećaj

Tabela 3 Rezultati srednjih vrednosti entropije tokom auditivne obrade rečenica između uzrasnih grupa

Elektrode	Uzrasna grupa	M	SD
Fp1	4 godine	0.93	.47
	5 godina	0.87	.45
Fp2	4 godine	0.96	.47
	5 godina	0.87	.44
F3	4 godine	0.88	.41
	5 godina	0.85	.41
F4	4 godine	0.86	.39
	5 godina	0.84	.36
C3	4 godine	0.80	.34
	5 godina	0.75	.31
C4	4 godine	0.78	.34
	5 godina	0.75	.31
P3	4 godine	0.77	.34
	5 godina	0.73	.32
P4	4 godine	0.78	.36
	5 godina	0.73	.32
O1	4 godine	0.77	.37
	5 godina	0.76	.38
O2	4 godine	0.79	.41
	5 godina	0.78	.42
F7	4 godine	0.97	.46
	5 godina	0.91	.42
F8	4 godine	0.94	.42
	5 godina	0.85	.34
T3	4 godine	1.01	.53
	5 godina	0.91	.46
T4	4 godine	0.98	.51
	5 godina	0.88	.40
T5	4 godine	0.84	.38
	5 godina	0.78	.32
T6	4 godine	0.82	.39
	5 godina	0.77	.33
Fz	4 godine	0.81	.39
	5 godina	0.76	.36
Cz	4 godine	0.69	.32
	5 godina	0.64	.25
Pz	4 godine	0.74	.36
	5 godina	0.67	.30

M: eng. Mean value, Srednja vrednost, SD: Standardna devijacija.

Prilog 6

Tabela 1. Procenti zastupljenosti koherencije za teta, alfa i beta opseg u period mirnog stanja između SJP i TP grupe.

Θ				α				β			
TP		SJP		TP		SJP		TP		SJP	
Parovi elektroda	%	Parovi elektroda	%	Parovi elektroda	%	Parovi elektroda	%	Parovi elektroda	%	Parovi elektroda	%
Fp1-F3	28	Fp2-F4	20	Fp1-Fp2	22	Fp2-F4	14	Fp1-F3	20	Fp2-F4	16
Fp1-Fp2	20	Fp1-Fp2	16	Fp1-F3	22	Fp1-F3	12	Fp1-Fp2	14	Fp1-Fp2	8
Fp2-F4	20	Fp1-F3	12	Fp2-F4	14	Fp1-Fp2	10	F4-T4	10	Fp1-F3	4
Fp1-T3	6	F3-T3	6	Fp1-T3	8	F3-T3	6	Fp2-T4	8	Fp1-F4	4
F4-T4	6	Fp1-T3	4	Fp1-Fz	8	Fp1-T3	4	Fp1-T3	6	Fp2-T4	4
Fp1-Fz	4	Fp1-Fz	4	Fp2-T4	8	Fp1-F4	2	Fp1-T4	6	F4-T4	4
Fp2-F3	4	Fp2-T4	2	Fp2-F3	4	Fp1-Fz	2	Fp2-F4	6	T3-T4	4
P4-O2	4	Fp2-Pz	2	F3-T3	4	Fp2-T4	2	Fp1-Fz	4	T5-O1	4
Fp1-F4	2	F3-Fz	2	F4-T4	4	Fp2-Fz	2	Fp2-F3	4	Fp1-T3	2
Fp1-T4	2	F4-T4	2	P4-O2	4	Fp2-Pz	2	Fp2-Pz	4	Fp1-Fz	2
Fp2-T4	2	P4-Pz	2	Fp1-F4	2	F3-Fz	2	P4-O2	4	Fp2-F3	2
Fp2-Fz	2	T5-T6	2	Fp1-T4	2	F4-T4	2	Fp1-F4	2	Fp2-Pz	2
F3-T3	2	T5-O1	2	Fp2-Fz	2	T5-T6	2	Fp2-T3	2	F3-T3	2
F3-T4	2			F3-Fz	2	T5-O1	2	F3-F4	2		
P3-O1	2			F4-Fz	2			F3-T3	2		
T3-T4	2			P3-O1	2			F3-Fz	2		
T5-O1	2			F8-O2	2			P3-O1	2		
T6-O2	2			T3-T4	2			T3-T4	2		
				T4-Pz	2						

Θ -teta talas; α -alfa talas; β -beta talas; TP- Tipična populacija; SJP- Specifični jezički poremećaj

Tabela 2. Procenti zastupljenosti koherencije za teta, alfa i beta opseg tokom auditivne obrade reči između SJP i TP grupe.

Θ				α				β			
TP		SJP		TP		SJP		TP		SJP	
Parovi elektroda	%	Parovi elektroda	%	Parovi elektroda	%	Parovi elektroda	%	Parovi elektroda	%	Parovi elektroda	%
Fp1-Fp2	66	Fp1-F3	66	Fp1-Fp2	60	Fp1-Fp2	60	Fp1-F3	30	F3-Fz	32
Fp1-F3	62	Fp2-F4	66	F4-Fz	58	Fp1-F3	52	Fp2-F4	30	Fp2-F4	30
Fp2-F4	54	Fp1-Fp2	58	Fp1-F3	56	F3-Fz	52	F4-T4	30	Fp1-Fp2	28
F3-Fz	52	F3-Fz	56	Fp2-F4	54	Fp1-Fz	50	P4-O2	26	T5-T6	26
F4-Fz	46	Fp1-Fz	50	F4-T4	54	T5-T6	50	T5-T6	26	Fp1-F3	24
Fp2-T4	44	Fp2-Fz	46	Fp2-Fz	46	Fp2-F4	48	Fp1-Fz	24	Fp1-T3	24
T5-T6	44	Fp1-T3	44	Fp2-T4	44	Fp1-T3	46	Fp2-T4	24	Fp2-T4	20
Fp1-Fz	42	Fp2-T4	44	F3-Fz	44	Fp2-T4	42	F3-Fz	24	F4-T4	20
F4-T4	42	F7-F8	44	Fp1-Fz	42	F4-Fz	42	F4-Fz	20	F4-Fz	20
Fp1-P4	36	F4-Fz	42	T5-O1	40	Fp2-Fz	40	P3-O1	20	P4-O2	20
Fp2-Fz	36	T6-O2	36	T5-T6	36	F4-T4	40	Fp1-Fp2	18	P3-Pz	16
Fp1-T3	34	T5-T6	34	T6-O2	36	F7-F8	38	T3-T5	18	T3-T5	16
Fp2-P3	34	Fp2-Pz	32	Fp1-T3	30	F3-T3	34	T6-O2	18	T6-O2	16
F3-T3	34	F3-T3	32	F3-T3	30	Fp2-Pz	30	T5-O1	16	Fp1-Fz	14
F7-F8	34	F4-T4	32	P4-Pz	30	C3-T5	30	Fp1-P3	14	Fp2-Fz	14
P4-Pz	32	P4-O2	32	F7-F8	30	P3-O1	30	Fp1-Pz	14	Fp2-Pz	14
T5-O1	32	P4-Pz	30	C3-T5	28	T6-O2	30	P4-Pz	14	T5-O1	14
Fp2-P4	28	Fp1-P4	28	P4-O2	28	Fp1-Pz	28	T4-T6	12	F7-F8	12
P3-T4	28	Fp1-Pz	28	F8-O2	28	P4-Pz	26	Fp1-T3	10	T4-T6	12
T6-O2	26	Fp2-P3	28	Fp1-Pz	26	P4-O2	24	F3-T3	10	P3-O1	10
P3-O1	24	P3-O1	24	Fp2-P3	22	P3-T4	22	P3-Pz	10	Fp1-Pz	8
Fp1-F4	22	P3-Pz	24	P3-Pz	22	F8-Fz	22	F7-O1	10	C3-T5	8
Fp1-P3	22	T5-O1	24	P4-T5	22	T5-O1	22	Fp2-P4	8	Fp2-P4	6
C3-T5	22	F8-Fz	20	F7-Fz	22	Fp1-P4	20	Fp2-Fz	8	C3-T6	6
P3-Pz	22	C3-T5	18	Fp1-P4	20	Fp2-P3	18	Fp2-Pz	8	P4-F8	6
P4-O2	22	T3-T5	18	Fp2-Pz	20	Fp2-F8	18	F4-O1	8	P4-Pz	6
Fp1-Pz	20	F3-F8	16	P3-O1	20	F7-O1	18	F7-F8	8	Fp1-T4	4
C3-T6	20	P3-T4	16	Fp1-F4	18	Fp1-F8	16	Fp1-P4	6	Fp2-F3	4
P3-Fz	20	P4-T3	16	F3-F7	18	C3-T6	16	Fp1-F7	6	Fp2-P3	4
C3-O2	18	F7-Fz	16	F4-F7	18	C4-T5	16	Fp1-F8	6	Fp2-T3	4
Fp1-F7	16	T4-T6	16	F4-F8	18	P3-Pz	16	Fp2-T3	6	F3-T3	4
Fp1-T4	16	Fp1-P3	14	P3-Fz	18	P4-Fz	16	F4-F7	6	C4-T6	4
Fp2-T3	16	Fp2-F3	14	Fp2-F8	16	F8-O2	16	C4-T6	6	P3-T5	4
Fp2-Pz	16	Fp2-P4	14	F3-F8	16	T3-T5	16	F8-O2	6	F7-O1	4
Fp2-F3	14	F4-P3	14	P3-T4	16	F3-F8	14	F8-Pz	6	F7-Fz	4
F3-F8	14	C3-T6	14	P4-F8	16	T4-T6	14	T3-T4	6	T3-T4	4
F4-F7	14	P4-T6	14	P4-T6	16	Fp1-P3	12	Fp1-F4	4	T4-T5	4
C4-P4	14	P4-Fz	14	Fp1-P3	14	Fp2-F3	12	Fp1-T4	4	T5-O2	4
P4-F8	14	F7-O1	14	Fp2-F3	14	F3-P4	12	Fp1-O1	4	Fp1-F8	2
P4-T3	14	Fp2-F8	12	Fp2-F7	14	F3-Pz	12	Fp2-F7	4	Fp1-T6	2

Θ -teta talas; α -alfa talas; β -beta talas; TP- Tipična populacija; SJP- Specifični jezički poremećaj

Tabela 3. Procenti zastupljenosti koherencije za teta, alfa i beta opseg tokom auditivne obrade nereči između SJP i TP grupe.

Θ				α				β			
TP		SJP		TP		SJP		TP		SJP	
Parovi elektroda	%	Parovi elektroda	%	Parovi elektroda	%	Parovi elektroda	%	Parovi elektroda	%	Parovi elektroda	%
Fp1-F3	60	Fp1-F3	56	Fp1-F3	66	Fp1-Fp2	58	Fp1-F3	28	Fp1-F3	36
Fp1-Fp2	58	F3-Fz	56	Fp2-F4	54	F3-Fz	52	P3-O1	28	T5-T6	36
Fp2-F4	56	Fp2-F4	50	Fp2-T4	54	Fp1-F3	48	Fp2-T4	24	T3-T5	32
Fp1-T3	54	Fp1-Fp2	48	Fp1-Fp2	48	F4-T4	48	P4-O2	24	Fp1-Fp2	30
F3-Fz	50	Fp2-T4	48	T5-T6	48	Fp2-F4	46	T5-T6	24	Fp2-F4	28
T5-T6	48	F4-T4	48	Fp1-T3	46	Fp1-T3	44	T5-O1	24	F3-Fz	28
Fp2-T4	46	F4-Fz	42	F4-T4	46	T5-T6	44	T6-O2	24	Fp2-T4	26
Fp2-Fz	44	Fp1-T3	40	Fp1-Fz	44	F3-T3	42	Fp2-F4	22	T6-O2	26
Fp1-Fz	42	F7-F8	34	F3-Fz	44	T5-O1	40	Fp1-T3	20	F4-T4	24
Fp2-Pz	42	T5-T6	34	F4-Fz	42	Fp2-T4	36	Fp1-Fp2	18	Fp1-T3	20
F4-Fz	42	Fp1-Fz	32	T5-O1	42	P4-O2	34	Fp1-Fz	18	P4-O2	20
T6-O2	42	Fp1-Pz	32	Fp2-Fz	40	F7-F8	34	F4-T4	18	Fp1-Fz	18
T5-O1	38	F3-T3	32	P4-O2	38	F4-Fz	32	T4-T6	18	P3-Pz	18
F3-T3	36	T6-O2	32	T6-O2	38	T6-O2	32	F3-Fz	16	F7-F8	18
P4-O2	36	Fp2-Fz	30	F3-T3	36	Fp1-Fz	30	F4-Fz	16	F3-T3	12
Fp1-Pz	34	T5-O1	30	F7-F8	34	P3-O1	28	C3-T5	16	F4-Fz	12
F4-T4	34	Fp2-Pz	28	P3-O1	32	Fp1-Pz	24	F7-O1	16	Fp2-Fz	10
Fp1-P4	32	P3-Pz	28	Fp2-P3	30	Fp2-Fz	22	Fp2-Fz	14	F3-C3	10
Fp2-P3	30	Fp2-P3	24	C4-T6	30	Fp1-P4	20	C4-T6	14	T5-O1	10
F7-F8	30	Fp1-P4	22	F7-O1	30	P3-Pz	20	T3-T5	14	P4-Pz	8
P3-O1	28	P4-Pz	22	Fp1-P4	28	Fp2-P3	18	P3-Pz	12	T4-T6	8
P3-Pz	28	T3-T5	22	Fp1-Pz	28	Fp2-Pz	18	F7-F8	12	Fp1-F4	6
Fp1-P3	24	P4-T3	20	C3-T5	28	P4-Pz	18	F8-O2	12	Fp1-Pz	6
Fp1-F4	22	T3-Pz	20	P3-T4	28	F3-F8	16	Fp1-P4	10	Fp2-P3	6
Fp2-F7	22	F4-P3	18	Fp2-Pz	26	F7-O1	16	Fp2-P4	10	C3-T5	6
F3-P4	22	P3-O1	18	P3-Pz	26	T5-O2	16	F3-T3	10	P3-O1	6
T3-T5	22	P4-O2	18	Fp2-F3	24	F4-P3	14	Fp1-F4	6	T3-T6	6
C3-T6	20	F7-O1	18	F8-O2	24	C3-T5	14	Fp1-F8	6	Fp1-P4	4
C3-O2	20	P3-T4	16	P4-T3	22	C4-T6	14	Fp2-F8	6	Fp2-Pz	4
P3-T5	20	F3-P4	14	P4-T5	22	P3-T4	14	Fp2-Pz	6	F3-F4	4
P4-Fz	20	T4-Pz	14	P4-Pz	22	P4-T3	14	F4-F7	6	F4-P3	4
F4-P3	18	F3-F4	12	F3-P4	20	Fp1-F8	12	C3-T6	6	C3-T4	4
F4-F7	18	F4-O1	12	F4-P3	20	C3-T6	12	C4-P4	6	C3-T6	4
C4-T6	18	C3-T6	12	T4-T6	20	F8-O2	12	P3-T5	6	P4-F8	4
P4-T3	18	C3-O2	12	Fp1-P3	18	T3-T5	12	P4-T3	6	P4-T6	4
P4-T6	18	F8-Fz	12	Fp1-F8	18	T4-T6	12	P4-T6	6	P4-Fz	4
F7-Fz	18	Fp1-F4	10	P3-T6	18	F3-P4	10	P4-Pz	6	F7-O1	4
Fp1-F7	16	Fp1-F7	10	Fp2-P4	16	C4-O1	10	F7-Fz	6	F7-Pz	4

Θ -teta talas; α -alfa talas; β -beta talas; TP- Tipična populacija; SJP- Specifični jezički poremećaj

Tabela 4. Procenti zastupljenosti koherencije za Teta, Alfa i Beta opseg tokom auditivne obrade potvrdnih rečenica između SJP i TP grupe.

θ				α				β			
TP		SJP		TP		SJP		TP		SJP	
Parovi elektroda	%	Parovi elektroda	%	Parovi elektroda	%	Parovi elektroda	%	Parovi elektroda	%	Parovi elektroda	%
Fp1-F3	22	Fp1-Fp2	18	Fp1-F3	18	Fp1-Fp2	8	Fp2-T4	6	Fp1-Fp2	4
Fp1-Fp2	12	Fp1-T3	6	Fp2-F4	12	Fp1-F3	4	Fp2-F4	4	Fp1-P3	2
Fp2-F4	10	Fp1-Pz	4	Fp1-Fp2	8	Fp1-F8	2	F4-T4	4	Fp2-F4	2
F4-T4	10	Fp2-T4	4	F3-Fz	8	Fp1-T3	2	P4-O2	4	Fp2-P3	2
Fp1-Fz	6	F7-F8	4	Fp1-Fz	6	Fp1-Pz	2	Fp1-Fp2	2	F4-T3	2
Fp1-T3	4	Fp1-F3	2	Fp1-T3	4	Fp2-F3	2	Fp1-F3	2	P3-Pz	2
Fp2-T4	4	Fp1-Fz	2	F3-T3	4	Fp2-F4	2	F3-T3	2	P4-Pz	2
F3-Fz	4	Fp2-F3	2	F4-T4	4	Fp2-P4	2	F7-F8	2		
P4-O2	4	Fp2-F4	2	P4-O2	4	Fp2-T4	2				
Fp1-F8	2	Fp2-Pz	2	Fp2-F3	2	F4-T4	2				
Fp2-F3	2	F3-Fz	2	Fp2-T4	2	T6-O2	2				
Fp2-T3	2	F4-T3	2	F4-Fz	2						
F3-T3	2	F4-T4	2	P3-O1	2						
F4-Fz	2	P3-Pz	2	F7-F8	2						
P3-O1	2	P4-Pz	2	T6-O2	2						
F7-F8	2	T3-T4	2								
T5-O1	2	T3-Pz	2								

θ -teta talas; α -alfa talas; β -beta talas; TP- Tipična populacija; SJP- Specifični jezički poremećaj

Tabela 5. Procenti zastupljenosti koherencije za Teta, Alfa i Beta opseg tokom auditivne obrade upitnih rečenica između SJP i TP grupe.

θ				α				β			
TP		SJP		TP		SJP		TP		SJP	
Parovi elektroda	%	Parovi elektroda	%	Parovi elektroda	%	Parovi elektroda	%	Parovi elektroda	%	Parovi elektroda	%
Fp1-F3	28	Fp1-Fp2	14	Fp1-F3	26	Fp1-Fp2	6	Fp1-T3	8	Fp1-Fp2	2
Fp2-F4	16	Fp2-F4	6	Fp2-F4	10	Fp1-F3	4	F4-T4	8	Fp2-F4	2
Fp1-Fp2	10	Fp1-F3	4	Fp1-Fp2	8	Fp2-F4	4	Fp2-F4	6	F3-T3	2
Fp1-T3	10	Fp1-P4	2	Fp1-T3	8	Fp2-T4	2	P4-O2	6	F3-Fz	2
Fp1-Fz	8	Fp1-Fz	2	F4-T4	6	Fp2-Fz	2	Fp1-F3	4	F4-T4	2
P4-O2	6	Fp1-Pz	2	Fp1-Fz	4	F3-Fz	2	Fp2-T4	4		
Fp2-T4	4	Fp2-Pz	2	Fp2-T4	4	F4-T4	2	F3-T3	4		
F3-T3	4	F3-T3	2	F3-T3	4	T5-O1	2	T3-T5	4		
F4-T4	4	F3-Fz	2	F3-Fz	4			Fp1-Fp2	2		
T3-T5	4			P4-O2	4			C3-T5	2		
Fp2-Fz	2			T5-O1	4			P3-O1	2		
Fp2-Pz	2			Fp2-Pz	2						
F3-Fz	2			P3-O1	2						
P3-O1	2			F7-F8	2						
F7-F8	2			F8-Fz	2						
T6-O2	2			T3-T5	2						

θ -teta talas; α -alfa talas; β -beta talas; TP- Tipična populacija; SJP- Specifični jezički poremećaj

Tabela 6. Procenti zastupljenosti koherencije za teta, alfa i beta opseg tokom auditivne obrade narativnog diskursa između SJP i TP grupe.

Θ				α				β			
TP		SJP		TP		SJP		TP		SJP	
Parovi elektroda	%	Parovi elektroda	%	Parovi elektroda	%	Parovi elektroda	%	Parovi elektroda	%	Parovi elektroda	%
Fp1-Fp2	14	Fp1-Fp2	40	Fp1-Fp2	8	Fp1-Fp2	14	P4-O2	8	Fp1-Fp2	6
F3-Fz	8	Fp1-T3	2	P4-O2	8	F4-Fz	2	Fp1-T3	4	Fp1-T3	2
P4-O2	6	Fp2-T3	2	Fp1-T3	4	T3-T5	2	F3-Fz	4	P4-Pz	2
Fp1-T3	4	F7-F8	2	F3-Fz	4			F3-T3	2		
F3-T3	2			F3-T3	2			F4-T4	2		
F4-T4	2			F4-T4	2			P3-Pz	2		
P3-O1	2			P3-O1	2			P4-T3	2		
								T3-Cz	2		

Θ -teta talas; α -alfa talas; β -beta talas; TP- Tipična populacija; SJP- Specifični jezički poremećaj

LITERATURA

- Abhang, P. A., Gawali, B., & Mehrotra, S. (2016). *Introduction to EEG-and speech-based emotion recognition*: Academic Press.
- Abraham, A., Dash, S., Pani, S. K., & García-Hernández, L. (2022). *Artificial Intelligence for Neurological Disorders*: Academic Press.
- Alvand, A., Kuruvilla-Mathew, A., Kirk, I. J., Roberts, R. P., Pedersen, M., & Purdy, S. C. (2022). Altered brain network topology in children with auditory processing disorder: A resting-state multi-echo fMRI study. *NeuroImage-Clinical*, 35, 103139.
- Andreu, L., Sanz-Torrent, M., & Trueswell, J.C. (2013). Anticipatory sentence processing in children with specific language impairment: Evidence from eye movements during listening. *Applied Psycholinguistics*, 34(1), 5-44.
- Anthony, J. L., Lonigan, C. J., Driscoll, K., Phillips, B. M., & Burgess, S. R. (2003). Phonological sensitivity: A quasi-parallel progression of word structure units and cognitive operations. *Reading Research Quarterly*, 38(4), 470-487.
- Arbel, Y., & Donchin, E. (2014). Error and performance feedback processing by children with specific language impairment—An ERP study. *Biological Psychology*, 99, 83-91.
- Baars, B., & Gage, N.M. (2013). *Fundamentals of cognitive neuroscience: a beginner's guide*: Academic Press.
- Badcock, N. A., Bishop, D. V., Hardiman, M. J., Barry, J. G., & Watkins, K. E. (2012). Co-localization of abnormal brain structure and function in specific language impairment. *Brain and Language*, 120(3), 310-320. doi:10.1016/j.bandl.2011.10.006.
- Baggio, G., & Fonseca, A. (2012). Complex dynamics of semantic memory access in reading. *Journal of the Royal Society Interface*, 9(67), 328-338.
- Barman, A., Prabhu, P., Mekhala, V. G., Vijayan, K., & Narayanan, S. (2021). Electrophysiological findings in specific language impairment: A scoping review. *Hearing, Balance and Communication*, 19(1), 26-30.
- Basu, M., Krishnan, A., & Weber-Fox, C. (2010). Brainstem correlates of temporal auditory processing in children with specific language impairment. *Developmental science*, 13(1), 77-91.
- Biro, M. (1998). *Priručnik za REVISK* (II revidirano i dopunjeno izdanje). Beograd: Društvo psihologa Srbije.
- Bishop, D. V. (1992). The underlying nature of specific language impairment. *Journal of Child Psychology & Psychiatry*. 33(1):3-66. doi: 10.1111/j.1469-7610.1992.tb00858.x. PMID: 1737831.
- Bishop, D.V. (2007). Using mismatch negativity to study central auditory processing in developmental language and literacy impairments: where are we, and where should we be going? *Psychological bulletin*, 133(4), 651.
- Bishop, D. V. (2013). Cerebral asymmetry and language development: cause, correlate, or consequence? *Science*, 340(6138).
- Bishop, D. V., Hardiman, M. J., & Barry, J. G. (2012). Auditory deficit as a consequence rather than endophenotype of specific language impairment: electrophysiological evidence. *PloS one*, 7(5), e35851.
- Bishop, D. V., & McArthur, G. (2004). Immature cortical responses to auditory stimuli in specific language impairment: evidence from ERPs to rapid tone sequences. *Developmental science*, 7(4), F11-F18.
- Bishop, D.V., Carlyon, R.P., Deeks, J.M., & Bishop, S.J. (1999). Auditory temporal processing impairment: Neither necessary nor sufficient for causing language impairment in children. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 42(6), 1295-1310.

- Bishop, D. V., & McArthur, G. (2005). Individual Differences in Auditory Processing in Specific Language Impairment: A Follow-Up Study Using Event-Related Potentials and Behavioral Thresholds. *Cortex*, 41(3), 327-341. doi:10.1016/s0010-9452(08)70270-3.
- Binder, J.R. (2015). The Wernicke area: Modern evidence and a reinterpretation. *Neurology*, 85(24), 2170-2175.
- Binder, J.R., Desai, R.H., Graves, W.W., & Conant, L.L. (2009). Where is the semantic system? A critical review and meta-analysis of 120 functional neuroimaging studies. *Cerebral Cortex*, 19(12), 2767-2796.
- Bowyer, S. M. (2016). Coherence a measure of the brain networks: past and present. *Neuropsychiatric Electrophysiology*, 2, 1-12.
- Broca, P. (1861). Remarks on the seat of the faculty of articulated language, following an observation of aphemia (loss of speech). *Bulletin de la Société Anatomique*, 6(330-357), 27.
- Bradley, H., Smith, B.A., & Xiao, R. (2024). Associations between EEG power and coherence with cognition and early precursors of speech and language development across the first months of life. *PloS one*, 19(4), e0300382.
- Bradshaw, A., Thompson, P., Wilson, A., Bishop, D., & Woodhead, Z. (2017). Measuring language lateralization with different language tasks: a systematic review. *PeerJ*, 24;5:e3929. doi: 10.7717/peerj.3929. PMID: 29085748; PMCID: PMC5659218
- Bronzino, J.D. (2000). *Biomedical Engineering Handbook 2* (Vol. 2): Springer Science & Business Media.
- Brunner, C., Delorme, A., & Makeig, S. (2013). Eeglab—an open source matlab toolbox for electrophysiological research. *Biomedical Engineering/Biomedizinische Technik*, 58(SI-1-Track-G), 000010151520134182.
- Berthier, M. L., Dávila, G., Torres-Prioris, M. J., Moreno-Torres, I., Clarimón, J., Dols-Icardo, O., Postigo M. J., Fernandez, V., Edelkraut, L., & Moreno- Campos, L. (2020). Developmental Dynamic Dysphasia: Are Bilateral Brain Abnormalities a Signature of Inefficient Neural Plasticity? *Frontiers in human neuroscience*, 14, 73.
- Binkofski, F. C., Klann, J., & Caspers, S. (2016). On the neuroanatomy and functional role of the inferior parietal lobule and intraparietal sulcus. In *Neurobiology of language* (pp. 35-47): Elsevier.
- Cardy, J.E.O., Tannock, R., Johnson, A.M., & Johnson, C.J. (2010). The contribution of processing impairments to SLI: Insights from attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of communication disorders*, 43(2), 77-91.
- Chen, Y., Tsao, F.-M., & Liu, H.-M. (2016). Developmental changes in brain response to speech perception in late-talking children: A longitudinal MMR study. *Developmental cognitive neuroscience*, 19, 190-199.
- Cirelli, L. K., Bosnyak, D., Manning, F. C., Spinelli, C., Marie, C., Fujioka, T., Ghahremani, A., & Trainor, L. J. (2014). Beat-induced fluctuations in auditory cortical beta-band activity: using EEG to measure age-related changes. *Frontiers in Psychology*, 5, 742.
- Clarke, A.R., Barry, R.J., Dupuy, F.E., McCarthy, R., Selikowitz, M., & Johnstone, S.J. (2013). Excess beta activity in the EEG of children with attention-deficit/hyperactivity disorder: a disorder of arousal? *International Journal of Psychophysiology*, 89(3), 314-319.
- Clower, W.T., & Finger, S. (2001). Discovering trepanation: the contribution of Paul Broca. *Neurosurgery*, 49(6), 1417-1426.
- Coady, J. A., & Evans, J. L. (2008). Uses and interpretations of non-word repetition tasks in children with and without specific language impairments (SLI). *International journal of language & communication disorders*, 43(1), 1-40.
- Cooley, J.W., & Tukey, J.W. (1965). An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series. *Mathematics of computation*, 19(90), 297-301.

- Corriveau, K., Pasquini, E., & Goswami, U. (2007). Basic auditory processing skills and specific language impairment: a new look at an old hypothesis. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 50(3), 647-666. doi:10.1044/1092-4388(2007/046).
- Crystal, D. (1995). Phonaesthetically speaking. *English Today*, 11(2), 8-12.
- Coslett, H. B., & Schwartz, M. F. (2018). The parietal lobe and language. *Handbook of Clinical Neurology*, 151, 365-375.
- Costa, M., Goldberger, A. L., & Peng, C.-K. (2005). Multiscale entropy analysis of biological signals. *Physical Review E—Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, 71(2), 021906.
- Čukic, M., Pokrajac, D., Stokic, M., Radivojevic, V., & Ljubisavljevic, M. (2018). EEG machine learning with Higuchi fractal dimension and Sample Entropy as features for successful detection of depression. *arXiv preprint arXiv:1803.05985*.
- Čturić, N. (1987). *Razvojni test Čturić*. Zagreb: Jastrebarsko: Naklada Slap.
- Daivids, N., Segers, E., Van den Brink, D., Mitterer, H., van Balkom, H., Hagoort, P., & Verhoeven, L. (2011). The nature of auditory discrimination problems in children with specific language impairment: An MMN study. *Neuropsychologia*, 49(1), 19-28.
- Davidson, D. J., & Indefrey, P. (2007). An inverse relation between event-related and time-frequency violation responses in sentence processing. *Brain research*, 1158, 81-92.
- de Bie, H. M., Boersma, M., Adriaanse, S., Veltman, D. J., Wink, A. M., Roosendaal, S. D., Barkhof., F, Stam, C. J., Oostrom, K. J., & Delemarre-van de Waal, H. A. (2012).). Resting-state networks in awake five-to-eight-year-old children. *Human Brain Mapping*, 33(5), 1189-1201.
- De Castelnau, P., Albaret, J.-M., Chaix, Y., & Zanone, P.-G. (2008). A study of EEG coherence in DCD children during motor synchronization task. *Human Movement Science*, 27(2), 230-241.
- Defenderfer, J., Forbes, S., Wijekumar, S., Hedrick, M., Plyler, P., & Buss, A. T. (2021). Frontotemporal activation differs between perception of simulated cochlear implant speech and speech in background noise: An image-based fNIRS study. *Neuroimage*, 240, 118385.
- de Guibert, C., Maumet, C., Jannin, P., Ferre, J. C., Treguier, C., Barillot, C., Le Rumeur, E., Allaire., C & Biraben, A. (2011). Abnormal functional lateralization and activity of language brain areas in typical specific language impairment (developmental dysphasia). *Brain*, 134(Pt 10), 3044-3058. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21719430>. doi:10.1093/brain/awr141.
- Delacroix, L., & Malgrange, B. (2015). Cochlear afferent innervation development. *Hearing Research*, 330, 157-169.
- DeWitt, I., & Rauschecker, J.P. (2012). Phoneme and word recognition in the auditory ventral stream. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(8), E505-E514.
- Dharani, K. (2014). *The biology of thought: A neuronal mechanism in the generation of thought-A new molecular model*: Academic Press.
- Dick, A. S., Solodkin, A., & Small, S. L. (2010). Neural development of networks for audiovisual speech comprehension. *Brain and language*, 114(2), 101-114.
- Dlouha, O., Novak, A., & Vokral, J. (2007). Central auditory processing disorder (CAPD) in children with specific language impairment (SLI): Central auditory tests. *International journal of pediatric otorhinolaryngology*, 71(6), 903-907.
- Duffy, F.H., Iyer, V.G., & Surwillo, W.W. (2012). *Clinical electroencephalography and topographic brain mapping: Technology and practice*: Springer Science & Business Media.
- Dunn, L.M., & Dunn, L.M. (1997). *PPVT-III: Peabody picture vocabulary test*: American Guidance Service.
- Eisermann, M., Kaminska, A., Moutard, M. L., Soufflet, C., & Plouin, P. (2013). Normal EEG in childhood: from neonates to adolescents. *Neurophysiologie Clinique* 43(1), 35-65. doi:10.1016/j.neucli.2012.09.091

- Ellis Weismer, S., Plante, E., Jones, M., & Tomblin, J.B. (2005). A functional magnetic resonance imaging investigation of verbal working memory in adolescents with specific language impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing*, 48(2), 405-425. doi:10.1044/1092-4388(2005/028).
- Engel, A. K., & Fries, P. (2010). Beta-band oscillations—signaling the status quo? *Current opinion in neurobiology*, 20(2), 156-165.
- Farah, R., Mary, R., Kadis, D. S., Hutton, J., DeWitt, T., & Horowitz-Kraus, T. (2019). Hyperconnectivity during screen-based stories listening is associated with lower narrative comprehension in preschool children exposed to screens vs dialogic reading: an EEG study. *PloS one*, 14(11), e0225445.
- Finneran, D. A., Francis, A. L., & Leonard, L. B. (2009). Sustained attention in children with specific language impairment (SLI). *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 52(4), 915-929. doi:10.1044/1092-4388(2009/07-0053).
- Fisher, A. E., Furlong, P. L., Seri, S., Adjamian, P., Witton, C., Baldeweg, T., Phillips, S., Walsh, R., Judith M Houghton, J. M., & Thai, N. J. (2008). Interhemispheric differences of spectral power in expressive language: a MEG study with clinical applications. *International Journal of Psychophysiology*, 68(2), 111-122.
- Foley, E., Wood, A.G., Furlong, P.L., Walsh, A.R., Kearney, S., Bill, P., Hillebrand, A., . & Seri, S. (2020). Mapping language networks and their association with verbal abilities in pediatric epilepsy using MEG and graph analysis. *NeuroImage: Clinical*. doi:10.1016/j.nicl.2020.102265.
- Foxe, J.J., & Snyder, A.C. (2011). The role of alpha-band brain oscillations as a sensory suppression mechanism during selective attention. *Frontiers in Psychology*, 2, 154.
- French, C. C., & Beaumont, J. G. (1984). A critical review of EEG coherence studies of hemisphere function. *International Journal of Psychophysiology*, 1(3), 241-254.
- Friedrich, M., Herold, B., & Friederici, A.D. (2009). ERP correlates of processing native and non-native language word stress in infants with different language outcomes. *Cortex*, 45(5), 662-676.
- Friederici, A.D. (2002). Towards a neural basis of auditory sentence processing. *Trends in cognitive sciences*, 6(2), 78-84.
- Friederici, A. D. (2015). White-matter pathways for speech and language processing. *Handb Clin Neurol*, 129, 177-186. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25726269>. doi:10.1016/B978-0-444-62630-1.00010-X.
- Gilley, P. M., Walker, N. K., & Sharma, A. (2014). Abnormal oscillatory neural coupling in children with language-learning problems and auditory processing disorder. In *Seminars in hearing* (Vol. 35, No. 01, pp. 015-026). Thieme Medical Publishers.
- Girbau-Massana, D., Garcia-Marti, G., Marti-Bonmati, L., & Schwartz, R. Mr. (2014). Differences in gray-white matter and cerebrospinal fluid volume in children with specific language impairment and/or reading disabilities. *Neuropsychologia*, 56, 90-100.
- Gladun, K. (2020). The Higuchi fractal dimension as a method for assessing responses to sound stimuli in patients with diffuse axonal brain injury. *Sovremennie tehnologii v medicine*, 12(4 (eng)), 63-70.
- Gray, S. (2005). Word learning in preschoolers with specific language impairment: The effect of phonological or semantic cues. *Journal of Speech, Language & Hearing Research*, 48(6).
- Graham, R., & LaBar, K.S. (2012). Neurocognitive mechanisms of gaze-expression interaction in face processing and social attention. *Neuropsychologia*, 50(5), 553-566.
- Grosse, P., Cassidy, M., & Brown, P. (2002). EEG-EMG, MEG-EMG and EMG-EMG frequency analysis: physiological principles and clinical application. *Clinical neurophysiology*, 113(10), 1523-1531.

- Gul, A., Baron, L. S., and Arbel, I. (2023). Contribution of theta and delta to feedback processing in children with developmental language disorder. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, 15(1), 13.
- Guntekin, B., Uzunlar, H., Calisoglu, P., Eroglu-Ada, F., Iildirim, E., Akturk, T., Atai, E., & Ceran, O. (2020). Theta and alpha oscillatory responses distinguish six- to seven-year-olds from adults during successful encoding of visual and auditory memory. *Brain Res*, 1747, 147042. Retrieved from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32758480/> doi:10.1016/j.brainres.2020.147042
- Guyton, A.C., & Hall, J.E. (2012). *Medical physiology*. Medical Publishing House.
- Haesen, B., Boets, B., & Wagemans, J. (2011). A review of behavioural and electrophysiological studies on auditory processing and speech perception in autism spectrum disorders. *Research in autism spectrum disorders*, 5(2), 701-714.
- Hickok, G. (2012). Computational neuroanatomy of speech production. *Nature reviews neuroscience*, 13(2), 135-145.
- Hickok, G., & Poeppel, D. (2007). Cortical organization of speech processing. *Nature Reviews neuroscience*, 8(5), 393-402.
- Higuchi, T. (1988). An approach to irregular time series based on fractal theory. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 31(2), 277-283. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0167278988900814>. doi:[https://doi.org/10.1016/0167-2789\(88\)90081-4](https://doi.org/10.1016/0167-2789(88)90081-4)
- Holland, S.K., Vannest, J., Mezzoli, M., Jacola, L.M., Tillema, J.-M., Karunanaiaka, P.R., Schmithorst, VJ, Yuan, V., Plante, E., & Biars, A.V. (2007). Functional MR imaging of language lateralization during development in children. *International Journal of Audiology*, 46(9), 533-551.
- Hsu, HJ, & Bishop, D.V. (2014). Sequence-specific procedural learning deficits in children with specific language impairment. *Developmental Science*, 17(3), 352-365.
- Ingram, John. (2009). *Neurolinguistics: An Introduction to Spoken Language Processing and its Disorders*. 10.1017/CBO9780511618963. Cambridge University Press
- Jaušovec, N., & Jaušovec, K. (2012). Working memory training: improving intelligence - changing brain activity. *Brain and Cognition*, 79(2), 96-106.
- Javed, K., Reddy, V., Das, J.M., & Wroten, M. (2022). *Neuroanatomy, Wernicke's area*. In StatPearls [Internet]: StatPearls Publishing.
- Jie, X., Cao, R., & Li, L. (2014). Emotion recognition based on EEG pattern entropy. *Biomedical Materials and Engineering*, 24(1), 1185-1192.
- Kalnak, N., Peyrard-Janvid, M., Forssberg, H., & Sahlén, B. (2014). Nonword repetition—a clinical marker for specific language impairment in Swedish associated with parents' language-related problems. *PloS one*, 9(2), e89544.
- Kaminska, A., Eisermann, M., & Plouin, P. (2019). Child EEG (and maturation). *Handbook of Clinical Neurology*, 160, 125-142.
- Kang, J., Chen, H., Li, X., & Li, X. (2019). EEG entropy analysis in autistic children. *Journal of Clinical Neuroscience*, 62, 199-206.
- Karunanayaka, P. R., Holland, S. K., Schmithorst, V. J., Solodkin, A., Chen, E. E., Szaflarski, J. P., & Plante, E. (2007). Age-related connectivity changes in fMRI data from children listening to stories. *Neuroimage*, 34(1), 349-360.
- Katz, M. J. (1988). Fractals and the analysis of waveforms. *Comput Biol Med*, 18(3), 145-156. doi:10.1016/0010-4825(88)90041-8.
- Keshmiri, S. (2020). Entropy and the brain: An overview. *Entropy*, 22(9), 917.
- Khoshbin, S. (2000). The History of the Electroencephalography and Clinical Neuroscience Society (ECNS) Part I: A Brief History of the American Medical Electroencephalographic Association (AMEEGA). *Clinical Electroencephalography*, 31(2), 63-66.

- Khoshkhoo, S., Leonard, M. K., Mesgarani, N., & Chang, E. F. (2018). Neural correlates of sine-wave speech intelligibility in human frontal and temporal cortex. *Brain and Language*, 187, 83-91. doi:10.1016/j.bandl.2018.01.007.
- Kim, J. S., & Chung, C. K. (2008). Language lateralization using MEG beta frequency desynchronization during auditory oddball stimulation with one-syllable words. *Neuroimage*, 42(4), 1499-1507.
- Klimesch, W. (2012). Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information. *Trends in cognitive sciences*, 16(12), 606-617.
- Korpilahti, P., & Lang, H. A. (1994). Auditory ERP components and mismatch negativity in dysphasic children. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 91(4), 256-264. doi:10.1016/0013-4694(94)90189-9.
- Kostić, D., & Vladislavljević, S. (1983). *Testovi za ispitivanje govora i jezika*. Zavod za udzbenike i nastavna sredstva, Beograd
- Kovelman, I., Mascho, K., Millott, L., Mastic, A., Moiseff, B., & Shalinsky, M. H. (2012). At the rhythm of language: Brain bases of language-related frequency perception in children. *Neuroimage*, 60(1), 673-682.
- Krause, C. M., Boman, P.-A., Sillanmäki, L., Varho, T., & Holopainen, I. E. (2008). Brain oscillatory EEG event-related desynchronization (ERD) and -synchronization (ERS) responses during an auditory memory task are altered in children with epilepsy. *Seizures*, 17(1), 1-10.
- Kropotov, J.D. (2010). *Quantitative EEG, event-related potentials and neurotherapy*: Academic Press.
- Kropotov, J. D. (2016). *Functional neuromarkers for psychiatry: Applications for diagnosis and treatment*: Academic Press.
- Kujala, T., & Leminen, M. (2017). Low-level neural auditory discrimination dysfunctions in specific language impairment—A review on mismatch negativity findings. *Developmental cognitive neuroscience*, 28, 65-75.
- Kuuluvainen, S., Nevalainen, P., Sorokin, A., Mittag, M., Partanen, E., Putkinen, V., Seppänen, M., Kähkönen, S & Kujala, T. (2014). The neural basis of sublexical speech and corresponding nonspeech processing: a combined EEG–MEG study. *Brain and Language*, 130, 19-32.
- Kuzniecky, R., & Jackson, G.D. (2005). *Magnetic resonance in epilepsy: neuroimaging techniques*: Academic Press.
- Leonard, L. B. (2017). *Children with Specific Language Impairment*. MIT Press.
- Li, X., Ouyang, G., & Richards, D. A. (2007). Predictability analysis of absence seizures with permutation entropy. *Epilepsy research*, 77(1), 70-74.
- Löwenbach, H., & Lyman, R. (1940). The electroencephalogram in electrically induced convulsions in rabbits. *Journal of Neurology and Psychiatry*, 3(4), 336.
- Lukić, V. (1983). *Dečji frekvencijski rečnik*. Institut za pedagoska istrazivanja. Prosveta Beograd.
- Lüchinger, R., Michels, L., Martin, E., & Brandeis, D. (2012). Brain state regulation during normal development: Intrinsic activity fluctuations in simultaneous EEG–fMRI. *Neuroimage*, 60(2), 1426-1439.
- Lyakso, E., Frolova, O., & Matveev, Y. (2020). Speech Features and Electroencephalogram Parameters in 4-to 11-Year-Old Children. *Frontiers in behavioral neuroscience*, 14, 30.
- MacLean, M. H., Arnell, K. M., & Cote, K. A. (2012). Resting EEG in alpha and beta bands predicts individual differences in attentional blink magnitude. *Brain and cognition*, 78(3), 218-229.
- Malik, A. S., & Amin, H. U. (2017). *Designing EEG experiments for studying the brain: Design code and example datasets*: Academic Press.
- Marcuse, L. V., Fields, M. C., & Yoo, J. J. (2015). *Rowan's Primer of EEG*, E-Book: Elsevier Health Sciences.

- McArthur, G. M., & Bishop, D. V. (2005). Speech and non-speech processing in people with specific language impairment: a behavioral and electrophysiological study. *Brain and Language*, 94(3), 260-273. doi:10.1016/j.bandl.2005.01.002
- McGregor, K. K., Oleson, J., Bahnsen, A., & Duff, D. (2013). Children with developmental language impairment have vocabulary deficits characterized by limited breadth and depth. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 48(3), 307-319.
- McIntosh, A. R., Kovacevic, N., & Itier, R. J. (2008). Increased brain signal variability accompanies lower behavioral variability in development. *PLoS computational biology*, 4(7), e1000106.
- Miró, J., Ripollés, P., López-Barroso, D., Vilà-Balló, A., Juncadella, M., de Diego-Balaguer, R., Marco-Pallares, J., Rodríguez-Fornells, A., & Falip, M. (2014). Atypical language organization in temporal lobe epilepsy revealed by a passive semantic paradigm. *Bmc Neurology*, 14(1), 1-10.
- Miskovic, V., Ma, X., Chou, C.-A., Fan, M., Owens, M., Sayama, H., & Gibb, B. E. (2015). Developmental changes in spontaneous electrocortical activity and network organization from early to late childhood. *Neuroimage*, 118, 237-247.
- Mitchell, D. J., McNaughton, N., Flanagan, D., & Kirk, I. J. (2008). Frontal-midline theta from the perspective of hippocampal "theta". *Progress in neurobiology*, 86(3), 156-185.
- Moini, J., & Piran, P. (2020). *Functional and clinical neuroanatomy: a guide for health care professionals*: Academic Press.
- Nash, M., & Donaldson, M. L. (2005). Word learning in children with vocabulary deficits. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 48(2):439-58. doi: 10.1044/1092-4388(2005/030). PMID: 15989403.
- Niedermeyer, E., & da Silva, F. L. (2005). *Electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields*: Lippincott Williams & Wilkins.
- Nunez, P. L., & Srinivasan, R. (2006). *Electric fields of the brain: the neurophysics of EEG*: Oxford University Press, USA.
- Ocklenburg, S., Hugdahl, K., & Westerhausen, R. (2013). Structural white matter asymmetries in relation to functional asymmetries during speech perception and production. *Neuroimage*, 83, 1088-1097.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97-113.
- Olulade, O. A., Seydell-Greenwald, A., Chambers, C. E., Turkeltaub, P. E., Dromerick, A. W., Berl, M. M., Gaillard, W. D., & Newport, E. L. (2020). The neural basis of language development: Changes in lateralization over age. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(38), 23477-23483.
- Orekhova, E., Stroganova, T., Posikera, I., & Elam, M. (2006). EEG theta rhythm in infants and preschool children. *Clinical neurophysiology*, 117(5), 1047-1062.
- Panda, E. J., Emami, Z., Valiante, T. A., & Pang, E. W. (2021). EEG phase synchronization during semantic unification relates to individual differences in children's vocabulary skill. *Developmental science*, 24(1), e12984.
- Pappalettera, C., Cacciotti, A., Nucci, L., Miraglia, F., Rossini, P. M., & Vecchio, F. (2023). Approximate entropy analysis across electroencephalographic rhythmic frequency bands during physiological aging of the human brain. *GeroScience*, 45(2), 1131-1145.
- Park, J., Miller, C. A., & Mainela-Arnold, E. (2015). Processing speed measures as clinical markers for children with language impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 58(3), 954-960.
- Partovi, S., Jacobi, B., Rapps, N., Zipp, L., Karimi, S., Rengier, F., Lyo, J.K., & Stippich, C. (2012). Clinical standardized fMRI reveals altered language lateralization in patients with brain tumor. *American Journal of Neuroradiology*, 33(11), 2151-2157.

- Pascual-Marqui, R.D. (2002). Standardized low-resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA): technical details. *Methods and Findings in Experimental and Clinical Pharmacology*, 24(Suppl D), 5-12.
- Peelle, J.E. (2012). The hemispheric lateralization of speech processing depends on what "speech" is: a hierarchical perspective. *Frontiers in Human Neuroscience*, Vol. 6, pp. 309): Media SA.
- Pelayo, R., Hodgson, N., & Guilleminault, C. (2009). *The history of sleep medicine*. Handbook of Clinical Neurology, 95, 547-556.
- Perone, S., Palanisamy, J., & Carlson, S. M. (2018). Age-related changes in brain rhythms from early to middle childhood: Links to executive function. *Developmental science*, 21(6), e12691.
- Petersson, P., Kühn, A. A., Neumann, W.-J., & Fuentes, R. (2020). Basal ganglia oscillations as biomarkers for targeting circuit dysfunction in Parkinson's disease. *Progress in brain research*, 252, 525-557.
- Pigdon, L., Willmott, C., Reilly, S., Conti-Ramsden, G., Liegeois, F., Connelly, A., & Morgan, A. T. (2020). The neural basis of nonword repetition in children with developmental speech or language disorder: An fMRI study. *Neuropsychologia*, 138, 107312.
- Pincus, S. M. (1991). Approximate entropy as a measure of system complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 88(6), 2297-2301.
- Pitchford, B., & Arnell, K. M. (2019). Resting EEG in alpha and beta bands predicts individual differences in attentional breadth. *Consciousness and cognition*, 75, 102803.
- Poeppel, D. (2003). The analysis of speech in different temporal integration windows: cerebral lateralization as 'asymmetric sampling in time'. *Speech communication*, 41(1), 245-255.
- Poeppel, D., Idsardi, W.J., & Van Wassenhove, V. (2008). Speech perception at the interface of neurobiology and linguistics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1493), 1071-1086.
- Poeppel, D. (2014). The neuroanatomical and neurophysiological infrastructure for speech and language. *Current opinion in neurobiology*, 28, 142-149.
- Polizzotto, N.R., Takahashi, T., Walker, C.P., & Cho, R.Y. (2015). Wide range multiscale entropy changes through development. *Entropy*, 18(1), 12.
- Pressman, P., & Rosen, H.J. (2015). Disorders of frontal lobe function. *Neurobiology of Brain Disorders*, 542-557.
- Raichle, M.E., & Mintun, M.A. (2006). Brain work and brain imaging. *Annual Review of Neuroscience*, 29(1), 449-476.
- Rayson, H., Debnath, R., Alavizadeh, S., Fox, N., Ferrari, P. F., & Bonaiuto, J. J. (2022). Detection and analysis of cortical beta bursts in developmental EEG data. *Developmental cognitive neuroscience*, 54, 101069.
- Recasens, M., Gross, J., & Uhlhaas, P. J. (2018). Low-Frequency Oscillatory Correlates of Auditory Predictive Processing in Cortical-Subcortical Networks: A MEG-Study. *Scientific Reports*, 8(1), 14007. doi:10.1038/s41598-018-32385-3
- Richman, J.S., & Moorman, J.R. (2000). Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. *American journal of physiology-heart and circulatory physiology*, 278(6), H2039-H2049.
- Rodríguez-Martínez, E. I., Barriga-Paulino, C. I., Rojas-Benjumea, M. A., & Gómez, C. M. (2015). Co-maturation of theta and low-beta rhythms during child development. *Brain topography*, 28(2), 250-260.
- Rosen, S. (1992). Temporal information in speech: acoustic, auditory and linguistic aspects. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 336(1278), 367-373.
- Ross, L. A., Molholm, S., Butler, J. S., Del Bene, V. A., & Foxe, J. J. (2022). Neural correlates of multisensory enhancement in audiovisual narrative speech perception: an fMRI investigation. *Neuroimage*, 263, 119598.

- Schomer, D. L., & Da Silva, F. L. (2012). *Niedermeyer's electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields*: Lippincott Williams & Wilkins.
- Scott, S. K., & Johnsrude, I. S. (2003). The neuroanatomical and functional organization of speech perception. *Trends in neurosciences*, 26(2), 100-107.
- Scrivener, C. L., & Reader, A. T. (2022). Variability of EEG electrode positions and their underlying brain regions: visualizing gel artifacts from a simultaneous EEG-fMRI dataset. *Brain and behavior*, 12(2), e2476.
- Shafer, V. L., Schwartz, R. G., & Martin, B. (2011). Evidence of deficient central speech processing in children with specific language impairment: the T-complex. *Clin Neurophysiol*, 122(6), 1137-1155. doi:10.1016/j.clinph.2010.10.046
- Shafer, V. L., Schwartz, R. G., Morr, M. L., Kessler, K. L., Kurtzberg, D., & Ruben, R. J. (2001). Neurophysiological indices of language impairment in children. *Acta oto-laryngologica*, 121(2), 297-300.
- Shahin, A.J., Picton, T.W., & Miller, L.M. (2009). Brain oscillations during semantic evaluation of speech. *Brain and cognition*, 70(3), 259-266.
- Sharma, V.V., Vannest, J., Greiner, H.M., Fujiwara, H., Tenney, J.R., Williamson, B.J., & Kadis, D.S. (2021). Beta synchrony for expressive language lateralizes to right hemisphere in development. *Scientific Reports*, 11(1), 1-7.
- Sheng, L., & McGregor, K. K. (2010). Lexical–Semantic Organization in Children With Specific Language Impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 53(1), 146-159. doi:10.1044/1092-4388(2009/08-0160)
- Shepherd, G. M. (2003). *The synaptic organization of the brain*: Oxford university press.
- Skeide, M. A., Brauer, J., & Friederici, A. D. (2014). Syntax gradually segregates from semantics in the developing brain. *Neuroimage*, 100, 106-111.
- Skoe, E., Krizman, J., Anderson, S., & Kraus, N. (2015). Stability and plasticity of auditory brainstem function across the lifespan. *Cerebral Cortex*, 25(6), 1415-1426.
- Smyth, R. E. (2021). *The Relation of Auditory Temporal Processing to Language Development and Other Cognitive Processes: Methodological and Conceptual Considerations*: The University of Western Ontario (Canada).
- Soriano-Mas, C., Pujol, J., Ortiz, H., Deus, J., López-Sala, A., & Sans, A. (2009). Age-related brain structural alterations in children with specific language impairment. *Human Brain Mapping*, 30(5), 1626-1636.
- Stanojević, N., Fatić, S., Jeličić, L., Nenadović, V., Stokić, M., Bilibajkić, R., Subotic, M., Boskovic Matic, T., Konstantinovic, Lj., & Ćirović, D. (2023). Resting-state EEG alpha rhythm spectral power in children with specific language impairment: a cross-sectional study. *Journal of Applied Biomedicine*, 21(3), 113-120.
- Steinmetzger, K., & Rosen, S. (2017). Effects of acoustic periodicity, intelligibility, and pre-stimulus alpha power on the event-related potentials in response to speech. *Brain and language*, 164, 1-8.
- Stemmer, B., & Whitaker, H. A. (2008). *Handbook of the Neuroscience of Language*: Academic Press.
- Stevens, C., Harn, B., Chard, D. J., Currin, J., Parisi, D., & Neville, H. (2013). Examining the role of attention and instruction in at-risk kindergarteners: Electrophysiological measures of selective auditory attention before and after an early literacy intervention. *Journal of Learning Disabilities*, 46(1), 73-86.
- Stevens, C., Sanders, L., & Neville, H. (2006). Neurophysiological evidence for selective auditory attention deficits in children with specific language impairment. *Brain research*, 1111(1), 143-152.
- Stokić, M. D. (2015). *Primena nelinearnih metoda u analizi promena EEG teta ritma pri formiranju kratkoročne auditivne memorije kod ljudi*. Univerzitet u Beogradu.

- Strand, F., Forssberg, H., Klingberg, T., & Norrelgen, F. (2008). Phonological working memory with auditory presentation of pseudo-words—an event related fMRI Study. *Brain research*, 1212, 48-54.
- Strauß, A., Kotz, S.A., Scharinger, M., & Obleser, J. (2014). Alpha and theta brain oscillations index dissociable processes in spoken word recognition. *Neuroimage*, 97, 387-395.
- SZO, (1992). ICD-10 *Klasifikacija mentalnih poremećaja i poremećaja u ponašanju: Klinički opisi i dijagnostička uputstva*. Zavod za udzbenike i nastavna sredstva, Beograd.
- Talairach, J., & Tournoux, P. (1988). *Co-planar stereotaxis atlas of the human brain*: Georg Thieme.
- Tallal, P. (2000). Experimental studies of language learning impairments: from research to remediation In D. V. Bishop & L. B. Leonard (Eds.), *Speech and language impairments in children* (pp. 131-155). Hove: Psychology Press.
- Tomblin, J.B., Records, N.L., Buckwalter, P., Zhang, X., Smith, E., & O'Brien, M. (1997). Prevalence of specific language impairment in kindergarten children. *Journal of speech, language, and hearing research*, 40(6), 1245-1260.
- Tomblin, J.B., Records, N.L., & Zhang, X. (1996). A system for the diagnosis of specific language impairment in kindergarten children. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 39(6), 1284-1294. doi:10.1044/jshr.3906.1284.
- Trauner, D. A., & Nass, R. D. (2017). Developmental language disorders. In *Swaiman's Pediatric Neurology* (pp. 431-436): Elsevier.
- Tuite, P. J., & Konczak, J. (2010). Cortical sensory dysfunction and the parietal lobe. In *Encyclopedia of Movement Disorders*, Three-Volume Set (pp. V1-254-V251-257): Elsevier.
- Turkeltaub, P. E., & Coslett, H. B. (2010). Localization of sublexical speech perception components. *Brain and Language*, 114(1), 1-15. doi:10.1016/j.bandl.2010.03.008.
- Uhlhaas, P. J., Roux, F., Rodriguez, E., Rotarska-Jagiela, A., & Singer, W. (2010). Neural synchrony and the development of cortical networks. *Trends in cognitive sciences*, 14(2), 72-80.
- Uncapher, M.R., Hutchinson, J.B., & Wagner, A.D. (2011). Dissociable effects of top-down and bottom-up attention during episodic encoding. *Journal of Neuroscience*, 31(35), 12613-12628.
- Vacas, J., Antolí, A., Sánchez-Raya, A., & Pérez-Dueñas, C. (2021). Eye Tracking Methodology for Studying Emotional Competence in Children with Autism Spectrum Disorder (ASD) and Specific Language Impairment (SLI): A Comparative Research Review. *Review Journal of Autism and Developmental Disorders*, 1-15.
- van Bijnen, S., Kärkkäinen, S., Helenius, P., & Parviaibarnen, T. (2019). Left hemisphere enhancement of auditory activation in language impaired children. *Scientific Reports*, 9(1), 9087.
- van Elk, M., van Schie, H. T., Zwaan, R. A., & Bekkering, H. (2010). The functional role of motor activation in language processing: Motor cortical oscillations support lexical-semantic retrieval. *Neuroimage*, 50(2), 665-677.
- Vannest, J. J., Karunanayaka, P. R., Altaye, M., Schmithorst, V. J., Plante, E. M., Eaton, K. J., Rasmussen, J. M., & Holland, S. K. (2009). Comparison of fMRI data from passive listening and active-response story processing tasks in children. *Journal of Magnetic Resonance Imaging: An Official Journal of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine*, 29(4), 971-976.
- Vanvooren, S., Hofmann, M., Poelmans, H., Ghesquière, P., & Wouters, J. (2015). Theta, beta and gamma rate modulations in the developing auditory system. *Hearing Research*, 327, 153-162.
- Vanvooren, S., Poelmans, H., Hofmann, M., Ghesquiere, P., & Wouters, J. (2014). Hemispheric asymmetry in auditory processing of speech envelope modulations in prereading children. *Journal of Neuroscience*, 34(4), 1523-1529.

- Victorino, K. R., & Schwartz, R. G. (2015). Control of auditory attention in children with specific language impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 58(4), 1245-1257.
- Vuković, M. (2016). *Afaziologija*, četvrto dopunjeno izdanje: Udruženje logopeda Srbije.
- Vukovic, M., Vukovic, I., & Stojanovic, V. (2010). Investigation of language and motor skills in Serbian speaking children with specific language impairment and in typically developing children. *Research in developmental disabilities*, 31(6), 1633-1644.
- Wadhwa, T., & Kakkar, D. (2020). *Interdisciplinary approaches to altering Neurodevelopmental disorders*: IGI Global.
- Waldhauser, G. T., Johansson, M., & Hanslmayr, S. (2012). Alpha/beta oscillations indicate inhibition of interfering visual memories. *Journal of Neuroscience*, 32(6), 1953-1961.
- Walter, W. G. (1950). Electroencephalography. *Journal of Psychosocial Rehabilitation and Mental Health.*, 2, 76-93.
- Wang, P.-S., Huang, S.-R., Tsai, C.-W., Lu, C.-F., Teng, S., Hung, C., & Wu, Y.-T. (2014). Attention drawing of movie trailers revealed by electroencephalography using sample entropy. *Journal of Biosciences and Medicines*, 2(4), 6-11.
- Webster, R. I., & Shevell, M. I. (2004). Topical review: Neurobiology of specific language impairment. *Journal of Child Neurology*, 19(7), 471-481.
- Weiss, S., & Mueller, H. M. (2012). "Too many betas do not spoil the broth": the role of beta brain oscillations in language processing. *Frontiers in Psychology*, 3, 201.
- Welch, P. (1967). The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: a method based on time averaging over short, modified periodograms. *IEEE Transactions on audio and electroacoustics*, 15(2), 70-73.
- Whitehouse, A. J., & Bishop, D. V. (2008). Cerebral dominance for language function in adults with specific language impairment or autism. *Brain*, 131(12), 3193-3200.
- Wray, A.H., Stevens, C., Pakulak, E., Isbell, E., Bell, T., & Neville, H. (2017). Development of selective attention in preschool-age children from lower socioeconomic status backgrounds. *Developmental cognitive neuroscience*, 26, 101-111.
- Wu, C.-Y., Vissienon, K., Friederici, A. D., & Brauer, J. (2016). Preschoolers' brains rely on semantic cues prior to the mastery of syntax during sentence comprehension. *Neuroimage*, 126, 256-266.
- Wu, W., Morales, M., Patel, T., Pickering, M.J., & Hoffman, P. (2022). Modulation of brain activity by psycholinguistic information during naturalistic speech comprehension and production. *Cortex*, 155, 287-306.
- Xiao, Y., Friederici, A.D., Margulies, D.S., & Brauer, J. (2016). Development of a selective left-hemispheric fronto-temporal network for processing syntactic complexity in language comprehension. *Neuropsychologia*, 83, 274-282.
- Yang, A. C., Huang, C.-C., Yeh, H.-L., Liu, M.-E., Hong, C.-J., Tu, P.-C., Chen, J.-F., Huang, N.E., Peng, C.-K., Lin, C.-P., & Tsai, S.-J. (2013). Complexity of spontaneous BOLD activity in default mode network is correlated with cognitive function in normal male elderly: a multiscale entropy analysis. *Neurobiology of aging*, 34(2), 428-438.
- Yentes, J.M., Hunt, N., Schmid, K.K., Kaipust, J.P., McGrath, D., & Stergiou, N. (2013). The appropriate use of approximate entropy and sample entropy with short data sets. *Annals of biomedical engineering*, 41, 349-365.
- Yoo, S.-J., Ryu, S., Kim, S., Han, H. S., & Moon, C. (2017). *Reference module in neuroscience and biobehavioral psychology*. In: Elsevier.
- Zattore, R. J., & Schönwiesner, M. (2011). Cortical speech and music processes revealed by functional neuroimaging. In W. JA (Ed.), *The Auditory Cortex* (pp. 657–677). New York: Springer.

Biografija autora

Saška Žunić, rođ. Fatić, rođena u Bijelom Polju 7. 6. 1987. godine, gde je završila Osnovnu školu, a Srednju medicinsku školu je završila u Beranama. Diplomirala je 2011.godine na odseku za logopediju Fakulteta za specijalnu edukaciju i rehabilitaciju u Beogradu i stekla visoko obrazovanje prvog stepena i stručni naziv Diplomirani defektolog. Radno iskustvo započinje u Institutu za eksperimentalnu fonetiku i patologiju govora "Đorđe Kostić" u Beogradu od juna meseca 2011. godine kao audiolingvista- logoped. U oktobru mesecu 2011.godine upisuje Master studije na Fakultetu za specijalnu edukaciju i rehabilitaciju Univerziteta u Beogradu- odsek logopedija. U januaru mesecu 2013.godine je odbranila Master tezu pod nazivom „*Govor i jezik dece sa izmenjenim EEG nalazom*“. Tada završava Master akademske studije i stiče akademski naziv Master defektolog. Doktorske studije upisuje u septembru iste godine na Biološkom fakultetu Univerziteta u Beogradu na modulu *Neuronauke*. Od 2013 godine zaposlena je u istraživačko razvojnom institutu „Institut za unapređenje životnih aktivnosti“, kao istraživač saradnik . Učestvovala je u realizaciji projekata koje je finansiralo Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije. Redovan je učesnik kako nacionalnih, tako i međunarodnih naučnih skupova i konferencija. Do sada je, kao autor ili koautor objavila preko 30 naučnih radova a od toga 7 radova u istaknutim međunarodim časopisima. Njeno polje interesovanja je neurolingvistika, sa posebnim fokusom na neurobiologiju razvoja govora i jezika. S entuzijazmom radi sa decom koja imaju poremećaje govora i jezika, sa ciljem da razume osnovne neuronske mehanizme i razvije efikasne terapijske intervencije.

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора Сашка М. Жунић

Број индекса Б3055/2013

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

ЕЕГ корелати обраде аудитивних стимулуса код деце са специфичним језичким поремећајем

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

У Београду, 23.7.2024.

Потпис аутора

Сашка Жунић

Прилог 2.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора: Сашка М. Жунић

Број индекса: Б3055/2013

Студијски програм: Неуронауке

Наслов рада: ЕЕГ корелати обраде аудитивних стимулуса код деце са специфичним језичким поремећајем

Ментори:

др Мишко Суботић, виши научни сарадник, Истраживачко-развојни институт "Институт за унапређење животних активности

др Надежда Недељковић, редовни професор, Биолошки факултет Универзитета у Београду

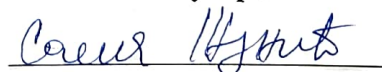
Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањивања у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

У Београду, 23.7.2024.

Потпис аутора



Прилог 3.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

ЕЕГ корелати обраде аудитивних стимулуса код деце са специфичним језичким поремећајем

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

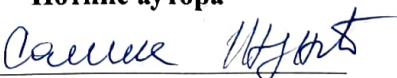
Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство — некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство — некомерцијално — без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство - некомерцијално делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство - без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство — делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци. Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

У Београду, 23.7.2024.

Потпис аутора



1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
2. **Ауторство - некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
3. **Ауторство - некомерцијално - без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
4. **Ауторство - некомерцијално - делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
5. **Ауторство - без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
6. **Ауторство - делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.