

АКУСТИЧНИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА МАКЕДОНСКИТЕ КОНСОНАНТИ

Лидија РИСТОВСКА¹, Зора ЈАЧОВА²,
Људмил СПАСОВ³, Тодорка БАЛОВА⁴

¹ Градска општа болница „8-ми Септември“, Оддел за оториноларингологија, Отсек за аудиологија, Скопје, Република Северна Македонија

² Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Филозофски факултет, Институт за специјална едукација и рехабилитација, Скопје, Република Северна Македонија

³ Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Филолошки факултет „Блаже Конески“, Скопје, Република Северна Македонија

⁴ Македонски народен театар, Скопје, Република Северна Македонија

Оригинална статија / Original study

Примено / Received: 05.03.2019

Прифатено / Accepted: 27.04.2019

УДК 159.946.3:811.163.3'282'342

Резиме

Вовед: Значајна информација за квалитетот на говорот се добива од формата на спектрограмот којшто содржи квантитативни податоци за звукот. Спектралните карактеристики на консонантите може да се анализираат со одредување на спектралните моменти.

Цел: Целта на студијата беше да се калкулираат спектралните моменти на македонските консонанти и фреквенциите на формантите од F1 до F5 и основната фреквенција (Fo) на назалите и латералите.

Материјал и методи: Оваа студија вклучува 15 изворни говорители на македонски јазик, пет мажи, пет жени, на возраст од 26 до 50 години (средна возраст $38,9 \pm 9,6$ години) и пет деца, две момчиња и три девојчиња, на возраст од 9 до 14 години (средна возраст $10,6 \pm 1,9$ години). Консонантите беа снимени како изолирани фонemi и анализирани во компјутерската програма Praat.

Адреса за кореспонденција:

Лидија РИСТОВСКА

Градска општа болница „8-ми Септември“, Оддел за оториноларингологија, Отсек за аудиологија, ул. „Париска“ бб. 1000 Скопје, Република Северна Македонија, е-пошта: lidijaristovska@yahoo.com

ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF MACEDONIAN CONSONANTS

Lidija RISTOVSKA¹, Zora JACHOVA²,
Ljudmil SPASOV³, Todorka BALOVA⁴

¹ City General Hospital “8th September”, Department of Otorhinolaryngology, Division of Audiology, Skopje, Republic of North Macedonia

² University “Ss Cyril and Methodius”, Faculty of Philosophy, Institute of Special Education and Rehabilitation, Skopje, Republic of North Macedonia

³ University “Ss Cyril and Methodius”, Faculty of Philology “Blazhe Koneski”, Skopje, Republic of North Macedonia

⁴ Macedonian National Theater, Skopje, Republic of North Macedonia

Original article

Abstract

Introduction: Significant information about the quality of speech is provided by the shape of the spectrogram that contains quantitative data of a sound. Spectral characteristics of consonants can be analyzed by determining the spectral moments.

Objective: The objective of the study was to calculate spectral moments of Macedonian consonants and formant frequencies from F1 to F5 and fundamental frequency (Fo) of nasals and laterals.

Material and methods: This study included 15 native speakers of Macedonian, five males, five females, aged 26 to 50 years (mean age of 38.9 ± 9.6 years), and five children, two boys and three girls, aged 9 to 14 years (mean age of

Corresponding address:

Lidija RISTOVSKA

City General Hospital “8th September”, Department of Otorhinolaryngology, Division of Audiology, Pariska NN. 1000 Skopje, Republic of North Macedonia.

e-mail: lidijaristovska@yahoo.com

Резултати: Средната вредност на центарот на гравитација кај сите консонанти беше во опсег од 428 Hz до 4021 Hz. Средната вредност на спектралната стандардна девијација беше во опсег од 363 Hz до 3108 Hz. Највисоки вредности беа добиени кај фрикативот /с/ кај децата. Средната вредност на наклонот на спектарот беше позитивна кај сите консонанти. Средната вредност на куртозис беше исто така позитивна кај сите консонанти освен кај фрикативот /ш/ (-1,4) кај женските говорители.

Заклучок: Центарот на гравитација и спектралната стандардна девијација кај консонантите, анализирани како изолирани фонеме, се пониски од вредностите добиени во контекст на вокали заради ефектот на коартикулацијата во која една фонема влијае на продукцијата на претходната и на следната фонема. Наклонот на спектарот и куртозис се позитивни кај најголем број говорители што укажува на концентрација на енергија во ниските фреквенции и релативно високи пикови во спектарот.

Клучни зборови: *спектрални моменти, македонски консонанти, Praat*

Вовед

Продукцијата на говорот бара прецизна контрола на движењата на вокалниот тракт за да се генерираат говорни звуци (фонеме) коишто се организирани во комплексни секвенци (1). Говорот се карактеризира со брзи промени во артикулацијата и нејзиниот акустичен продукт. Динамиката на говорот претставува голем предизвик за негова анализа (2). Како комплексен звук, говорот може да се анализира во однос на интензитетот и фреквенцијата. Овие акустични карактеристики на говорниот звук зависат од полот, фонемата, содржината на конверзацијата и емоцијата (3).

Говорните звуци, генерално, може да се класифицираат во две широки категории: вокали и консонанти (4). Консонантите се карактеризираат со комплетна или парцијална конструкција на вокалниот тракт при продукцијата и високофреквентна енергија (5). Тие, генерално, се многу пократки од вокалите и временски поваријабилни

(10.6±1.9 years). The consonants were recorded as isolated phonemes and analyzed in computer program Praat.

Results: Mean center of gravity in all consonants was in the range from 428 Hz to 4021 Hz. Mean spectral standard deviation was in the range from 363 Hz to 3108 Hz. The highest values were obtained in fricative /s/ in children. Mean skewness was positive in all consonants. Mean kurtosis was also positive in all consonants except in fricative /ʃ/ (-1.4) in female speakers.

Conclusion: Center of gravity and spectral standard deviation in consonants analyzed as isolated phonemes are lower than values obtained in vowel context because of the effect of coarticulation in which one phoneme affects the production of preceding and upcoming phoneme. Skewness and kurtosis are positive in most speakers indicating concentration of energy in the low frequencies and relatively high peaks in the spectrum.

Keywords: *spectral moments, Macedonian consonants, Praat*

Introduction

Speech production requires a precise control of vocal tract movements to generate speech sounds (phonemes) which are organized into complex sequences (1). Speech is characterized by rapid changes in articulation and its acoustic product. The dynamics of speech poses great challenges to its analysis (2). As a complex sound, speech can be analyzed by the intensity and frequency. These acoustic features of speech sound depend on gender, phoneme, content of conversation, and emotion (3).

Speech sounds can generally be classified into two broad categories: vowels and consonants (4). Consonants are characterized by complete or partial vocal tract constriction in production and high frequency energy (5). They are generally much shorter than vowels and more variable overtime (6). Consonant frequencies can vary depending on the preceding

(6). Фреквенциите на консонантите може да варираат во зависност од претходните и од следните гласови (коартикулација) и се јавуваат разлики помеѓу говорителите, особено во однос на полот (7). Македонските консонанти се класифицираат според звучноста, местото на артикулација и начинот на артикулација (8). Според начинот на артикулација, тие може да се поделат на оклузивни, фрикативни и африкати (9).

Значајна информација за квалитетот на говорот се добива од формата на спектрограмот којшто содржи квантитативни податоци за звукот (10). Спектрограмот е спектро-темпорална претстава на звукот. Хоризонталната насока на спектрограмот го претставува времето, а вертикалната насока ја претставува фреквенцијата (11). Спектрограмите се класифицирани во два главни типа, широкопојасен и теснопојасен спектрограм (12).

Спектралните карактеристики на консонантите може да се анализираат со одредување на спектралните моменти. Првиот спектрален момент *центриар на гравитација* (ЦГ) или тежиште е средна вредност на фреквенциите во спектарот. Тој ја рефлектира централната концентрација. Вториот спектрален момент *стандардна девијација* (СД) или варијанса ја рефлектира дисперзијата на фреквенциите во однос на ЦГ. Третиот спектрален момент *наклон на сџектиропи* ја рефлектира асиметријата на фреквенциите во спектарот. Асиметријата е мерка што укажува како се дистрибуирани фреквенциите на спектарот околу средната вредност. Четвртиот спектрален момент *куртиозис* е индикатор за пикот на дистрибуција на фреквенциите во спектарот (13,14).

Спектралните пикови на звучниот спектар на вокалите се нарекуваат форманти (15). Формантот е концентрација на акустична енергија околу одредена фреквенција на звучниот бран и тој е темен појас на широкопојасниот спектрограм, што кореспондира со резонанцијата на вокалниот тракт. Формантите се означени како F1, F2, F3, F4 итн. почнувајќи со најниската фреквенција (10). Звучните консонанти, како назалите и латералите, исто така имаат специфични форми на вокалниот тракт коишто се

and following sounds (coarticulation) and differences occur across talkers, especially across gender (7). Macedonian consonants are classified according to the voicing, the place of articulation, and the manner of articulation (8). According to the manner of articulation, they can be divided into occlusives, fricatives, and affricates (9).

Significant information about the quality of speech is provided by the shape of the spectrogram that contains quantitative data of a sound (10). The spectrogram is a spectro-temporal representation of the sound. The horizontal direction of the spectrogram represents time, and the vertical direction represents frequency (11). The spectrograms are classified into two major types, wideband and narrow band spectrogram (12).

Spectral characteristics of consonants can be analyzed by determining the spectral moments. The first spectral moment *center of gravity* (COG) or centroid is a mean of frequencies in the spectrum. It reflects central concentration. The second spectral moment *standard deviation* (SD) or variance reflects the dispersion of frequencies in relation to the COG. The third spectral moment *skewness* reflects asymmetry of the frequencies in the spectrum. The asymmetry is a measure that indicates how the frequencies of the spectrum are distributed around the mean. The fourth spectral moment *kurtosis* is an indicator of the peak of the frequency distribution in the spectrum (13,14).

The spectral peaks of the sound spectrum of the vowels are called formants (15). A formant is a concentration of acoustic energy around a particular frequency in the speech wave, and that is the dark band on a wideband spectrogram, which corresponds to a vocal tract resonance. The formants are labeled as F1, F2, F3, F4 etc. starting with the lowest frequency (10). Voiced consonants such as nasals and laterals also have specific vocal tract shapes that are characterized by the frequencies of the formants. They differ from vowels in their production, but they can be

карактеризираат со фреквенциите на формантите. Тие се разликуваат од вокалите во нивната продукција, но можат да бидат специфицирани во однос на нивните фреквенции на форманти (16).

Целта на студијата беше да се анализираат спектралните карактеристики на македонските консонанти, односно да се калкулираат спектралните моменти: ЦГ, СД, наклон на спектарот и куртозис, како и фреквенциите на формантите од F1 до F5 и основната фреквенција (Fo) на назалите и латералите во компјутерската програма Praat.

Материјал и методи

Оваа студија вклучува 15 изворни говорители на македонски јазик, пет мажи, пет жени, на возраст од 26 до 50 години (средна возраст $38,9 \pm 9,6$ години) и пет деца, две момчиња и три девојчиња, на возраст од 9 до 14 години (средна возраст $10,6 \pm 1,9$ години). Тие беа снимени при изговарање на македонските консонанти како изолирани фонемии. Акустичната анализа е изведена во компјутерската програма Praat, Верзија 6.0.43 (17). MP3 монозвучните фајлови на снимените консонанти беа прво отворени во Praat за да се сегментира и меморира консонантот како WAV фајл. Ги пресметавме спектралните моменти на консонантите: ЦГ, СД, наклон на спектарот и куртозис како и фреквенциите на формантите од F1 до F5 и Fo на назалите и латералите.

Параметрите за анализа ги поставивме на следниот начин: *Максимален број на форманти*: 5 и *Максимум форманти (Hz)*: 5000 Hz за мажите, 5500 Hz за жените и 8000 Hz за децата. Вредноста во *Послџавување на спектрограм*: *Преглед на ојсеџ (Hz)* беше иста како вредноста во *Максимум форманти (Hz)*.

Резултати

Анализирани се вкупно 390 WAV фајлови на снимени консонанти. Во македонскиот јазик има 26 консонанти. Во табелите ги прикажавме македонските консонанти и нивната транскрипција во симболите на Меѓународната фонетска азбука (МФА), а во

specified in terms of their formant frequencies (16).

The objective of the study was to analyze spectral characteristics of Macedonian consonants, i.e. to calculate the spectral moments: COG, SD, skewness and kurtosis, as well as, formant frequencies from F1 to F5 and fundamental frequency (Fo) of nasals and laterals in computer program Praat.

Material and methods

This study included 15 native speakers of Macedonian, five males, five females, aged 26 to 50 years (mean age of 38.9 ± 9.6 years), and five children, two boys and three girls, aged 9 to 14 years (mean age of 10.6 ± 1.9 years). They were recorded saying the Macedonian consonants as isolated phonemes. The acoustic analysis was performed in computer program Praat, Version 6.0.43 (17). MP3 mono sound files of the recorded consonants were first opened in Praat to segment and save the consonant as a WAV file. We calculated the spectral moments of the consonants: COG, SD, skewness and kurtosis, as well as, formant frequencies from F1 to F5 and Fo of nasals and laterals.

We set the analysis parameters in the following way: *Maximum number of formants*: 5 and *Maximum formant (Hz)*: 5000 Hz for males, 5500 Hz for females and 8000 Hz for children. The value in *Spectrogram settings*: *View range (Hz)* was the same as the value in *Maximum formant (Hz)*.

Results

A total of 390 WAV files of recorded consonants were analyzed. There are 26 consonants in Macedonian. In the tables we displayed Macedonian consonants and their transcription into International Phonetic Alphabet (IPA) symbols, and in the text we used Macedonian phonemes with IPA symbols in parentheses. Mean spectral moments were calculated separately for all three groups: males, females and children.

текстот ги користевме македонските фонеме со МФА симболи во загради. Средната вредност на спектралните моменти беше калкулирана одделно за сите три групи: мажи, жени и деца.

Во Табела 1 ја прикажавме средната вредност на спектралните моменти кај пловивите: /б/ (b), /г/ (g), /д/ (d), /к/ (k), /п/ (p) и /т/ (t). Кај сите пловиви, средната вредност на тежиштето беше во опсег од 456 до 557 Hz кај мажите, 601 Hz до 773 Hz кај жените и 673 Hz до 788 Hz кај децата. Средната вредност на СД беше во опсег од 479 Hz до 727 Hz кај мажите, 632 Hz до 999 Hz кај жените и 363 Hz до 985 Hz кај децата. Сите говорители имаа позитивни вредности на наклон на спектарот и куртозис.

Табела 1. Средна вредност на спектралните моменти кај пловивите

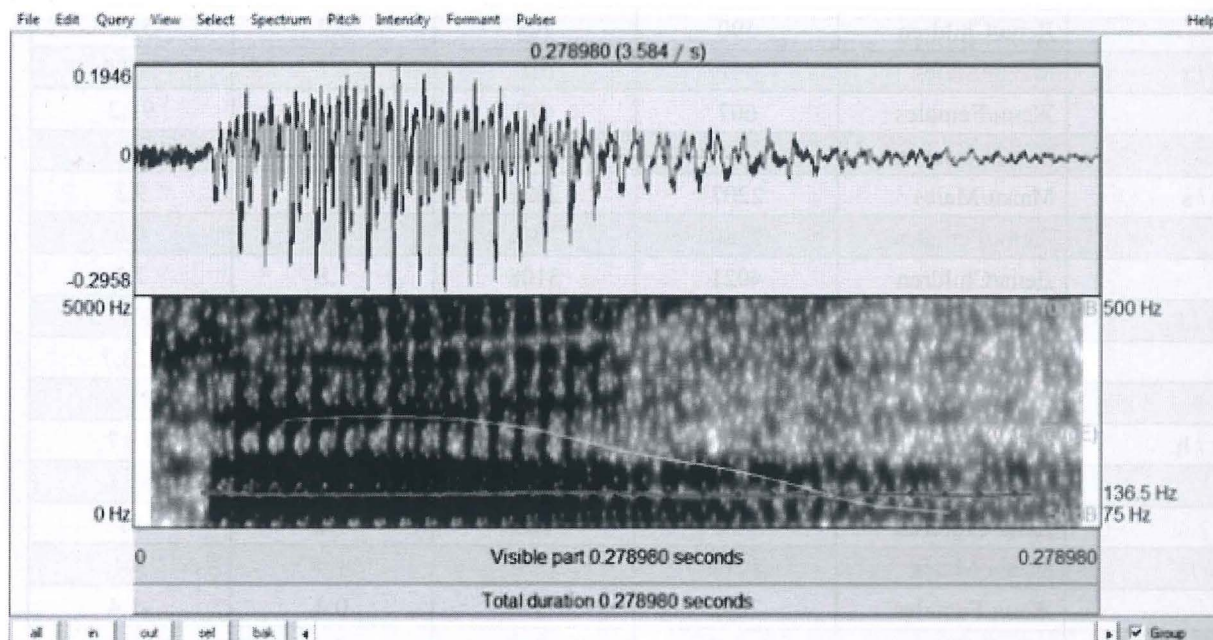
Фонеме / Phonemes	Говорители / Speakers	Тежиште / COG (Hz)	СД / SD (Hz)	Наклон / Skewness	Куртозис / Kurtosis
б / b	Мажи/Males	503	479	8.5	166.2
	Жени/Females	601	632	8.6	164.2
	Деца/Children	709	555	5.1	61.4
г / g	Мажи/Males	468	554	8.1	114.4
	Жени/Females	709	999	5.3	47.6
	Деца/Children	680	570	9.2	148.6
д / d	Мажи/Males	456	511	9.4	167.7
	Жени/Females	611	750	7.0	81.0
	Деца/Children	673	686	8.4	108.2
к / k	Мажи/Males	557	727	7.4	92.3
	Жени/Females	718	904	5.3	65.4
	Деца/Children	688	712	7.1	73.3
п / p	Мажи/Males	514	512	7.5	100.1
	Жени/Females	617	696	6.3	80.4
	Деца/Children	696	363	8.1	140.6
т / t	Мажи/Males	551	692	6.1	57.6
	Жени/Females	773	865	5.8	77.4
	Деца/Children	788	985	6.7	65.3

Ги прикажавме осцилограмот и спектрограмот на пловивот /т/ (t) кај машки говорител (Слика 1). Измерени се: тежиште 535 Hz, СД 633 Hz, наклон на спектарот 7,2 и

In Table 1 we displayed mean spectral moments in plosives: /б/ (b), /г/ (g), /д/ (d), /к/ (k), /п/ (p), and /т/ (t). In all plosives, mean COG was in the range from 456 to 557 Hz in males, 601 Hz to 773 Hz in females, and 673 Hz to 788 Hz in children. Mean SD was in the range from 479 Hz to 727 Hz in males, 632 Hz to 999 Hz in females, and 363 Hz to 985 Hz in children. All speakers had positive skewness and kurtosis values.

Table 1. Mean spectral moments in plosives

We displayed waveform and spectrogram of the plosive /т/ (t) in male speaker (Figure 1). COG 535 Hz, SD 633 Hz, skewness 7.2, and kurtosis 75.9 were measured. There is a concentration of acoustic energy in low frequencies in spectrogram.



Слика 1. Осцилограм и сѣкѣрограм на консонанѣиш /ʍ/ (t) кај маѣки говориѣел

Figure 1. Waveform and spectrogram of the consonant /ʍ/ (t) in male speaker

куртозис 75,9. На спектрограмот има концентрација на акустична енергија во ниските фреквенции.

Во Табела 2 ја прикажавме средната вредност на спектралните моменти кај фрикативите: /в/ (v), /ж/ (з), /з/ (z), /ј/ (j), /п/ (r), /с/ (s), /ф/ (f), /х/ (h) и /ш/ (j). Кај сите фрикативи, средната вредност на тежиштето беше во опсег од 491 до 2207 Hz кај мажите, 529 Hz до 2842 Hz кај жените и 590 Hz до 4021 Hz кај децата. Средната вредност на СД беше во

In Table 2 we displayed mean spectral moments in fricatives: /в/ (v), /ж/ (з), /з/ (z), /ј/ (j), /п/ (r), /с/ (s), /ф/ (f), /х/ (h), and /ш/ (j). In all fricatives, mean COG was in the range from 491 to 2207 Hz in males, 529 Hz to 2842 Hz in females, and 590 Hz to 4021 Hz in children. Mean SD was in the range from 504 Hz to 2421 Hz in males, 672 Hz to 3076 Hz in females, and 533 Hz to 3108 Hz in children.

Табела 2. Средна вредноѣи на сѣкѣтралниѣе моменѣи кај фрикативниѣе

Table 2. Mean spectral moments in fricatives

Фонеме / Phonemes	Говорители / Speakers	Тежиште / COG (Hz)	СД / SD (Hz)	Наклон / Skewness	Куртозис / Kurtosis
в / v	Мажи/Males	515	504	8.9	167.8
	Жени/Females	692	682	7.1	122.0
	Деца/Children	759	1007	7	89.1
ж / з	Мажи/Males	1395	1651	2.8	16.7
	Жени/Females	1763	1969	1.7	6.0
	Деца/Children	1024	1490	3.0	10.5
з / z	Мажи/Males	874	1546	3.9	19.7
	Жени/Females	1312	2299	2.9	8.9
	Деца/Children	1592	2262	4.8	37.1
ј / j	Мажи/Males	491	657	6.4	55.4
	Жени/Females	529	745	6.6	93.2

	Деца/Children	590	748	6.2	55.5
p / r	Мажи/Males	542	630	7.1	117.8
	Жени/Females	607	672	6.5	91.2
	Деца/Children	723	533	8.9	145.4
c / s	Мажи/Males	2207	2421	2.0	9.3
	Жени/Females	2380	3076	1.9	4.0
	Деца/Children	4021	3108	1.8	7.3
ф / f	Мажи/Males	589	755	7.5	97.9
	Жени/Females	820	1035	7.8	123.7
	Деца/Children	947	1339	5.4	41.4
x / h	Мажи/Males	549	641	6.3	72.7
	Жени/Females	801	834	5.7	89.1
	Деца/Children	734	708	7.2	81
ш / њ	Мажи/Males	1919	1881	1.5	4.4
	Жени/Females	2842	2320	0.4	-1.4
	Деца/Children	1606	1999	2.3	6.4

опсег од 504 Hz до 2421 Hz кај мажите, 672 Hz до 3076 Hz кај жените и 533 Hz до 3108 Hz кај децата.

Средната вредност на наклонот на спектарот беше позитивна кај сите фрикативи, но еден машки говорител и две жени имаа негативен наклон на спектарот на фрикативот /ш/ (ʃ) и две деца имаа негативен наклон на спектарот на фрикативот /с/ (s). Еден машки говорител имаше наклон на спектарот нула на фрикативот /с/ (s) и една жена имаше наклон на спектарот нула на фрикативот /ш/ (ʃ).

Средната вредност на куртозис беше позитивна кај сите фрикативи, освен кај фрикативот /ш/ (ʃ) кај жените. Поединечно прикажано, најдовме негативен куртозис на фрикативот ж/ (ʒ) кај еден машки говорител и три женски говорители, негативен куртозис на фрикативот /з/ (z) кај едно дете, негативен куртозис на фрикативот с/ (s) кај тројца машки говорители и две деца и негативен куртозис на фрикативот ш/ (ʃ) кај тројца машки говорители, четири жени и едно дете.

Во Табела 3 ја прикажавме средната вредност на спектралните моменти кај африкатите: /ѓ/ (ɟ), /с/ (ɕ), /ќ/ (ɥ), /ц/ (t͡s), /ч/ (t͡ʃ) и /џ/ (d͡ʒ). Кај сите африкати, средната вредност на тежиштето беше во опсег од 496 до 1741 Hz кај мажите, 881 Hz до 2041 Hz кај жените и 690 Hz до 2208 Hz кај децата. Средната

Mean skewness was positive in all fricatives, but one male speaker and two females had negative skewness of the fricative /ш/ (ʃ), and two children had negative skewness of the fricative /с/ (s). One male speaker had skewness zero of the fricative /с/ (s), and one female had skewness zero of the fricative /ш/ (ʃ).

Mean kurtosis was positive in all fricatives, except in fricative /ш/ (ʃ) in females. Separately displayed, we found negative kurtosis of the fricative ж/ (ʒ) in one male and three female speakers, negative kurtosis of the fricative /з/ (z) in one child, negative kurtosis of the fricative с/ (s) in three male speakers and two children, and negative kurtosis of the fricative ш/ (ʃ) in two male speakers, four females and one child.

In Table 3 we displayed mean spectral moments in affricates: /ѓ/ (ɟ), /с/ (ɕ), /ќ/ (ɥ), /ц/ (t͡s), /ч/ (t͡ʃ), and /џ/ (d͡ʒ). In all affricates, mean COG was in the range from 496 to 1741 Hz in males, 881 Hz to 2041 Hz in females, and 690 Hz to 2208 Hz in children. Mean SD was in the range from 667 Hz to 1986 Hz in males, 1262 Hz to 2288 Hz in females, and 826 Hz to 2511 Hz in children.

Табела 3. Средна вредност на спектралнише моменти кај африкациите

Table 3. Mean spectral moments in affricates

Фонеме / Phonemes	Говорители / Speakers	Тежиште / COG (Hz)	СД / SD (Hz)	Наклон / Skewness	Куртозис / Kurtosis
ʃ / ʒ	Мажи/Males	496	667	6.8	87.3
	Жени/Females	881	1262	3.7	25.1
	Деца/Children	690	826	6.6	58.5
s / dz	Мажи/Males	876	1534	4.1	23.5
	Жени/Females	997	1490	5.4	70.8
	Деца/Children	1585	2209	4.6	30.7
ʧ / ʤ	Мажи/Males	519	703	7.7	107.4
	Жени/Females	1091	1366	3.7	30.4
	Деца/Children	795	980	5.6	45.9
ʈ / ʈʂ	Мажи/Males	1741	1986	3.9	50.8
	Жени/Females	1282	1992	3.0	10.1
	Деца/Children	2208	2511	3.4	14.2
ʈʂ / ʈʂʰ	Мажи/Males	1359	1794	2.2	8.4
	Жени/Females	2041	2288	0.8	0.6
	Деца/Children	1158	1431	3.8	26.9
ɕ / ɕʝ	Мажи/Males	957	1373	3.7	28.1
	Жени/Females	1755	2030	2.0	6.2
	Деца/Children	772	980	5.5	42

вредност на СД беше во опсег од 667 Hz до 1986 Hz кај мажите, 1262 Hz до 2288 Hz кај жените и 826 Hz до 2511 Hz кај децата.

Средната вредност на наклонот на спектарот беше позитивна кај сите африкати. Средната вредност на куртозис беше исто така позитивна кај сите африкати, но најдовме негативен куртозис на африкатот /ɕ/ (ʈʂ) кај тројца машки говорители и едно дете, негативен куртозис на африкатот /ʈʂ/ (ʈʂʰ) кај двајца машки говорители и три жени, како и негативен куртозис на африкатот /ɕ/ (ɕʝ) кај еден машки говорител и три женски говорители.

Mean skewness was positive in all affricates. Mean kurtosis was also positive in all affricates, but we found negative kurtosis of the affricate /ɕ/ (ʈʂ) in three male speakers, and one child, negative kurtosis of the affricate /ʈʂ/ (ʈʂʰ) in two male speakers and three females, and negative kurtosis of the affricate /ɕ/ (ɕʝ) in one male and three female speakers.

In Table 4 we displayed mean spectral moments in nasals: /m/ (m), /n/ (n), and /ɲ/ (ɲ).

Табела 4. Средна вредност на спектралнише моменти кај назалише

Table 4. Mean spectral moments in nasals

Фонеме / Phonemes	Говорители / Speakers	Тежиште / COG (Hz)	СД / SD (Hz)	Наклон / Skewness	Куртозис / Kurtosis
m / m	Мажи/Males	471	532	7.4	111.0
	Жени/Females	564	650	5.8	108.3
	Деца/Children	587	614	6.2	80.9

н / n	Мажи/Males	428	549	8.3	113.6
	Жени/Females	479	605	6.2	90.5
	Деца/Children	529	658	7.5	82.8
њ / њ	Мажи/Males	435	651	8.9	159.7
	Жени/Females	502	708	6.6	93.4
	Деца/Children	566	618	6.1	61.3

Во Табела 4 ја прикажавме средната вредност на спектралните моменти кај назалите: /м/ (m), /н/ (n) и /њ/ (њ).

Кај сите назали, средната вредност на тежиштето беше во опсег од 428 до 471 Hz кај мажите, 479 Hz до 564 Hz кај жените и 529 Hz до 587 Hz кај децата. Средната вредност на СД беше во опсег од 532 Hz до 651 Hz кај мажите, 605 Hz до 708 Hz кај жените и 614 Hz до 658 Hz кај децата. Сите говорители имаа позитивни вредности на наклон на спектарот и куртозис.

Во Табела 5 ја прикажавме средната вредност на спектралните моменти кај латералите: /л/ (l) и /љ/ (љ). Средната вредност на тежиштето беше во опсег од 480 до 526 Hz кај мажите, 606 Hz до 631 Hz кај жените и 547 Hz до 621 Hz кај децата. Средната вредност на СД беше во опсег од 549 Hz до 591 Hz кај мажите, 689 Hz до 871 Hz кај жените

Табела 5. Средна вредности на спектралните моменти кај латералите

Фонем / Phonemes	Говорители / Speakers	Тежиште / COG (Hz)	СД / SD (Hz)	Наклон / Skewness	Куртозис / Kurtosis
л / l	Мажи/Males	526	591	7.4	100.5
	Жени/Females	606	689	7.0	115.9
	Деца/Children	621	598	8.2	101.7
љ / љ	Мажи/Males	480	549	8.2	135.7
	Жени/Females	631	871	5.6	52.4
	Деца/Children	547	458	11.6	350.4

и 458 Hz до 598 Hz кај децата. Сите говорители имаа позитивни вредности на наклон на спектарот и куртозис.

Во табела 6 ги прикажавме Fo и фреквенциите на формантите од F1 до F5 на назалите и латералите. Средната вредност на Fo кај назалите беше во опсег од 102 Hz кај мажите

In all nasals, mean COG was in the range from 428 to 471 Hz in males, 479 Hz to 564 Hz in females, and 529 Hz to 587 Hz in children. Mean SD was in the range from 532 Hz to 651 Hz in males, 605 Hz to 708 Hz in females, and 614 Hz to 658 Hz in children. All speakers had positive skewness and kurtosis values.

In Table 5 we displayed mean spectral moments in laterals: /л/ (l) and /љ/ (љ). Mean COG was in the range from 480 to 526 Hz in males, 606 Hz to 631 Hz in females, and 547 Hz to 621 Hz in children. Mean SD was in the range from 549 Hz to 591 Hz in males, 689 Hz to 871 Hz in females, and 458 Hz to 598 Hz in children. All speakers had positive skewness and kurtosis values.

Table 5. Mean spectral moments in laterals

In Table 6 we displayed Fo and formant frequencies from F1 to F5 of the nasals and laterals. Mean Fo in nasals was in the range from 102 Hz in males to 252 Hz in children, and mean Fo in laterals was in the range from 99 Hz in males to 245 Hz in children.



Табела 6. Fo и фреквенции на формантиите на назалите и латералите

Table 6. Fo and formant frequencies of the nasals and laterals

Фонемии / Phonemes Говорители/ Speakers*	Fo	F1	F2	F3	F4	F5	
	Средна вредност / Mean±SD	Средна вредност / Mean±SD	Средна вредност / Mean±SD	Средна вредност / Mean±SD	Средна вредност / Mean±SD	Средна вредност / Mean±SD	
м/м	м/м	102±17.8	471±114.7	1293±147.2	2573±221.9	3535±116.6	4547±73.4
	ж/ф	201±20.9	696±127.1	1575±297.8	3145±280.3	4076±258.6	4856±172.7
	д/ч	249±28.5	758±79.7	1925±214.3	4067±393.8	5518±531.5	6383±536.3
н/п	м/м	107±11	422±41.5	1372±48.9	2586±115.6	3455±285	4595±201.6
	ж/ф	197±22.3	525±67.4	1626±173.7	3049±176	4211±114	4758±283.8
	д/ч	247±25.7	591±72	1944±222.9	3650±224.2	5112±234.1	6449±492.7
њ/л	м/м	104±15.8	420±88.6	1541±49.6	2433±114.2	3395±93.9	4488±252.5
	ж/ф	201±19.9	478±48.7	1779±91.8	2946±68.4	4081±127.6	4934±146.9
	д/ч	252±23	581±83.7	2216±126.3	3691±172.9	5393±221.3	6627±470.7
л/л	м/м	103±17	451±54.8	1073±85.2	2713±196.9	3551±204.1	4514±171.7
	ж/ф	191±23	540±40.2	1239±155.9	317±83.4	4119±223.4	5026±239.1
	д/ч	245±19.3	683±121.9	1575±408.3	4143±155.5	5251±327.8	6411±506.6
љ/љ	м/м	99±11.9	392±32.2	1649±133.4	2530±175.3	3397±191.5	4496±160.4
	ж/ф	197±17.1	475±81.8	1959±82.8	2980±68.8	4150±259.6	4974±166.5
	д/ч	243±15.8	676±219.1	2321±152	3761±394.4	5334±413.9	6654±479.8

* м-мажи/m-males, ж-жени/f-females, г-деца/ch-children

до 252 Hz кај децата, а средната вредност на Fo кај латералите беше во опсег од 99 Hz кај мажите до 245 Hz кај децата.

Во однос на средната вредност на фреквенциите на формантите, кај назалите, F1 беше во опсег од 420 Hz кај мажите до 758 кај децата. Најниската фреквенција на F2 беше 1293 кај мажите и највисоката фреквенција беше 2216 кај децата. F3 беше во опсег од 2433 Hz кај мажите до 4067 кај децата. F4 беше во опсег од 3395 Hz кај мажите до 5518 кај децата. F5 беше во опсег од 4488 Hz кај мажите до 6627 кај децата.

Кај латералите, F1 беше во опсег од 392 Hz кај мажите до 683 кај децата. Најниската фреквенција на F2 беше 1073 кај мажите и највисоката фреквенција беше 2321 кај децата. F3 беше во опсег од 2530 Hz кај мажите до 4143 кај децата. F4 беше во опсег од 3397 Hz кај мажите до 5334 кај децата. F5

In terms of the mean formant frequencies, in nasals F1 was in the range from 420 Hz in males to 758 in children. The lowest frequency of F2 was 1293 in males and the highest frequency was 2216 in children. F3 was in the range from 2433 Hz in males to 4067 in children. F4 was in the range from 3395 Hz in males to 5518 in children. F5 was in the range from 4488 Hz in males to 6627 in children.

In laterals F1 was in the range from 392 Hz in males to 683 in children. The lowest frequency of F2 was 1073 in males and the highest frequency was 2321 in children. F3 was in the range from 2530 Hz in males to 4143 in children. F4 was in the range from 3397 Hz in males to 5334 in children. F5 was in the range from 4496 Hz in males to 6654 in children.

беше во опсег од 4496 Hz кај мажите до 6654 Hz кај децата.

Дискусија

Ги анализиравме спектралните карактеристики на македонските консонанти. Спектралните моменти кај сите консонанти, F_0 и фреквенциите на формантите на назалите и латералите беа калкулирани во Praat. Praat е компјутерска програма за анализирање, синтетизирање и манипулирање со говор (18).

Тежиштето кај пловивите во нашата студија беше во опсег на ниските фреквенции. Ние анализиравме изолирани фонemi. Тие не беа во контекст на вокали. Пловивите се продуцираат со запирање на протокот на воздух во вокалниот тракт, или на почетокот или на крајот на слогот (19). Botinis и сор. ја анализирале акустичната структура на грчките пловиви во вокален контекст /o/. Безвучните алвеоларни пловиви покажале спектрален пик во фреквентниот опсег помеѓу 3000 Hz и 4000 Hz. Звучните алвеоларни пловиви покажале пик во фреквентниот опсег помеѓу 2500 Hz и 4000 Hz. Безвучните веларни пловиви покажале еден пик околу 2000 Hz и еден околу 4000 Hz. Звучните веларни пловиви покажале пик на 1000 Hz и 4000 Hz. (20). Холандските пловиви /t/ и /d/ биле испитувани во иницијална позиција во зборот. Тежиштето кај /t/ било 5038 Hz и кај /d/ било 4933 Hz (21). Овие вредности на тежиштето се многу повисоки од фреквенциите коишто се измерени во нашата студија кај изолирани фонemi.

Lousada и сор. снимиле корпус на европски португалски реални зборови коишто содржеле шест пловиви /p/, /b/, /t/, /d/, /k/ и /g/ во иницијална, медијална и финална позиција. Пловивот /p/ покажал вредности на наклон на спектарот блиски до нула или позитивни вредности, што сугерира позитивна асиметриска дистрибуција, така што највисоките вредности на спектрална амплитуда биле лево концентрирани. Спротивно, /t/ обично покажувал вредности на наклон на спектарот блиски до нула или негативни вредности, укажувајќи на високи вредности

Discussion

We analyzed spectral characteristics of Macedonian consonants. Spectral moments in all consonants, F_0 and formant frequencies of nasals and laterals were calculated in Praat. Praat is a computer program for analyzing, synthesizing, and manipulating speech (18).

COG in plosives in our study was in low-frequency range. We analyzed isolated phonemes. They were not in vowel context. Plosives are produced by stopping the flow of air in the vocal tract, either at the beginning or end of a syllable (19). Botinis et al. analyzed acoustic structure of the Greek plosives in the vocalic context /o/. The voiceless alveolar plosives showed a spectral peak in the frequency range between 3000 Hz and 4000 Hz. The voiced alveolar plosives showed a peak in the frequency range between 2500 Hz and 4000 Hz. The voiceless velar plosives showed one peak around 2000 Hz and one around 4000 Hz. The voiced velar plosives showed a peak at 1000 Hz and 4000 Hz. (20). Dutch plosives /t/ and /d/ were examined in word-initial position. COG in /t/ was 5038 Hz and in /d/ was 4933 Hz (21). These COG values are much higher than frequencies measured in our study in isolated phonemes.

Lousada et al. recorded a corpus of European Portuguese real words containing the six plosives /p/, /b/, /t/, /d/, /k/, and /g/ in initial, medial and final position. Plosive /p/ presented values of skewness close to zero, or positive values, which suggested positive asymmetric distribution, so the highest spectral amplitude values were left-concentrated. In contrast, /t/ usually exhibited skewness values close to zero or negative values indicating high spectral amplitude values concentrated to the right. Plosive /k/ had negative values of skewness in most speakers and /p/ had positive values of skewness (22). In our study all plosives had positive skewness values

на спектрална амплитуда концентрирани кон десно. Пловивот /k/ имал негативни вредности на наклон на спектарот кај најголем број говорители и /p/ имал позитивни вредности на наклон на спектарот (22). Во нашата студија сите пловиви имаа позитивна вредност на наклон на спектарот, укажувајќи на концентрација на енергија во ниските фреквенции.

Нашата анализа на спектралните моменти кај фрикативите покажа највисока средна вредност на тежиште 4021 Hz кај фрикативот /c/ (s) изговорен од децата. Gordon и сор. прикажале просечни центри на гравитација за /f/ 4562 Hz, за /s/ 5163 Hz и за /ʃ/ 4679 Hz кај Чикасо говорители. Фрикативите во нивната студија се појавувале во неопсредна близина на вокалот /a/ или вокалот /i/ (23). Фрикативите /z/ и /s/ имаат енергија во фреквентниот регион од 3500 до 8000 Hz. Консонантите /h/ и /f/ имаат помалку енергија од останатите фрикативи (24).

Punišić и сор. ја одредиле средната вредност на пикот на првата концентрација на акустична енергија кај фрикативот /ʃ/ на 2800 Hz и втората концентрација на 5600 Hz (25). Според Gudurić и Petrović звучната енергија на српскиот консонант /f/ е во опсег од 400 Hz до 7000 Hz со силна концентрација на енергија над 1500 Hz, додека /h/ има концентрација на акустична енергија во неколку појаси, почнувајќи од 140 Hz до 4800 Hz (26). Безвучните фрикативи /s/ и /ʃ/ имаат поголема енергија, со тоа што /s/ е повеќе во опсегот на високи фреквенции од околу 3500 Hz и повисоко, а /ʃ/ има најмногу енергија нешто пониско, околу 3000 Hz (27). Ние исто така измеривме пониска средна вредност на тежиштето кај фрикативот /ʃ/ (ʃ) во опсег од 1606 Hz до 2842 Hz.

Според Maniwa и Jongman, безвучните фрикативи се карактеризираат со повисоки вредности на спектрално тежиште и пик, повеќе дефинирани пикови, помала варијанса, негативен наклон на спектарот, поголема вкупна амплитуда и подолго траење во споредба со нивните звучни парници (28). Ferreira-Silva и сор. ги анализирале спектралните моменти кај бразилските португалски фрикативи. Средните вредности

indicating concentration of energy in the low frequencies.

Our analysis of spectral moments in fricatives showed the highest mean COG 4021 Hz in fricative /c/ (s) produced by children. Gordon et al. reported average gravity centers for /f/ 4562 Hz, for /s/ 5163 Hz, and for /ʃ/ 4679 Hz in Chickasaw speakers. The fricatives in their study occurred adjacent to the vowel /a/ or vowel /i/ (23). Fricatives /z/ and /s/ have energy in the frequency region of 3500 through 8000 Hz. The consonants /h/ and /f/ have less energy than the rest of the fricatives (24).

Punišić et al. determined mean peak of the first concentration of acoustic energy in the fricative /ʃ/ at 2800 Hz and the second concentration at 5600 Hz (25). According to Gudurić and Petrović the sound energy of Serbian consonant /f/ ranges from 400 Hz to 7000 Hz with strong concentration of energy above 1500 Hz, whereas /h/ has concentration of acoustic energy in several bandwidths starting from 140 Hz to 4800 Hz (26). Voiceless fricatives /s/ and /ʃ/ have greater energy, with /s/ being mostly in the high frequency range from about 3500 Hz upwards, and /ʃ/ having most energy somewhat lower, around 3000 Hz (27). We also measured lower mean COG in the fricative /ʃ/ (ʃ) ranging from 1606 Hz to 2842 Hz.

According to Maniwa and Jongman voiceless fricatives are characterized by higher spectral mean and peak values, more defined peaks, less variance, negative skewness, larger overall amplitude, and longer duration compared to their voiced counterparts (28). Ferreira-Silva et al. analyzed spectral moments in Brazilian Portuguese fricatives. Mean values of the centroid of labiodental, alveolar and postalveolar fricatives in the context of /a/, /i/ and /u/ were 5003 Hz, 7417 Hz and 4608 Hz. Mean values of variance were 2862.8 Hz, 1952.8 Hz and 1850.8

на тежиштето на лабиоденталните, алвеоларните и посталвеоларните фрикативи во контекст на /a/, /i/ и /u/ биле 5003 Hz, 7417 Hz и 4608 Hz. Средните вредности на варијансата биле 2862,8 Hz, 1952,8 Hz и 1850,8 Hz. Средните вредности на асиметријата биле 0,25, -0,39 и 0,88. Средните вредности на куртозис биле 0,74, 2,76 и 1,85 (13). Само пет говорители во нашата студија имаа негативен наклон на спектарот на фрикативите. Тоа укажува на концентрација на енергија во високите фреквенции.

Tabain го пресметала тежиштето на неколку консонанти земени од консонант-вокал (KB), слогови изговорени од женски говорители на австралиски англиски јазик. Средната вредност на тежиштето на /s/ била 6582 Hz, на /ʃ/ 5323 Hz, на /z/ 5885 Hz и на /ʒ/ 4521 Hz (29). Корејскиот фрикатив /s/ е испитуван во контекст на вокалите /i/, /a/ и /u/. Средната вредност на тежиштето била 6133,9 Hz и 7280,2 Hz кај мажите и 8248,6 Hz и 8321,2 Hz кај жените. Средната вредност на наклонот на спектарот била 0,37 and 0,08 кај мажите и -0,44 и -0,31 кај жените (30). При анализата на фрикативите, ние измеривме наклон на спектарот еднаков на нула кај двајца говорители. Тоа укажува дека дистрибуцијата на фреквенциите околу средната фреквенција е симетрична.

Koenig и сор. ги измериле спектралните моменти на англискиот фрикатив /s/ во зборови изговорени од адолесценти. Средната вредност на тежиштето била во опсег од 4433 Hz до 7643 Hz. Средната вредност на СД била во опсег од 1492 Hz до 2092 Hz. Средната вредност на наклонот на спектарот била во опсег од -0,102 до 0,926 и средната вредност на куртозис била позитивна кај сите говорители, во опсег од 0,184 до 3,389 (31). Jongman и сор. ги анализираше англиските фрикативи и прикажале повисоко спектрално тежиште за /s/ и /z/ (6133 Hz) и пониско за /ʃ/ и /ʒ/ (4229 Hz). Наклонот на спектарот бил повисок кај /ʃ/ и /ʒ/, укажувајќи дека палато-алвеоларите имаат најсилна концентрација на енергија во ниските фреквенции (32).

Vujasić ги анализираше хрватските лингвални фрикативи /s/, /ʃ/, /z/ и /ʒ/ во логатоми со KBKB структура. Таа прикажала највисока

Hz. Mean values of asymmetry were 0.25, -0.39 and 0.88. Mean values of kurtosis were 0.74, 2.76 and 1.85 (13). Only five speakers in our study had negative skewness of fricatives. It indicates concentration of energy in the high frequencies.

Tabain computed COG of several consonants taken from CV syllables produced by female speakers of Australian English. Mean COG of /s/ was 6582 Hz, of /ʃ/ 5323 Hz, of /z/ 5885 Hz, and of /ʒ/ 4521 Hz (29). Korean fricative /s/ was examined in vowel context /i/, /a/ and /u/. Mean COG was 6133.9 Hz and 7280.2 Hz in males and 8248.6 Hz and 8321.2 Hz in females. Mean skewness was 0.37 and 0.08 in males and -0.44 and -0.31 in females (30). In fricative analysis we measured skewness equal to zero in two speakers. It indicates that distribution of frequencies around the mean frequency is symmetrical.

Koenig et al. measured spectral moments of English fricative /s/ in words produced by adolescents. Mean COG was in the range from 4433 Hz to 7643 Hz. Mean SD was in the range from 1492 Hz to 2092 Hz. Mean skewness ranged from -0.102 to 0.926, and mean kurtosis was positive in all speakers, ranging from 0.184 to 3.389 (31). Jongman et al. analyzed English fricatives and reported highest spectral mean for /s/ and /z/ (6133 Hz) and lowest for /ʃ/ and /ʒ/ (4229 Hz). Skewness was highest for /ʃ/ and /ʒ/, indicating that the palato-alveolars had the strongest concentration of energy in the lower frequencies (32).

Vujasić analyzed Croatian lingual fricatives /s/, /ʃ/, /z/ and /ʒ/ in logatomes with CVCV structure. She reported the highest average COG value for /s/ 8641 Hz, and the highest average SD for /z/ 3130 Hz. Average skewness was positive for /ʃ/ and /ʒ/, and negative for /s/ and /z/. Average kurtosis was positive for all fricatives (33).

просечна вредност на тежиште за /s/ 8641 Hz и највисока просечна вредност на СД за /z/ 3130 Hz. Просечната вредност на наклонот на спектарот била позитивна за /ʃ/ и /ʒ/, и негативна за /s/ и /z/. Просечната вредност на куртозис била позитивна за сите фрикативи (33).

Во нашата студија, најголем број говорители имаа позитивен куртозис кај фрикативите. Тоа значи релативно високи пикови во спектарот. Средната вредност на куртозис беше негативна само кај фрикативот /ʃ/ (ʃ) изговорен од женските говорители. Негативниот куртозис укажува дека дистрибуцијата има повеќе зарамнети пикови или спектар без добро дефинирани пикови. При анализата на африкатите, исто така измеривме позитивна средна вредност на наклон на спектарот и куртозис кај сите говорители.

Нашата спектрална анализа на назалите покажа средна вредност на тежиштето во ниските фреквенции за сите говорители. За консонантот /m/, Tabain и сор. прикажале тежиште 2657 Hz и СД 1139 Hz. За консонантот /n/ тежиштето било 2708 Hz, а СД била 1130 Hz (34).

Ние ги измеривме првиот и вториот спектрален момент кај латералите во опсегот на ниските фреквенции. Tabain и сор. измериле тежиште 2704 Hz и СД 1100 Hz на латералот /l/ во поединечни зборови (35).

Вредностите на првиот и вториот спектрален момент прикажани од други автори коишто ги анализирале консонантите во вокален контекст беа повисоки од вредностите добиени во нашата студија. Ние ги анализираме консонантите како изолирани фонеме и го избегнавме ефектот на коартикулација. Тоа е феномен кај кој една фонема влијае на продукцијата на претходната и следната фонема. Артикулаторните движења при продукција на одредена фонема ја менуваат артикулацијата на соседните фонеме.

Ги измеривме F_0 и фреквенциите на формантите од F_1 до F_5 кај назалите и латералите. За продукција на назалните консонанти протоколот на воздух во устата е времено запрен. Мекото непце е спуштено така што воздухот може да излезе единствено преку носната празнина. Назалите бараат

In our study, most of the speakers had positive kurtosis in fricatives. It means relatively high peaks in the spectrum. Mean kurtosis was negative only in fricative /ʃ/ (ʃ) produced by female speakers. Negative kurtosis indicates that the distribution has more flattened peaks, or a spectrum without well-defined peaks. In affricate analysis we also measured positive mean skewness and kurtosis in all speakers.

Our spectral analysis of nasals showed mean COG in low frequencies for all speakers. For the consonant /m/ Tabain et al. reported CoG 2657 Hz, and SD 1139 Hz. For the consonant /n/ CoG was 2708 Hz, and SD was 1130 Hz (34).

We measured first and second spectral moment in laterals in low-frequency range. Tabain et al. measured COG 2704 Hz and SD 1100 Hz of the lateral /l/ in single words (35).

First and second spectral moment values reported from other authors who analyzed the consonants in vowel context were higher than values obtained in our study. We analyzed the consonants as isolated phonemes and avoided the effect of coarticulation. It is a phenomenon in which one phoneme affects the production of preceding and upcoming phoneme. The articulatory movements in production of certain phoneme change the articulation of neighbouring phonemes.

We measured F_0 and formant frequencies from F_1 to F_5 in nasals and laterals. For the production of nasal consonants the oral airflow is temporally blocked. The velum is lowered such that air can escape only through the nasal cavity. Nasals require the use of two resonance cavities, oral and nasal, which are combined in a complex way (36).

Tabain et al. measured nasal formants of the nasal /m/ N_1 308 Hz, N_2 1402 Hz, N_3 2603 Hz, and N_4 3726 Hz (34). In laterals Tabain et al. obtained the following formant frequencies: F_1 374 Hz, F_2 1619 Hz, F_3 2839 Hz, and F_4 3804

користење на две резонантни празнини, усна и носна, коишто се комбинирани на комплексен начин (36).

Tabain и сор. ги измериле назалните форманти на назалот /m/ N1 308 Hz, N2 1402 Hz, N3 2603 Hz и N4 3726 Hz (34). Кај латералите, Tabain и сор. ги добиле следните фреквенции на формантите: F1 374 Hz, F2 1619 Hz, F3 2839 Hz и F4 3804 Hz за алвеоларниот латерал /l/ и F1 339 Hz, F2 2104 Hz, F3 2896 Hz и F4 3998 Hz за палаталниот латерал /ʎ/ (35). Rodrigues и сор. ги измериле фреквенциите на формантите на првиот, вториот и третиот формант на латералот /l/ во вокален контекст. Средната вредност на F1 била во опсег од 377,79 Hz до 554,77 Hz, средната вредност на F2 била во опсег од 947,70 Hz до 1108,67 Hz и средната вредност на F3 била во опсег од 2831,37 Hz до 3147,89 Hz (37). Овие вредности се слични на вредностите добиени во нашата студија.

Kostić ја испитувал акустичната структура на српските консонанти. За назалите /m/ и /n/ тој ја одредил првата концентрација на акустична енергија на околу 500 Hz, втората концентрација била од 1000 Hz до 1200 Hz и третата концентрација од 2200 до 2500 Hz. За назалот /ɲ/ првата концентрација на акустична енергија била на ниво околу 500 Hz, втората концентрација била од 600 Hz до 1000 Hz и третата концентрација на акустична енергија била во опсегот од 2700 до 3000 Hz (38). Овие наоди се слични на фреквенциите на првиот, вториот и третиот формант добиени за назалите кај машките говорители во нашата студија.

Заклучок

Центарот на гравитација и спектралната стандардна девијација кај консонантите анализирани како изолирани фонеме се пониски од вредностите добиени во контекст на вокали заради ефектот на коартикулацијата во која една фонема влијае на продукцијата на претходната и на следната фонема. Наклонот на спектарот и куртозис се позитивни кај најголем број говорители што укажува на концентрација на енергија во ниските фреквенции и релативно високи

Hz for the alveolar lateral /l/, and F1 339 Hz, F2 2104 Hz, F3 2896 Hz, and F4 3998 Hz for the palatal lateral /ʎ/ (35). Rodrigues et al. measured first, second and third formant frequencies of the lateral /l/ in vowel context. Mean F1 was in the range from 377.79 Hz to 554.77 Hz, mean F2 was in the range from 947.70 Hz to 1108.67 Hz, and mean F3 was in the range from 2831.37 Hz to 3147.89 Hz (37). These values are similar to values obtained in our study.

Kostić examined the acoustic structure of the Serbian consonants. For the nasals /m/ and /n/ he determined first concentration of acoustic energy at about 500 Hz, second concentration was from 1000 Hz to 1200 Hz, and third concentration from 2200 to 2500 Hz. For the nasal /ɲ/ first concentration of acoustic energy was at the level of about 500 Hz, second concentration was from 600 Hz to 1000 Hz, and third concentration of acoustic energy was in the range from 2700 to 3000 Hz (38). These findings are similar to first, second and third formant frequencies obtained for nasals in male speakers in our study.

Conclusion

Center of gravity and spectral standard deviation in consonants analyzed as isolated phonemes are lower than values obtained in vowel context because of the effect of coarticulation in which one phoneme affects the production of preceding and upcoming phoneme. Skewness and kurtosis are positive in most speakers indicating concentration of energy in the low frequencies and relatively high peaks in the spectrum. The highest mean Fo and formant frequencies of nasals and laterals are measured in children.



пикови во спектарот. Највисоката средна вредност на F_0 и фреквенциите на формантите на назалите и латералите се измерени кај децата.

Референци/References

1. Bouchard KE, Chang EF. Control of spoken vowel acoustics and the influence of phonetic context in human speech sensorimotor cortex. *The Journal of Neuroscience*. 2014; 34(38):12662-12677.
2. Kent RD, Vorperian HK. Static measurements of vowel formant frequencies and bandwidths: A review. *Journal of Communication Disorders*. 2018; 74: 74-97.
3. Kim C, Lee S, Jin I, Kim J. Acoustic features and cortical auditory evoked potentials according to emotional statuses of /u/, /a/, /i/ vowels. *Journal of Audiology and Otology*. 2018; 22(2): 80-88.
4. Li N, Loizou PC. The contribution of obstruent consonants and acoustic landmarks to speech recognition in noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2008; 124(6): 3947-3958.
5. Chen F, Wong LLN, Wong EYW. Assessing the perceptual contributions of vowels and consonants to Mandarin sentence intelligibility. *Journal of the Acoustical Society of America*. 2013; 134(2): EL 178-184.
6. Konan H, Asseu O, Soro E, Goore BT. The phonemes recognition through formant analysis in vowel-consonant transition case in "Baoule" language of Côte d'Ivoire. *American Journal of Modeling and Optimization*. 2016; 4(2): 29-39.
7. Kramer S, Brown DK. *Audiology: science to practice*, Third Edition. San Diego: Plural Publishing, 2019.
8. Леонтиќ М. Контрастивна анализа на гласовите во турскиот и во македонскиот јазик и нивна класификација. *Палимпсест*. 2018; 3(5): 43-57.
9. Бојковска С, Минова-Гуркова Л, Пандев Д, Цветковски Ж. Општа граматика на македонскиот јазик. Скопје: Просветно дело, 2008.
10. Gunasekar C, Sabiriginathan C, Vinayagavel K, Ramkumar K. The acoustic parameters for analyzing speech with complete dentures. *International Journal of Dental Research*. 2017; 5(2): 115-120.
11. Proverbio AM, Massetti G, Rizzi E, Zani A. Skilled musicians are not subject to the McGurk effect. *Scientific Reports*. 2016; 6:30423.
12. Anil Kumar C, Shiva Prasad KM, Manjunatha MB, KodandaRamaiah GN. Basic acoustic features analysis of vowels and C-V-C of Indian English language. *ITSI Transactions on Electrical and Electronics Engineering*. 2015; 3(1): 20-23.
13. Ferreira-Silva A, Pacheco V, Cagliari LC. Statistical descriptors in the characterization of some Brazilian Portuguese fricatives: analysis of spectral moments. *Acta Scientiarum. Language and Culture*. 2015; 37(4): 371-379.
14. Schiavetti N, Whitehead RL, Metz DE. The effects of simultaneous communication on production and perception of speech. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*. 2004; 9(3): 286-304.
15. Raina D, Chakraborty S, Velankar MR. Automatic classification of instrumental music & human voice using formant analysis. *International Journal of Advanced Research in Computer Science & Technology*. 2014; 2(2): 242-245.
16. Ladefoged PN. Phonetics. *Encyclopaedia Britannica* [Online]. 2014 [Cited 2014 August]; Available from: URL: <https://www.britannica.com/science/phonetics>
17. Boersma P, Weenink D. Praat [Computer program]. Version 6.0.43, retrieved 24.10.2018 from: <http://www.fon.hum.uva.nl/praat/>

18. Boersma P, Weenink D. Praat, a system for doing phonetics by computer. *Glott International*. 2001; 5(9/10): 341-347.
19. Bandyopadhyay S, Young ED. Discrimination of voiced stop consonants based on auditory nerve discharges. *The Journal of Neuroscience*. 2004; 24(2): 531-541.
20. Botinis A, Fourakis M, Prinou I. Acoustic structure of the Greek stop consonants. *Glossologia*. 2000; 11-12: 167-199.
21. Cho T, McQueen JM. Prosodic influences on consonant production in Dutch: Effects of prosodic boundaries, phrasal accent and lexical stress. *Journal of Phonetics*. 2005; 33: 121-157.
22. Lousada ML, Jesus LMT, Pape D. Estimation of stops' spectral place cues using multitaper techniques. *DELTA*. 2012; 28(1): 1-26.
23. Gordon M, Barthmaier P, Sands K. A cross-linguistic acoustic study of voiceless fricatives. *Journal of the International Phonetic Association*. 2002; 32(2): 141-174.
24. Northern JL. *Hearing in children*, 6th Edition. San Diego: Plural Publishing, 2014.
25. Punišić S, Subotić M, Čabarkapa N. Artikulacijsko-akustička obilježja atipičnog izgovora frikativa u srpskom jeziku. *Govor*. 2009; 26(2): 101-118.
26. Гудурић С, Петровић Д. Прилог проучавању фонетске природе гласова српског језика: струјни сугласници. *Јужнословенски филолог*. 2008; LXIV: 73-108.
27. Ladefoged P. *Vowels and consonants: an introduction to the sounds of languages*. Malden: Blackwell Publishing, 2001.
28. Maniwa K, Jongman A. Acoustic characteristics of clearly spoken English fricatives. *Journal of the Acoustical Society of America*. 2009; 125(6): 3962-3973.
29. Tabain M. Variability in fricative production and spectra: implications for the hyper- and hypo- and quantal theories of speech production. *Language and Speech*. 2001; 44(1): 57-94.
30. Han K-I. Dialect and gender variations in the place and manner of articulation of the Korean fricatives. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*. 2018; 12(1): 124-130.
31. Koenig LL, Shadle CH, Preston JL, Mooshammer CR. Toward improved spectral measures of /s/: results from adolescents. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*. 2013; 56(4): 1175-1189.
32. Jongman A, Wayland R, Wong S. Acoustic characteristics of English fricatives. *Journal of the Acoustical Society of America*. 2000; 108(3): 1252-1263.
33. Vujasić N. Akustička analiza spektra šuma hrvatskih lingvalnih frikativa. *Govor*. 2014; 31(2): 109-131.
34. Tabain M, Butcher A, Breen G, Beare R. An acoustic study of nasal consonants in three Central Australian languages. *Journal of the Acoustical Society of America*. 2016a; 139(2): 890-903.
35. Tabain M, Butcher A, Breen G, Beare R. An acoustic study of multiple lateral consonants in three Central Australian languages. *Journal of the Acoustical Society of America*. 2016b; 139(1): 361-372.
36. Nazer S, Suresh S. Acoustic analysis of nasal consonants during fast and normal speaking rate in Malayalam speaking adults. *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*. 2017; 3(1): 743-748.
37. Rodrigues S, Martins F, Silva S, Jesus LMT. /l/ velarisation as a continuum. *PLOS ONE* 2019; 14(3): e0213392.
38. Kostić Đ. *Metodika izgradnje govora u dece oštećena sluha*. Beograd: Savez društava defektologa Jugoslavije, 1971.