

АКУСТИЧНИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА МАКЕДОНСКИТЕ ВОКАЛИ

Лидија РИСТОВСКА¹
Зора ЈАЧОВА²
Људмил СПАСОВ³
Тодорка БАЛОВА⁴

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

²Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Филозофски факултет, Институт за дефектологија, Скопје, Република Македонија

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

⁴Македонски народен театар, Скопје, Република Македонија

Примено: 10.05.2018
Прифатено: 12.07.2018
УДК 811.163.3'342.1

Резиме

Вовед: Резонанциите во говорот се нарекуваат форманти и тие се означени како F1, F2, F3, F4 итн., почнувајќи со најниската фреквенција. Формантите исто така се дефинирани како спектрални пикови на звучниот спектар на гласот.

Цел: Целта на студијата беше да се одредат фреквенциите на формантите од F1 до F5 и основната фреквенција (Fo) на македонските вокали во компјутерската програма Praat.

Материјал и методи: Оваа студија вклучува 15 изворни говорители/зборуваачи на македонски јазик, пет мажи, пет жени, на возраст од 26 до 50 години (средна возраст 38,9±9,6 години) и пет деца, две момчиња и три девојчиња, на возраст од 9 до 14 години (средна возраст 10,6±1,9 години). Тие беа снимени при изговарање на македонските вокали. Акустичната анализа е изведена во компјутерската програма Praat, Верзија 6.0.43. Измерени се фреквенциите на формантите од F1 до F5 и Fo.

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

ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF MACEDONIAN VOWELS

Lidija RISTOVSKA¹
Zora JACHOVA²
Ljudmil SPASOV³
Todorka BALOVA⁴

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

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

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

⁴Macedonian National Theater, Skopje, Republic of Macedonia

Received: 10.05.2018
Accepted: 12.07.2018
Original article

Abstract

Introduction: Resonances in speech are called formants and they are labeled as F1, F2, F3, F4 etc. starting with the lowest frequency. Formants are also defined as the spectral peaks of the sound spectrum of the voice.

Objective: The objective of the study was to determine the formant frequencies from F1 to F5 and the fundamental frequency (Fo) of Macedonian vowels 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 vowels. The acoustic analysis was performed in computer program Praat, Version 6.0.43. Formant frequencies from F1 to F5 and Fo were measured.

Corresponding address: Lidija RISTOVSKA
City General Hospital “8th September”, Department of Otorhinolaryngology, Division of Audiology, Pariska NN. 1000 Skopje, Republic of Macedonia.
e-mail: lidijaristovska@yahoo.com

Резултати: Средната вредност на Fo кај мажите беше 109-131 Hz, кај жените беше 205-259 Hz и кај децата беше 251-285 Hz. Средната вредност на F1 на сите вокали беше 299-1060 Hz; средната вредност на F2 беше 995-3023 Hz; средната вредност на F3 беше 2404-4319 Hz; средната вредност на F4 беше 3438-5575 Hz и средната вредност на F5 беше 4344-7106 Hz. Најниските вредности беа добиени кај мажите, а највисоките вредности беа добиени кај децата.

Заклучок: Резултатите од акустичната анализа на македонските вокали во компјутерската програма Praat се слични на резултатите од претходните анализи на вокалите со звучни спектрографи. Исто така, постојат сличности во Fo и фреквенциите на формантите на македонските вокали и вокалите изговорени од говорители/зборуваачи на друг јазик.

Клучни зборови: фреквенции на формантите, Fo, македонски вокали, Praat

Вовед

Звукот е бран којшто е перцептибилен за човечкото уво кога неговата фреквенција е генерално помеѓу 20 Hz и 20 KHz (1). Говорните фреквенции се во опсег од 250 Hz до 8000 Hz (2). Говорот е комплексен, временски варијабилан акустичен сигнал. Тој сигнал има многу различни акустични и лингвистички својства коишто можат да бидат информативни, во различни степени, за да се разбере пораката којашто сакаме да ја пренесеме (3). Секој изговорен збор е креиран со користење фонетска комбинација на сет од вокал, полувокал и консонант, како единици на говорниот звук (4).

Говорните звуци се сензации на вибрациите на воздушниот притисок создадени од воздухот којшто е издишан од белите дробови, модулиран и обликуван од вибрациите на гласилките и резонанцијата на вокалниот тракт додека воздухот се истуркува низ усните и носот (5). Од изворот на звучна вибрација, гласилките добиваат транзиентни или континуирани природни фреквенции, што се дефинира како резонанција којашто ќе биде засилена. Резонанциите во говорот се нарекуваат форманти и тие се означени како F1, F2, F3, F4 итн., почнувајќи со најниската фреквенција (6). Формантите исто така се дефинирани како спектрални пикови на звучниот спектар на гласот. Еден од елементите на акустичната анализа е мерењето и компарацијата на формантите. Првите два форманти се најважни за идентификување на вокалот (7).

Results: Mean Fo in males was 109-131 Hz, in females was 205-259 Hz, and in children was 251-285 Hz. Mean F1 of all vowels was 299-1060 Hz; mean F2 was 995-3023 Hz; mean F3 was 2404-4319 Hz; mean F4 was 3438-5575 Hz, and mean F5 was 4344-7106 Hz. The lowest values were obtained in males, and the highest values were obtained in children.

Conclusion: Results from acoustic analysis of Macedonian vowels in computer program Praat are similar to results from previous analyses of vowels with sound spectrographs. There are also similarities in Fo and formant frequencies of Macedonian vowels and vowels produced by speakers in other language.

Keywords: formant frequencies, Fo, Macedonian vowels, Praat

Introduction

The sound is a wave perceptible to the human ear when its frequency is generally between 20 Hz and 20 KHz (1). Speech frequencies range from 250 Hz to 8000 Hz (2). Speech is a complex, temporally varying acoustic signal. This signal is composed of many different acoustic and linguistic properties that may, to varying degrees, be informative for understanding the intended message (3). Each spoken word is created using the phonetic combination of set of vowel, semivowel and consonant speech sound units (4).

Speech sounds are sensations of air pressure vibrations produced by air exhaled from the lungs and modulated and shaped by the vibrations of the vocal cords and the resonance of the vocal tract as the air is pushed out through the lips and nose (5). From the source of sound vibration, the vocal cord gets natural frequencies either transient or continuous, which is defined as resonance that will be amplified. Resonances in speech are called formants and they are labeled as F1, F2, F3, F4 etc. starting with the lowest frequency (6). Formants are also defined as the spectral peaks of the sound spectrum of the voice. One of the elements of acoustic analysis is the measurement and comparison of formants. The first two formants are the most important for identifying a vowel (7).

Формантите може да се опишат според нивните фреквенции, фреквенцискиот опсег и амплитудите (8). Фреквенцијата на формантот на вокалот е детерминирана од конфигурацијата на вокалниот тракт на којашто може да влијаат повеќе фактори: внатрешната големина на вокалниот тракт, големината на јазикот, големината и конфигурацијата на усната празнина, големината и конфигурацијата на фарингеалната празнина и конфигурацијата на јазикот (9). Основната фреквенција (F_0) е просечна фреквенција којашто се користи во текот на зборувањето и читањето (10).

Графичката претстава на трите димензии на звукот во однос на нивните компонентни фреквенции се нарекува спектрограм. Тој е визуелна претстава на акустичниот сигнал. Формантите може да се видат како темни појаси во широкопојасниот спектрограм (6). Спектрограмот е спектро-темпорална претстава на звукот. Хоризонталната насока на спектрограмот го претставува времето, а вертикалната насока ја претставува фреквенцијата (7). Софтверот за дигитална акустична анализа на говорот нуди можности за анализа на говорни примероци за различни цели, вклучувајќи едукација, клиничка пракса и истражување (11).

Целта на студијата беше да се одредат фреквенциите на формантите од F_1 до F_5 и F_0 на македонските вокали во компјутерската програма Praat.

Материјал и методи

Оваа студија вклучува 15 изворни говорители/зборувачи 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 вокали. Акустичната анализа е изведена со компјутерската програма Praat, верзија 6.0.43 (12). MP3 моно звучните фајлови на снимените вокали беа прво отворени во Praat за да се сегментира и меморира вокалот како WAV фајл. Беа направени два сета на акустични мерења: фреквенции на формантите од F_1 до F_5 и F_0 . Вредностите на фреквенциите на формантите ги добивме со поставување на параметрите за анализа на: *Максимален број на форманти*: 5 и *Максимум форманти (Hz)*: 5000 Hz за мажите, 5500 Hz за жените и 8000 Hz за децата. Вредноста во *Поставување на спектрограм*: *Преглед на ојсег (Hz)* беше иста како вредноста во *Максимум форманти (Hz)*.

Formants can be described by their frequencies, bandwidth, and amplitudes (8). Vowel formant frequency is determined by the configuration of the vocal tract which can be affected by a number of factors: the intrinsic size of the vocal tract, the size of a tongue, the size and configuration of the oral cavity, the size and configuration of the pharyngeal cavity, and the tongue configuration (9). The fundamental frequency (F_0) is the average pitch that is used during speaking and reading (10).

A graphic representation of three dimensions of sounds in terms of their component frequencies is called a spectrogram. It is a visual representation of an acoustic signal. Formants can be seen in a wideband spectrogram, as dark bands (6). The spectrogram is a spectro-temporal representation of the sound. The horizontal direction of the spectrogram represents time, the vertical direction represents frequency (7). Software for digital acoustic analysis of speech offers opportunities for the analysis of speech samples for different purposes, including education, clinical practice, and research (11).

The aim of the study was to determine the formant frequencies from F_1 to F_5 and F_0 of Macedonian vowels 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 vowels. The acoustic analysis was performed with the computer program Praat, Version 6.0.43 (12). MP3 mono sound files of the recorded vowels were first opened in Praat to segment and save the vowel as a WAV file. Two sets of acoustic measurements were made: formant frequencies from F_1 to F_5 and F_0 . We get the frequency values of the formants with analysis parameters set to: *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)*.

Резултати

Анализирани се вкупно 75 WAV фајлови на снимени вокали. Во македонскиот јазик има пет вокали: а, е, и, о, у. Средната вредност на фреквенциите (во Hz) и стандардната девијација (SD) беа калкулирани одделно за сите три групи: мажи, жени и деца. Исто така, го прикажавме и опсегот на фреквенции на Fo и фреквенциите на формантите од најниската до највисоката вредност кај различни субјекти.

Во Табела 1 ја прикажавме основната фреквенција (Fo) на вокалите. Fo на вокалот „а“ е во опсегот од 98 Hz кај мажите до 326 Hz кај децата. Fo на вокалот „е“ е во опсегот од 111 Hz кај мажите до 293 Hz кај децата. Fo на вокалот „и“ е во опсегот од 99 Hz кај мажите до 300 Hz кај децата. Fo на вокалот „о“ е во опсегот од 105 Hz кај мажите до 299 Hz кај децата. Fo на вокалот „у“ е во опсегот од 112 Hz кај мажите до 319 Hz кај децата.

Табела 1. Основна фреквенција (Fo) на вокалиите

Table 1. Fundamental frequency (Fo) of the vowels

Fo	Мажи/Males		Жени/Females		Деца/Children	
	Средна вр./ Mean±SD	Опсег/ Range	Средна вр./ Mean±SD	Опсег/ Range	Средна вр./ Mean±SD	Опсег/ Range
a/a	109±7.9	98-120	205±37.7	167-254	251±45	211-326
e/e	122±14.9	111-148	213±20.1	184-241	253±31.3	209-293
i/i	118±17.7	99-147	230±17.5	203-250	279±18.7	254-300
o/o	119±11.5	105-133	208±22	172-229	260±25.2	232-299
u/u	131±13.8	112-151	259±26.1	221-294	285±30.7	245-319

Во Табела 2 ги прикажавме фреквенциите на формантите од F1 до F5 на вокалот „а“. Фреквенцијата на F1 беше во опсег од 633 Hz кај мажите до 1270 Hz кај децата. Најниската фреквенција на F2 беше 1051 Hz кај мажите, а највисоката фреквенција беше 2039 Hz кај децата. Фреквенцијата на F3 беше во опсег од 2542 Hz кај мажите до 3979 Hz кај децата, фреквенцијата на F4 беше во опсег од 3240 Hz кај мажите до 5145 Hz кај децата и фреквенцијата на F5 беше во опсег од 3971 Hz кај мажите до 6977 Hz кај децата.

Results

A total of 75 WAV files of recorded vowels were analyzed. There are five vowels in Macedonian: a, e, i, o, u. Mean frequencies (in Hz) and standard deviation (SD) were calculated separately for all three groups: males, females and children. We also displayed a frequency range of Fo and formant frequencies from the smallest to the biggest value in different subjects.

In Table 1 we displayed fundamental frequency (Fo) of the vowels. Fo of the vowel “a” ranges from 98 Hz in males to 326 Hz in children. Fo of the vowel “e” ranges from 111 Hz in males to 293 Hz in children. Fo of the vowel “i” ranges from 99 Hz in males to 300 Hz in children. Fo of the vowel “o” ranges from 105 Hz in males to 299 Hz in children. Fo of the vowel “u” ranges from 112 Hz in males to 319 Hz in children.

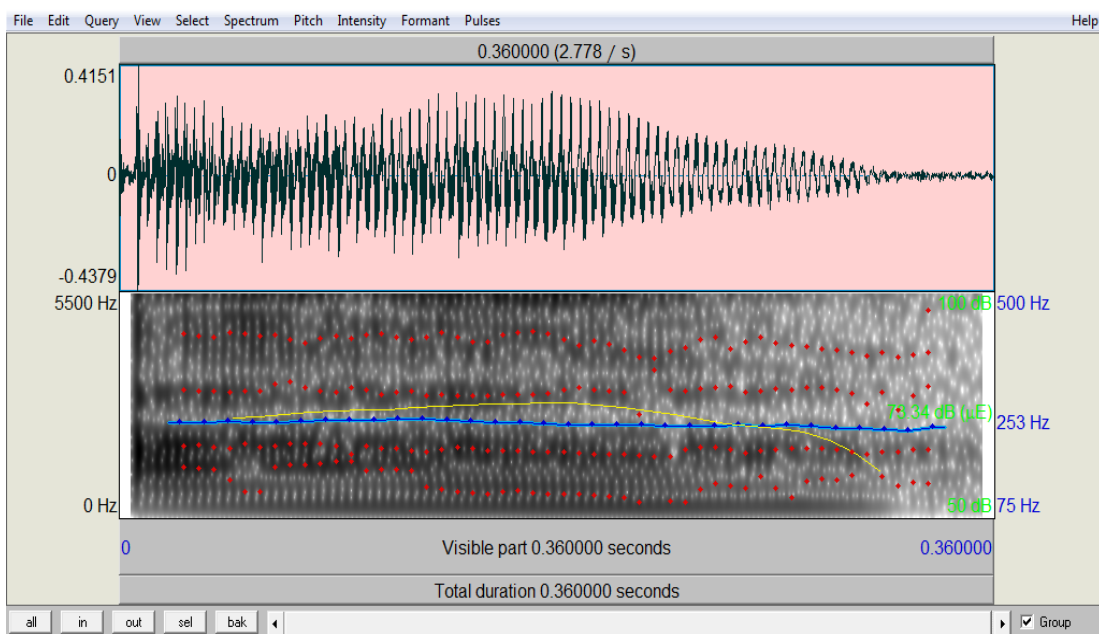
In Table 2 we displayed formant frequencies from F1 to F5 of the vowel “a”. The frequency of F1 was in the range of 633 Hz in males to 1270 Hz in children. The lowest frequency of F2 was 1051 Hz in males, and the highest frequency was 2039 Hz in children. The frequency of F3 was in the range of 2542 Hz in males to 3979 Hz in children, the frequency of F4 was in the range of 3240 Hz in males to 5145 Hz in children, and the frequency of F5 was in the range of 3971 Hz in males to 6977 Hz in children.

Табела 2. Фреквенци на формантите на вокалот „а“
Table 2. Formant frequencies of the vowel „a“

Форманти/ Formants	Мажи/Males		Жени/Females		Деца/Children	
	Средна вр./ Mean±SD	Опсег/ Range	Средна вр./ Mean±SD	Опсег/ Range	Средна вр./ Mean±SD	Опсег/ Range
F1	710±69.7	633-822	836±130.2	671-985	1060±144.9	896-1270
F2	1129±45.2	1051-1167	1469±196.3	1288-1720	1563±271.5	1348-2039
F3	2686±135.1	2542-2861	2894±229.1	2627-3039	3530±358.8	3020-3979
F4	3440±198.5	3240-3704	3912±276	3624-4275	5064±229.8	4754-5145
F5	4431±397.4	3971-4814	4949±253.1	4522-5040	6436±518.5	5665-6977

Го прикажавме Praat прозорецот за звук на вокалот „а“ кај женски говорител/зборуваач (Слика 1).

We displayed Praat's sound window of the vowel “a” in female speaker (Figure 1).



Слика 1. Praat прозорец за звук на вокалот „а“ кај женски говорител/зборуваач
Figure 1. Praat's sound window of the vowel „a“ in female speaker

Горниот дел на прозорецот за звук го покажува осцилограмот. Долната половина покажува неколку акустични анализи: спектрограмот е обоен во нијанси на сива боја, контурата на фреквенцијата е нацртана како сина крива, контурата на интензитетот е нацртана како жолта крива и контурите на формантите се нацртани како црвени точки. Потемните делови од спектрограмот покажуваат поголема густина на енергија, а посветлите делови покажуваат помала густина на енергија.

Добиени се и фреквенциите на формантите на вокалот „а“ (Табела 3). Фреквенцијата на F1 беше во опсег

The upper part of the sound window shows the waveform. The lower half shows several acoustic analyses: the spectrogram is painted in shades of grey, the pitch contour is drawn as a blue curve, the intensity contour is drawn as a yellow curve and formant contours are plotted as red dots. Darker parts of the spectrogram indicate higher energy densities, lighter parts indicate lower energy densities.

Formant frequencies of the vowel “e” were also obtained (Table 3). The frequency of F1 was in the range of 482 Hz in males to 713 Hz in children. The lowest frequency of F2 was 1732 Hz in males, and the

од 482 Hz кај мажите до 713 Hz кај децата. Најниската фреквенција на F2 беше 1732 Hz кај мажите, а највисоката фреквенција беше 2900 Hz кај децата. Најниската фреквенција на F3 беше 2268 Hz кај мажите, а највисоката фреквенција на F3 беше 4179 Hz кај децата. Фреквенцијата на F4 беше во опсег од 3275 Hz кај мажите до 5331 Hz кај децата. Најниската фреквенција на F5 беше 4245 Hz кај мажите, а највисоката фреквенција беше 7226 Hz кај децата.

Табела 3. Фреквенции на формантите на вокалот „e“
Table 3. Formant frequencies of the vowel „e“

Форманти/ Formants	Мажи/Males		Жени/Females		Деца/Children	
	Средна вр./ Mean±SD	Опсег/ Range	Средна вр./ Mean±SD	Опсег/ Range	Средна вр./ Mean±SD	Опсег/ Range
F1	483±41.6	482-555	514±60.6	417-576	646±68.6	565-713
F2	1791±52	1732-1853	2385±165.8	2209-2602	2706±149.3	2526-2900
F3	2404±166.4	2268-2694	2923±143.8	2720-3068	3629±330	3297-4179
F4	3465±222.4	3275-3784	4190±273.8	3902-4641	4919±258.8	4679-5331
F5	4487±162.9	4245-4701	4845±279	4428-5163	6350±525.6	5940-7226

Во Табела 4 ги прикажавме фреквенциите на формантите на вокалот „и“. Фреквенцијата на F1 беше во опсег од 253 Hz кај мажите до 519 Hz кај децата. Најниската фреквенција на F2 беше 2055 Hz кај мажите, а највисоката фреквенција беше 3248 Hz кај децата.

Табела 4. Фреквенции на формантите на вокалот „и“
Table 4. Formant frequencies of the vowel „i“

Форманти/ Formants	Мажи/Males		Жени/Females		Деца/Children	
	Средна вр./ Mean±SD	Опсег/ Range	Средна вр./ Mean±SD	Опсег/ Range	Средна вр./ Mean±SD	Опсег/ Range
F1	299±28.4	253-321	300±35.5	266-353	393±86.8	295-519
F2	2116±93.3	2055-2278	2401±197.7	2245-2688	3023±253.5	2614-3248
F3	2799±133.5	2658-2978	3074±163	2914-3320	4289±350.1	3828-4777
F4	3438±131.1	3281-3611	4258±240.1	3961-4613	5401±231.4	5159-5730
F5	4344±308.3	3807-4537	4873±180.6	4571-5021	6788±502.9	6039-7400

Најниската фреквенција на F3 беше 2658 Hz кај мажите, а највисоката фреквенција на F3 беше 4777 Hz кај децата. Фреквенцијата на F4 беше во опсег од 3281 Hz кај мажите до 5730 Hz кај децата. Најниската фреквенција на F5 беше 3807 Hz кај мажите, а највисоката фреквенција беше 7400 Hz кај децата. Фреквенциите на формантите на вокалот „o“ се прикажани во Табела 5. Фреквенцијата на F1 беше во

highest frequency was 2900 Hz in children. The lowest frequency of F3 was 2268 Hz in males, and the highest frequency of F3 was 4179 Hz in children. The frequency of F4 was in the range of 3275 Hz in males to 5331 Hz in children. The lowest frequency of F5 was 4245 Hz in males, and the highest frequency was 7226 Hz in children.

In Table 4 we displayed formant frequencies of the vowel “i”. The frequency of F1 was in the range of 253 Hz in males to 519 Hz in children. The lowest frequency of F2 was 2055 Hz in males, and the highest frequency was 3248 Hz in children.

The lowest frequency of F3 was 2658 Hz in males, and the highest frequency of F3 was 4777 Hz in children. The frequency of F4 was in the range of 3281 Hz in males to 5730 Hz in children. The lowest frequency of F5 was 3807 Hz in males, and the highest frequency was 7400 Hz in children.

Formant frequencies of the vowel “o” are displayed in Table 5. The frequency of F1 was in the range of 379

опсег од 379 Hz кај мажите до 797 Hz кај децата. Најниската фреквенција на F2 беше 827 Hz кај мажите, а највисоката фреквенција беше 2579 Hz кај децата. Најниската фреквенција на F3 беше 2254 Hz кај мажите, а највисоката фреквенција на F3 беше 4390 Hz кај децата. Фреквенцијата на F4 беше во опсег од 3366 Hz кај мажите до 5760 Hz кај децата. Најниската фреквенција на F5 беше 4394 Hz кај мажите, а највисоката фреквенција беше 7013 Hz кај децата.

Hz in males to 797 Hz in children. The lowest frequency of F2 was 827 Hz in males, and the highest frequency was 2579 Hz in children. The lowest frequency of F3 was 2254 Hz in males, and the highest frequency of F3 was 4390 Hz in children. The frequency of F4 was in the range of 3366 Hz in males to 5760 Hz in children. The lowest frequency of F5 was 4394 Hz in males, and the highest frequency was 7013 Hz in children.

Табела 5. Фреквенции на формантите на вокалот „о“

Table 5. Formant frequencies of the vowel „o“

Форманти/ Formants	Мажи/Males		Жени/Females		Деца/Children	
	Средна вр./ Mean±SD	Опсег/ Range	Средна вр./ Mean±SD	Опсег/ Range	Средна вр./ Mean±SD	Опсег/ Range
F1	501±80.6	379-597	526±33.2	479-572	727±54.8	666-797
F2	1002±245.4	827-1413	1227±194.5	984-1475	1773±519.3	1296-2579
F3	2671±250.5	2254-2869	3128±115.8	2954-3270	4008±362.8	3562-4390
F4	3561±112	3366-3643	3985±186.2	3703-4205	5438±291.5	5016-5760
F5	4538±121.1	4394-4703	4927±261.5	4483-5121	6445±404.1	5954-7013

Фреквенциите на формантите на вокалот „у“ се прикажани во Табела 6. Фреквенцијата на F1 беше во опсег од 306 Hz кај мажите до 607 Hz кај децата. Најниската фреквенција на F2 беше 809 Hz кај мажите, а највисоката фреквенција беше 2099 Hz кај децата.

Formant frequencies of the vowel “u” are displayed in Table 6. The frequency of F1 was in the range of 306 Hz in males to 607 Hz in children. The lowest frequency of F2 was 809 Hz in males, and the highest frequency was 2099 Hz in children.

Табела 6. Фреквенции на формантите на вокалот „у“

Table 6. Formant frequencies of the vowel „u“

Форманти/ Formants	Мажи/Males		Жени/Females		Деца/Children	
	Средна вр./ Mean±SD	Опсег/ Range	Средна вр./ Mean±SD	Опсег/ Range	Средна вр./ Mean±SD	Опсег/ Range
F1	367±55.5	306-456	422±61.5	360-518	530±85.2	399-607
F2	995±172.6	809-1272	1410±218.1	1233-1721	1801±191.8	1647-2099
F3	2615±152.3	2438-2772	3136±288.1	2844-3523	4319±455.3	3694-4867
F4	3572±176.1	3310-3764	4220±225.5	4022-4574	5748±176.4	5575-5999
F5	4482±137.3	4284-4631	4928±101	4800-5052	7106±598.1	6113-7564

Најниската фреквенција на F3 беше 2438 Hz кај мажите, а највисоката фреквенција на F3 беше 4867 Hz кај децата. Фреквенцијата на F4 беше во опсег од 3310 Hz кај мажите до 5999 Hz кај децата. Најниската фреквенција на F5 беше 4284 Hz кај мажите, а највисоката фреквенција беше 7564 кај децата.

The lowest frequency of F3 was 2438 Hz in males, and the highest frequency of F3 was 4867 Hz in children. The frequency of F4 was in the range of 3310 Hz in males to 5999 Hz in children. The lowest frequency of F5 was 4284 Hz in males, and the highest frequency was 7564 Hz in children.

Дискусија

Ги одредивме F_0 и фреквенциите на формантите од $F1$ до $F5$ на македонските вокали изговорени од 15 изворни говорители/зборуваачи на македонски јазик. Акустичната анализа е направена во Praat. Параметарот за анализа *Максимум формант* (Hz) го поставивме на 5000 Hz за мажите, 5500 Hz за жените и 8000 Hz за децата според инструкциите во воведниот дел за Praat.

Praat е компјутерска програма за анализирање, синтезирање и манипулирање со говор. Praat не е систем за синтеза на говор, но со Praat може да се генерираат многу видови звуци (13).

Во нашата студија средната вредност на F_0 кај жените беше повисока од средната вредност на F_0 кај мажите, а средната вредност на F_0 кај децата беше највисока. F_0 на вокалот „а“ кај жените е во опсег од 167 Hz до 254 Hz , а средната вредност на F_0 е 205 Hz . Finger и сор. прикажале слични вредности на F_0 за вокалот „а“ кај 56 жени од Бразил, добиени во Praat програмата. Во нивната студија F_0 била во опсег од 164,60 Hz до 268,94 Hz , а средната вредност на F_0 била 210,92 Hz (14). Во нашата студија F_0 за сите вокали кај децата е во опсег од 209 Hz до 326 Hz . Cartei (Картеи) и Реби (Reby) прикажале F_0 кај деца на возраст од 8 години екстрахирана во програмата Praat. Децата читале кратки зборови на англиски јазик и F_0 била во опсег од 237 Hz до 304 Hz (15).

Според Савицка и Спасов, средната вредност на F_0 на вокалите во различни позиции во зборот изнесува 193 Hz (16). Генерално, F_0 кај мажите е 80 Hz до 180 Hz , кај жените 180 Hz до 230 Hz , а кај децата 230 Hz до 300 Hz (17). Шипли (Shipley) и Мек Афеи (McAfee) прикажале средна вредност на F_0 за мажи на различна возраст во опсег од 107 Hz до 146 Hz , средна вредност на F_0 за жени во опсег од 188 Hz до 233 Hz и средна вредност на F_0 за деца на возраст од една до 14 години во опсег од 210 Hz до 400 Hz (10). Нашите наоди на средна вредност на F_0 се во согласност со средните вредности на F_0 прикажани во литературата. Средната вредност на фреквенциите на формантите во нашата студија е прикажана посебно за мажите, за жените и за децата. Типично е тоа што $F1$ кај вокалите „и“ и „у“ е многу сличен на F_0 , а $F1$ кај вокалот „а“ е многу повисок од F_0 . Најголема разлика помеѓу формантите е разликата помеѓу $F1$ и $F2$ кај вокалот „и“.

Керамитчиевски ги прикажал резултатите од акустичната анализа на македонските вокали со звучен спек-

Discussion

We determined F_0 and formant frequencies from $F1$ to $F5$ of Macedonian vowels produced by 15 native speakers of Macedonian. The acoustic analysis was done in Praat. We set the analysis parameter *Maximum formant* (Hz) to 5000 Hz for males, 5500 Hz for females and 8000 Hz for children according to instructions in introductory tutorial to Praat.

Praat is a computer program for analyzing, synthesizing, and manipulating speech. Praat is not a text-to-speech system, but one can generate many types of sounds with Praat (13).

In our study mean F_0 in females was higher than mean F_0 in males, and mean F_0 in children was the highest. F_0 of the vowel “a” in females ranges from 167 Hz to 254 Hz , and mean F_0 is 205 Hz . Finger et al. reported similar values of F_0 for the vowel “a” in 56 women from Brazil, obtained in Praat program. In their study F_0 was in the range from 164.60 Hz to 268.94 Hz , and mean F_0 was 210.92 Hz (14). In our study F_0 for all vowels in children ranges from 209 Hz to 326 Hz . Cartei and Reby reported F_0 for children aged 8 years extracted in Praat program. Children read short words in English and F_0 was in the range from 237 Hz to 304 Hz (15).

According to Savicka and Spasov, mean F_0 of the vowels in different positions in the word is 193 Hz (16). In general, F_0 in males is 80 Hz to 180 Hz , in females 180 Hz to 230 Hz , and in children 230 Hz to 300 Hz (17). Shipley and McAfee reported mean F_0 for males of various ages in the range of 107 Hz to 146 Hz , mean F_0 for females in the range of 188 Hz to 233 Hz , and mean F_0 for children, aged 1 to 14 years, in the range of 210 Hz to 400 Hz (10). Our findings of mean F_0 are in agreement with mean F_0 values reported in literature.

Mean formant frequencies in our study are separately displayed for males, females and children. It is typical that $F1$ in vowels “i” and “u” is very similar to F_0 , and $F1$ in vowel “a” is much higher than F_0 . The largest difference between formants is the difference between $F1$ and $F2$ in vowel “i”.

Keramitchievski reported results from acoustic analysis of Macedonian vowels with sound spectrograph. He obtained the following results: for the vowel “a” he measured $F1$ 230 Hz to 680 Hz , $F2$ 780 Hz to 1130 Hz ,

трограф. Тој ги добил следните резултати: за вокалот „а“ тој измерил F1 230 Hz до 680 Hz, F2 780 Hz до 1130 Hz, F3 1280 Hz до 1600 Hz и F4 2300 до 2700 Hz; за вокалот „е“ F1 190 Hz до 700 Hz, F2 1600 Hz до 2050 Hz, F3 2100 Hz до 2680 Hz и F4 3000 Hz до 3600 Hz; за вокалот „и“ F1 200 Hz до 600 Hz, F2 2180 Hz до 2800 Hz, F3 3300 Hz до 3700 Hz и F4 3700 Hz до 4280 Hz; за вокалот „о“ F1 180 Hz до 580 Hz, F2 750 Hz до 1180 Hz, F3 2100 Hz до 2550 Hz и F4 2750 Hz до 3200 Hz; за вокалот „у“ F1 150 Hz до 480 Hz, F2 530 Hz до 880 Hz, F3 2100 Hz до 2300 Hz и F4 3000 Hz до 3400 Hz (18). Овие вредности се повеќе слични на средната вредност на фреквенциите на формантите кај мажите отколку средната вредност на фреквенциите на формантите кај жените и децата во нашата студија.

Миниси (Minissi) и соработниците ја прикажале средната вредност на фреквенциите на формантите на македонските вокали. За вокалот „а“ тие измериле F1 750 Hz, F2 1300 Hz и F3 2450 Hz; за вокалот „е“ F1 400 Hz, F2 2050 Hz и F3 2600 Hz; за вокалот „и“ F1 250 Hz, F2 2100 Hz и F3 2900 Hz; за вокалот „о“ F1 450 Hz, F2 850 Hz и F3 1400 Hz; за вокалот „у“ F1 300 Hz и F2 750 Hz (19). Овие вредности се најслични на средната вредност на фреквенциите на формантите кај мажите во нашата студија.

Костиќ ги прикажал резултатите за акустичната структура на српскохрватските вокали кај мажите. Кај вокалот „а“ F1 е 624 Hz до 905 Hz, F2 е 1080 Hz до 1390 Hz и F3 е 2345 Hz до 2576 Hz. Кај вокалот „е“ тој ги прикажал следните вредности: F1 е 446 Hz до 665 Hz, F2 е 1759 Hz до 2036 Hz и F3 е 2241 Hz до 3566 Hz. Кај вокалот „и“ F1 е 177 Hz до 335 Hz, F2 е 2040 Hz до 2523 Hz и F3 е 2590 Hz до 3130 Hz. Кај вокалот „о“ F1 е 430 Hz до 665 Hz, F2 е 780 Hz до 981 Hz и F3 е 2382 Hz до 2626 Hz. Кај вокалот „у“ F1 е 279 Hz до 488 Hz, F2 е 632 Hz до 814 Hz и F3 е 2299 Hz до 2470 Hz (20). Овие вредности се слични на средната вредност на фреквенциите на формантите кај мажите во нашата студија.

Владисављевиќ нагласува некои карактеристики на српскохрватските вокали. F1 кај вокалот „а“ е околу 900 Hz, а F2 е околу 1300 Hz. F1 кај вокалот „е“ е околу 600 Hz, а F2 е околу 2000 Hz. F1 кај вокалот „и“ е околу 250 Hz, а F2 е околу 3000 Hz. F1 кај вокалот „о“ е околу 500 Hz, F2 е околу 800 Hz, а F3 е околу 3000 Hz. F1 кај вокалот „у“ е околу 300-400 Hz, F2 е околу 600 Hz, а F3 е околу 2400 Hz (17).

Судимак (Sudimac) ги презентира резултатите од контрастивната анализа на високите (затворени) вокали на англиските и српските „и“ и „у“ изговорени од

F3 1280 Hz to 1600 Hz, and F4 2300 to 2700 Hz; for the vowel “e” F1 190 Hz to 700 Hz, F2 1600 Hz to 2050 Hz, F3 2100 Hz to 2680 Hz, and F4 3000 Hz to 3600 Hz; for the vowel “i” F1 200 Hz to 600 Hz, F2 2180 Hz to 2800 Hz, F3 3300 Hz to 3700 Hz, and F4 3700 Hz to 4280 Hz; for the vowel “o” F1 180 Hz to 580 Hz, F2 750 Hz to 1180 Hz, F3 2100 Hz to 2550 Hz, and F4 2750 Hz to 3200 Hz; for the vowel “u” F1 150 Hz to 480 Hz, F2 530 Hz to 880 Hz, F3 2100 Hz to 2300 Hz, and F4 3000 Hz to 3400 Hz (18). These values are more similar to mean formant frequencies in males, than mean formant frequencies in females and children in our study.

Minissi et al. reported mean format frequencies of Macedonian vowels. For the vowel “a” they measured F1 750 Hz, F2 1300 Hz and F3 2450 Hz; for the vowel “e” F1 400 Hz, F2 2050 Hz and F3 2600 Hz; for the vowel “i” F1 250 Hz, F2 2100 Hz and F3 2900 Hz; for the vowel “o” F1 450 Hz, F2 850 Hz and F3 1400 Hz; for the vowel “u” F1 300 Hz and F2 750 Hz (19). These values are most similar to mean formant frequencies in males in our study.

Kostić displayed results for acoustic structure of Serbo-Croatian vowels in males. In vowel “a” F1 is 624 Hz to 905 Hz, F2 is 1080 Hz to 1390 Hz, and F3 is 2345 Hz to 2576 Hz. In vowel “e” he reported the following values: F1 is 446 Hz to 665 Hz, F2 is 1759 Hz to 2036 Hz, and F3 is 2241 Hz to 3566 Hz. In vowel “i” F1 is 177 Hz to 335 Hz, F2 is 2040 Hz to 2523 Hz, and F3 is 2590 Hz to 3130 Hz. In vowel “o” F1 is 430 Hz to 665 Hz, F2 is 780 Hz to 981 Hz, and F3 is 2382 Hz to 2626 Hz. In vowel “u” F1 is 279 Hz to 488 Hz, F2 is 632 Hz to 814 Hz, and F3 is 2299 Hz to 2470 Hz (20). These values are similar to mean formant frequencies in males in our study.

Vladisavljević emphasized some characteristics of Serbo-Croatian vowels. F1 in vowel “a” is about 900 Hz, and F2 is about 1300 Hz. F1 in vowel “e” is about 600 Hz, and F2 is about 2000 Hz. F1 in vowel “i” is about 250 Hz, and F2 is about 3000 Hz. F1 in vowel “o” is about 500 Hz, F2 is about 800 Hz, and F3 is about 3000 Hz. F1 in vowel “u” is about 300-400 Hz, F2 is about 600 Hz, and F3 is about 2400 Hz (17).

Sudimac presented results from contrastive analysis of high (closed) vowels of English and Serbian “i” and “u” produced by native speakers, aged 14-15 years. Mean formant frequencies of Serbian long and short

изворни говорители/зборувачи на возраст од 14 до 15 години. Средната вредност на фреквенциите на формантите на српското долго и кратко „i“ била следната: F1 397,47 и 415,96; F2 2402,60 и 2310,48 и F3 2964,21 и 2922,23. Средната вредност на фреквенциите на формантите за српското долго и кратко „u“ била: F1 429,27 и 435,71; F2 947,30 и 1013,86 и F3 2654,36 и 2503,71 (21). Овие вредности не се слични на нашите наоди за македонските вокали „и“ и „у“ веројатно поради различно поставување на параметрите за формантите во Praat.

Бакран (Bakran) ја прикажал средната вредност на F1 и F2 на долгите и кратките вокали во двосложни зборови изговорени од машки говорител/зборуваач од Хрватска. Кај вокалот „a“ F1 е 707 Hz и 691 Hz, F2 е 1371 Hz и 1374 Hz. Кај вокалот „e“ F1 е 471 Hz и 511 Hz, F2 е 1989 Hz и 1754 Hz. Кај вокалот „и“ F1 е 238 Hz и 329 Hz, F2 е 2264 Hz и 2213 Hz. Кај вокалот „o“ F1 е 461 Hz и 499 Hz, F2 е 905 Hz и 983 Hz. Кај вокалот „y“ F1 е 379 Hz и 375 Hz, F2 е 822 Hz и 886 Hz (22). Овие наоди се слични на средната вредност на фреквенциите на формантите изговорени од машките говорители/зборувачи во нашата студија.

Заклучок

Резултатите од акустичната анализа на македонските вокали во компјутерската програма Praat се слични на резултатите од претходните анализи на вокалите со звучни спектрографи. Исто така постојат сличности во Fo и фреквенциите на формантите на македонските вокали и вокалите изговорени од говорници на друг јазик. Средната вредност на фреквенциите на формантите кај женските говорители/зборувачи е повисока од средната вредност на фреквенциите на формантите кај машките говорители/зборувачи, а вредностите кај децата се највисоки.

Литература / References:

1. 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.
2. Fowler JR, Eggleston JL, Reavis KM, McMillan GP, Reiss LAJ. Effects of removing low-frequency electric information on speech perception with bimodal hearing. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*. 2016; 59(1): 99-109.

“i” were the following: F1 397.47 and 415.96; F2 2402.60 and 2310.48, and F3 2964.21 and 2922.23. Mean formant frequencies for Serbian long and short “u” were: F1 429.27 and 435.71; F2 947.30 and 1013.86, and F3 2654.36 and 2503.71 (21). These values are not similar to our findings for Macedonian vowels “i” and “u” probably because of different Format settings in Praat.

Bakran reported mean F1 and F2 of long and short vowels in disyllable words produced by male speaker from Croatia. In the vowel “a” F1 is 707 Hz and 691 Hz, F2 is 1371 Hz and 1374 Hz. In the vowel “e” F1 is 471 Hz and 511 Hz, F2 is 1989 Hz and 1754 Hz. In the vowel “i” F1 is 238 Hz and 329 Hz, F2 is 2264 Hz and 2213 Hz. In the vowel “o” F1 is 461 Hz and 499 Hz, F2 is 905 Hz and 983 Hz. In the vowel “u” F1 is 379 Hz and 375 Hz, F2 is 822 Hz and 886 Hz (22). These findings are similar to mean formant frequencies produced by male speakers in our study.

Conclusion

Results from acoustic analysis of Macedonian vowels in computer program Praat are similar to results from previous analyses of vowels with sound spectrographs. There are also similarities in Fo and formant frequencies of Macedonian vowels and vowels produced by speakers in other language. Mean formant frequencies in female speakers are higher than mean formant frequencies in male speakers, and the values are the highest in children.

3. Fogerty D, Humes LE. The role of vowel and consonant fundamental frequency, envelope, and temporal fine structure cues to the intelligibility of words and sentences. *Journal of Acoustical Society of America*. 2012; 131(2): 1490-1501.
4. Rodrigo RR, Radhika R, Lakshmi MV. Speech enhancement of vowels based on pitch and formant frequency. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*. 2015; 9(3): 877-880.
5. Shiva Prasad KM, Anil Kumar C, Manjunatha MB, Kodanda Ramaiah GN. Gender based acoustic features

- and spectrogram analysis for Kannada Phonetics. *ITSI Transactions on Electrical and Electronics Engineering*. 2015; 3(1): 16-19.
6. Gunasekar C, Sabrigirinathan C, Vinayagavel K, Ramkumar K. *International Journal of Dental Research*. 2017; 5(2): 115-120.
 7. 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.
 8. Kent RD, Vorperian HK. Static measurements of vowel formant frequencies and bandwidths: A review. *Journal of Communication Disorders*. 2018; 74: 74-97.
 9. Liu H, Ng ML. Formant characteristics of vowel produced by Mandarin esophageal speakers. *Journal of Voice*. 2009; 23(2): 255-260.
 10. Shipley KG, McAfee JG. *Assessment in speech-language pathology, A resource manual*, 5th Edition. Boston: Cengage Learning, 2016.
 11. Burris C, Vorperian HK, Fourakis M, Kent RD, Bolt DM. Quantitative and descriptive comparison of four acoustic analysis systems: vowel measurements. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*. 2014; 57(1): 26-45.
 12. Boersma P, Weenink D. Praat (Computer program). Version 6.0.43, retrieved 24.10.2018 from: <http://www.fon.hum.uva.nl/praat/>
 13. Boersma P, Weenink D. Praat, a system for doing phonetics by computer. *Glott International*. 2001; 5(9/10): 341-347.
 14. Finger LS, Cielo CA, Schwarz K. Acoustic vocal measures in women without voice complaints and with normal larynxes. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*. 2009; 75(3): 432-440.
 15. Cartei V, Reby D. Effect of formant frequency spacing on perceived gender in pre-pubertal children's voices. *PLOS ONE*. 2013; 8(12): e81022.
 16. Савицка И, Спасов Јб. Фонологија на современиот македонски стандарден јазик. Скопје: Детска радост, 1997.
 17. Vladislavljević S. *Poremećaji izgovora*. Beograd: Privredni pregled, 1981.
 18. Керамитчиевски С. Акустичка анализа на фонемите во македонскиот јазик. *Македонски јазик*. 1964; (1-2): 139-181.
 19. Minissi N, Kitanovski N, Cinque U. *The phonetics of Macedonian*. Naples: Bibliopolis, 1982.
 20. Kostić Đ. *Metodika izgradnje govora u dece oštećena sluha*. Beograd: Savez društava defektologa Jugoslavije, 1971.
 21. Sudimac NLj. *Kontrastivna analiza visokih/zatvorenih vokala u produkciji izvornih govornika Britanskog engleskog i srpskog jezika*. *Filolog*. 2016; 14: 36-55.
 22. Bakran J. *Djelovanje naglasaka i dužine na frekvencije formanata vokala*. *Govor*. 1989; 6(2): 1-12.