

Временные и частотные характеристики речи детей 6 – 7 лет с синдромом Дауна

В. А. Городной,^{*} Е. Е. Ляксо[†]

*Санкт-Петербургский государственный университет, биологический факультет,
кафедра высшей нервной деятельности и психофизиологии,
группа по изучению детской речи, Россия, 199034,
Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7 – 9
(Статья поступила 15.11.2019; подписана в печать 25.11.2019)*

Синдром Дауна является хромосомным заболеванием, для которого характерны особенности строения речевого тракта и мышечная гипотония, влияющие на акустические параметры речевого сигнала. Цель исследования — сравнительный анализ временных и частотных характеристик речи детей с синдромом Дауна. В исследовании приняли участие 20 детей 6 – 7 лет: с синдромом Дауна (СД, $n = 10$) и типично развивающиеся (ТР, $n = 10$). Запись и анализ речи детей проведены по методике, разработанной в Группе по изучению детской речи СПбГУ. Спектрографический анализ речи детей осуществлен в звуковом редакторе «Cool Edit Pro 2.0». Для слов и гласных из слов детей определены значения длительности и частоты основного тона (ЧОТ). Определяли значения формант, считали значения площадей формантных треугольников гласных и индексы артикуляции гласных. Показано, что длительности слов, ударных и безударных гласных в словах детей с СД значимо выше, по сравнению с соответствующими характеристиками речи ТР детей. Значения ЧОТ слов, ударных и безударных гласных из слов детей с СД выше, чем у ТР сверстников. Для детей с СД характерны низкие значения индекса артикуляции ударных гласных. Значения площадей формантных треугольников безударных гласных в словах выше у детей с СД. Таким образом, в исследовании получены данные об акустических характеристиках речи детей с синдромом Дауна и определены различия между детьми с СД и типично развивающимися детьми.

PACS: 43.70.+i

УДК: 534.784; 612.78

Ключевые слова: детская речь, спектрографический анализ, синдром Дауна, ЧОТ, индекс артикуляции, формантный треугольник.

ВВЕДЕНИЕ

Синдром Дауна (СД) — хромосомное заболевание, для которого характерны задержка умственного и речевого развития, патологии речевого аппарата [1, 2], нарушения слуха [3].

Синдром сопровождается широким спектром различных нарушений, таких как «плоское» лицо, наличие эпикантуса, косоглазие, брахицефалия, деформированные ушные раковины, подвижность суставов [4, 5]. Люди с СД имеют особенности строения речевого тракта. Для них характерен большой складчатый язык, меньший объем ротовой и носовой полостей, аномалии развития зубов, узкое небо, опущение мягкого неба, меньшая длина и объем речевого тракта. Нарушение моторного контроля и иннервации голосовых складок, мышечная гипотония приводят к затрудненному дыханию и развитию дисфонии [1, 6]. В совокупности все эти особенности влияют на характеристики речи людей с СД.

В настоящее время характеристики речи у людей с СД изучаются на базе английского, испанского, итальянского и других языков [7, 8, 9, 10, 11, 12]. На материале английского и испанского языков для де-

тей с СД установлена сниженная разборчивость речи и нечеткая артикуляция [10]. Показано, что разница между значениями формантных частот кардинальных гласных /i/ и /u/ меньше, по сравнению с ТР детьми [11, 13].

На материале русского языка проводятся преимущественно психологические, педагогические и логопедические исследования речи людей с СД [14, 15], однако акустические исследования единичны [16, 17, 18]. Специфика артикуляционных укладов, характерная для разных языков, не позволяет напрямую переносить данные об акустических характеристиках речи детей с СД, полученные на материале разных языков, на материал русского языка.

Цель исследования — сравнительный анализ временных и частотных характеристик речи детей с синдромом Дауна 6 – 7-летнего возраста по сравнению с типично развивающимися сверстниками.

1. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 20 детей 6 – 7 лет: 10 детей с СД (Q90 — по МКБ 10 пересмотра) и 10 типично развивающихся (ТР) детей в качестве контрольной группы. Записи речи ТР детей взяты из корпуса детской речи «CHILD.RU» [19, 20]. Запись речи и поведения детей с СД осуществлена на базе Развивающего Центра, Санкт-Петербург. Запись речевого

^{*}Е-mail: wimndgor@mail.ru

[†]Е-mail: lyakso@gmail.com

материала и его обработка проведена по методике, разработанной в Группе по изучению детской речи [21]. Использовали стандартизированные ситуации записи: игра ребенка со стандартным набором игрушек; беседа ребенка с экспериментатором, в ходе которой экспериментатор задавал вопросы о том, как зовут ребенка, о его любимых занятиях, друзьях; просмотр ребенком картинок и ответы на вопросы экспериментатора по ним.

Аудиозапись проводили с помощью цифрового рекордера «Magantz PMD660» с выносным микрофоном «SENNHEIZER e835S». Параллельно с аудиозаписью вели видеозапись поведения ребенка на камеру «Sony Handycam HDR-CX330». Исследование одобрено Этическим Комитетом СПбГУ.

Акустический спектрографический анализ проведен в звуковом редакторе «Cool Edit Pro 2.0» (Syntrillium Software Corporation, USA, 2002). Из записи речи детей выделены слова, для которых определяли длительность, средние, максимальные и минимальные значения частоты основного тона (ЧОТ), вычисляли значения вариативности ЧОТ [$F_{0max} - F_{0min}$]. В словах выделяли ударные и безударные гласные (первый предударный и первый заударный), для которых определяли длительность, средние, максимальные и минимальные значения ЧОТ. На стационарном участке гласного считали значения ЧОТ и значения первых двух формантных частот (F_1, F_2). За стационарный участок принимали участок спектрограммы, представленный спектром одного типа, где частоты формант имеют постоянную частоту, артикуляция практически не изменяется [22]. Границы стационарного участка определяли в точках изменения частот спектральных составляющих.

Строили формантные треугольники ударных и безударных гласных из слов с вершинами значений кардинальных гласных /a/, /i/, /u/.

Значения площадей формантных треугольников вычислены по формуле:

$$Area = \frac{(F_2[i] \times F_1[a] + F_2[a] \times F_1[u] + F_2[u] \times F_1[i])}{2} - \frac{(F_1[i] \times F_2[a] + F_1[a] \times F_2[u] + F_1[u] \times F_2[i])}{2}, \quad (1)$$

где $F_1[x]$ и $F_2[x]$ — значения первой и второй формант соответствующих гласных [23].

Индекс артикуляции гласных звуков (VAI) вычисляли по формуле:

$$VAI = \frac{F_1[a] + F_2[i]}{F_1[i] + F_1[u] + F_2[a] + F_2[u]}, \quad (2)$$

где $F_1[x]$ и $F_2[x]$ — значения первой и второй формант соответствующих гласных [24].

Статистическая обработка данных проведена в программе «Statistica.10». Использованы U — критерий

Манна-Уитни, ранговый критерий Спирмена, регрессионный и мультирегрессионный анализ.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ

2.1. Длительность слов, ударных и безударных гласных в словах детей

Сравнительный анализ длительности слов и гласных из слов детей показал значимые различия между детьми с СД и ТР сверстниками (рис. 1). Длительность слов в речи детей с СД (779 ± 331 мс, 748 мс — медиана) достоверно больше ($p < 0.001$), чем в речи ТР детей (613 ± 189 мс, 585 мс — медиана). Длительность ударных гласных в словах детей с СД (401 ± 200 мс, 376 мс — медиана) значимо выше ($p < 0.001$) по сравнению с ТР детьми (162 ± 52 мс, 151 мс — медиана).

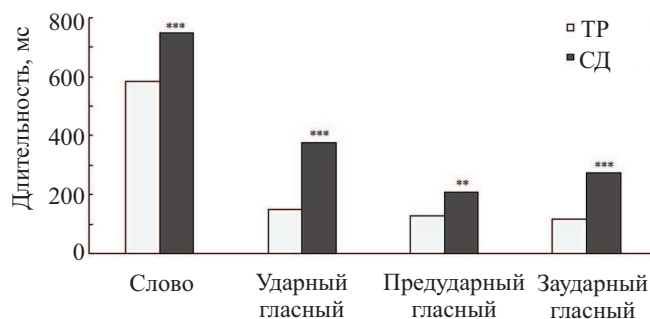


Рис. 1: Длительность слов, ударных и безударных (предударных и заударных) гласных в словах ТР детей и детей с СД, медианные значения. По вертикальной оси — значения длительности, мс. ** — $p < 0.01$, *** — $p < 0.001$ — Критерий Манна-Уитни

Значения длительности предударных гласных из слов детей достоверно выше ($p < 0.01$) в словах детей с СД (190 ± 120 мс, 207 мс — медиана), чем в словах ТР детей (131 ± 37 мс, 129 мс — медиана). Длительность заударных гласных из слов детей с СД (297 ± 146 мс, 273 мс — медиана) значимо выше ($p < 0.001$) по сравнению с ТР детьми (125 ± 41 мс, 118 мс — медиана).

2.2. ЧОТ слов, ударных и безударных гласных из слов детей

Выявлены значимые различия в значениях ЧОТ слов, ударных и безударных гласных из слов ТР детей и детей с СД (рис. 2). Значения ЧОТ слов у детей с СД (305 ± 52 Гц, 281 Гц — медиана) достоверно выше ($p < 0.001$), чем у ТР детей (261 ± 47 Гц, 234 Гц — медиана). Значения ЧОТ ударных гласных из слов ТР детей (262 ± 66 Гц, 234 Гц — медиана) значимо ниже ($p < 0.001$) по сравнению со значениями ЧОТ для детей с СД (307 ± 61 Гц, 281 Гц — медиана).

Таблица 1: Значения первых двух формантных частот для ударных и безударных гласных из слов ТР детей и детей с СД

Ударные гласные				
Группы детей	Форманты	/a/	/i/	/u/
ТР	F_1 , Гц	799±143	495±110	609±47
	F_2 , Гц	1101±270	2442±890	906±118
СД	F_1 , Гц	861±234	667±247	627±123
	F_2 , Гц	1290±461	2527±628	1081±279

Безударные гласные				
Группы детей	Форманты	/a/	/i/	/u/
ТР	F_1 , Гц	709±122	542±125	656±47
	F_2 , Гц	1155±409	2086±704	1000±54
СД	F_1 , Гц	741±150	594±54	595±88
	F_2 , Гц	1039±151	2203±708	1072±152

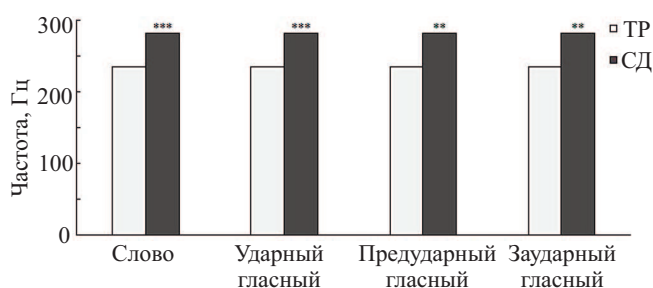


Рис. 2: ЧОТ слов, ударных и безударных (предударных и заударных) гласных в словах ТР детей и детей с СД, медианные значения. По вертикальной оси — значения ЧОТ, Гц. ** — $p < 0.01$, *** — $p < 0.001$ — Критерий Манна-Уитни

Значения ЧОТ предударных гласных достоверно выше ($p < 0.01$) в словах детей с СД (331 ± 248 Гц, 281 Гц — медиана), чем в словах ТР сверстников (269 ± 52 Гц, 234 Гц — медиана). Значения ЧОТ заударных гласных из слов детей с СД (277 ± 79 Гц, 281 Гц — медиана) значимо выше, чем соответствующие характеристики у ТР детей (241 ± 42 Гц, 234 Гц — медиана).

2.3. Вариативность ЧОТ слов и ударных гласных из слов детей

Показано, что значения вариативности ЧОТ слов и ударных гласных из слов детей различаются в словах детей с СД и ТР сверстников (рис. 2). Вариативность ЧОТ слов в речи детей с СД (106 ± 53 Гц, 94 Гц — медиана) достоверно выше ($p < 0.05$), чем в речи ТР детей (92 ± 48 Гц, 93 Гц — медиана). Значения вариативности ЧОТ ударных гласных из слов детей с СД (87 ± 55 Гц, 68 Гц — медиана) значимо выше ($p < 0.001$) по сравнению со значениями вариативности ЧОТ для ТР детей (49 ± 40 Гц, 47 Гц —

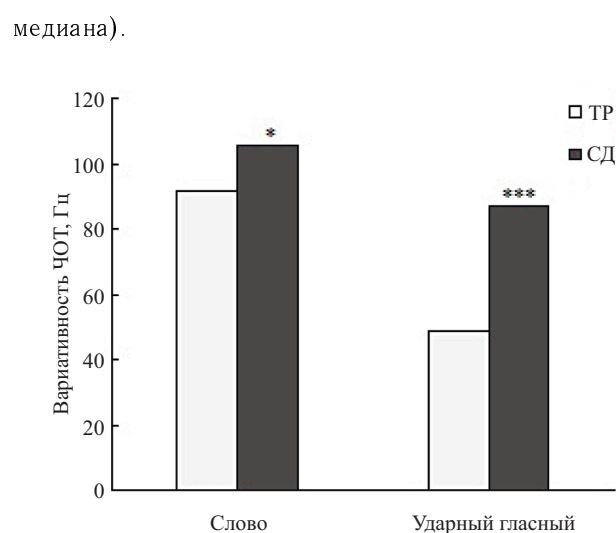


Рис. 3: Вариативность ЧОТ слов и ударных гласных в словах ТР детей и детей с СД. По вертикальной оси — значения вариативности ЧОТ, Гц. * — $p < 0.05$, *** — $p < 0.001$ — Критерий Манна-Уитни

2.4. Формантные частоты ударных и безударных гласных из слов детей

Определены значения формантных частот ударных и безударных гласных в словах детей с СД и ТР сверстников (табл. 1). Показано, что значения $F1$ ударного гласного /i/ в словах детей с СД (609 Гц — медиана) достоверно выше ($p < 0.05$) по сравнению с соответствующими характеристиками у ТР детей (469 Гц — медиана). По значениям $F1$ безударного гласного /a/ из слов детей обнаружены значимые различия ($p < 0.05$) между ТР детьми (703 Гц — медиана) и детьми с СД (821 Гц — медиана). Значения $F1$ без-

ударного гласного /i/ значимо выше ($p < 0.05$) в словах детей с СД (628 Гц — медиана), чем в словах ТР детей (469 Гц — медиана).

2.5. Формантные треугольники гласных из слов детей, значения площадей формантных треугольников гласных и индексов артикуляции

На основании значений формантных частот ударных и безударных гласных из слов детей на двухформантной плоскости построены формантные треугольники (рис. 4).

Формантные треугольники ударных и безударных гласных /a/, /i/, /u/ из слов ТР детей и детей с СД различаются по форме и ориентации. Различия для формантных треугольников ударных гласных из слов детей обусловлены смещением значений первой форманты гласного /i/ в словах детей с СД в высокочастотную область по сравнению с соответствующей характеристикой у ТР детей (рис. 4а).

Формантный треугольник безударных гласных из слов детей с СД по значениям первой форманты гласного /i/ смещен в высокочастотную область, по значениям первой форманты гласного /u/ — в низкочастотную по сравнению с соответствующими характеристиками у ТР сверстников (рис. 4б).

Формантные треугольники ударных гласных из слов детей характеризуются большими значениями площадей, чем формантные треугольники безударных гласных (рис. 4, 5).

Определены значения параметров, отражающих четкость артикуляции звуков, — площади формантных треугольников гласных из слов и индекса артикуляции гласных. Значения площадей формантных треугольников ударных гласных из слов ТР детей (144690 усл. ед.) и детей с СД (150400 усл. ед.) достоверно не различаются (рис. 5а). Значения площади формантных треугольников безударных гласных из слов детей с СД (63930 усл. ед.) выше, чем соответствующие значения для ТР детей (20380 усл. ед.).

Для ударных гласных значения VAI ниже для детей с СД (0.974) по сравнению с ТР сверстниками (1.102), что свидетельствует о плохо сформированной артикуляции при произнесении гласных в словах (рис. 5б). Значения VAI безударных гласных у детей с СД (0.901) выше, чем у ТР детей (0.888).

На основании корреляционного анализа (по Спирмену, $p < 0.05$) выявлена зависимость между диагнозом (СД, отсутствие диагноза — ТР дети) и длительностью слов детей ($r = -0.272$), значениями ЧОТ слов ($r = -0.391$), вариативностью ЧОТ слов ($r = -0.162$), длительностью ударных гласных ($r = -0.672$), значениями ЧОТ ударных гласных ($r = -0.388$), вариативностью ЧОТ ударных гласных ($r = -0.380$), длительностью предупредительных гласных ($r = -0.382$), длительностью заударных гласных ($r = -0.726$), VAI ударных гласных ($r = 0.324$).

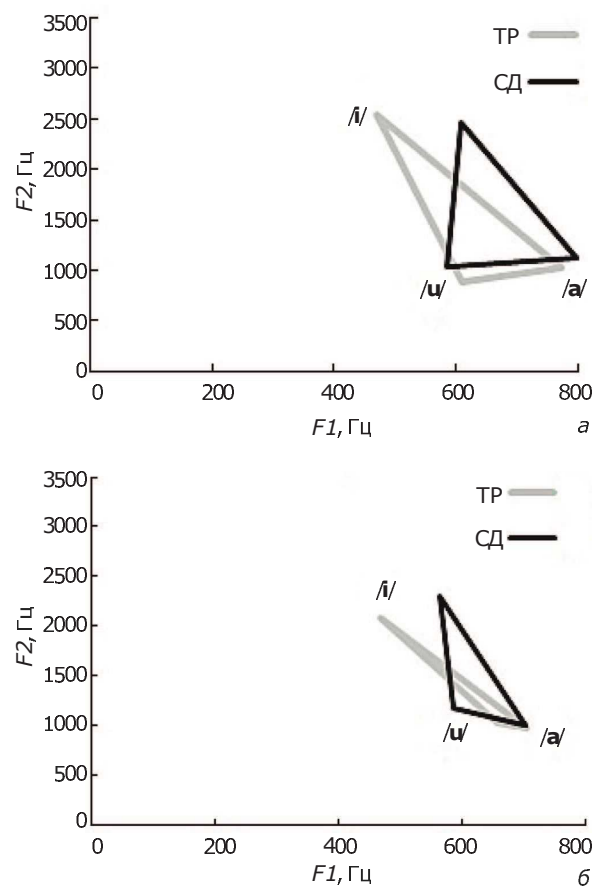


Рис. 4: Формантные треугольники ударных (а) и безударных (б) гласных /a/, /i/, /u/ из слов ТР детей и детей с СД. По горизонтальной оси — значения первой форманты (F1), Гц; по вертикальной оси — значения второй форманты (F2), Гц

Регрессионный анализ показал связь между VAI ударных гласных и диагнозом детей $F(1, 118) = 12.278$, $p < 0.001$ ($\beta = -0.307$, $R^2 = 0.094$).

Выявлена связь между диагнозом детей и значениями длительности слов $F(10, 20) = 51.135$, $p < 0.000$ ($\beta = 0.340$, $R^2 = 0.983$), значениями ЧОТ слов ($\beta = 0.408$, $R^2 = 0.983$), длительностью ударных гласных ($\beta = -0.345$, $R^2 = 0.983$), длительностью предупредительных гласных ($\beta = -0.442$, $R^2 = 0.983$), длительностью заударных гласных ($\beta = -0.717$, $R^2 = 0.983$) — Мультирегрессионный анализ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлены данные о временных и частотных характеристиках речи детей 6–7 лет с синдромом Дауна и типично развивающихся детей. Показано, что значения длительности и ЧОТ слов, ударных и безударных (предударных и заударных) гласных из слов, вариативности ЧОТ слов и ударных гласных из слов значимо выше у детей с СД по сравнению с соот-

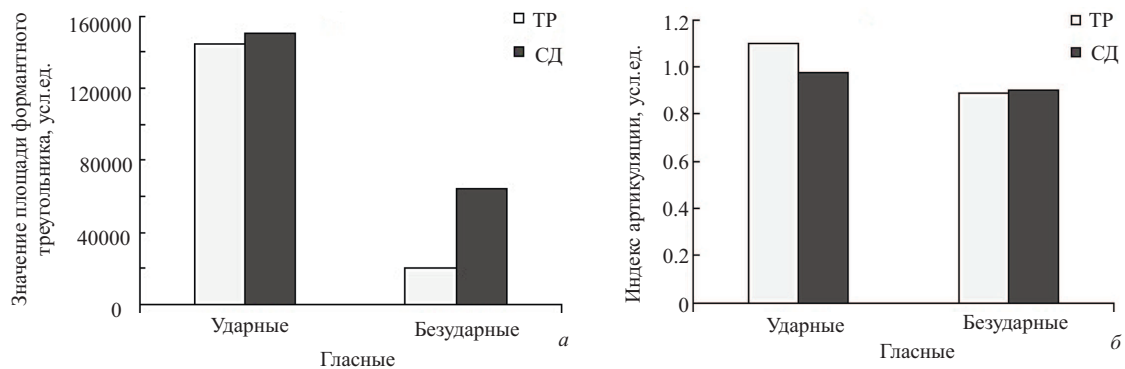


Рис. 5: Значения площадей формантных треугольников ударных и безударных гласных из слов ТР детей и детей с СД (а) и индексов артикуляции ударных и безударных гласных из слов ТР детей и детей с СД (б). На а — по горизонтальной оси — гласные, по вертикальной оси — значение площади формантного треугольника, условные единицы (усл.ед.); на б — по горизонтальной оси — гласные; по вертикальной оси — значение индекса артикуляции, усл.ед.

ветствующими характеристиками у ТР детей. Выявлены различия в значениях первой форманты ударного гласного /i/ и безударных гласных /a/ и /i/ в словах детей с СД и ТР детей. Значения площади формантного треугольника для безударных гласных выше у детей с СД, чем у ТР детей. Для детей с СД характерны низкие значения индекса артикуляции ударных гласных, отражающие несформированность артикуляционных движений, приводящие к нечеткому произ-

несению гласных. Значения индекса артикуляции безударных гласных выше по сравнению со значениями для ТР детей. Таким образом, в исследовании получены данные об акустических характеристиках речи детей с синдромом Дауна и определены различия между детьми с СД и типично развивающимися детьми.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ № 18-18-00063.

- [1] Лебединский В.В. Нарушения психического развития в детском возрасте. М., Издательский центр «Академия», 2003.
- [2] Arumugam A., Raja K., Venugopalan M., Chandrasekaran B., Kovanur Sampath K., Muthusamy H., Shanmugam N. Clinical Anatomy. 2061. **29**, N5. P. 568.
- [3] De Schrijver L., Topsakal V., Wojciechowski M., Van de Heyning P., Boudewyns A. International journal of pediatric otorhinolaryngology. 2019. **116**. P. 168.
- [4] Стребелева Е.А. Формирование мышления у детей с отклонениями в развитии. М., ВЛАДОС, 2001.
- [5] Каплина С.П., Харит С.М., Скрипченко Н.В. Эпидемиология и вакцинопрофилактика. 2012. **3**, № 64. С. 61.
- [6] Жиянова П.Л., Поле Е.В. Малыш с синдромом Дауна. М., Благотворит. фонд «Даунсайд Ап», 2009.
- [7] Hohoff A., Seifert E., Ehmer U., Lamprecht-Dinnesen A. J of Orofacial Orthopedics. 1998. **59**, N4. P. 220.
- [8] Saz O., Simon J., Rodriguez W., Lleida E., Vaquero C. EURASIP J on Advances in Signal Processing. 2009. **2009**, N1.
- [9] Albertini G., Bonassi S., Dall'Armi V., Giachetti I., Giachino S., Mignano M. Res in developmental disabilities. 2010. **31**, N5. P. 995.
- [10] Kent R.D., Vorperian H.K. J of Speech, Language, and Hearing Res. 2013. **56**, N1. P. 178.
- [11] Petska A., Vorperian H.K., Kent R.D. Developmental trends of speech acoustics in typically developing children and children with Down syndrome. 2014.
- [12] Corrales-Astorgano M., Escudero-Mancebo D., Gonzalez-Ferreras C. Speech Communication. 2018. **99**. P. 90.
- [13] Moura C. P., Cunha L. M., Vilarinho H., Cunha M. J., Freitas D., Palha M., Pais-Clemente M. J of Voice. 2008. **22**, N1. P. 34.
- [14] Иванова М.М. Дефектология. 2015. **3**. С. 37.
- [15] Шорина Е.П. Социальное обслуживание семей и детей: научно-методический сборник. 2018. **14**. С. 112.
- [16] Ляко Е.Е., Фролова О.В., Григорьев А.С., Городный В.А. Речевые технологии. 2018. № 1 – 2. С. 50.
- [17] Городный В.А., Ляко Е.Е. ТиПЛ. 2018. **4**, № 2. С. 22.
- [18] Ляко Е.Е., Фролова О.В., Григорьев А.С., Городный В.А., Николаев А.С., Калиев А. АРЗ-2019: Труды восьмого междисциплинарного семинара. 2019. С. 66.
- [19] Ляко Е.Е., Фролова О.В., Григорьев А.С., Остроухов А.В. ТиПЛ. 2017. **3**, № 1. С. 28.
- [20] Lyakso E., Bogorad M., Ostroukhov A., Gromova A., Kurazhova A., Frolova O., Gaikova J. Proc. The XIIth International Conference «Speech and Computer» (Specom-2007). 2007. **2**. P. 898.
- [21] Ляко Е.Е., Фролова О.В., Смирнов А.Г., Куражова А.В., Гайкова Ю.С., Бедная Е.Д., Григорьев А.С. Психол. журн. 2012. **33**, № 1. С. 73.
- [22] Бондарко Л.В. Фонетика современного русского языка: учебное пособие. СПб., СПбГУ, 1998.
- [23] Ляко Е.Е., Григорьев А.С. Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. 2013. **99**, № 9. С. 1097.
- [24] Roy N., Nissen S. L., Dromey C., Sapir S. J. Commun. Disord. 2009. **42**, N2. P. 124.

Temporal and spectral characteristics of speech of children aged 6 – 7 years with Down syndrome

V. A. Gorodnyi^a, E. E. Lyakso^b

*Department of Higher Nervous Activity and Psychophysiology, Biology Faculty,
St Petersburg State University, St Petersburg 199034, Russia
E-mail: ^awimndgor@mail.ru, ^blyakso@gmail.com*

Down syndrome is a chromosomal disease characterized by peculiarities in the vocal tract structure and muscular hypotonia, which affect the acoustic parameters of the speech signal. The goal of the study is to compare temporal and spectral characteristics of speech of the children with Down syndrome. The study involved 20 children aged 6 – 7 years: with Down syndrome (DS, n = 10) and typically developing (TD, n = 10). Speech of children was recorded and analyzed according to the procedure developed in the Child Speech Research group at St Petersburg State University. Spectrographic analysis of the speech of children was conducted in the «Cool Edit Pro 2.0» sound editor. Duration and pitch values of words and vowels from the words of children were determined. Formant values were measured, values of formant triangle areas and vowel articulation index (VAI) were calculated. It is shown that duration values of words, stressed and unstressed vowels from the words of children with DS are significantly higher compared with the corresponding characteristics of the speech of TD children. The pitch values of words, stressed and unstressed vowels from the words of children with DS are significantly higher than those of TD peers. Children with DS are characterized by low values of VAI for stressed vowels. The formant triangle area values for unstressed vowels in the words are higher in children with DS. Thus, in the study data on the acoustic characteristics of speech of children with DS were obtained. Differences between children with DS and typically developing children were found.

PACS: 43.70.+i

Keywords: child speech, spectrographic analysis, Down syndrome, pitch, articulation index, formant triangle

Received 15 November 2019.

Сведения об авторах

1. Городный Виктор Александрович — аспирант, лаборант-исследователь; тел.: (812) 321-33-61, e-mail: wimndgor@mail.ru.
2. Ляксо Елена Евгеньевна — доктор биол. наук, профессор; тел.: (812) 321-33-61, e-mail: lyakso@gmail.com.