

УДК 534.781

ИССЛЕДОВАНИЕ НАРУШЕНИЙ ГОЛОСО-РЕЧЕВЫХ ФУНКЦИЙ ПАЦИЕНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДИКИ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ГОЛОСА

Полякова А.П., Абакумов П.В.

Курский государственный медицинский университет (КГМУ)

305041, Курск, ул. К. Маркса, 3, Российская Федерация

Цель: выделение особенностей метода спектрального анализа со стороны диагностических и прогностических способов прогнозирования нарушений голосо-речевых функций у пациентов.

Материалы и методы. В работе использовались библиографический, сравнительный и аналитический методы исследования.

Результаты. В ходе проведённой работы было установлено, что данный метод исследования актуален и по сей день, он необходим не только в медицинской сфере, но и используется в биофизике, астрофизике, металлургии и других точных науках и отраслях промышленности. Студентам, интересующимся наукой, необходимо изучать данный вопрос, так как этот метод диагностики позволяет изучить молекулы химических веществ, дающих определенный спектр, определить набор и длину его волн. Зная основы спектрального метода, можно выявить нарушения обмена веществ, различные патологии организма на ранних стадиях, сахарный диабет, заболевания щитовидной железы, аллергии, а также предрасположенности к развитию многих других заболеваний.

В спектрографе при изучении спектров можно наблюдать линии (темные или светлые) на определенных местах, которые характерны для каждого материала. Интенсивность этих линий зависит от количества и состояния вещества. Благодаря этому студенты, использующие данный метод, могут определить состав исследуемого вещества качественно и количественно.

Вывод. Результаты проведенной работы показали, что метод спектрального анализа имеет огромное значение в современной медицине. Суть метода заключается в регистрации голосовых сигналов, посредством специально оснащенных программ и оборудования. Метод дает возможность распознать звуки голоса как четкие структуры, а также определить их основные характеристики, выявляя: интенсивность, тембр, громкость и иные характеристики. В процессе работы по данному методу удается распознать возможные патологии голосового аппарата и предоставить больному соответствующую терапию.

Ключевые слова: спектральный анализ, дисфония, голос, голосо-речевые функции, голосовые складки.

Полякова Анастасия Павловна – студентка 2 курса лечебного факультета, КГМУ, Курск, Россия. ORCID ID: 0009-0005-5231-791X. E-MAIL: NASTYA.PL2246@YANDEX.RU (автор, ответственный за переписку).

Абакумов Павел Владимирович – к.ф.-м.н., старший преподаватель кафедры физики, информатики и математики, КГМУ, г. Курск. ORCID ID: 0009-0009-1055-419. E-MAIL: ABAKUMOVPAVEL18@GMAIL.COM.

УДК 534.781

INVESTIGATION OF DISORDERS OF VOICE AND SPEECH FUNCTIONS OF PATIENTS USING THE TECHNIQUE OF SPECTRAL ANALYSIS OF VOICE

POLYAKOVA A.P., ABAKUMOV P.V.

KURSK STATE MEDICAL UNIVERSITY (KSMU)
305041, 3, K. MARX STREET, KURSK, RUSSIAN FEDERATION

OBJECTIVE: HIGHLIGHTING THE FEATURES OF THE SPECTRAL ANALYSIS METHOD FROM THE SIDE OF DIAGNOSTIC AND PROGNOSTIC METHODS FOR PREDICTING DISORDERS OF VOICE AND SPEECH FUNCTIONS IN PATIENTS.

MATERIALS AND METHODS. THE WORK USED BIBLIOGRAPHIC, COMPARATIVE AND ANALYTICAL RESEARCH METHODS.

RESULTS. IN THE COURSE OF THE WORK CARRIED OUT, IT WAS FOUND THAT THIS RESEARCH METHOD IS RELEVANT TO THIS DAY, IT IS NECESSARY NOT ONLY IN THE MEDICAL FIELD, BUT ALSO USED IN BIOPHYSICS, ASTROPHYSICS, METALLURGY AND OTHER EXACT SCIENCES AND INDUSTRIES. STUDENTS INTERESTED IN SCIENCE NEED TO STUDY THIS ISSUE, SINCE THIS DIAGNOSTIC METHOD ALLOWS YOU TO STUDY THE ATOMS OF CHEMICALS THAT GIVE A CERTAIN SPECTRUM, DETERMINE THE SET AND LENGTH OF ITS WAVES. KNOWING THE BASICS OF THE SPECTRAL METHOD, IT IS POSSIBLE TO IDENTIFY METABOLIC DISORDERS, VARIOUS PATHOLOGIES OF THE BODY IN THE EARLY STAGES, DIABETES MELLITUS, THYROID DISEASES, ALLERGIES, AS WELL AS PREDISPOSITIONS TO THE DEVELOPMENT OF MANY OTHER DISEASES.

IN A SPECTROSCOPE, WHEN STUDYING SPECTRA, IT IS POSSIBLE TO OBSERVE LINES (DARK OR LIGHT) IN CERTAIN PLACES THAT ARE CHARACTERISTIC OF EACH MATERIAL. THE INTENSITY OF THESE LINES DEPENDS ON THE AMOUNT AND CONDITION OF THE SUBSTANCE. DUE TO THIS, STUDENTS USING THIS METHOD CAN DETERMINE THE COMPOSITION OF THE SUBSTANCE UNDER STUDY QUALITATIVELY AND QUANTITATIVELY.

CONCLUSION. THE RESULTS OF THE WORK HAVE SHOWN THAT THE SPECTRAL ANALYSIS METHOD IS OF GREAT IMPORTANCE IN MODERN MEDICINE. THE ESSENCE OF THE METHOD IS TO REGISTER VOICE SIGNALS USING SPECIALLY EQUIPPED PROGRAMS AND EQUIPMENT. THE METHOD MAKES IT POSSIBLE TO RECOGNIZE THE SOUNDS OF THE VOICE AS CLEAR STRUCTURES, AS WELL AS TO DETERMINE THEIR MAIN CHARACTERISTICS, IDENTIFYING: INTENSITY, TIMBRE, VOLUME AND OTHER CHARACTERISTICS. IN THE PROCESS OF USING THIS METHOD, IT IS POSSIBLE TO RECOGNIZE POSSIBLE PATHOLOGIES OF THE VOCAL APPARATUS AND PROVIDE THE PATIENT WITH APPROPRIATE THERAPY.

KEYWORDS: SPECTRAL ANALYSIS, DYSPHONIA, VOICE, VOICE-SPEECH FUNCTIONS, VOCAL FOLDS.

POLYAKOVA ANASTASIA P. – 2 YEAR STUDENT OF THE FACULTY OF MEDICINE, KSMU, KURSK, RUSSIA. ORCID ID: 0009-0005-5231-791X. E-MAIL: NASTYA.PL2246@YANDEX.RU (THE AUTHOR RESPONSIBLE FOR THE CORRESPONDENCE).

ABAKUMOV PAVEL V. – CANDIDATE OF PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES, ASSISTANT PROFESSOR AT THE DEPARTMENT OF PHYSICS, COMPUTER SCIENCE AND MATHEMATICS, KSMU, KURSK, RUSSIAN FEDERATION. ORCID ID: 0009-0009-1055-419. E-MAIL: ABAKUMOVPAVEL18@GMAIL.COM.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Спектральный анализ как способ диагностики заболеваний голосо-речевых органов на сегодняшний день признается одним из информативных и в то же время безопасных методов изучения нарушений речевого аппарата человеческого организма. Данный метод широко применяется для анализа голосовой функции человека. Клиническая картина диагностированных нарушений голоса довольно разнообразна и сложна, в силу этого исследования нарушений голосо-речевых функций у пациентов являются ключевой задачей для специалистов в области логопедии, дефектологии и фониатрии. Также метод включает в себя ряд преимуществ, которые делают его только более функциональным и востребованным в рамках звуковой способности речи и акустики. При этом спектральный анализ широко используется не только в практической деятельности, но и для получения полнообъемной информации о строении различных структур и тканей, что делает изучение данной темы довольно актуальным [1, 6].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Были проанализированы сайты и страницы в сети Интернет, базы данных, книги в рамках поиска современной информации, а именно актуальных научных статей, отчетов об исследованиях и иных материалов для тщательного рассмотрения данного вопроса. Данные подверглись статистической обработке и были систематизированы в соответствии с тематикой исследования. Помимо этого, проведен анализ используемых в настоящий момент методик проведения спектральной диагностики, и, как результат, выделен наиболее предпочтительный вариант проведения анализа голосовой функции. Были оценены приведенные методы лечения, выделены наиболее часто встречающиеся патологии речевого аппарата, а также положительные и отрицательные стороны, актуальность и перспективность метода спектрального анализа голоса.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Голос – это периодические колебания определенных частот с определенной силой, издаваемые человеком посредством голосового аппарата. Колебания воспринимаются органами чувств и, в свою очередь, составляют различные звуки. Структуры колебаний значительно варьируют в зависимости от источника звука, помимо этого они способны образовывать комплексы, переходить из одной в другую, при этом непосредственно воздействуя на тембр голоса. В данном вопросе немалое значение несет плотность среды, ведь она способна к конверсии в соответствии с звуковыми колебаниями. Звуки возникают при колебаниях воздушной среды, вызванных движением голосовых связок в гортани, мельчайшие частицы начинают колебаться и распространяться в виде звуковых волн. Они имеют различные характеристики: частота, длительность и амплитуда [21]. Частота разграничивает высоту звука, при наивысшей частоте определяется наивысший звук. Длительность же определяет продолжительность звука, в то время как амплитуда определяет громкость звука, то есть громкость звучания тем выше, чем больше амплитуда.

Звуковые волны голоса могут быть различной формы и структуры, что позволяет выражать разнообразные эмоции и информацию. Например, при грусти голос может звучать низким и тихим, а при радости – высоким и ярким [8]. Таким образом, голос – это не только средство общения, но и выразительное средство передачи эмоций. Децибеллы (Дб) являются измерительной величиной интенсивности голоса, так называемой амплитудой колебаний голосовых складок. Голосовые складки – это складки слизистой оболочки гортани, имеющие голосовую связку и голосовую мышцу, именно они играют важную роль в образовании тона и звучании голоса в целом, вследствие их смыкания [1]. Спектр создаваемых ими звуковых волн строго индивидуален. Человеческий голос является сложным и состоит из комбинации простых звуков, в котором различают основной тон и частичные тоны

(обертоны).

Во многих исследованиях замечено, что нормальный голос имеет большую периодичность, чем патологический, и поэтому выполнение корреляционных функций на этих типах классов даст превосходный намер, который можно использовать для различения нормальных и патологических голосов. Например, фон Леден и др. заметили, что патологические образцы имеют сильную тенденцию к частым и быстрым изменениям регулярности [7, 13].

Современные исследования по анализу голоса, проводимые с помощью компьютера, позволяют на высоком уровне точности определить диапазон голоса, частоту его основного тона, количество обертонов, формантный состав звукового сигнала и характеристики вибрато.

Обследование должно проходить в специальном кабинете, оснащенном звукоизоляцией. Для проведения спектрального анализа, в первую очередь, необходимо устройство, способное выполнить оцифровку сигнала, а также специальная компьютерная программа. Для нахождения спектра к оцифрованному сигналу применяют алгоритм дискретного преобразования Фурье. Этот метод имеет ряд преимуществ, которые заключаются не только в простоте проведения процедуры, но и в качестве получаемого результата [4].

Математической моделью процесса, периодического во времени, является колебание, имеющее следующий вид:

$$S(t) = S(t+NT), N = 1, 2, \dots,$$

– где T – период колебания.

Согласно законам физики, действующим для всякой периодической функции, интервал на котором функция определена, может быть разбит на конечное число интервалов, при этом в любой точке разрыва функции имеют место переходы от одного конечного значения к другому [17]. Ряд Фурье можно представить и в тригонометрическом виде:

$$S(t) = S(t \pm NT)$$

Перед началом процедуры диагностики голосовых функций пациента необходимо сформировать достоверную клиническую картину состояния пациента, провести все необходимые анализы в рамках полного исследования состояния гортани [20, 22]. Лишь после этого можно приступить к

диагностике состояния непосредственно голоса больного с помощью системы звукового оборудования и программной обработки для записи человеческого голоса [14].

Для успешного проведения исследований необходимо обладать специальным программным обеспечением, которое позволяет просматривать осциллограммы звуковых сигналов. Специалисты в данной сфере рекомендуют специальный редактор: «Для таких целей мы настоятельно рекомендуем использовать редактор GoldWave [19]. Он обладает встроенным анализатором спектра, который идеально подходит для исследования речи» [1, 13]. Помимо всего вышеперечисленного, необходим специальный микрофон, который способен точно записывать звучание голоса. При произнесении звуков и слов в этот микрофон, указанный специальный редактор распознает элементы, составляющие речь, на кривой осциллограммы [6, 20]. Стоит следить за изменениями громкости звуков и, следовательно, амплитуды речевого сигнала и длительностью пауз. Все эти параметры позволяют достаточно быстро и качественно проводить диагностику, определяя диапазон от 0 до 20 кГц [3, 5].

После краткой 5-минутной голосовой проработки, гарантирующей подготовку голоса, пациент обязан исполнить полный набор нот, охватывающий весь его рабочий диапазон от самых низких до самых высоких частот. Затем следует провести звукозапись несколько раз, после чего сравнить полученные результаты и выявить с позиций анатомического строения голосового аппарата особенности звукообразования у человека.

Для представления результатов спектрального анализа голоса наиболее часто используется графический вид, который позволяет отобразить полный диапазон голосовых функций пациента. Данный график позволяет наблюдать полную динамику как постепенного увеличения, так и уменьшения громкости звукового сигнала, а также оценивать скорость звучания и четкость произношения гласных звуков [2, 10]. На таком графике можно видеть, что по оси абсцисс отображается время фонации, измеряемое в секундах, а по оси ординат –

сила преобразованного сигнала в милливольтах [7].

Как уже отмечалось, спектральный анализ голоса является неотъемлемой частью диагностики заболеваний голосового аппарата. Он позволяет определить степень тяжести и особенности протекания различных патологий, а также, при длительном течении, наличие функциональных дисфоний [11]. Исследование спектрального состава голоса, включая анализ устойчивости основного тона и продолжительности фонации различных гласных звуков, способствует прогнозированию течения заболевания [15, 21].

Часто встречающиеся патологии на фоне дисфункции речевого аппарата – дисфонии. Одним из видов дисфоний является гипертонусная дисфония. Это дисфункция голоса, связанная с повышенным тонусом мышц и голосовых складок, которая чаще всего встречается у лиц мужского пола. У больных с данной патологией наблюдается напряжение мышц лица и шеи, частое сокращение голосовых складок, а также поверхностное и неравномерное дыхание. Частота основного тона смещается в большую сторону, а сила голоса составляет около 70 дБ. На спектрограмме отражается укорочение временных интервалов между пиками обертонов, а также уменьшение их количества [12, 20].

Второй вид – гипотонусная дисфония. Её причиной, наоборот, является понижение тонуса мышечных волокон и голосовых складок, и чаще всего встречается она у людей, профессионально занимающихся ораторским и вокальным искусством, вследствие длительного перенапряжения голосового аппарата, а также острых воспалительных процессов верхних дыхательных путей [9]. Больные с гипотонусной дисфонией со временем начинают предъявлять жалобы на боли в горле и охриплость голоса, высокую утомляемость и даже частые болевые ощущения при разговоре. На спектрограмме фиксируется смещение частоты основного тона в сторону его понижения, нерегулярность обертонов и их уменьшение, неустойчивость гласных звуков. Также наблюдается падение интенсивности голоса в области отдельных тонов переходного регистра и сужение динамического диапазона [14, 18].

ВЫВОДЫ

В ходе проведённой работы было установлено, что данный метод исследования актуален и по сей день, он не только необходим в медицинской сфере, но и используется в биофизике, астрофизике, металлургии и других точных науках и отраслях промышленности [10]. Студентам, интересующимся наукой, необходимо изучать данный вопрос, так как этот метод диагностики позволяет изучить молекулы химических веществ, дающих определенный спектр, определить набор и длину их волн. Зная основы спектрального метода, можно выявить нарушения обмена веществ, различные патологии организма на ранних стадиях, сахарный диабет, заболевания щитовидной железы, аллергии, а также предрасположенности к развитию многих других заболеваний.

В спектроскопе при изучении спектров можно наблюдать линии (темные или светлые) на определенных местах, которые характерны для каждого материала. Интенсивность этих линий зависит от количества и состояния вещества. Благодаря этому студенты, использующие данный метод, могут определить состав исследуемого вещества качественно и количественно [16, 22].

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИЧНЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Полякова А.П. – подготовка черновика статьи, обработка материала;

Абакумов П.В. – редактирование, дизайн окончательного варианта статьи.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аганов А.В. *Медицинская физика: учебное пособие*. 3-е изд., доп. Ч. 1: Механи-

- ка. Молекулярная физика. Казань: Издательство Казанского университета, 2022. 336 с.
2. Алдошина И.А., Приттс Р. *Музыкальная акустика. Учебник.* Санкт-Петербург: Композитор Санкт-Петербург, 2006. 720 с.
3. Выготский Л.С. *Основы дефектологии: учебное пособие.* Москва: Издательство Юрайт, 2024. 332 с. ISBN 978-5-534-11695-3.
4. Гаврилов Л.Р. *Фокусированный ультразвук высокой интенсивности в медицине.* Москва: ФАЗИС, 2013. 660 с. ISBN: 9785703601312.
5. Гиш Т.А., Пелешенко В.С., Медведева А.С., Ржавская Н.В. Исследование спектрального анализа и синтеза сигналов на основе преобразования Фурье. *AUDITORIUM.* 2023;2(38):87-91. EDN: CFYHFO.
6. Гордеев О.И., Захаренко В.А. Программно-аппаратный комплекс диагностики электромеханических агрегатов. *Омский научный вестник.* 2022;2(182):125-129. DOI: 10.25206/1813-8225-2022-182-125-129. EDN: AJPTOT.
7. Дженикс Г.Г., Ваттс Д.В. *Спектральный анализ и его приложения: учебное пособие.* Перевод Писаренко В.Ф. Москва: Мир, 1971-1972. 316 с.
8. Карнеева О.В., Рязанцев С.В., Радциг Е.Ю., Ким И.А. *Возможности клинической гомеопатии в комплексной терапии острых воспалительных заболеваний верхних дыхательных путей: Методические рекомендации.* Москва, Санкт-Петербург: Полифорум Групп, 2017. 40 с.
9. Кирьянов П.А. Спектральный анализ речевых сигналов как один из методов идентификации личности говорящего. *Судебная медицина.* 2018;4(S1):153. EDN: VOFRPW.
10. Крук Б.И., Журавлева О.Б. *Основы спектрального анализа: учебное пособие для вузов.* Москва: Горячая линия–Телеком, 2013. 148 с. ISBN 978-5-9912-0327-2.
11. Кузнецова Л.В., ред. *Основы специальной психологии: Учеб. пособие для студ. образ. учрежд. сред. проф. образов., обуч. по спец.: 0318 - Спец. дошкол. образов., 0319 - Спец. педагогика в спец. образов. учрежд., 0320 - Коррекц. Педагогика.* М.: Академия, 2002-2003. 480 с.
12. Кузьменко А.П., Чухаева И.В., Абакумов П.В., Пугачевский М.А., Устинов А.Ю., Коблова Е.А. Характеризация структуры ленточных пленок титаната бария методом просвечивающей электронной микроскопии и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. *Физика и технология наноматериалов и структур: Сборник научных статей 3-й Международной научно-практической конференции. В 2-х томах. Том 2.* Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2017:106-113. EDN: YUAGDV.
13. Кукушкин Д.Е., Сазоненко Д.А., Бахолдин А.В., Красавцев В.М. *Моделирование спектральных систем. Часть первая.* СПб: Университет ИТМО, 2021. 99 с.
14. Лаврова Е.В., Коптева О.Д., Уклонская Д.В. *Нарушения голоса: учеб. пособие для студ. высш. учеб. Заведений.* Москва: Издательский центр «Академия», 2006. 128 с. ISBN5-7695-3089-8.
15. Морз Ф.М. *Колебания и звук: учебное пособие.* Под ред. Ржевкина С.Н. Москва: Гос. изд-во техн.-теорет. лит., 1949. 496 с.
16. Нейман Л.В., Богомилский М.Р. *Анатомия, физиология и патология органов слуха и речи: Учеб. для студ. высш. пед. учеб. Заведений.* Под ред. Селиверстова В.И. Москва: ВЛАДОС, 2001. 224 с.
17. Пономарева О.В. Быстрое параметрическое дискретное преобразование Фурье действительных последовательностей. *Цифровая обработка сигналов.* 2012;2:2-5. EDN: PVWOVL.
18. Раушер К., Нансен Ф. *Основы спектрального анализа: учебное пособие.* Перевод Смольского С.М. Москва: Горячая линия – Телеком, 2006. 226 с.
19. Сидоренко И.А., Кускова П.А. О спектральном анализе фонем с использованием звуковых редакторов. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика.* 2013;22(165):246-250. EDN SGSUHP.
20. Смирнов А.Н. Генерация акустических колебаний в химических реакциях и физико-химических процессах. *Российский химический журнал.* 2001;45(1):29-34.
21. Филатова Ю.О., Лулу Ш.А. Изучение

дыхательной функции у лиц с нарушениями речи: обзор зарубежных исследований. *Наука и школа*. 2021;(5):66-76. DOI: 10.31862/1819-463X-2021-5-66-76.

22. EMELIANOV N.A., VELIAEV Y.O., SOKURENKO D.S., ABAKUMOV P.V., CHUHAeva I.V. THE TEMPERATURE DEPENDENCE OF TUNNELING CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS IN POLI-ANILINE-POLYSTYRENE-BARIUM TITANATE NANOCOMPOSITE. *PROCEEDINGS OF THE 2018 IEEE CONFERENCE OF RUSSIAN YOUNG RESEARCHERS IN ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING, ELCONRUS*. ST. PETERSBURG, MOSCOW: INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS INC., 2018:1609-1612. DOI 10.1109/EIConRus.2018.8317408. EDN: MIAOHN.