

ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ГОЛОСА В ДИАГНОСТИКЕ
ДИСФОНИЙ ПРИ БОЛЕЗНИ ПАРКИНСОНА

Султонова Умида Фахриддиновна – PhD докторант кафедры

оториноларингологии Ташкентского государственного медицинского университета,

Ташкент, Узбекистан. ORCID: 0009-0003-9140-1052. E-mail:

sultanovaumida132@gmail.com

Annotatsiya

Tadqiqotning maqsadi. Parkinson kasalligi bilan og'riqan bemorlarda disfoniyaning og'irligini tavsiflovchi ovozning informatsion akustik parametrlarini aniqlash, shuningdek, ushbu parametrlar va kasallikning davomiyligi va bemorning yoshi o'rtasidagi bog'liqlikni aniqlash.

Materiallar va usullar. Maqolada Parkinson kasalligi bilan og'riqan bemorlarda disfoniyaning erta tashxislash uchun akustik ovozni tahlil qilish usulini qo'llash ko'rib chiqiladi. Tadqiqotda 120 kishi ishtirok etdi. Heinemann dasturiy-apparat kompleksi va Ling Waves (WEVOSYS) dasturi ishlatilgan. Ovoz parametrlarida statistik jihatdan muhim o'zgarishlar aniqlandi, bu kasallikning rivojlanishini erta tashxislash va kuzatishda usulning samaradorligini tasdiqlaydi.

Xulosa: Topilmalar vokal buzilishlarining kasallikning davomiyligi va bosqichiga bog'liqligini ko'rsatadi. Akustik tahlil nafaqat bemorlarni sog'lom odamlardan ajratishga, balki kasallikning rivojlanish darajasini baholashga imkon beradi. Bu ovozning akustik tahlili klinik baholash uchun muhim qo'shimcha va Parkinson kasalligida bemorning ahvolini kuzatish vositasiga aylantiradi.

Kalit so'zlar. Parkinson kasalligi, disfoniya, akustik ovozni tahlil qilish, erta tashxis qo'yish, HEINEMANN, Ling Waves, disfoniya indeksi.

Аннотация

Цель исследования. Выявление информативных акустических параметров голоса, характеризующих степень выраженности дисфонии у пациентов с болезнью Паркинсона, а также установление зависимости между этими параметрами и длительностью заболевания и возрастом пациента.

Материал и методы. В статье исследуется применение метода акустического анализа голоса для ранней диагностики дисфонии у пациентов с болезнью Паркинсона. В исследовании участвовали 120 человек. Использовались программно-аппаратный комплекс HEINEMANN и программа Ling Waves (WEVOSYS). Выявлены статистически значимые изменения параметров голоса, подтверждающие эффективность метода в ранней диагностике и мониторинге прогрессирования заболевания.

Заключение: Полученные данные демонстрируют зависимость голосовых нарушений от длительности и стадии заболевания. Акустический анализ позволяет не только дифференцировать пациентов от здоровых лиц, но и оценивать степень прогрессирования заболевания. Это делает ААГ важным дополнением к клинической оценке и инструментом мониторинга состояния пациента при болезни Паркинсона.

Ключевые слова: болезнь Паркинсона, дисфония, акустический анализ голоса, ранняя диагностика, HEINEMANN, Ling Waves, индекс дисфонии.

Abstract

Purpose of study. To identify informative acoustic parameters of the voice that characterize the severity of dysphonia in patients with Parkinson's disease, as well as to establish a relationship between these parameters and the duration of the disease and the age of the patient.

Materials and methods. The article explores the use of acoustic voice analysis for the early diagnosis of dysphonia in patients with Parkinson's disease. 120 people participated in the study. The HEINEMANN hardware and software complex and the Ling Waves program (WEVOSYS) were used. Statistically significant changes in voice parameters were revealed, confirming the effectiveness of the method in early diagnosis and monitoring of disease progression.

Conclusion. The results show that voice disorders depend on the duration and stage of the disease. Acoustic analysis allows not only to distinguish patients from healthy people, but also to assess the degree of disease progression. This makes acoustic sound analysis an important addition to clinical assessment and a means of monitoring the patient's condition in Parkinson's disease.

Keywords: Parkinson's disease, dysphonia, acoustic analysis of voice, early diagnosis, HEINEMANN, Ling Waves, dysphonia index.

Болезнь Паркинсона (БП) — хроническое прогрессирующее нейродегенеративное заболевание, сопровождающееся нарушением двигательных и немоторных функций, в том числе голосовых. По оценкам, от 75 до 90% пациентов с БП в течение болезни испытывают те или иные голосовые нарушения, в первую очередь — дисфонии. Дисфония характеризуется изменением силы, высоты, тембра и устойчивости голоса и значительно снижает качество жизни пациентов [1,2,3].

Голос представляет собой сложный биомеханический феномен, формирующийся в результате взаимодействия дыхательной системы, голосовых складок и резонаторных полостей, координируемых центральной нервной системой. При болезни Паркинсона из-за снижения дофаминергической нейротрансмиссии нарушаются механизмы регуляции голосообразования, что проявляется гипофонией, монотонностью, дрожанием и ограничением диапазона голоса [4].

Традиционные методы диагностики голосовых нарушений у пациентов с БП опираются на субъективные оценки врачей-фоноiatров и логопедов. В последнее десятилетие широкое распространение получают объективные методы, в том числе **акустический анализ голоса (ААГ)** — неинвазивный, высокочувствительный метод, позволяющий выявить даже малозаметные изменения голосовой функции на ранних этапах заболевания.

Одним из наиболее перспективных решений является программно-аппаратный комплекс **Ling Waves (WEVOSYS)** и система **HEINEMANN**, позволяющие производить комплексную оценку фонаторных, спектральных и временных характеристик речи и голоса, таких как jitter, shimmer, DSI и DDK [5].

Актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью раннего выявления и мониторинга голосовых нарушений при БП, что имеет значение не только для диагностики, но и для оценки динамики состояния пациента и эффективности терапии.

Цель исследования

Целью настоящей работы является выявление информативных акустических параметров голоса, характеризующих степень выраженности дисфонии у пациентов с болезнью Паркинсона, а также установление зависимости между этими параметрами и

длительностью заболевания и возрастом пациента. Исследование направлено на оценку диагностической ценности акустического анализа голоса с использованием программ HEINEMANN и Ling Waves для раннего выявления и мониторинга нарушений голосовой функции.

Материал и методы

Исследование проводилось на базе кафедры оториноларингологии Ташкентской медицинской академии в период с января 2023 года по апрель 2024 года. В исследование включены 120 участников, из которых 100 пациентов с установленным диагнозом болезни Паркинсона и 20 здоровых добровольцев, не имеющих нарушений голосовой функции. Пациенты были разделены на три группы в зависимости от длительности заболевания: до 5 лет, от 5 до 10 лет, более 10 лет. Каждая из клинических групп была дополнительно стратифицирована по возрастным подгруппам: 41–50, 51–60, 61–70 и 71–80 лет.

Обследование включало клинический осмотр фониатра, ларингостробоскопию (с использованием жестких эндоскопов и системы XION) и проведение акустического анализа голоса с использованием программно-аппаратного комплекса HEINEMANN и программного обеспечения Ling Waves (WEVOSYS).

Для регистрации голосовых сигналов использовался конденсаторный микрофон, установленный на расстоянии 30 см от рта пациента. Запись проводилась в звуконепроницаемой комнате с уровнем фонового шума не выше 30 дБ. Каждый испытуемый выполнял серию фонетических и речевых заданий согласно протоколу программы Ling Waves.

В исследовании применялись следующие модули анализа:

- **VDS (Voice Diagnostic Center)** — оценка фонетограммы и разговорного профиля;
- **VOSPECTOR** — расчет индекса тяжести дисфонии (DSI), параметров jitter и shimmer;
- **MSDA** — оценка моторных нарушений речи, включая диадохокинетическую скорость (DDK), стандартное отклонение и градиент энергии;
- **F0 и диапазон частот** — оценка основной и модальной частоты голоса.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием Microsoft Excel 2019. Для анализа различий между группами применялись методы вариационной статистики с расчетом средней величины (M), стандартного отклонения (SD) и достоверности различий (p -значение). Статистически значимыми считались различия при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Акустический анализ показал статистически значимые отличия голосовых параметров между пациентами с болезнью Паркинсона (БП) и здоровыми добровольцами. Были выявлены изменения по следующим направлениям:

Индекс тяжести дисфонии (DSI): в таблицы индекса тяжести дисфонии (воспектра) (таблица №1), указывается на значительные отличия по сравнению со здоровой группой. У пациентов со стажем болезни Паркинсона до 5 лет значения начинают отклоняться от здоровой нормы, особенно в возрастных группах 61-70 лет и 41-50 лет на 0,99 и 1,42 соответственно ($P < 0,001$), что свидетельствует о начальных признаках дисфонии. У пациентов со стажем болезни от 5 до 10 лет в возрастной группе 71-80 лет, этот показатель существенно снижен на 1,96 по сравнению со здоровой группой ($P < 0,001$). Это показывает более выраженные нарушения голосовой функции по мере прогрессирования болезни.

Таблица №1.

Индекс тяжести дисфонии у пациентов с болезнью Паркинсона (Воспектрометрия)

Длит. болезни возраст	Здоровые	Длительность болезни до 5 лет	Длительность болезни от 5 до 10 лет	Длительность болезни от 10 лет и выше
71-80 лет	4,3±0,16	4,06±0,28	2,34±0,25*	0,97±0,4*
61-70 лет	4,61±0,14	3,62±0,17*	2,52±0,23*	1,32±0,16*
51-60 лет	4,66±0,07	4,34±0,29	2,82±0,16*	1,96±0,08*
41-50 лет	4,95±0,14	3,53±0,28*	3,15±0,18*	1,33±0,22*

Примечание: *- достоверность по сравнению со здоровой группой $p < 0,001$.

Наиболее выраженные отклонения от нормы наблюдаются у пациентов со стажем более 10 лет. Например, у возрастной группы 71-80 лет значение индекса дисфонии составляет $0,97 \pm 0,4$, что значительно ниже показателя здоровой группы на 3,33 ($P < 0,001$), указывая на серьезные нарушения голосовой функции. Показатели DSI у пациентов снижались пропорционально длительности заболевания. Наиболее выраженные изменения наблюдались у группы со стажем болезни более 10 лет. Средние значения индекса DSI в этой группе соответствовали уровням выраженной дисфонии (от +1,96 до 0,97, $P < 0,001$).

Таблица №2.

Изменения диапазона частоты голоса у пациентов с болезнью Паркинсона (Фонетограмма, (Гц))

Длительность болезни Возраст	Здоровые (Гц)	Длительность болезни до 5 лет (Гц)	Длительность болезни 5-10 лет (Гц)	Длительность болезни от 10 лет и выше (Гц)
71-80 лет	106,62±5,48	279,87±10,66*	226,6±7,72*	115,46±15,18
61-70 лет	141,58±8,71	264,67±14,40*	218,45±17,2*	150,25±12
51-60 лет	151,5±7,52	264,6±17,14*	149,66±10,84	172,82±6,92**
41-50 лет	140,48±13,78	256,08±11,71*	215,61±18,59***	118,62±10,18

Примечание: *- достоверность по сравнению со здоровой группой $P < 0,001$; ** - $P < 0,05$; *** - $P < 0,01$.

У пациентов с длительностью заболевания до 5 лет наблюдалось отклонение от нормы на 100–170 Гц в зависимости от возрастной подгруппы. У пациентов со стажем свыше 10 лет частотный диапазон сужался до значений, приближающихся к нижней границе нормы.

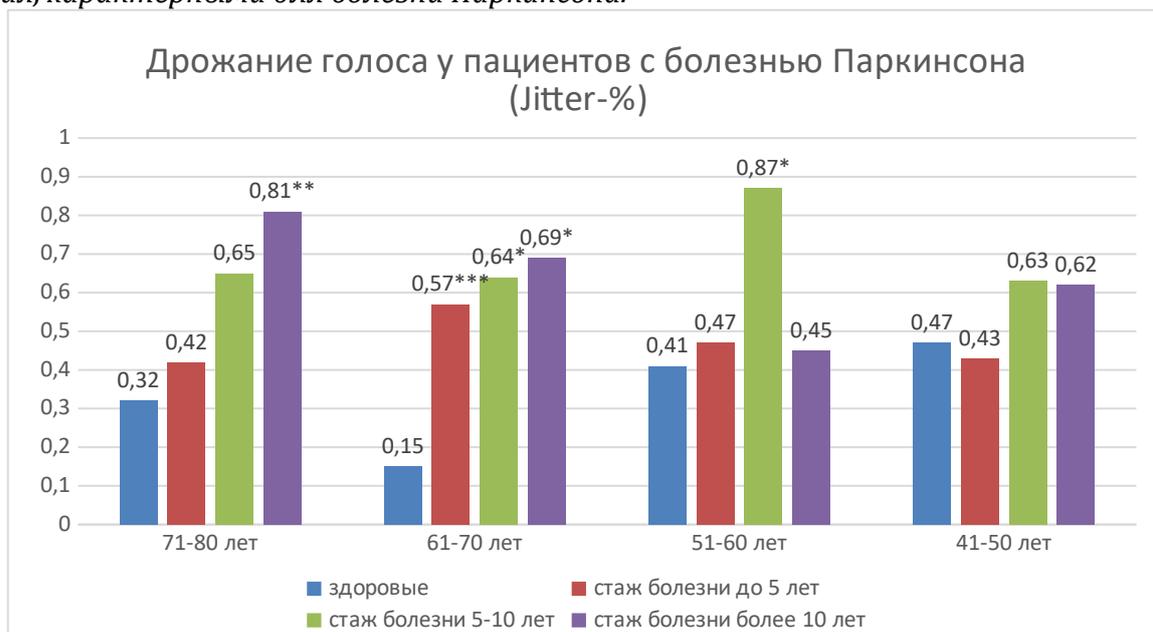
Таблица №3.

Изменения мерцания голоса у пациентов с болезнью Паркинсона (Shimmer, (%))

Длительность болезни возраст	здоровые	Длительность болезни до 5 лет	Длительность болезни от 5 до 10 лет	Длительность болезни выше 10 лет
71-80 лет	8,51±0,85	7,85±0,48	9,26±0,77	16,16±1,5*
61-70 лет	8,16±0,3	15,14±2,22***	12,1±1,33***	15,65±1,78*
51-60 лет	7,76±0,52	10,88±1,81	17,37±0,81*	12,86±1,21*
41-50 лет	7,29±0,43	13,89±1,54*	7,56±0,28	13,91±0,92*

Примечание: *- достоверность по сравнению со здоровой группой $P < 0,001$; ** - $P < 0,05$; *** - $P < 0,01$.

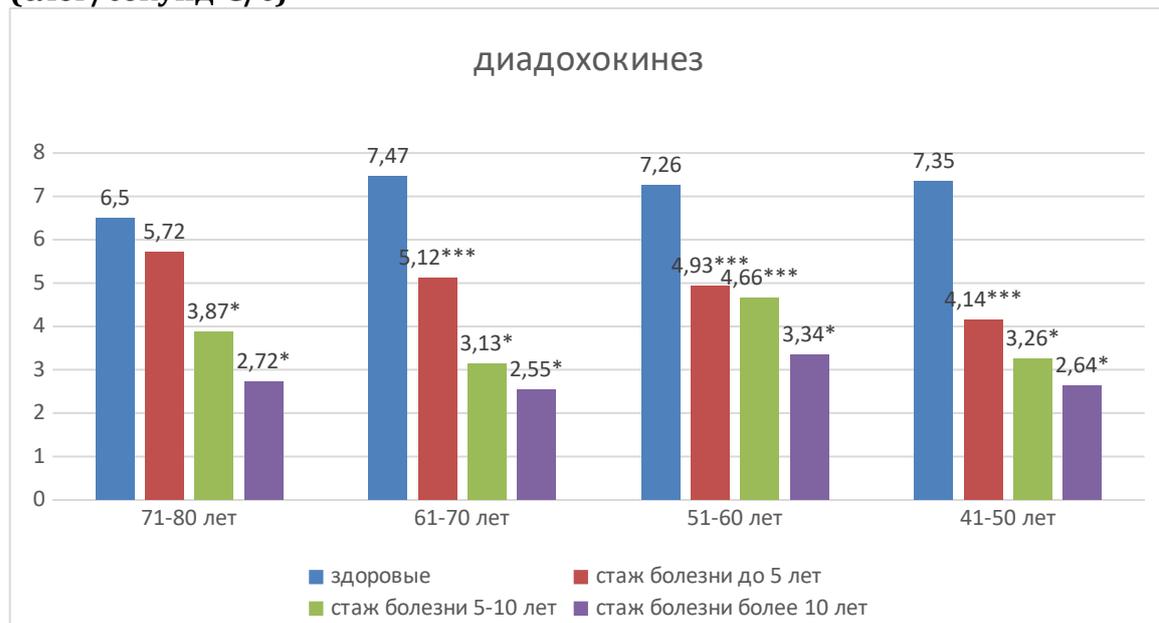
Параметр *Shimmer* представляет собой амплитудные колебания голоса, и его повышение, указывающие на нестабильность голосовой функции. В таблице №3 Пациенты со стажем болезни до 5 лет немного превышают показатели здоровой группы, особенно в возрастных группах 61-70 лет ($15,14 \pm 2,22$) и 41-50 лет ($13,89 \pm 1,54$), примерно на 7% у обеих подгруппах, что указывает на начальные признаки нарушения голосовой стабильности. Наиболее высокие значения *Shimmer* наблюдаются у пациентов со стажем более 10 лет, например, в группе 71-80 лет ($16,16 \pm 1,5$) и 61-70 лет ($15,65 \pm 1,78$), почти на 2 раза больше отклонение от показателей здоровых лиц, что указывает на выраженные нарушения голосовой функции ($P < 0,001$). Это свидетельствует о выраженных нарушениях голосовой стабильности, которые связаны с ухудшением координации голосовых мышц, ригидностью, тремором и нарушениями дыхания, характерными для болезни Паркинсона.



Примечание: * - достоверность по сравнению со здоровой группой $P < 0,001$; ** - $P < 0,05$; *** - $P < 0,01$.

Параметр *Jitter* отражает нестабильность частоты голоса, и его увеличение указывает на нарушение голосовой функции. У пациентов со стажем болезни до 5 лет в возрастной группе 61-70 лет значения *Jitter* начинают превышать показатели здоровой группы на 0,42% ($P < 0,001$). Это указывает на начальные проявления нестабильности частоты голоса. Показатель *Jitter* становятся ещё выше у возрастной группы 51-60 лет со стажем болезни от 5 до 10 лет на 0,46% по сравнению со здоровыми лицами соответственной возрастной группы ($P < 0,001$). Самые высокие значения *Jitter* наблюдаются у пациентов со стажем более 10 лет, например, в группе 71-80 лет ($0,81 \pm 0,09$, $P < 0,05$), что свидетельствует о выраженных нарушениях частотной стабильности голоса, вызванных нарушением координации голосовых мышц, ригидностью, тремором и проблемами с дыханием, которые являются характерными симптомами болезни Паркинсона.

Изменения диадохокинеза у пациентов с болезнью Паркинсона (слог/секунд-С/с)



Примечание: *- достоверность по сравнению со здоровой группой $P < 0,001$; ** - $P < 0,05$; *** - $P < 0,01$.

Диадохокинез (DDK): у пациентов с БП наблюдалось снижение DDK (слов в секунду) во всех возрастных группах. Наиболее низкие значения отмечены в группе старше 70 лет со стажем болезни более 10 лет ($3,87 \pm 0,37$ слог/с против нормы в 5,7 слог/с, $P < 0,001$).

Таблица №4.

Изменения стандарта отклонения произношения слов в секунду у пациентов с болезнью Паркинсона (слов/секунд)

Длительность болезни	Здоровые	Длительность болезни до 5 лет	Длительность болезни от 5 до 10 лет	Длительность болезни выше 10 лет
Возраст				
71-80 лет	$2,78 \pm 0,11$	$2,16 \pm 0,4$	$3,37 \pm 0,17^{***}$	$3,95 \pm 0,21^*$
61-70 лет	$2,68 \pm 0,13$	$2,26 \pm 0,29$	$3,32 \pm 0,18^{***}$	$4,11 \pm 0,21^*$
51-60 лет	$2,13 \pm 0,2$	$2,36 \pm 0,24$	$4,07 \pm 0,22^*$	$3,29 \pm 0,27^*$
41-50 лет	$1,83 \pm 0,24$	$2,11 \pm 0,31$	$2,42 \pm 0,24$	$4,03 \pm 0,39^*$

Примечание: *- достоверность по сравнению со здоровой группой $P < 0,001$; ** - $P < 0,05$; *** - $P < 0,01$.

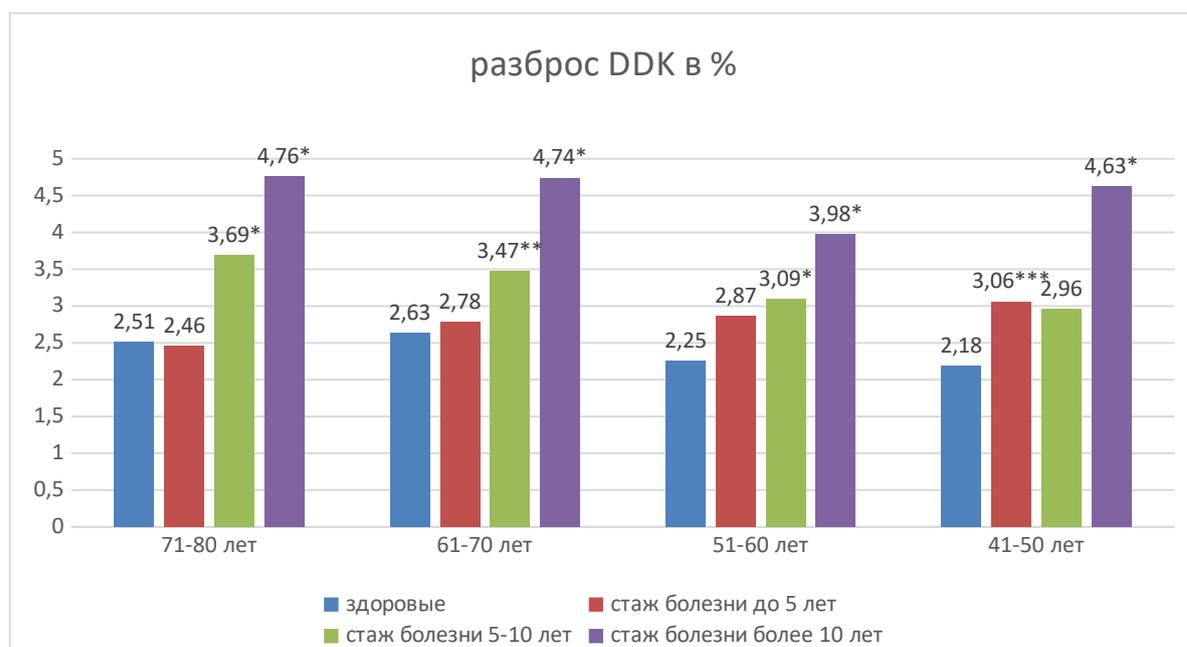
Стандартное отклонение произношения слов в секунду отражает вариативность скорости речи и стабильность ритма, что важно для нормальной речевой функции.

Пациенты с болезнью Паркинсона со стажем болезни до 5 лет демонстрировали значения стандартного отклонения близкие к показателям здоровых лиц, что указывает на относительно небольшие изменения в стабильности речи на ранних стадиях болезни. У пациентов со стажем от 5 до 10 лет значения стандартного отклонения значительно увеличиваются, особенно в возрастной группе 51-60 лет ($4,07 \pm 0,22$), почти на 2 раза больше чем в здоровой группе той же возрастной группе ($P < 0,001$), что указывает на нарастающую нестабильность речи и увеличение

вариативности скорости произнесения слов. Наиболее высокие значения стандартного отклонения наблюдаются у пациентов со стажем более 10 лет, например, в группах 61-70 лет ($4,11 \pm 0,21$) и 71-80 лет ($3,95 \pm 0,21$), на 1,43 слов/сек и 1,17 слов/сек больше по сравнению здоровой группе соответственно ($P < 0,001$), что указывает на выраженные нарушения ритмичности и стабильности речи.

Изменения разброса ДДК у пациентов с болезнью Паркинсона (%)

Пациенты с болезнью Паркинсона со стажем до 5 лет значения разброса ДДК в % немного выше, чем у здоровых лиц, например, в возрастной группе 41-50 лет ($3,06 \pm 0,26$) ($P < 0,001$). Это указывает на начальные нарушения стабильности речевых движений. Значения разброса ДДК в % продолжает увеличиваться со стажем болезни. Так как у пациентов со стажем от 5 до 10 лет в возрастных группах 71-80 лет ($3,69 \pm 0,8$) и 51-60 лет ($3,09 \pm 0,08$), на 1,18% и 0,84% больше по сравнению с здоровой группой соответственно ($P < 0,001$), что указывает на нарастающую нестабильность ритма и координации движений. Самые высокие значения разброса ДДК в % наблюдаются у пациентов со стажем более 10 лет, например, у возрастной группы 71-80 лет ($4,76 \pm 0,26$) и 61-70 лет ($4,74 \pm 0,43$), примерно в 2 раза больше чем у здоровых лиц соответственной группе ($P < 0,001$). Это указывает на выраженные нарушения стабильности и ритмичности речи, нарушение координации и стабильности артикуляционных движений, что связано с прогрессирующим ухудшением моторного контроля.



Примечание: * - достоверность по сравнению со здоровой группой $P < 0,001$; ** - $P < 0,05$; *** - $P < 0,01$.

Таблица №5.

Изменения основной частоты у пациентов с болезнью Паркинсона(Гц)

Возраст	Длительность болезни	Здоровые	Длительность болезни до 5 лет	Длительность болезни от 5 до 10 лет	Длительность болезни выше 10 лет
71-80 лет		$126,83 \pm 6,88$	$161,18 \pm 21,58$	$139,57 \pm 11,57$	$114,02 \pm 11,04$
61-70 лет		$135,94 \pm 9,43$	$222,16 \pm 17,61^*$	$154,15 \pm 11,62$	$149,51 \pm 16,37$
51-60 лет		$157,04 \pm 4,67$	$151,1 \pm 11,31$	$126,2 \pm 13,48^{**}$	$135,05 \pm 12,51$
41-50 лет		$147,73 \pm 12,91$	$184,06 \pm 25,25$	$173,83 \pm 4,31$	$109,78 \pm 6,26^{***}$

Примечание: * - достоверность по сравнению со здоровой группой $P < 0,001$; ** - $P < 0,05$; *** - $P < 0,01$.

В возрастной группе 61-70 лет, с длительностью болезни до 5 лет наблюдается значительное увеличение основной частоты на 86,22 Гц у пациентов с болезнью Паркинсона в ранней стадии, что может быть связано с повышенной напряженностью голосовых связок из-за ригидности, приводящей к повышению высоты голоса ($P < 0,001$). В возрастной группе 51-60 лет, с длительностью болезни от 5 до 10 лет наблюдается значительное уменьшение основной частоты на 30,84 Гц ($P < 0,05$). Это может быть связано с прогрессирующим нарушением контроля над мышцами гортани и снижением гибкости голосовых связок, приводящим к более низкой основной частоте. Значительное снижение основной частоты у пациентов с длительным стажем болезни, что свидетельствует о серьезных нарушениях в голосовой функции. В возрастной группе со стажем более 10 лет значение основной частоты ниже на 37,95 Гц по сравнению с здоровой группой. Возможно, это связано с выраженной ригидностью и тремором голосовых связок, а также ухудшением дыхательной поддержки, которые приводят к снижению высоты голоса.

Таблица №6.

Изменения градиента энергии у пациентов с болезнью Паркинсона (дБ/сек)

Возраст	Длительность Болезни	Здоровые	Длительность болезни до 5 лет	Длительность болезни от 5 до 10 лет	Длительность болезни 10 лет и выше
71-80 лет		0,02±0,29	-0,32±0,17	-0,11±0,32	-1,95±0,29*
61-70 лет		1,10±0,22	-0,26±0,14*	-0,7±0,21*	-1,33±0,2*
51-60 лет		0,14±0,19	-0,09±0,06	-0,47±0,27	-0,61±0,11*
41-50 лет		0,09±0,18	-0,34±0,17	-0,2±0,2	-0,77±0,19***

Примечание: * - достоверность по сравнению со здоровой группой $P < 0,001$; ** - $P < 0,05$; *** - $P < 0,01$.

В возрастной группе 61-70 лет, с длительностью болезни до 5 лет наблюдается значительное снижение градиента энергии на 0,84 дБ/сек, чем у здоровых лиц, что может быть связано с ранними нарушениями в контроле силы голоса и энергичности речи ($P < 0,001$). У пациентов со стажем болезни более 10 лет в возрастной группе 71-80 лет выявляется снижение градиента энергии на 1,97 дБ/сек по сравнению с здоровой группой ($P < 0,001$), что свидетельствует о серьезных нарушениях в контроле над голосом и снижении способности к вариативности силы звука.

Таблица градиента энергии голоса показывает, что у пациентов с болезнью Паркинсона, особенно при длительности болезни более 10 лет, наблюдается значительное снижение градиента энергии по сравнению со здоровыми лицами. Это связано с выраженными нарушениями в контроле над интенсивностью голоса, ригидностью и гипокинезией мышц, проблемами с дыхательной поддержкой и тремором, что приводит к снижению динамичности и вариативности силы голоса. Полученные данные демонстрируют зависимость голосовых нарушений от длительности и стадии заболевания. Акустический анализ позволяет не только дифференцировать пациентов от здоровых лиц, но и оценивать степень прогрессирования заболевания. Это делает ААГ важным дополнением к клинической оценке и инструментом мониторинга состояния пациента при болезни Паркинсона.

Выводы

Проведённый акустический анализ голоса у пациентов с болезнью Паркинсона позволил сделать следующие ключевые выводы:

1. Акустический анализ голоса является объективным, чувствительным и неинвазивным методом диагностики нарушений голосовой функции при болезни Паркинсона.
2. Наиболее информативными диагностическими параметрами оказались:
 - индекс тяжести дисфонии (DSI),
 - частотный диапазон,
 - shimmer и jitter,
 - диадохокинетическая скорость (DDK),
 - градиент энергии и стандартное отклонение речи.
3. Выявлена статистически достоверная зависимость между степенью изменения голосовых параметров и длительностью заболевания, особенно в возрастных подгруппах старше 60 лет.
4. Уже на ранних стадиях БП (до 5 лет от начала заболевания) наблюдаются значимые отклонения от нормальных показателей, особенно по параметрам shimmer, jitter и DSI, что подтверждает возможность ранней диагностики с помощью акустических методов.
5. Программно-аппаратные комплексы HEINEMANN и Ling Waves (WEVOSYS) показали высокую эффективность в количественной оценке голосовых нарушений, и могут быть рекомендованы для включения в стандартные протоколы ведения пациентов с БП.

Таким образом, акустический анализ голоса может быть успешно применён в клинической практике как дополнительный диагностический и мониторинговый инструмент при болезни Паркинсона.

Список литературы:

1. Ахметзянова А.И., Корнийченко Т.Ю., Суздальцева Л.Н. Логопедический атлас. — Казань, 2016. — 52 с.
2. Шипицына Л.М. Анатомия, физиология и патология органов слуха, речи и зрения. — М.: Академия, 2008. — 432 с.
3. Hughes A. et al. UK Parkinson's disease society brain bank clinical diagnostic criteria. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatr.* 1992; 55:e4.
4. Dashtipour K. et al. Speech disorders in Parkinson's disease. *Neurodegenerative Disease Management.* 2018;8(5):337-348.
5. Logemann J.A. et al. Vocal tract dysfunctions in Parkinson patients. *J. Speech Hear. Disord.* 1978; 43:47-57.