



## Пульмонология Pulmonology

Поступила в редакцию 20.11.2025

Принята к публикации 17.03.2026

Опубликована 20.03.2026

УДК: 612.216.2

DOI: [10.26212/2227-1937.2026.87.18.004](https://doi.org/10.26212/2227-1937.2026.87.18.004)

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДУШНОСТИ ЛЕГКИХ С ПОМОЩЬЮ СВЧ – РАДИОВОЛН С ЦЕЛЬЮ ВИЗУАЛИЗАЦИИ БРОНХОЛЕГОЧНОЙ СИСТЕМЫ

Есетова Г.У<sup>1</sup>., Мендакулов Ж.К<sup>2</sup>., Төлеген А.Ж<sup>3</sup>., Рахимжанова Б.Т<sup>4</sup>.

<sup>1,3,4</sup> НАО «Казахский национальный медицинский университет имени С.Д. Асфендиярова»,  
Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> ТОО СКТБ «Гранит», Алматы, Казахстан

**Введение.** Болезни органов дыхания являются одной из основных причин заболеваемости и смертности в мире. Ухудшение экологической ситуации, а также рост хронических заболеваний органов дыхания возлагают на медицину задачу ранней диагностики и мониторинга состояния легких. Современные методы исследования легких, такие как рентгенография, КТ и функциональные тесты, предоставляют ценную информацию, но они имеют ограничения с точки зрения доступности и безопасности. Одним из новых методов исследования органов дыхания является сверхвысоко частотный (СВЧ) метод с использованием пульмонографа (ПГ). Это метод радиочастотного зондирования, основанный на разнице диэлектрической проводимости мышечного слоя грудной клетки и воздуха в легких при вдохе и выдохе.

**Цель исследования.** Изучение воздушности легких пульмонографом с использованием радиоволн – СВЧ.

**Материалы и методы.** В работе рассматривается новый метод диагностики воздушности легких с использованием неионизирующего сверхвысоко частотного пульмонографа, который основан на регистрации изменений диэлектрической проводимости грудной клетки, легких и воздуха в различные фазы дыхания - вдоха и выдоха.

**Результаты.** Получены графические результаты исследования пульмонографом, указывающие на состояние воздушности легких.

**Обсуждение.** В настоящее время для диагностики патологии легочной системы используются различные методы диагностики, в том числе общий и биохимический анализ крови, анализ мокроты, спирография, лучевые методы и т.д.

В настоящем исследовании предлагается новый способ неинвазивной диагностики дыхательной системы на основе исследования особенностей распространения СВЧ электромагнитного излучения через грудную клетку человека.

**Заключение.** Полученные результаты позволяют продолжить исследование пульмонографа с целью применения его для ранней диагностики и профилактики болезней органов дыхания

**Ключевые слова:** бронхолегочная система, методы диагностики, неинвазивная диагностика, современные методы

### БРОНХОПУЛЬМОНАЛДЫ ЖҮЙЕНІ ВИЗУАЛИЗАЦИЯЛАУ МАҚСАТЫНДА АЖЖ - РАДИОТӨЛҚЫНДАРДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ӨКПЕНІҢ АУА ӨТКІЗГІШТІГІН ЗЕРТТЕУ

Есетова Г.У<sup>1</sup>., Мендакулов Ж.К<sup>2</sup>., Төлеген А.Ж<sup>3</sup>., Рахимжанова Б.Т<sup>4</sup>.

<sup>1,3,4</sup> «С.Д. Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медициналық университеті» АҚ,  
Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup> «Гранит» ОҚТБ ЖШС, Алматы, Қазақстан

**Кіріспе.** Тыныс алу жолдарының аурулары бүкіл әлемде аурушандық пен өлімнің негізгі себептерінің бірі болып табылады. Қоршаған ортаның нашарлауы және созылмалы тыныс алу жолдарының ауруларының көбеюі медицинаны өкпе денсаулығын ерте диагностикалау және бақылауға мәжбүр етеді. Рентгенография,

компьютерлік томография және функционалдық тестілеу сияқты заманауи өкпені тексеру әдістері құнды ақпарат береді; дегенмен, олардың қолжетімділігі мен қауіпсіздігі тұрғысынан шектеулері бар. Тыныс алу жүйесін зерттеудің бір жаңа әдісі - пульмонографты (ПЖ) пайдаланатын микротолқынды радиожиілік әдісі. Бұл радиожиілікті зондтау әдісі ингаляция және дем шығару кезінде өкпенің бұлшықет қабаты мен ауа арасындағы диэлектрлік өткізгіштіктің айырмашылығына негізделген.

**Зерттеудің мақсаты.** АЖЖ-радиотолқындарды пайдалана отырып, пульмонограф көмегімен өкпенің ауалылығын зерттеу.

**Материалдар мен әдістер.** Бұл мақалада иондамайтын аса жоғары жиілікті (АЖЖ) пульмонографты пайдаланып өкпенің ауалылығын диагностикалаудың жаңа әдісі қарастырылады. Бұл әдіс тыныс алудың әртүрлі фазаларында - ингаляция және дем шығару кезінде кеуде қуысының, өкпенің және ауаның диэлектрлік өткізгіштігінің өзгерістерін тіркеуге негізделген.

**Нәтижелер.** Пульмонографты зерттеудің графикалық нәтижелері алынды, олар өкпенің ауалылығының жағдайын көрсетеді.

**Талқылау.** Қазіргі уақытта өкпе патологияларын диагностикалау үшін әртүрлі диагностикалық әдістер қолданылады, соның ішінде қанның жалпы талдауы, биохимиялық қан анализі, қақырық талдауы, спирография, рентгенографиялық әдістер және т.б.

Бұл зерттеу адамның кеуде қуысы арқылы АЖЖ электромагниттік сәулеленуінің таралуын зерттеуге негізделген тыныс алу жүйесінің инвазивті емес диагностикасының жаңа әдісін ұсынады.

**Қорытынды.** Радиожиілікті өкпе зерттеу әдісінің - пульмонографтардың - эксперименталды зерттеу нәтижелері ұсынылған. Алынған нәтижелер тыныс алу жолдарының ауруларын ерте диагностикалау және алдын алуда пульмонографты қолдануды одан әрі зерттеуге мүмкіндік береді.

**Түйінді сөздер:** бронхөкпелікжүйе, диагностикалық әдістер, инвазивті емес диагностика, заманауи әдістер.

#### A STUDY OF THE AIRINESS OF THE LUNGS USING ULTRA-HIGH-FREQUENCY RADIO WAVES FOR THE PURPOSE OF VISUALIZING THE STATE OF THE BRONCHOPULMONARY SYSTEM

Yessetova G.U<sup>1</sup>., Mendakulov Zh.K<sup>2</sup>., Tolegen A.Zh<sup>3</sup>., Rakhimzhanova B.T<sup>4</sup>.

<sup>1,3,4</sup> *Asfendiyarov Kazakh National Medical University, Almaty, Kazakhstan*

<sup>2</sup> *LLP SKTB "Granit", Almaty, Kazakhstan*

**Introduction.** Respiratory diseases are one of the leading causes of morbidity and mortality worldwide. Environmental degradation and the rise in chronic respiratory diseases challenge medicine to provide early diagnosis and monitoring of lung health. Modern lung examination methods, such as radiography, CT, and functional testing, provide valuable information; however, they have limitations in terms of availability and safety. One new method for examining the respiratory system is the microwave radiofrequency method using a pulmonograph (PG). This radiofrequency probing method is based on the difference in dielectric conductivity between the muscular layer of the lungs and the air during inhalation and exhalation.

**Objective.** To study lung airiness using a pulmonograph using microwave radio waves.

**Materials and methods.** This paper examines a new method for diagnosing lung airiness using a non-ionizing ultra-high-frequency (UHF) pulmonograph. This method is based on recording changes in the dielectric conductivity of the chest, lungs, and air during various phases of respiration—inhalation and exhalation.

**Results.** Graphical results of the pulmonograph examination were obtained, indicating the state of lung airiness.

**Discussion.** Currently, various diagnostic methods are used to diagnose pulmonary pathologies, including complete blood counts, biochemical blood tests, sputum analysis, spirography, radiographic methods, etc.

This study proposes a new method for non-invasive diagnostics of the respiratory system based on studying the propagation of UHF electromagnetic radiation through the human chest.

**Conclusion.** The obtained results allow for further research into the pulmonograph for its use in the early diagnosis and prevention of respiratory diseases.

**Keywords:** bronchopulmonary system, diagnostic methods, noninvasive diagnostics, modern methods

**Введение.** Заболевания легких являются одной из основных причин заболеваемости и смертности в мире [1]. Ухудшение экологической ситуации, а также рост хронических заболеваний органов дыхания возлагают на здравоохранение задачу ранней диагностики и мониторинга состояния органов дыхания [2].

Современные методы исследования легких, такие как рентгенография, КТ и

спирография, предоставляют ценную информацию, но они имеют некоторые ограничения с точки зрения доступности и безопасности [3-5]. Поэтому одной из активно развивающихся областей в медицине и прикладной радиоэлектронике является разработка электронных устройств, предназначенных для ранней диагностики заболеваний органов дыхания [6].

В настоящем исследовании предлагается новый способ неинвазивной диагностики дыхательной системы на основе исследования особенностей распространения СВЧ электромагнитного излучения через грудную клетку человека. Основным преимуществом предлагаемого метода является то, что для проведения обследования не требуется выполнения какой-либо калибровочной процедуры, пациент не подвергается лучевому воздействию, от пациента не требуется выполнения каких-либо действий, что позволяет применять данный метод диагностики, в том числе ранней диагностики патологии органов дыхания и осуществлять мониторинг состояния пациента в течение всего периода заболевания.

В работе [7] рассматривается новый метод диагностики дыхательной системы с использованием неионизирующего радиочастотного пульмонографа, который основан на регистрации изменений диэлектрической проводимости грудной клетки, легких и воздуха в разные фазы дыхания - вдоха и выдоха. Радиоволновой сигнал, проходящий между передающей и приемной антеннами, преобразуется в динамические двумерные изображения, позволяя оценивать распределение

вентиляции и воздушности в легких с помощью программного обеспечения (ПО). Данный метод остается экспериментальным и требует дальнейшего клинического изучения.

**Цель исследования.** Изучение воздушности легких пульмонографом с использованием радиоволн – СВЧ.

**Материалы и методы.**

Работа проведена в экспериментальных условиях на базе кафедры пульмонологии. Были приглашены здоровые добровольцы в количестве 10 человек в возрасте 23-25 лет женского (7 человек) и мужского (3 человека) пола. Исследование доклиническое, без сравнительных групп. Получено разрешение Локальной этической комиссии НАО «Казахский Национальный медицинский университет имени С.Д. Асфендиярова» от 03.11.2023г. (протокол № 8).

**Описание устройства диагностики дыхательной системы**

Для реализации метода диагностики воздушности дыхательной системы предложенного авторами в [8,9] было разработано портативное устройство, запатентованное (№ 25 - 24.06.2022), упрощенная структурная схема которого приведена на рисунке 1.

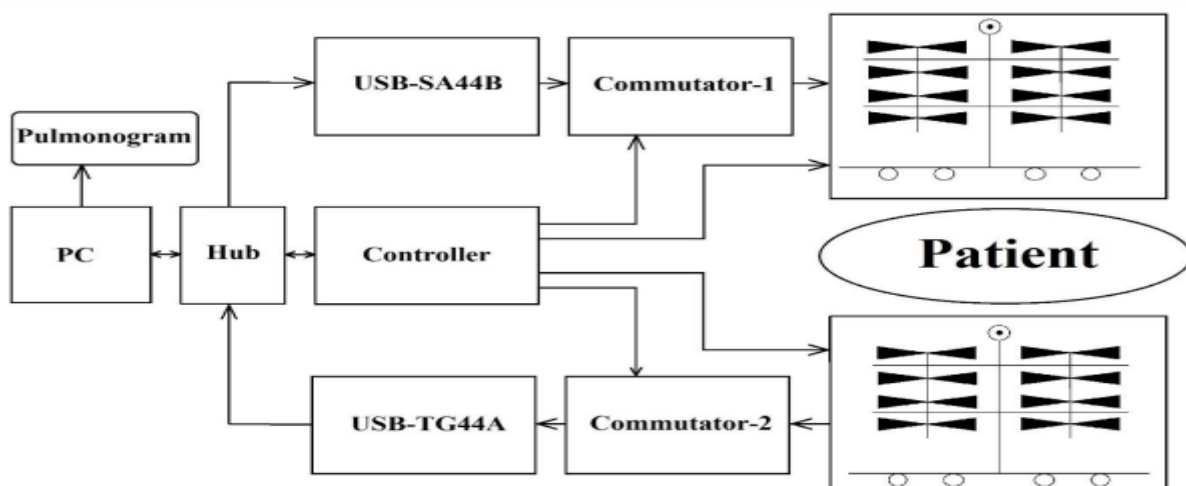


Рисунок 1 - Структурная схема устройства

Таким образом, структурная схема устройства состоит из следующих блоков: блок обработки PC, блок сопряжения Hub, связанный с управляемым СВЧ-генератором USB-TG44A и контроллером,

который управляет работой первого коммутатора, второго коммутатора. Сигналы от СВЧ-генератора USB-TG44A подаются на вход первого коммутатора, который подключен к матрице передающих

антенн. Матрица приемных антенн подключена ко второму коммутатору, сигналы от которого подаются в приемное устройство USB-SA44B и через блок сопряжения Hub на обработку в блок РС.

### Методика обследования

Процесс проведения обследования осуществляется следующим образом:

1. Подготовка пациента к обследованию.
2. Подготовка компьютера (ПК) к диагностике через USB-порт.
3. Пациент размещается в зоне исследования.
4. Для начала обследования антенны (передающая и приемная антенны) устанавливаются в определенных точках грудной клетки
5. Запускается программное обеспечение.
6. Исследование начинается нажатием кнопки «START» на интерфейсе программы.

7. Первые изменения сигнала визуализируются на динамическом изображении примерно через 20 секунд после запуска.

8. Для фиксации минимальных и максимальных значений радиоволн используются функции «MinHold» и «MaxHold», расположенные в правой верхней части интерфейса (рисунок 3)

9. Следующее обновление данных происходит через 20 секунд, после чего исследование завершается нажатием кнопки «STOP».

10. Динамическое изображение демонстрирует изменения радиоволн в процессе дыхательных циклов пациента.

**Результаты.** Получены графические результаты исследования пульмонографом, указывающие на состояние воздушности легких (Рисунок 2).

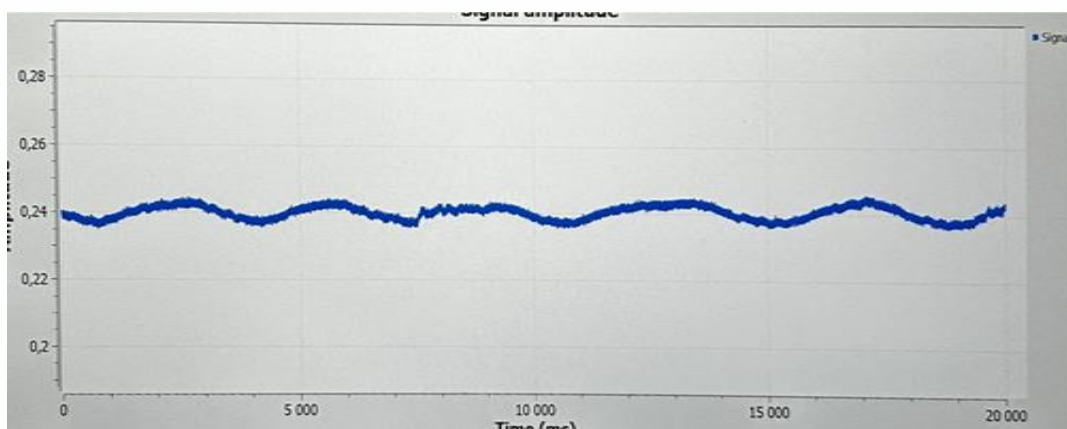


Рисунок 2 - Графические результаты исследование пульмонографом

Полученные результаты показали, что в зависимости от размеров помещения, в котором находился испытуемый, наблюдались различия в числовых и графических показателях сигнала. Разница между зарегистрированными сигналами варьировала в диапазоне от 0,31 до 9,34.

Минимальное изменение сигнала было зафиксировано у испытуемого мужского пола. В данном случае участник находился в положении сидя, без движения и разговора. Расстояние между испытуемым и исследователем составляло около 1 метра.

Наибольшее значение сигнала было зарегистрировано у испытуемой женского пола. Во время исследования участница находилась в положении сидя, совершала движения и вела разговор с исследователем, при этом в окружающей среде присутствовал шумовой фон.

**Обсуждение.** В настоящее время для диагностики патологии легочной системы используются различные инструментальные методы диагностики такие как спирография, рентгенография, КТ и т.д.

Самым распространенным скрининговым

методом диагностики болезней органов дыхания является флюорография, которая широко применяется в условиях ПМСП. Однако флюорография имеет значимые ограничения: низкое пространственное разрешение, недостаточная детализация структур легких и наличие лучевой нагрузки, что снижает ее диагностическую информативность и безопасность. Основным методом диагностики пневмонии является проведение обзорной рентгенографии органов грудной клетки. Ограничением рентгенографии является использование рентгеновского излучения, представляющего собой ионизирующий фактор, способный оказывать неблагоприятное воздействие на организм. Повторные исследования в короткие сроки ограничены, поскольку суммарная лучевая нагрузка может превысить допустимые уровни и создать риск, несопоставимый с диагностической пользой. Компьютерная томография (КТ) органов грудной клетки является высокоинформативным методом

диагностики бронхолегочной патологии, обеспечивая детализированное послойное изображение легких и структур грудной клетки. Метод основан на рентгеновском излучении, что накладывает определенные ограничения на его частоту применения, также необходимо учитывать высокую стоимость исследования.

Еще одним перспективным методом является электроимпедансная томография [10], однако ее проведение требует установки большого числа электродов на грудной клетке. Сокращение числа электродов приводит к заметному снижению пространственного разрешения [4,5] и снижению диагностической ценности.

В настоящем исследовании предлагается новый способ неинвазивной диагностики дыхательной системы на основе исследования особенностей распространения СВЧ электромагнитного излучения через грудную клетку человека (рисунок 3).

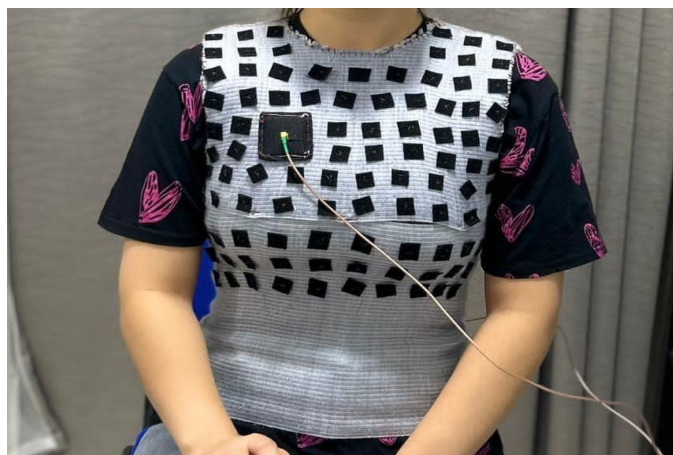


Рисунок 3 - Передающие и приемные антенны

Немаловажным является то, что при проведении обследования пациент не подвергается какому-либо вредному воздействию, от пациента не требуется выполнения каких-либо действий, что позволяет применять данный метод диагностики для детей раннего возраста, а также осуществлять мониторинг состояния пациента в течение всего периода лечения. Для обработки результатов обследования был разработан графический интерфейс в составе программного

обеспечения пульмонограммы, обеспечивающий визуализацию и анализ данных. Разработанное программное обеспечение позволяет изменять и настраивать частоту зондирующего СВЧ-сигнала, что дает возможность проводить обследование пациента на различных частотах и сравнивать результаты для повышения точности диагностики. По умолчанию используется частота, при которой в ходе экспериментальных исследований наблюдалась наибольшая

контрастность измерений. После завершения измерений программа осуществляет обработку данных (рисунок 4) и выводит результаты обследования в графическом виде (рисунок 5). Данная программа обработки и визуализации результатов обследования в совокупности с графическим интерфейсом

пользователя обеспечивают простоту и удобство проведения обследования и анализа его результатов.

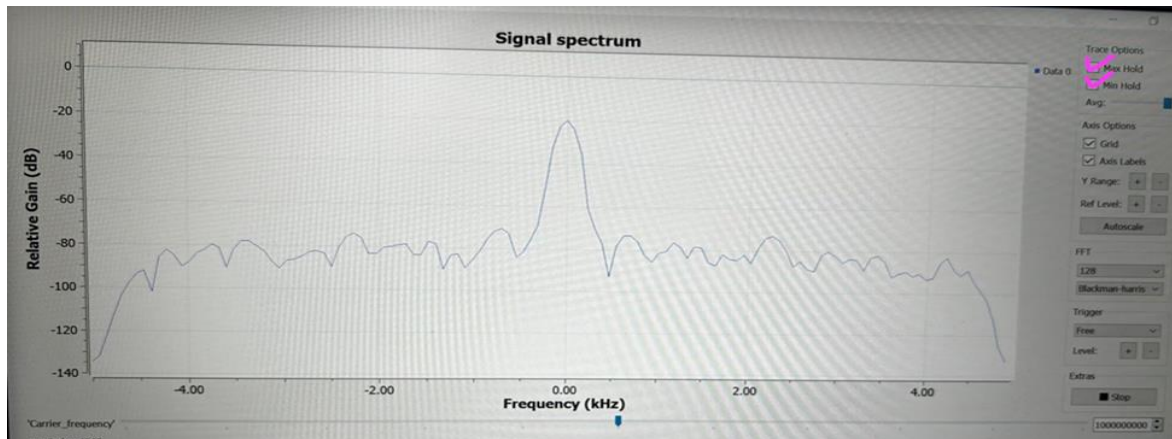


Рисунок 4 - Внешний вид графического интерфейса пользователя

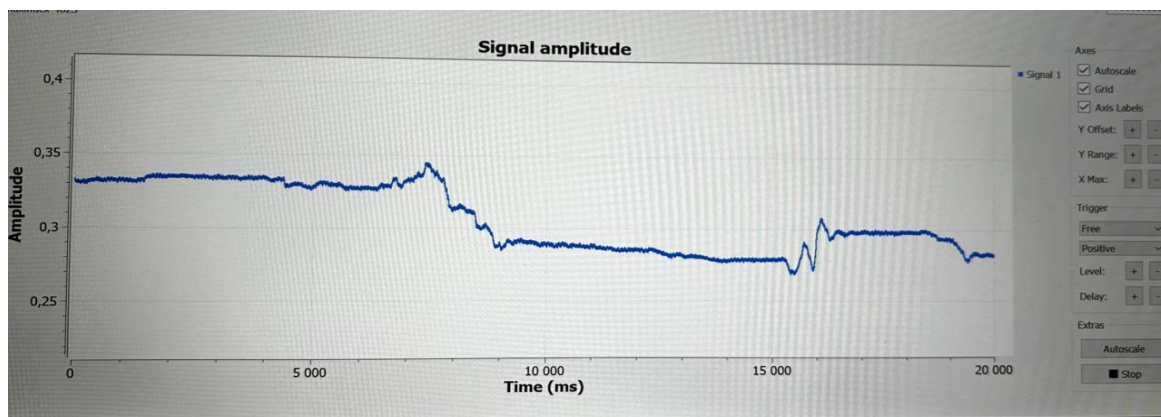


Рисунок 5 - Графический интерфейс программы обработки результатов измерений

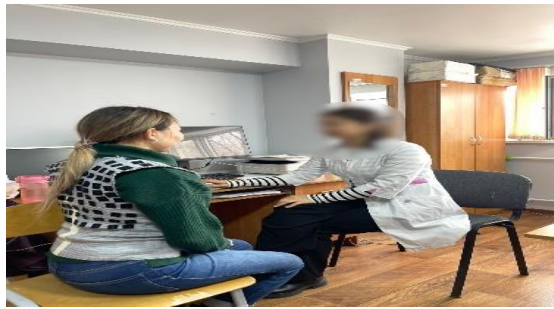
В ходе исследования были обследованы 10 добровольцев в возрасте от 20 до 50 лет, из них 6 женщин и 4 мужчины. Все участники находились в удовлетворительном состоянии здоровья, не имели патологий дыхательной системы и дали информированное согласие на участие в исследовании.

**Условия проведения исследования:**

- исследование проводилось в положении испытуемого сидя;
- измерения выполнялись в помещениях различного размера;
- исследование проводилось как в состоянии покоя, так и при движении и разговоре испытуемого.

Измерения выполнялись с использованием пульмонографа в одной точке передней поверхности грудной клетки в различных экспериментальных условиях. В ходе исследования применялась частота волны 1 ГГц.

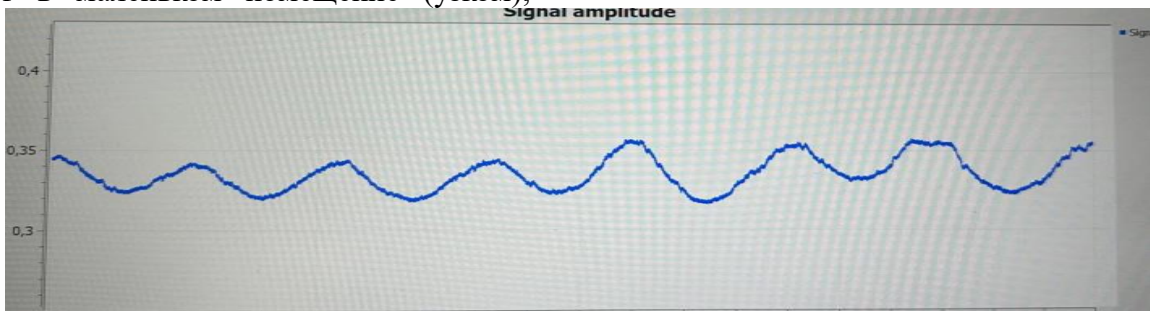
Результаты исследования и влияние различных факторов представлены на рисунках ниже. На рисунке 6 показано расположение исследователя и испытуемого и условия проведения данного исследования. Исследование проводится в небольшом помещении, в положение испытуемого сидя. Расстояние между испытуемым и исследователем примерно 1 метр.



**Рисунок 6** - Процесс проведения эксперимента

На рисунке 7 показаны результаты измерений, проведенных в малом помещении (узкая комната). Испытуемый сидит в маленьком помещении (узком),

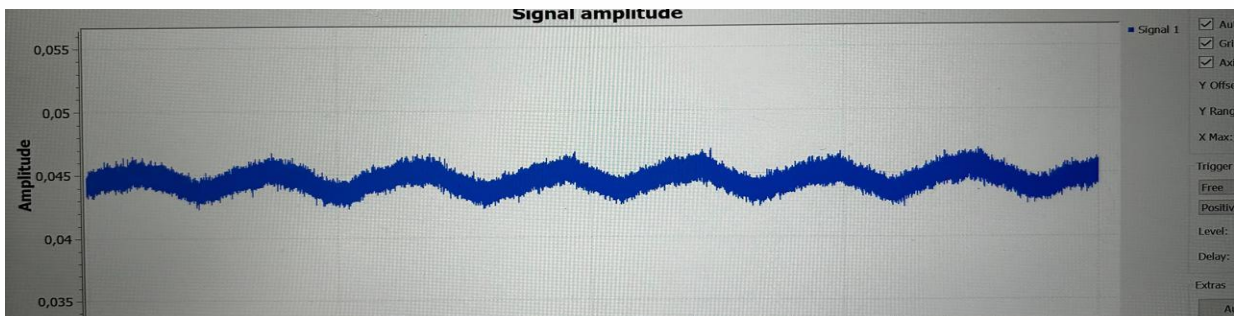
расстояние между испытуемым и исследователем примерно 1 метр. Max Hold –18.98 и Min Hold –19.75.



**Рисунок 7** - Пульмонограмма субъекта ( мужчина)

На рисунке 8 показаны результаты, когда испытуемый находится в узком помещении. Расстояние между испытуемым и исследователем составляло 1 метр, испытуемый сидит удобно, на расстоянии 3

метров наблюдался слабый шум. Max Hold – 35.84 и Min Hold– 36.22.



**Рисунок 8** - Пульмонограмма субъекта ( мужчина)

На рисунке 9 показаны результаты, когда испытуемая находится в узком помещении. Расстояние между испытуемым и исследователем составляло 1 метр, они

разговаривали друг с другом, и было зафиксировано незначительное движение. Max Hold – 36.17 и Min Hold– 37.63

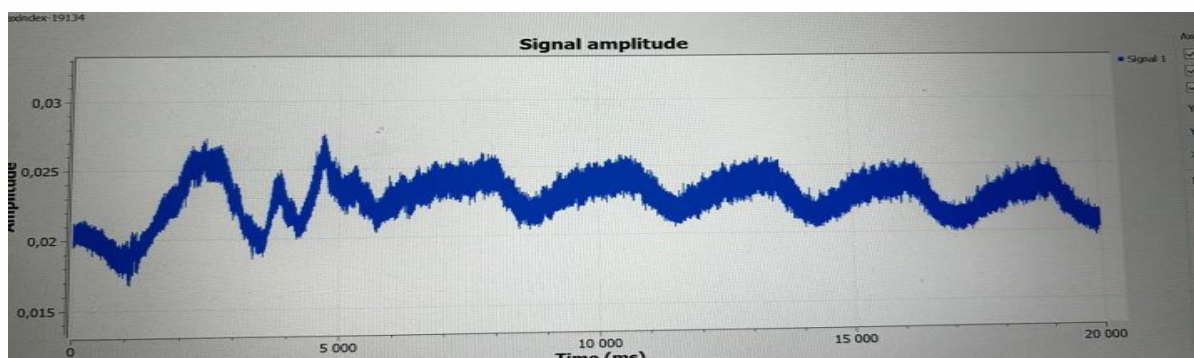


Рисунок 9 - Пульмограмма субъекта (женщина)

На рисунке 10 показаны результаты, когда испытуемая находится в узком помещении. Расстояние между испытуемым и исследователем составляло 1 метр, двигался и разговаривал только

испытуемый. Max Hold – 32.55 и Min Hold– 33.42

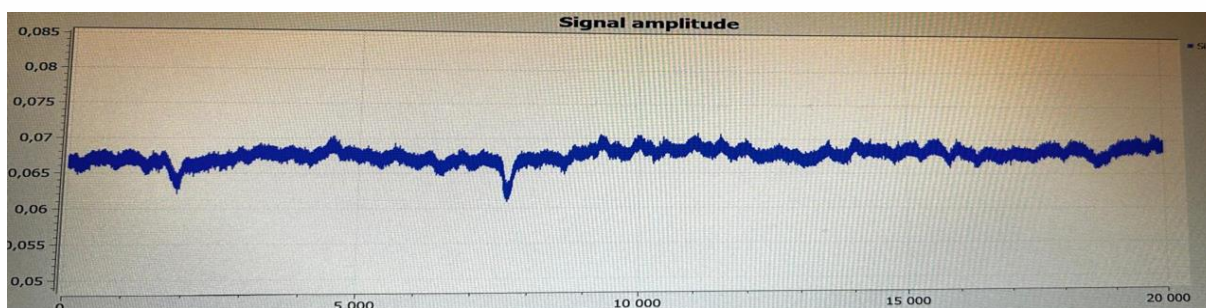


Рисунок 10 - Пульмограмма субъекта (женщина)

На рисунке 11 показаны результаты, полученные, когда испытуемая сидит в просторном помещении. Расстояние между исследователем и испытуемым составляло

1 метр, они были неподвижны, а уровень окружающего шума был высоким. Max Hold – 44.17 и Min Hold– 46.60

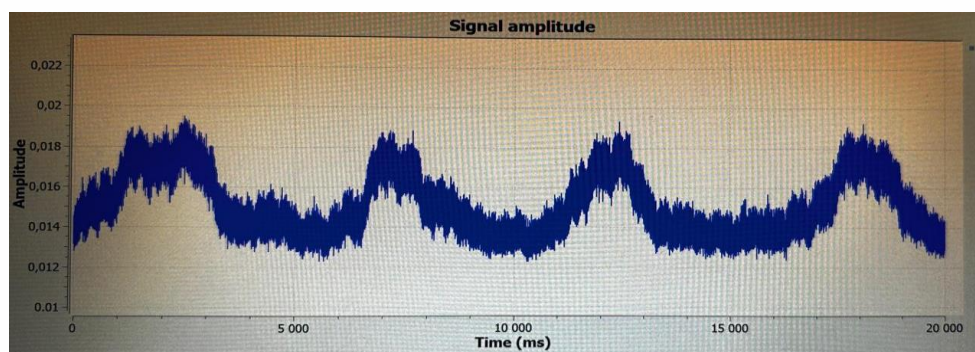


Рисунок 11 - Пульмограмма субъекта (женщина)

На рисунке 12 показаны результаты, полученные, когда испытуемый сидит в просторном помещении. Расстояние между исследователем и испытуемым составляло

1 метр, они были неподвижны, но разговаривали друг с другом, а окружающий шум был высоким. Max Hold – 39.59 и Min Hold–43.02.

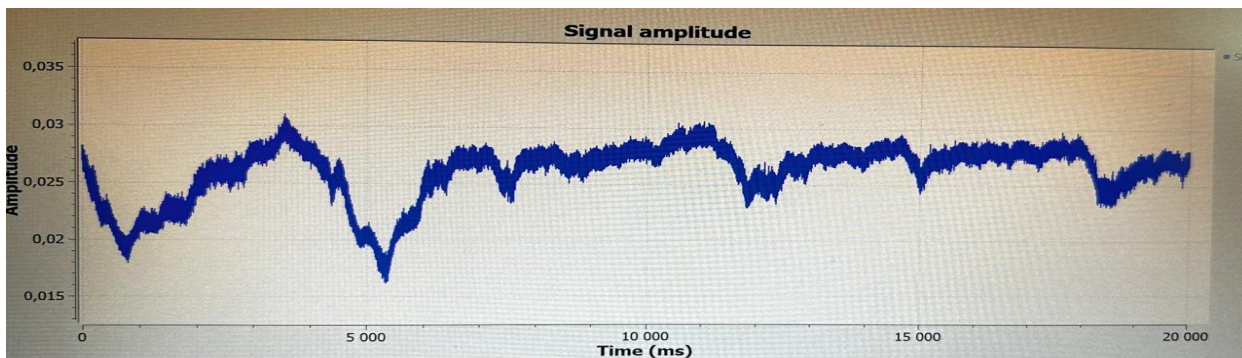


Рисунок 12 - Пульмонограмма субъекта (мужчина)

На рисунке 13 показаны результаты, когда испытуемый сидел в просторной комнате. Расстояние между исследователем и испытуемым составляло 1 метр, они двигались, разговаривали друг с другом, а

уровень окружающего шума был высоким. Max Hold – 37.35 и Min Hold– 46.69.

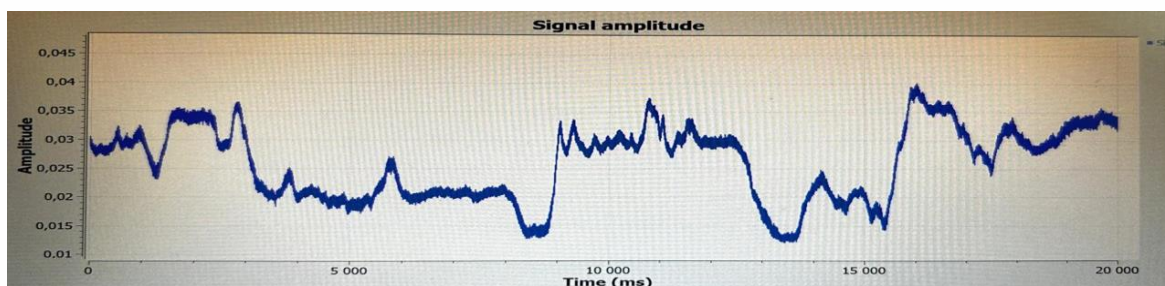


Рисунок 13 - Пульмонограмма субъекта (мужчина)

На рисунке 14 показаны результаты, полученные, когда испытуемая сидит в просторном помещении. Расстояние между исследователем и испытуемым составляло 1 метр, они двигались и разговаривали друг

с другом, вокруг был слышен незначительный шум. Кроме того, в трех метрах от меня неподвижно стояли люди. Max Hold – 37.81 и Min Hold– 43.29.

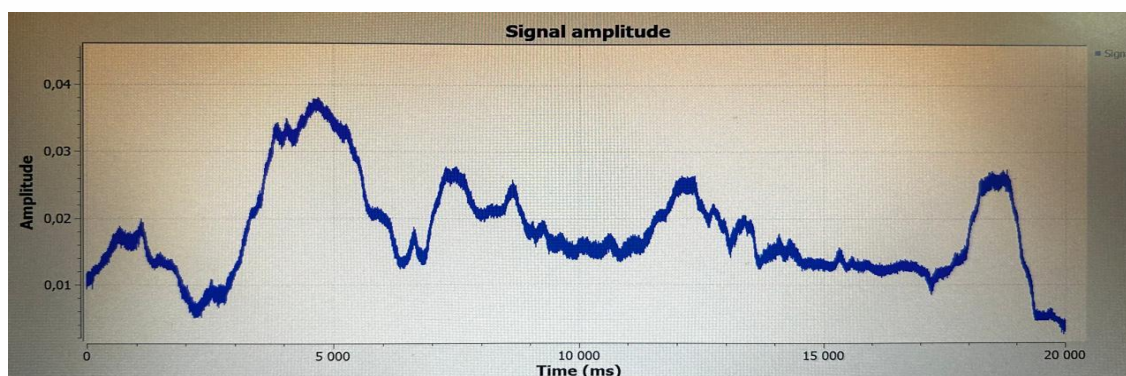


Рисунок 14 - Пульмонограмма субъекта (женщина)

На рисунке 15 показаны результаты, полученные, когда испытуемая стоит в просторном помещении. Расстояние между исследователем и испытуемым составляло 1 метр, не было резких движений во время

исследования, но они разговаривали друг с другом. На фоне был незначительный шум и расстоянии 3 метров также находились неподвижно стоящие люди. Max Hold – 34.39 и Min Hold– 35.16

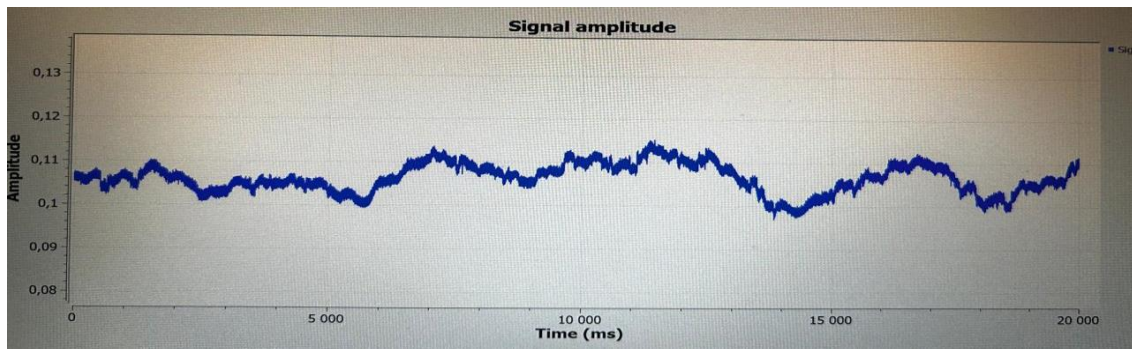


Рисунок 15 - Пульмонограмма субъекта (женщина)

Полученные результаты показали, что в зависимости от размеров помещения, в котором находился испытуемый, наблюдались различия в числовых и графических показателях сигнала. Разница между зарегистрированными сигналами варьировала в диапазоне от 0,31 до 9,34.

Минимальное изменение сигнала было зафиксировано у испытуемого мужского пола. В данном случае участник находился в положении сидя, без движения и разговора. Расстояние между испытуемым и исследователем составляло около 1 метра.

Наибольшее значение сигнала было зарегистрировано у испытуемой женского пола. Во время исследования участница находилась в положении сидя, совершала движения и вела разговор с исследователем, при этом в окружающей среде присутствовал шумовой фон.

Полученные результаты свидетельствуют о безопасности и простоте применения пульмонографа для оценки воздушности легких. Данный метод может рассматриваться как потенциальный инструмент для ранней диагностики и профилактики заболеваний органов дыхания.

В настоящее время данный метод остается экспериментальным и требует дальнейших клинических исследований.

**Заключение.** Настоящее пилотное исследование продемонстрировало техническую осуществимость применения пульмонографа как неинвазивного неионизирующего метода оценки воздушности легких на основе регистрации изменений распространения СВЧ-радиоволн через ткани грудной клетки в различные фазы дыхательного цикла.

Полученные графические и числовые данные подтверждают способность метода фиксировать изменения сигнала, ассоциированные с дыханием, а также отражают чувствительность измерений к условиям проведения исследования, включая размеры помещения, двигательную и речевую активность обследуемого и уровень фонового шума.

Клинически значимым преимуществом предложенного подхода являются отсутствие лучевой нагрузки, неинвазивный характер обследования, отсутствие необходимости в выполнении пациентом специальных маневров и возможность многократного применения в динамике. Эти особенности позволяют рассматривать пульмонографию как потенциально перспективный дополнительный инструмент функционального мониторинга состояния бронхолегочной системы, прежде всего в условиях первичной медико-санитарной помощи, при скрининговых обследованиях и в группах пациентов, для которых применение повторных лучевых исследований нежелательно.

Вместе с тем полученные результаты следует интерпретировать с учетом существенных ограничений исследования: доклинического и экспериментального характера работы, небольшого объема выборки, отсутствия контрольной группы и пациентов с подтвержденной бронхолегочной патологией, а также зависимости параметров сигнала от внешних факторов. В связи с этим на данном этапе пульмонограф не может рассматриваться как самостоятельная альтернатива стандартным методам диагностики, включая спирографию,

рентгенографию и компьютерную томографию, однако может представлять интерес как дополнительная технология ранней функциональной оценки и последующего мониторинга изменений воздушности легких.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на стандартизацию протокола измерений, минимизацию внешних помех, расширение выборки с включением пациентов различного возраста и с разными формами бронхолегочной патологии, а

также на сравнительную клиническую валидацию метода по отношению к общепринятым инструментальным и функциональным методам. Проведение таких исследований позволит определить воспроизводимость, диагностическую точность, чувствительность к патологическим изменениям и реальную клиническую ценность пульмографии в алгоритмах раннего выявления, стратификации риска и мониторинга заболеваний органов дыхания.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Информационный бюллетень ВОЗ от 16 марта 2023 г. Хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ). Доступно по ссылке: [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/chronic-obstructive-pulmonary-disease-\(copd\)](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/chronic-obstructive-pulmonary-disease-(copd)).
- 2 Березин И.И. Загрязнение атмосферного воздуха как фактор развития болезней дыхательной системы. Здоровье населения среда обитания 2018 ; 1 (298): 7–10
- 3 Авдеев С.Н. Функциональные тесты оценки силы дыхательных мышц в клинической практике. Пульмонология. 2004;(4):104-113.
- 4 Респираторная медицина : руководство : в 3 т. / под ред. А. Г. Чучалина. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Литтерра, 2017. — Т. 1. — 640 с. : ил. ISBN 978-5-4235-0262-1 (т. 1)
- 5 Семерник О. Е., Демьяненко А. В., Семерник И. В., Лебеденко А. А. Проектирование прибора для диагностики бронхиальной астмы у детей раннего возраста // Актуальные проблемы и достижения в медицине : сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-практ. конф. — Самара : Инновационный центр развития образования и науки, 2015. — 7 апреля. — С. 136–138.
- 6 Клинические протоколы МЗ РК «Внебольничная пневмония у взрослых» 2019. Доступно по ссылке: <https://diseases.medelement.com/disease/внебольничная-пневмония-у-взрослых-кр-рк-2019/17355>.
- 7 Sanchez B, Vandersteen G, Martin I, et al. In vivo electrical bioimpedance characterization of human lung tissue during the bronchoscopy procedure. A feasibility study. MedEngPhys. 2013;35(7):949-957. doi:10.1016/j.medengphy.2012.09.004.
- 8 Vassilyev I, Mendakulov Z. Electromagnetic Imaging for Breathing Monitoring. Sensors. 2024; 24(23):7722. doi: 10.3390/s24237722
- 9 I.V. Vassilyev, V.V. Nikitin, Zh.K. Mendakulov, N.I. Troitskaya, Microwave system for diagnosing diseases of the bronchopulmonary system, 2021. KZ Patent No. 35720, Filed June 2nd., 2021, Issued June 24th., 2022. Available from: <https://gosreestr.kazpatent.kz/Invention/DownloadFilePdf?patentId=343634&lang=ru>
- 10 Ain K, Kurniadi D, Suprijanto S, Santoso O. Lungs anomaly detection by filtered back projection reconstruction method in electrical impedance tomography. In Proceedings of 2013 3rd International Conference on Instrumentation, Control and Automation, ICA 2013. IEEE Computer Society. 2013. p. 133-137. 6734059. (Proceedings of 2013 3rd International Conference on Instrumentation, Control and Automation, ICA 2013). doi: 10.1109/ICA.2013.6734059.\

### REFERENCES:

- 1 WHO fact sheet 16 March 2023. Chronic obstructive pulmonary disease (COPD). Available at: [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/chronic-obstructive-pulmonary-disease-\(copd\)](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/chronic-obstructive-pulmonary-disease-(copd)).
- 2 Berezin I.I. Air pollution as a factor in the development of diseases of the respiratory system. Zdorov'enaseleniya i sreda obitaniya 2018; 1 (298): 7–10
- 3 Avdeev S.N. Functional tests for assessing respiratory muscle strength in clinical practice. Pulmonology. 2004;(4):104-113.
- 4 Respiratory Medicine: A Handbook: in 3 volumes / edited by A. G. Chuchalin. — 2nd edition, revised and enlarged. — Moscow: Litterra, 2017. — Vol. 1. — 640 p.: ill. ISBN 978-5-4235-0262-1 (vol. 1)
- 5 Semernik O. E., Demyanenko A. V., Semernik I. V., Lebedenko A. A. Design of a device for diagnosing bronchial asthma in young children // Actual problems and achievements in medicine: collection of scientific papers based on the

results of the international scientific and practical conference. — Samara: Innovative center for the development of education and science, 2015. — April 7. — P. 136–138.

6 Clinical protocols of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan "Community-acquired pneumonia in adults" 2019. Available at: <https://diseases.medelement.com/disease/внебольничная-пневмония-у-взрослых-кр-рк-2019/17355>

7 Sanchez B, Vandersteen G, Martin I, et al. In vivo electrical bioimpedance characterization of human lung tissue during the bronchoscopy procedure. A feasibility study. *MedEngPhys.* 2013;35(7):949-957. doi:10.1016/j.medengphys.2012.09.004.

8 Vassilyev I, Mendakulov Z. Electromagnetic Imaging for Breathing Monitoring. *Sensors.* 2024; 24(23):7722. doi: 10.3390/s24237722

9 I.V. Vassilyev, V.V. Nikitin, Zh.K. Mendakulov, N.I. Troitskaya, Microwave system for diagnosing diseases of the bronchopulmonary system, 2021. KZ Patent No. 35720, Filed June 2nd., 2021, Issued June 24th., 2022. Available from: <https://gosreestr.kazpatent.kz/Invention/DownloadFilePdf?patentId=343634&lang=ru>

10 Ain K, Kurniadi D, Suprijanto S, Santoso O. Lungs anomaly detection by filtered back projection reconstruction method in electrical impedance tomography. In Proceedings of 2013 3rd International Conference on Instrumentation, Control and Automation, ICA 2013. IEEE Computer Society. 2013. p. 133-137. 6734059. (Proceedings of 2013 3rd International Conference on Instrumentation, Control and Automation, ICA 2013). doi: 10.1109/ICA.2013.6734059.

**Вклад авторов.** Разработку идеи исследования выполнил Ж. Мендакулов. Разработка методологии осуществлялась Г. Есетовой и Ж. Мендакуловым. Обработку данных выполнили: А. Толеген, Б. Рахимжанова. Подготовку оригинального проекта выполнили А. Толеген и Б. Рахимжанова. Рецензирование и научное редактирование: выполнено Есетовой Г.У.

**Конфликт интересов** - не заявлен. Данный материал не был заявлен ранее для публикации в других изданиях и не находился на рассмотрении другими издательствами.

**Финансирование** - Данное исследование финансируется Научным комитетом Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP23488582).

#### Авторлардың қосқан үлесі.

Зерттеу идеясын әзірлеуді Ж. Мендакулов жүргізді. Әдістемені әзірлеуді Г. Есетова, Ж. Мендакулов жүзеге асырды. Деректерді өңдеуді Толеген А.Ж., Рахимжанова Б. орындады. Түпнұсқа жобаны Толеген А.Ж., Рахимжанова Б. дайындады. Рецензиялау және ғылыми редакциялауды Есетова Г.У. орындады.

**Мүдделер қақтығысы** - жарияланбаған. Бұл материал бұрын жарияланбаған, басқа басылымдарда жариялау үшін және басқа баспалардың қарауында ұсынылмаған.

**Қаржыландыру** - Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырады (Грант № AP23488582)

#### The contribution of the authors.

The research idea was developed by Zh. Mendakulov. The methodology was developed by G. Yessetova, Zh. Mendakulov. The data was processed by A. Tolegen, B. Rakhimzhanova. The original project was prepared by A. Tolegen, B. Rakhimzhanova. The review and scientific editing were performed by Yessetova G.

**Conflict of interest** - not stated. This material has not been previously submitted for publication in other publications and is not under review by other publishers.

**Funding** - This research is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP23488582)

#### Сведения об авторах:

**Есетова Гульстан Утегеновна** - заведующая кафедры пульмонологии КазНМУ имени С. Асфендиярова, г. Алматы, Казахстан

Тел.: +7 701 786 3009

E-mail: [Yessetova.g@kaznmu.kz](mailto:Yessetova.g@kaznmu.kz)

ORCID: 0000-0002-5562-8853

**Мендакулов Жасулан Корабаевич** - PhD по Радиотехнике, электронике и телекоммуникациям. Научный консультант ТОО СКТБ «Гранит». **Корреспондирующий автор**

Тел.: +7(705)1391650

E-mail: [m\\_m\\_zhas@mail.ru](mailto:m_m_zhas@mail.ru)

ORCID: 0000-0002-3818-404X

**Толеген Айзере Женисқызы** - резидент 2 года обучения по специальности «Пульмонология взрослая, детская» кафедры пульмонологии КазНМУ им. С. Асфендиярова, г. Алматы, Казахстан.

Тел.: +7(747)5758264

E-mail: [aizere.tolegenn@icloud.com](mailto:aizere.tolegenn@icloud.com)

ORCID: 0009-0007-8956-357X

**Рахимжанова Балжан Талгатбековна** - резидент 2 года обучения по специальности «Пульмонология взрослая,

детская» кафедры пульмонологии КазНМУ им. С. Асфендиярова, г. Алматы, Казахстан.

Тел.: +7(707) 1511494

E-mail: [baldajzhan@bk.ru](mailto:baldajzhan@bk.ru)

ORCID: 0009-0009-1359-9669

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Гүлстан Өтегенқызы Есетова** - С.Д. Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медицина университетінің пульмонология кафедрасының меңгерушісі, Алматы, Қазақстан.

Тел.: +7 701 786 3009

E-mail: [Yessetova.g@kaznmu.kz](mailto:Yessetova.g@kaznmu.kz)

ORCID: 0000-0002-5562-8853

**Жасұлан Қорабайұлы Мендақұлов** - Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар бойынша PhD, «Гранит» СКТБ ЖШС ғылыми консультанты, Алматы, Қазақстан. **Хат-хабар алмасуға жауапты автор**

Тел.: +7 705 139 1650

E-mail: [m\\_m\\_zhas@mail.ru](mailto:m_m_zhas@mail.ru)

ORCID: 0000-0002-3818-404X

**Айзере Жеңісқызы Төлеген** - С.Д. Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медицина университеті пульмонология кафедрасының «Ересектер, балалар пульмонологиясы» мамандығы бойынша 2-курс резиденті, Алматы, Қазақстан.

Тел.: +7 747 575 8264

E-mail: [aizere.tolegenn@icloud.com](mailto:aizere.tolegenn@icloud.com)

ORCID: 0009-0007-8956-357X

**Балжан Талғатбекқызы Рахимжанова** - С.Д. Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медицина университеті пульмонология кафедрасының «Ересектер, балалар пульмонологиясы» мамандығы бойынша 2-курс резиденті, Алматы, Қазақстан.

Тел.: +7 707 151 1494

E-mail: [baldajzhan@bk.ru](mailto:baldajzhan@bk.ru)

ORCID: 0009-0009-1359-9669

**Information about the authors:**

**Gulstan U. Yessetova** - Head of the Department of Pulmonology, Asfendiyarov Kazakh National Medical University, Almaty, Kazakhstan.

Tel.: +7 701 786 3009

E-mail: [Yessetova.g@kaznmu.kz](mailto:Yessetova.g@kaznmu.kz)

ORCID: 0000-0002-5562-8853

**Zhasulan K. Mendakulov** - PhD in Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, Scientific Consultant, SKTB Granit LLP, Almaty, Kazakhstan. **Corresponding author**

Tel.: +7 705 139 1650

E-mail: [m\\_m\\_zhas@mail.ru](mailto:m_m_zhas@mail.ru)

ORCID: 0000-0002-3818-404X

**Aizere Zh. Tolegen** - 2nd-year Resident in Adult and Pediatric Pulmonology, Department of Pulmonology, Asfendiyarov Kazakh National Medical University, Almaty, Kazakhstan.

Tel.: +7 747 575 8264

E-mail: [aizere.tolegenn@icloud.com](mailto:aizere.tolegenn@icloud.com)

ORCID: 0009-0007-8956-357X

**Balzhhan T. Rakhimzhanova** - 2nd-year Resident in Adult and Pediatric Pulmonology, Department of Pulmonology, Asfendiyarov Kazakh National Medical University, Almaty, Kazakhstan.

Tel.: +7 707 151 1494

E-mail: [baldajzhan@bk.ru](mailto:baldajzhan@bk.ru)

ORCID: 0009-0009-1359-9669