



\*Сырхаева А.А.<sup>1</sup>, Шария М.А.<sup>1,3</sup>, Насонова С.Н.<sup>1</sup>, Жиров И.В.<sup>1,2</sup>,  
Ширкин А.В.<sup>1</sup>, Терещенко С.Н.<sup>1</sup>, Терновой С.К.<sup>1,3</sup>

## ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЛЕМИЧЕСКОГО СТАТУСА МЕТОДОМ ДИСТАНЦИОННОГО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ СРАВНЕНИИ С КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИЕЙ С ОДНОВРЕМЕННЫМ ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ДЫХАТЕЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ПРИ ПОМОЩИ СПИРОМЕТРИИ У ПАЦИЕНТОВ С ОСТРОЙ ДЕКОМПЕНСАЦИЕЙ СЕРДЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ

<sup>1</sup>ФГБУ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР КАРДИОЛОГИИ ИМЕНИ АКАДЕМИКА Е.И. ЧАЗОВА» Минздрава России, ул. Академика Чазова, д. 15а, Москва 121552, Российская Федерация;

<sup>2</sup>Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, ул. Баррикадная, д. 2/1, Москва 125993, Российская Федерация;

<sup>3</sup>Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский университет), ул. Большая Пироговская, д. 2, стр. 4, Москва 119991, Российская Федерация.

\***Ответственный автор:** Сырхаева Агунда Артуровна, аспирант отдела заболеваний миокарда и сердечной недостаточности, ФГБУ «НМИЦ кардиологии им. ак. Е.И. Чазова» Минздрава России, ул. Академика Чазова, д. 15а, Москва 121552, Российская Федерация, a-arturovna@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2943-8271>  
**Шария Мераб Арчилович**, д.м.н., вед. науч. сотр., отдел томографии, ФГБУ «НМИЦ кардиологии им. ак. Е.И. Чазова» Минздрава России; проф. каф. лучевой диагностики, Первый МГМУ имени И.М. Сеченова (Сеченовский университет), Москва, Российская Федерация, <https://orcid.org/0000-0002-0370-5204>  
**Насонова Светлана Николаевна**, к.м.н., ст. науч. сотр., отдел заболеваний миокарда и сердечной недостаточности, ФГБУ «НМИЦ кардиологии им. ак. Е.И. Чазова» Минздрава России, Москва, Российская Федерация, <https://orcid.org/0000-0002-0920-7417>  
**Жиров Игорь Витальевич**, д.м.н., вед. науч. сотр., отдел заболеваний миокарда и сердечной недостаточности, ФГБУ «НМИЦ кардиологии им. ак. Е.И. Чазова» Минздрава России; проф. каф. кардиологии, РМАНПО; Москва, Российская Федерация, <https://orcid.org/0000-0002-4066-2661>  
**Ширкин Андрей Викторович**, аспирант отдела томографии, ФГБУ «НМИЦ кардиологии им. ак. Е.И. Чазова» Минздрава России, Москва, Российская Федерация, <https://orcid.org/0009-0004-3327-8778>  
**Терещенко Сергей Николаевич**, д.м.н., руководитель отдела заболеваний миокарда и сердечной недостаточности, ФГБУ «НМИЦ кардиологии им. ак. Е.И. Чазова» Минздрава России, Москва, Российская Федерация, <https://orcid.org/0000-0001-9234-6129>  
**Терновой Сергей Константинович**, д.м.н., проф., рук. отдела томографии, ФГБУ «НМИЦ кардиологии им. ак. Е.И. Чазова» Минздрава России; зав. каф. лучевой диагностики, Первый МГМУ имени И.М. Сеченова (Сеченовский университет), Москва, Российская Федерация, <https://orcid.org/0000-0003-4374-1063>

### РЕЗЮМЕ

**Цель.** Оценить и сравнить точность определения волемического статуса методом дистанционного диэлектрического исследования (ДДИ) с компьютерной томографией (КТ) с одновременным определением дыхательного профиля с помощью спирометрии у пациентов с острой декомпенсацией сердечной недостаточности (ОДСН).

**Материал и методы.** У 33 пациентов с хронической сердечной недостаточностью (ХСН), госпитализированных в стационар в связи с ОДСН, дважды за время госпитализации (в день поступления и в день выписки из стационара) проводилось определение волемического статуса с помощью дистанционного диэлектрического исследования (ДДИ), КТ органов грудной клетки (ОГК). Результаты определения средней плотности ткани легких из единиц Хаунсфилда [НУ] конвертировали в уровень жидкости (УЖ%) что позволило сравнить их с показателями ДДИ. Одновременно для оценки влияния физической нагрузки на динамику застоя в легких проводился тест 6-минутной ходьбы (6ТШХ) с последующим определением волемического статуса методом ДДИ. **Результаты.** Выявлена средняя корреляционная связь между данными КТ

ОГК и ДДИ ( $r = +0,0$ ,  $p = 0,0002$ ). В динамике статистически значимо снизились показатели гиперволемии, по данным КТ ОГК, что отражалось и в снижении показателя ДДИ. Содержание жидкости в легких по данным ДДИ в среднем при поступлении составило  $37,1 \pm 5,3\%$ , при выписке –  $34,2 \pm 4,1\%$  ( $p = 0,0155$ ). СПТЛ, по данным КТ ОГК, при поступлении составила  $26,5 \pm 6,4$  при выписке –  $22,7 \pm 5,6$  ( $P < 0,0001$ ). Выявлены различия в показателях ДДИ до и после физической нагрузки (6ТШХ) –  $35,2 \pm 4,2\%$  по сравнению с исходным показателем –  $34,2 \pm 4,1\%$  ( $p = 0,0001$ ). Между показателем ДДИ до и после 6ТШХ при выписке была выявлена сильная корреляционная связь ( $r = +0,7$ ,  $p = 0,0001$ ).

**Выводы.** Результаты исследования демонстрируют значимую корреляционную связь между данными, полученными с помощью системы ДДИ и КТ ОГК. Необходимо отметить, что применение метода ДДИ может быть перспективным в диагностике венозного застоя в легких (ВЗЛ) и использоваться у пациентов с ОДСН как для определения эффективности проводимой терапии, так и для выявления готовности пациента к выписке из стационара.

**Ключевые слова:** острая декомпенсация сердечной недостаточности, дистанционное диэлектрическое исследование, волемический статус, компьютерная томография

**Информация о соблюдении этических норм.** Протокол исследования был одобрен этическим комитетом ФГБУ «НМИЦ кардиологии им. академика Е.И. Чазова» Минздрава России, протокол №273 заседания Комитета по этике от 22 ноября 2021 г.

**Вклад авторов:** все авторы соответствуют критериям авторства ICMJE, принимали участие в подготовке статьи, наборе материала и его обработке. Авторы декларируют соответствие своего авторства согласно таксономии CRediT: Сырхаева А.А., Насонова С.Н., Ширкин А.В. – концептуализация, разработка методологии и содержания рукописи, получение и анализ фактических данных, написание и редактирование текста статьи.

Шария М.А., Жиров И.В., Терещенко С.Н., Терновой С.К. – научное руководство исследованием, формулирование идеи, проверка и утверждение рукописи.

**Конфликт интересов:** Авторы статьи Терновой С.К. и Шария М.А. являются членами редакционной коллегии журнала «Евразийский Кардиологический Журнал», но не имеют никакого отношения к решению опубликовать эту статью. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов или личных отношений, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Финансирование статьи.** Не осуществлялось.

✉ A-ARTUROVNA@LIST.RU

**Для цитирования:** Сырхаева А.А., Шария М.А., Насонова С.Н., Жиров И.В., Ширкин А.В., Терещенко С.Н., Терновой С.К. Точность определения волемического статуса методом дистанционного диэлектрического исследования при сравнении с компьютерной томографией с одновременным определением дыхательного профиля при помощи спирометрии у пациентов с острой декомпенсацией сердечной недостаточности. Евразийский кардиологический журнал. Май 2024;(2):96-100. <https://doi.org/10.38109/2225-1685-2024-2-96-100>

Рукопись получена: 01.08.2023 | Рецензия получена: 15.08.2023 | Принята к публикации: 19.02.2024

© Сырхаева А.А., Шария М.А., Насонова С.Н., Жиров И.В., Ширкин А.В., Терещенко С.Н., Терновой С.К., 2024

Данная статья распространяется на условиях «открытого доступа», в соответствии с лицензией CC BY-NC-SA 4.0 («Attribution-NonCommercial-ShareAlike» / «Атрибуция-Некоммерчески-Сохранение Условий» 4.0), которая разрешает неограниченное некоммерческое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии указания автора и источника. Чтобы ознакомиться с полными условиями данной лицензии на русском языке, посетите сайт: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ru>



\*Agunda A. Syrkhayeva<sup>1</sup>, Merab A. Shariya<sup>1,3</sup>, Svetlana N. Nasonova<sup>1</sup>, Igor V. Zhirov<sup>1,2</sup>,  
Andrey V. Shirkin<sup>1</sup>, Sergey N. Tereshchenko<sup>1</sup>, Sergey K. Ternovoy<sup>1,3</sup>

## ACCURACY OF DETERMINATION OF THE VOLEMIC STATUS BY REMOTE DIELECTRIC SENSING IN COMPARISON WITH COMPUTED TOMOGRAPHY WITH SIMULTANEOUS DETERMINATION OF RESPIRATORY PROFILE USING SPIROMETRY IN PATIENTS WITH ACUTE DECOMPENSATION OF HEART FAILURE

<sup>1</sup>E.I. CHAZOV NATIONAL MEDICAL RESEARCH CENTRE OF CARDIOLOGY, 15A AKADEMIKA CHAZOVA ST., MOSCOW 121552, RUSSIAN FEDERATION;  
<sup>2</sup>RUSSIAN MEDICAL ACADEMY OF CONTINUOUS PROFESSIONAL EDUCATION, 2/1, BLDG. 1, BARRIKADNAYA ST., MOSCOW 125993, RUSSIAN FEDERATION;  
<sup>3</sup>I.M. SECHENOV FIRST MOSCOW STATE MEDICAL UNIVERSITY (SECHENOV UNIVERSITY), BOLSHAYA PIROGOVSKAYA ST., 2, BLDG. 4, MOSCOW 119991, RUSSIAN FEDERATION;

**\*Corresponding author: Agunda A. Syrkhayeva**, Postgraduate Student, the Department of Myocardial Diseases and Heart Failure, E.I. Chazov National Medical Research Centre of Cardiology, 15a Akademika Chazova St., Moscow 121552, Russian Federation, a-arturovna@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2943-8271>  
**Merab A. Shariya**, Dr. of Sci. (Med.), Leading Researcher, the Department of Tomography, E.I. Chazov National Medical Research Centre of Cardiology; Professor, Department of Radiologic Diagnostics, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0370-5204>  
**Svetlana N. Nasonova**, Cand. of Sci. (Med.), Senior Researcher, the Department of Myocardial Diseases and Heart Failure, E.I. Chazov National Medical Research Centre of Cardiology, Moscow, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0920-7417>  
**Igor V. Zhirov**, Dr. of Sci. (Med.), Leading Researcher, the Department of Myocardial Diseases and Heart Failure, E.I. Chazov National Medical Research Centre of Cardiology; Professor of the Department of Cardiology, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-4066-2661>  
**Andrey V. Shirkin**, Postgraduate Student, the Tomography Department, E.I. Chazov National Medical Research Centre of Cardiology, Moscow, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0004-3327-8778>  
**Sergey N. Tereshchenko**, Dr. of Sci. (Med.), Professor, Chief Researcher, the Department of Myocardial and Cardiac Diseases, E.I. Chazov National Medical Research Centre of Cardiology, Moscow, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-9234-6129>  
**Sergey K. Ternovoy**, Dr. of Sci. (Med.), Professor, Chief Researcher, the Department of Tomography, E.I. Chazov National Medical Research Centre of Cardiology; Head of the Department of Radiologic Diagnostics, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-4374-1063>

### SUMMARY

**Aim.** To evaluate and compare the accuracy of determining volemic status by remote dielectric sensing (ReDS) with computed tomography (CT) in patients with acute decompensated heart failure (ADHF).

**Materials and methods.** In 33 patients with chronic heart failure (CHF) hospitalized in the hospital due to acute decompensation of heart failure, twice during hospitalization (on the day of admission and on the day of discharge from the hospital) the determination of the volemic status was performed using ReDS, chest computed tomography (CCT) and chest X-ray. ReDS measurement was compared with CT data using software that allows the use of semi-automated tools to determine mean lung tissue density (MLD). MLD results from Hounsfield units [HU] were converted to fluid levels (HU %), which allowed comparison with ReDS values. In addition, to assess the effect of physical activity on the dynamics of pulmonary congestion, a 6-minute walk test (6MWT) were performed with

subsequent determination of the volemic status by the ReDS method.

**Results.** A medium correlation was found between CCT and ReDS data ( $r = +6.0$ ,  $p = 0.0002$ ). In the dynamics statistically significant decrease of hypervolemia according to CCT data, which was reflected in the decrease of ReDS index. The fluid content in lungs according to ReDS on average at admission amounted to  $37.1 \pm 5.3\%$ , at discharge  $34.2 \pm 4.1\%$  ( $p = 0.0155$ ). MLD according to CCT at admission was  $26.5 \pm 6.4$  at discharge  $22.7 \pm 5.6$  ( $P < 0.0001$ ). At the same time positive dynamics of NT-proBNP concentration was determined, which decreased by  $45.6\%$  ( $p = 0.0069$ ). Differences in ReDS before and after physical activity 6MWT was revealed  $-35.2 \pm 4.2\%$  in comparison with the initial index  $34.2 \pm 4.1\%$  ( $p = 0.0001$ ). A strong correlation was found between the ReDS score before and after 6MWT at discharge ( $r = +0.7$ ,  $p = 0.0001$ ).

**Key words:** acute decompensation of heart failure, remote dielectric sensing, volemic status, computed tomography

**Ethical Compliance Information.** The study protocol was approved by the ethics committee of the E.I. Chazov National Medical Research Center of Cardiology, protocol No. 273 of the meeting of the Ethics Committee dated November 22, 2021.

**Authors' contributions.** All authors meet the ICMJE criteria for authorship, participated in the preparation of the article, the collection of material and its processing. CRediT author statement: Agunda A. Syrkhayeva, Svetlana N. Nasonova, Andrey V. Shirkin – conceptualization, development of the methodology and content of the manuscript, obtaining and analyzing evidence, writing and editing the text of the article. Merab A. Shariya, Igor V. Zhirov, Sergey N. Tereshchenko,

Sergey K. Ternovoy – scientific guidance of the study, formulation of the idea, verification and approval of the manuscript.

**Conflict of interest:** The authors of the article Sergey K. Ternovoy and Merab A. Shariya are members of the associate editors of Eurasian heart journal, but they have nothing to do with the decision to publish this article. The article passed the peer review procedure adopted in the journal. The authors declare no apparent and potential conflicts of interest or personal relationships related to the publication of this article.

**Conflict of interest:** The authors declare no conflict of interest.

**Funding for the article:** none.

✉ A-ARTUROVNA@LIST.RU

**For citation:** Agunda A. Syrkhayeva, Merab A. Shariya, Svetlana N. Nasonova, Igor V. Zhirov, Andrey V. Shirkin, Sergey N. Tereshchenko, Sergey K. Ternovoy. Accuracy of determination of the volemic status by remote dielectric sensing in comparison with computed tomography with simultaneous determination of respiratory profile using spirometry in patients with acute decompensation of heart failure. Eurasian heart journal. May 2024;(2):96-100 (In Russ.). <https://doi.org/10.38109/2225-1685-2024-2-96-100>

**Received:** 01.08.2023 | **Revision Received:** 15.08.2023 | **Accepted:** 19.02.2024

© Agunda A. Syrkhayeva, Merab A. Shariya, Svetlana N. Nasonova, Igor V. Zhirov, Andrey V. Shirkin, Sergey N. Tereshchenko, Sergey K. Ternovoy, 2024

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

## ВВЕДЕНИЕ

Раннее выявление застоя в легких и наблюдение за пациентами с острой сердечной недостаточностью (ОСН) могут предотвратить декомпенсацию, свести к минимуму количество госпитализаций и улучшить прогноз [1].

Существуют методы дистанционного мониторинга, направленные на предотвращение повторной госпитализации, которые в первую очередь зависят от обучения пациента и соблюдения им определенных правил. Изменение выраженности или появление новых клинических симптомов, таких как отеки, пароксизмальная ночная одышка, ортопноэ или повышенная утомляемость, часто возникают слишком поздно для возможной коррекции лечения на амбулаторном этапе [2].

Основополагающим фактором ведения пациентов с ОДСН является контроль волемии. Кроме того, важная роль отводится выявлению и количественному определению степени венозного застоя (по возможности). Венозный застой в легких (ВЗЛ) – одно из самых распространенных состояний у пациентов с ОДСН, которое встречается при рутинной визуализации грудной клетки. Именно поэтому его оценка является ключевым фактором при ведении пациентов с СН как в стационарных, так и в амбулаторных условиях.

КТ грудной клетки – «золотой стандарт» неинвазивной оценки застоя в легких. Принципиальные преимущества использования КТ по сравнению с обычной рентгенографией заключаются в том, что можно количественно определить плотность инфильтратов, пространственное распределение отека, выявить сопутствующую клинически значимую патологию. Единицы Хаунсфилда, количественно отражающие рентгеновскую плотность легких при КТ, могут быть откалиброваны по объектам или веществам. Но очевидно, что этот метод не является приемлемым в рутинной практике и сопряжен с воздействием ионизирующего излучения [3].

В последние годы большой интерес представляет технология дистанционного диэлектрического исследования (ДДИ), позволяющего неинвазивно оценить волемический статус пациентов с ОДСН. В данной технологии используются маломощные электромагнитные импульсы, проходящие через ткани от излучателя к приемнику и представляющие собой два круглых устройства, первый из которых фиксируется на спине у пациента, а последний – на грудной клетке.

Ранее нами [4] были представлены результаты исследования по возможности клинического применения данной методики. В настоящей работе мы сфокусировались на получении доказательств сравнения ДДИ с измерениями, проведенными при помощи КТ ОГК (в настоящее время является «золотым стандартом» именно количественного определения содержания жидкости в легких).

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследование было включено 33 пациента. Критерии включения и исключения, а также методика исследования были описаны ранее [4].

Перед включением в исследование все пациенты подписывали информированное согласие на участие в исследовании, а также согласие на проведение КТ ОГК. Протокол исследования был одобрен этическим комитетом ФГБУ «НМИЦ кардиологии им. академика Е.И. Чазова» Минздрава России, протокол № 273 заседания Комитета по этике от 22 ноября 2021 г.

Система ДДИ выполняет непрерывные измерения с высоким временным разрешением, что приводит к получению многочисленных измеренных значений (>100) во время каждого дыхательного цикла, что, в свою очередь, требует внесения поправки на различия в количестве воздуха в легких между из-

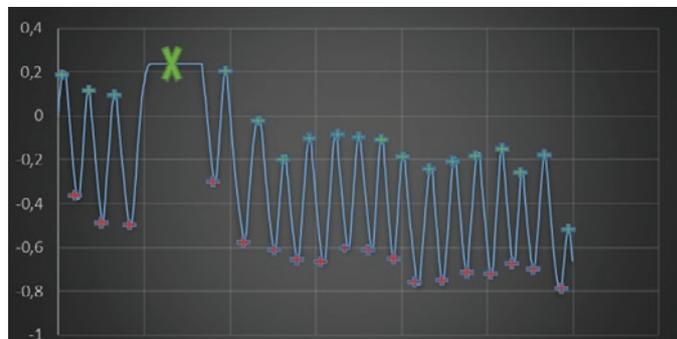
мерениями ДДИ и КТ ОГК. Это было достигнуто путем измерения дыхательного профиля во время КТ и ДДИ с помощью стандартного спирометра. Для регистрации объема воздуха в конкретный момент времени задержки дыхания пациенты дышали через спирометр (модель MIR Spirobank II Basic). Это дало возможность коррекции объема воздуха в легких при проведении сравнения соответствующих измерений КТ ОГК и ДДИ. Пример записи дыхательного профиля приведен на рисунке 1. Спирометр позволил определить количество дополнительного воздуха в легких в той временной точке дыхательного цикла, в которой происходило КТ-сканирование.

Результаты сканирования КТ ОГК сохранялись на диске и в последующем анализировались на рабочей станции томографа с использованием программного обеспечения для анализа томограмм легких (Volume Calc), которое позволяет использовать полуавтоматические инструменты для определения средней плотности ткани легких (СПТЛ). СПТЛ определяется как среднее значение ослабления всех сигналов, относящихся к легким, и измеряется в единицах Хаунсфилда.

Различные ткани, в зависимости от плотности, по-разному поглощают излучение, поэтому в настоящее время для каждой ткани и органа установлен физиологический коэффициент абсорбции (КА) по шкале HU. Согласно этой шкале, КА воды принят за 0 HU; воздуха, имеющего наименьшую плотность, за –1000 HU. Ослабленное рентгеновское излучение каждого среза регистрируется компьютером, суммируется и представляется в виде изображения исследуемой тканевой структуры.

Так как не существует установленного порогового значения HU для нормального легкого и легкого с застоем, мы взяли нижний и верхний усредненный предел значения HU: –780 – для здорового легкого и –700 – для легкого с венозным застоем, опираясь на анализы на основе пороговых значений для различных заболеваний легких [3, 5–7]. Затем СПТЛ конвертировали в уровень жидкости (УЖ) в процентных единицах по уравнению:  $УЖ [\%] = (СПТЛ + 1000)/10$ , основанному на шкале единиц Хаунсфилда (HU), по которой 0 HU – значение для воды, 1000 HU – значение для воздуха; при этом большинство вокселей находятся между этими крайними значениями, т. к. содержат комбинацию воздуха и воды.

Полученные по КТ ОГК значения УЖ затем корректировали в соответствии со средним объемом легких, полученным путем спирометрии, чтобы нивелировать вариабельность объема воз-



**Рисунок 1. Дыхательный профиль. Конец вдоха отмечен зеленым, а конец выдоха – красными крестиками. КТ-сканирование было выполнено во время задержки дыхания. Время КТ-сканирования отмечено большим зеленым крестом на плоской линии сигнала**

**Figure 1. Respiratory profile. The end of inhalation is marked with green and the end of exhalation – with red crosses. The CT scan was performed during breath-holding. The time of the CT scan is marked with a large green cross on the flat signal line**

духа в легких во время задержки дыхания пациентом. Дополнительный объем воздуха рассчитывается как объем воздуха [см<sup>3</sup>] в легких при задержке дыхания во время проведения КТ минус объем воздуха в конце выдоха перед КТ. Корректировка выполняется с помощью следующего уравнения: скорректированное содержание жидкости по данным КТ = содержание жидкости по данным КТ [%] × объем легких/(объем легких–дополнительный объем воздуха/2).

Формула и другие аспекты протоколов и расчетов прошли валидацию и использовались как нами, так и другими авторами [4,6,8,9]. Данный подход обеспечивает возможность сравнения результатов исследований с помощью ДДИ и КТ ОГК в одних и тех же единицах измерения (т. е. уровня жидкости в легких, выраженного в процентах).

Статистический анализ данных осуществляли с помощью пакета прикладных программ Excel 2010 и статистических программ STATISTICA 10 (StatSoft Inc., США). Качественные величины представлены как абсолютные значения и проценты. Использовались следующие методы статистического анализа: двусторонний F-критерий Фишера, U-критерий Манна-Уитни, критерии Вилкоксона. Корреляционный анализ проводился с применением рангового критерия Пирсона. Выборочные параметры, приводимые в таблицах, представлены в виде M (sd) и Me [Lq;Uq], где M – среднее, sd – стандартное отклонение, Me – медиана, Lq;Uq – межквартильный размах. За минимальный уровень значимости принято  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе исследования не было отмечено никаких побочных явлений, связанных с устройством. Клиническая характеристика пациентов, включенных в исследование, была представлена ранее [4].

В нашем исследовании участвовали семь пациентов с ИМТ  $> 36$  кг/м<sup>2</sup> (формально это является противопоказанием к ДДИ). Однако у всех, согласно антропологическим данным и данным объективного осмотра, столь высокий показатель был расценен как транзиторный по причине тяжелых явлений ОДСН с выраженной перегрузкой объемом. У 2 исследуемых, несмотря на высокий ИМТ, значения ДДИ оставались в пределах 35–36%, в то время как у четверых показатель ДДИ был выше 42%, что соответствовало скорее истинному показателю

**Таблица 1. Показатели степени венозного застоя, измеренного РГ-ОГК, ДДИ и КТ ОГК исходно (n = 33)**

**Table 2. Venous stasis scores measured by chest X-ray, ReDS and CCT (n = 33)**

Показатель	Значение
ДДИ, %	37,1 ± 5,3
КТ ОГК, HU	–735 ± 64,1
СПТЛ	26,5 ± 6,4

*Примечание/ Note:* ДДИ – дистанционное диэлектрическое исследование (ReDS – remote dielectric sensing); КТ ОГК – компьютерная томография органов грудной клетки (CCT – computed tomography of the chest); РГ ОГК – рентгенография органов грудной клетки (chest X-ray); ВЗЛ – венозный застой в легких (venous congestion in the lungs); СПТЛ – средняя плотность легочной ткани (MLD-mean lung tissue density); единицы Хаунсфилда (HU – Hounsfield Units).

Параметры представлены в виде M (sd), где M – среднее, sd – стандартное отклонение. Качественные величины представлены как абсолютные значения и проценты. (Parameters are presented as M (sd), where M is the mean, sd is the standard deviation. Qualitative values are presented as absolute values and percentages.)

гиперволемии, а не жировой массе; при проведении КТ ОГК определялся венозный застой в легких.

Всем пациентам до начала активной диуретической терапии были выполнены ДДИ и КТ ОГК с небольшой разницей во времени.

Данные проведенных инструментальных методов исследования представлены в таблице 1.

При поступлении, по данным КТ ОГК, значение единиц Хаунсфилда составляло  $735 \pm 64,1$ .

Содержание жидкости в легких по данным ДДИ в среднем при поступлении составило  $37,1 \pm 5,3\%$  в положении сидя и  $37,0 \pm 4,7\%$  – в положении лежа ( $p = 0,797$ ). Так как статистической разницы между измерениями в разных положениях тела не выявлено, то в дальнейшем было принято решение использовать показатель, измеренный в положении сидя. При поступлении значения ДДИ превышали верхнюю границу нормы (т. е. были  $\geq 35\%$ ) у 27 пациентов (78,8%), у 7 больных (21,2%) значения ДДИ были определены как  $< 35\%$ . Интересно, что по клинко-инструментальным данным (объективный осмотр, РГ ОГК и КТ ОГК) наличие признаков гиперволемии не вызывало сомнений.

Кроме того, ОДСН была подтверждена повышением уровня NT-proBNP до 3120 [1389; 5279] пг/мл.

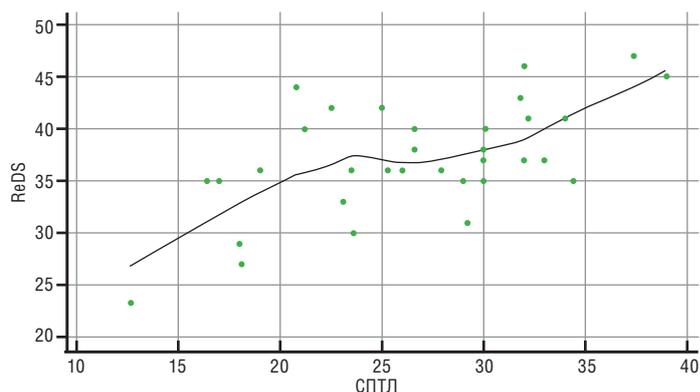
При анализе была выявлена корреляционная связь средней степени выраженности между показателями ДДИ и данными КТ ОГК при поступлении ( $r = +0,6$ ,  $p = 0,0002$ ), соответствующий график представлен на рисунке 2.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Технология ДДИ является перспективным неинвазивным методом определения венозного застоя. Ранее нами были представлены результаты, свидетельствующие о возможности применения данного метода в реальной клинической практике [4], настоящее исследование было сфокусировано на сравнении ДДИ и КТ ОГК с применением синхронизации при использовании спирометра.

Работы зарубежных специалистов свидетельствуют о наличии корреляционных взаимосвязей сильной степени выраженности ( $p = 0,90$ ) [10], что не совсем подтверждается результатами нашего исследования, в которой значимость данной корреляции была ощутимо ниже.

Вместе с тем нами выявлено, что проведение данного исследования не только в покое, но и после субмаксимальной физической нагрузки (6ТШХ) значимо повышает имеющиеся корреляционные взаимосвязи ( $r = +0,7$ ,  $p = 0,0001$ ), что может быть одним из аргументов в пользу возможного применения этой методики в качестве выявления готовности пациента с сердечной недостаточностью к выписке из стационара.



**Рисунок 2. Корреляция данных КТ ОГК и ДДИ при поступлении**  
**Figure 2. Correlation of CCT and ReDS data on admission**

Следует отметить также и важный методологический аспект проведения нашего исследования – множественность измерения жидкости во время ДДИ требует внесения поправки на различия в количестве воздуха в легких между измерениями ДДИ и КТ ОГК. Это было достигнуто путем измерения дыхательного профиля во время КТ и ДДИ с помощью стандартного спирометра. Это дало возможность коррекции объема воздуха в легких при проведении сравнения соответствующих измерений КТ ОГК и ДДИ. Спирометр позволил определить количество дополнительного воздуха в легких в той временной точке дыхательного цикла, в которой происходило КТ-сканирование и, таким образом, позволил нам провести сравнение с методологически «чистым» протоколом проведения данной процедуры.

В настоящее время подобных результатов в литературе описано не было. Выявленные изменения могут говорить о высокой чувствительности метода ДДИ к изменяющейся гемодинамике при физической нагрузке, а также о возможности применения ДДИ в качестве показателя готовности пациента с ОДСН к выписке из стационара.

В обязательном порядке необходимо указать ограничения нашего исследования – минимальный объем выборки, особенности проведения ДДИ в связи с имеющимися ограничениями по ИМТ (пациенты с кахексией и ожирением автоматически выпадали из списка потенциальных кандидатов на включение), одноцентровой дизайн. Вместе с тем, полученные данные позволяют утверждать о целесообразности применения ДДИ в реальной клинической практике, особенно при решении «специфических» клинических задач, в частности определение готовности пациента к выписке.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/ REFERENCES:

1. Giererd N., Seronde M., Coiro S. et al. *INI-CRCT, Great Network, and the EF-HF Group. Integrative Assessment of Congestion in Heart Failure Throughout the Patient Journey. JACC Heart Fail.* 2018 Apr;6(4):273-285. <https://doi.org/10.1016/j.jchf.2017.09.023>
2. Schiff GD., Fung S., Speroff T. et al. *Decompensated heart failure: symptoms, patterns of onset, and contributing factors. Am J Med.* 2003 Jun 1;114(8):625-30. [https://doi.org/10.1016/s0002-9343\(03\)00132-3](https://doi.org/10.1016/s0002-9343(03)00132-3)
3. Rosenblum LJ., Mauceri RA., Wellenstein DE. et al. *Density patterns in the normal lung as determined by computed tomography. Radiology.* 1980 Nov;137(2):409-16. <https://doi.org/10.1148/radiology.137.2.7433674>
4. Сырхаева А.А., Насонова С.Н., Жиров И.В. и соавт. *Возможности инструментального определения волемического статуса у пациентов с острой декомпенсацией хронической сердечной недостаточности. Терапевтический архив.* 2023;95(9):769-775. <https://doi.org/10.26442/00403660.2023.09.202375> [Syrkhaeva A.A., Nasonova S.N., Zhiron I.V. et al. *Possibilities of instrumental determination of volemic status in patients with acute decompensation of chronic heart failure. Terapevticheskii arkhiv.* 2023;95(9):769-775. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.26442/00403660.2023.09.202375>
5. Agasti T.K. *Textbook of Anesthesia for Postgraduates 1st Edition, first ed. Jaypee Brothers Medical Pub, October 31, 2010:34. ISBN 978-9380704-94-4*
6. Morooka N., Watanabe S., Masuda Y. et al. *Estimation of pulmonary water distribution and pulmonary congestion by computed tomography. Jpn Heart J.* 1982 Sep;23(5):697-709. <https://doi.org/10.1536/ihj.23.697>
7. Kato S, Nakamoto T, Iizuka M. *Early diagnosis and estimation of pulmonary congestion and edema in patients with left-sided heart diseases from histogram of pulmonary CT number. Chest.* 1996 Jun;109(6):1439-45. <https://doi.org/10.1378/chest.109.6.1439>
8. Simon BA. *Non-invasive imaging of regional lung function using x-ray computed tomography. J Clin Monit Comput.* 2000;16(5-6):433-42. <https://doi.org/10.1023/a:1011444826908>
9. Snyder EM., Beck KC., Turner ST. et al. *Genetic variation of the beta2-adrenergic receptor is associated with differences in lung fluid accumulation in humans. J Appl Physiol (1985).* 2007 Jun;102(6):2172-8. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01300.2006>
10. Amir O., Azzam ZS., Gaspar T. et al. *Validation of remote dielectric sensing (ReDS™) technology for quantification of lung fluid status: Comparison to high resolution chest computed tomography in patients with and without acute heart failure. Int J Cardiol.* 2016 Oct 15;221:841-6. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2016.06.323>