



Возможности инструментального определения волемиического статуса у пациентов с острой декомпенсацией хронической сердечной недостаточности

А.А. Сырхаева^{✉1}, С.Н. Насонова¹, И.В. Жиров^{1,2}, У.А. Халилова³, А.В. Ширкин¹, М.А. Шария^{1,4}, С.Н. Терешенко^{1,2}

¹ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии им. акад. Е.И. Чазова» Минздрава России, Москва, Россия;

²ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Москва, Россия;

³ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва, Россия;

⁴ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, Россия

Аннотация

Цель. Оценить и сравнить точность определения волемиического статуса методом дистанционного диэлектрического исследования с компьютерной томографией (КТ) у пациентов с острой декомпенсацией сердечной недостаточности.

Материалы и методы. У 28 пациентов проводилось определение волемиического статуса с помощью remote dielectric sensing (ReDS), КТ органов грудной клетки (ОГК) и рентгенографией ОГК дважды за время госпитализации (в день поступления и в день выписки из стационара). Измерения ReDS затем сравнивались с данными КТ с помощью программного обеспечения, которое позволяет использовать полуавтоматические инструменты для определения средней плотности ткани легких (СПТЛ). Результаты СПТЛ из единиц Хаунсфилда [Hounsfield Units; HU] затем конвертировали в уровень жидкости (%), что позволило сравнить их с показателями ReDS. Кроме того, для оценки влияния физической нагрузки на динамику застоя в легких проводился тест 6-минутной ходьбы (6ТШХ) с последующим определением волемиического статуса методом ReDS.

Результаты. При проведении корреляционного анализа между данными КТ ОГК и ReDS выявлена средняя прямая значимая корреляционная связь ($r=+0,5$; $p=0,001$) В динамике статистически значимо снизились показатели гиперволемии по данным КТ ОГК, что отражалось и в снижении показателя ReDS. Содержание жидкости в легких по данным ReDS в среднем при поступлении составило $38,2\pm 4,6\%$, при выписке – $34,5\pm 3,9\%$ ($p=0,005$). По данным КТ ОГК СПТЛ при поступлении составила $23,03\pm 3,9\%$, при выписке – $19,6\pm 3,3\%$ ($p=0,003$). Положительная динамика методов исследований отражалась и в положительной динамике N-терминального предшественника мозгового натрийуретического пептида, который снизился на 46%. При анализе данных ReDS до и после физической нагрузки отмечался рост значения ReDS после выполненного 6ТШХ, который составил $35,09\pm 3,9\%$, исходный показатель $34,5\pm 3,9\%$. Между показателем ReDS до и после 6ТШХ при выписке выявлена сильная прямая значимая корреляционная связь ($r=+0,7$; $p=0,0001$).

Заключение. Результаты исследования демонстрируют значимую степень корреляции между данными, полученными с помощью системы ReDS и КТ ОГК. Применение ReDS может являться перспективным для диагностики венозного застоя в легких и использоваться у пациентов с острой декомпенсацией сердечной недостаточности.

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

Для цитирования: Сырхаева А.А., Насонова С.Н., Жиров И.В., Халилова У.А., Ширкин А.В., Шария М.А., Терешенко С.Н. Возможности инструментального определения волемиического статуса у пациентов с острой декомпенсацией хронической сердечной недостаточности. Терапевтический архив. 2023;95(9):769–775. DOI: 10.26442/00403660.2023.09.202375

© ООО «КОНСИЛИУМ МЕДИКУМ», 2023 г.

Информация об авторах / Information about the authors

[✉]Сырхаева Агунда Артуровна – аспирант отд. заболеваний миокарда и сердечной недостаточности ФГБУ «НМИЦ кардиологии им. акад. Е.И. Чазова». E-mail: a-arturovna@list.ru; ORCID: 0000-0002-2943-8271

Насонова Светлана Николаевна – канд. мед. наук, ст. науч. сотр. отд. заболеваний миокарда и сердечной недостаточности ФГБУ «НМИЦ кардиологии им. акад. Е.И. Чазова». ORCID: 0000-0002-0920-7417

Жиров Игорь Витальевич – д-р мед. наук, вед. науч. сотр. отд. заболеваний миокарда и сердечной недостаточности ФГБУ «НМИЦ кардиологии им. акад. Е.И. Чазова», проф. каф. кардиологии ФГБОУ ДПО РМАНПО. ORCID: 0000-0002-4066-2661

Халилова Улькяр Алимирзаевна – аспирант каф. госпитальной терапии с курсами эндокринологии, гематологии и клинической лабораторной диагностики Медицинского института ФГАОУ ВО РУДН. ORCID: 0000-0003-0724-6508

Ширкин Андрей Викторович – аспирант отд. томографии ФГБУ «НМИЦ кардиологии им. акад. Е.И. Чазова». ORCID: 0009-0004-3327-8778

Шария Мераб Арчилевич – д-р мед. наук, вед. науч. сотр. отд. томографии ФГБУ «НМИЦ кардиологии им. акад. Е.И. Чазова», проф. каф. лучевой диагностики ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет). ORCID: 0000-0002-0370-5204

[✉]Agunda A. Syrkhayeva. E-mail: a-arturovna@list.ru; ORCID: 0000-0002-2943-8271

Svetlana N. Nasonova. ORCID: 0000-0002-0920-7417

Igor V. Zhironov. ORCID: 0000-0002-4066-2661

Uliya A. Khalilova. ORCID: 0000-0003-0724-6508

Andrey V. Shirkin. ORCID: 0009-0004-3327-8778

Merab A. Shariya. ORCID: 0000-0002-0370-5204

Possibilities of instrumental determination of volemic status in patients with acute decompensation of chronic heart failure

Agunda A. Syrkhaeva^{✉1}, Svetlana N. Nasonova¹, Igor V. Zhironov^{1,2}, Ulia A. Khalilova³, Andrey V. Shirkin¹, Merab A. Shariya^{1,4}, Sergey N. Tereshchenko^{1,2}

¹Chazov National Medical Research Center of Cardiology, Moscow, Russia;

²Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia;

³People's Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia;

⁴Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia

Abstract

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

Materials and methods. In 28 patients volemic status was determined by ReDS (remote dielectric sensing), chest computed tomography (CCT), and chest X-ray twice during hospitalization (the day of admission and the day of discharge from the hospital). The ReDS measurements were then compared with CT data using software that allows the use of semi-automated tools to determine mean lung density (MLD). MLD results from Hounsfield Units [HU] were then converted to fluid levels (FU%), allowing them to be compared with ReDS values. In addition, to assess the effect of physical activity on the dynamics of pulmonary stasis there was performed 6-minute walk test (6MWT) followed by determination of volemic status by ReDS method.

Results. Correlation analysis revealed an average direct significant correlation ($r=+0,5$; $p=0.001$) between the CCT and ReDS data. Hypervolemia indexes according to the CCT revealed statistically significant decrease in the dynamics, which was also reflected in the ReDS index decrease. Lung fluid content according to ReDS averaged $38.2\pm 4.6\%$ on admission, and $34.5\pm 3.9\%$ on discharge ($p=0.005$). According to CT scan of the CCT, MLD at admission was $23.03\pm 3.9\%$, at discharge $19.6\pm 3.3\%$ ($p=0.003$). The positive dynamics of the study methods was also reflected in the positive dynamics of NT-proBNP, which decreased by 46%. In the analysis of ReDS data before and after exercise, there was an increase in ReDS value after the performed 6MWT and it was $35.09\pm 3.9\%$ compared with the initial value of $34.5\pm 3.9\%$. A strong direct significant correlation ($r=+0.7$; $p=0.0001$) was found between the ReDS before and after 6MWT at discharge.

Keywords: acute decompensation of heart failure, remote dielectric sensing, volemic status, computed tomography

For citation: Syrkhaeva AA, Nasonova SN, Zhironov IV, Khalilova UA, Shirkin AV, Shariya MA, Tereshchenko SN. Possibilities of instrumental determination of volemic status in patients with acute decompensation of chronic heart failure. *Terapevticheskii Arkhiv (Ter. Arkh.)*. 2023;95(9):769–775. DOI: 10.26442/00403660.2023.09.202375

Введение

Под острой декомпенсацией сердечной недостаточности (ОДСН) понимают быстрое нарастание тяжести клинических проявлений (одышки, выраженной артериальной гипоксемии, возникновение артериальной гипотонии), ставшее причиной срочного обращения за медицинской помощью и экстренной госпитализации у пациента, уже страдающего хронической сердечной недостаточностью (ХСН) [1].

Наши знания об эпидемиологии сердечной недостаточности (СН) основаны на данных ряда крупномасштабных регистров, проведенных в США, включая ADHERE [2] и OPTIMIZE-HF [3] в Европе, европейские исследования сердечной недостаточности (EHFS) I [4] и II [5] и пилотный регистр ESC-HF [6], а также международный регистр ALARM-HF [7]. Данные исследования показали, что госпитальная летальность у больных, поступающих с диагнозом острой СН (ОСН), колеблется от 4 до 7%, летальность в течение первых 3 мес после выписки из стационара составила от 7 до 11%, смертность в течение первого года после выписки из стационара при госпитализации по поводу ОСН достигала 30%, а в регистре ADHERE – 36%, что дает право считать СН одной из острых проблем здравоохранения [8].

В основе ОДСН лежит каскад патологических реакций с вовлечением многочисленных механизмов взаимодействия, в которых основную роль играют гемодинамическая перегрузка и венозный застой [9].

Согласно консолидированному мнению экспертов при ОДСН абсолютно у всех пациентов определяются признаки застоя, и поскольку краеугольным камнем дальнейшего ведения пациентов с ОДСН является контроль волеми, крайне важны выявление и при возможности – количественное определение степени венозного застоя. Оценка объема жидкости является ключевым фактором при ведении пациентов с СН как в стационарных, так и в амбулаторных условиях.

Современные неинвазивные методы оценки застоя жидкости при СН включают физикальное обследование, рентгенографию (РГ) органов грудной клетки (ОГК) [10]. Эти методы относительно ненадежны, поскольку должны проводиться опытным врачом, субъективны при интерпретации и сопряжены с рядом ограничений. Точная количественная оценка объема жидкости при физикальном обследовании представляет собой сложную задачу. И, к сожалению, эти изменения появляются поздно и являются относительно нечувствительными показателями клинического статуса у пациентов с СН [11].

Измерение уровней мозгового натрийуретического пептида и N-терминального предшественника мозгового натрийуретического пептида (NT-proBNP) можно использовать для подтверждения диагноза СН или его исключения у пациентов с одышкой, оценки динамики на фоне проводимой терапии, а также для стратификации риска. Однако эти маркеры не позволяют точно оценить степень перегрузки жидкостью.

Информация об авторах / Information about the authors

Терешченко Сергей Николаевич – д-р мед. наук, проф., рук. отд. заболеваний миокарда и сердечной недостаточности ФГБУ «НМИЦ кардиологии им. акад. Е.И. Чазова», зав. каф. кардиологии ФГБОУ ДПО РМАНПО. ORCID: 0000-0001-9234-6129

Sergey N. Tereshchenko. ORCID: 0000-0001-9234-6129

Актуальность данной проблемы привела к созданию новой технологии, основанной на электромагнитном излучении и предназначенной для количественного определения изменения содержания жидкости в легких.

В последние годы большой интерес к себе привлекает технология ReDS (remote dielectric sensing), которая позволяет малоинвазивно оценить волевический статус пациентов с ОДСН. В данной технологии используются маломощные электромагнитные импульсы, которые проходят через ткани от излучателя к приемнику. Анализируемый сигнал отражает диэлектрические свойства части легкого, расположенной между датчиками. Оценка изменения параметров радиоволн обеспечивает возможность точного измерения совокупного объема жидкости в ткани, поскольку легкие состоят в первую очередь из воздуха и воды – компонентов с очень сильно отличающимися коэффициентами. Соответственно, диэлектрический коэффициент неповрежденного легкого крайне чувствителен к соотношению объемов воздуха и воды, вследствие чего диэлектрический коэффициент является прямым показателем содержания жидкости [12]. Кроме того, технология ReDS позволяет количественно определить степень гипervолемии. Следует отметить, что исследование легко в проведении, может выполняться непосредственно у постели пациента и не имеет лучевой нагрузки.

Таким образом, задачей нашего исследования явилось определение точности данных, получаемых системой ReDS, путем сравнения результатов измерений содержания жидкости в легких, полученных с ее использованием, с измерениями, проведенными при помощи компьютерной томографии (КТ) ОГК, которая в настоящее время является «золотым стандартом» именно количественного определения содержания жидкости в легких, а также со стандартным методом исследования – РГ ОГК и уровнем NT-proBNP.

Материалы и методы

В исследование включены 28 пациентов. Критерии включения и исключения представлены на **рис. 1**.

Перед включением в исследование все больные подписывали информированное согласие на участие в исследовании, согласие на проведение КТ ОГК.

Кроме объективного исследования пациентов проводилось определение волевического статуса с помощью ReDS, КТ ОГК и РГ ОГК. Также оценивалась динамика NT-proBNP в день поступления, до начала активной диуретической терапии, на 5–7-й день нахождения в стационаре (в субкомпенсации пациента) и в день выписки из стационара (компенсация). Измерения с помощью системы ReDS (в положении сидя и лежа) проведены после КТ-сканирования в течение 15 мин. Кроме того, определение волевического статуса методом ReDS в день предполагаемой выписки проводилось сначала в покое, а затем после субмаксимальной физической нагрузки (тест 6-минутной ходьбы – 6ТШХ).

РГ ОГК проводилась на аппарате Philips Media 65 Ср-Н, в прямой и боковой проекции в день поступления и в день планируемой выписки из стационара. Лучевая нагрузка составила 0,129 мЗв.

Для дистанционного диэлектрического исследования применяли систему ReDS (Sensible Medical, Израиль), в которой используются маломощные электромагнитные импульсы, излучаемые между двумя датчиками (по одному на передней и задней поверхности тела). Длительность измерения составляла 45 с. Диапазон нормальных значений – 20–35%.

Критерии включения:

1. ОДСН
2. ФК ХСН III–IV по NYHA
3. Наличие необходимости лечения внутривенными диуретиками
4. Отсутствие противопоказаний для проведения КТ
5. Особенности телосложения, подходящие для измерения волевического статуса методом дистанционного диэлектрического исследования (рост <155 или >190 см или ИМТ <22 или >36 кг/м²)
6. Уровень мозгового натрийуретического пептида ≥ 200 пг/мл.
7. Оптимальная терапия ХСН в соответствии с текущими рекомендациями

Критерии исключения:

1. Отказ от участия в исследовании
2. Острые заболевания, которые, по мнению исследователя, могли отрицательно сказаться на безопасности и/или эффективности лечения
3. ИМТ <22 или >36 кг/м²; физическая деформация ГК или повреждение, которое может помешать правильному надеванию датчиков
4. Врожденные пороки сердца или внутригрудное объемное образование, которые могут изменять анатомическое строение правого легкого (декстрокardia и рак легкого)
5. Имплантированное устройство, расположенное на правой стороне ГК
6. Заболевания легких, которые могут исказить значения ReDS

Рис. 1. Критерии включения и исключения пациентов.

Примечание. ФК – функциональный класс.

Fig. 1. Criteria for inclusion and exclusion of patients.

КТ проводилась на томографе Canon Aquilion One 640. Толщина среза – 0,5 мм, лучевая нагрузка – менее 3 мЗв. КТ проводилась в соответствии со стандартными правилами. Пациенты задерживали дыхание в соответствии с протоколом проведения КТ. Результаты сканирования КТ ОГК сохраняли на диске и в последующем анализировали 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 по шкале HU. Согласно этой шкале коэффициент абсорбции 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. Коэффициент абсорбции нормального легкого колеблется от -500 до -900. Плотность нижележащих отделов легких в силу гравитационного фактора несколько выше по сравнению с вышележащими участками.

Затем СПТЛ конвертировали в уровень жидкости (УЖ) в процентных единицах по уравнению: $УЖ [\%] = (СПТЛ + 1000)/10$, основанному на шкале единиц Хаунсфилда, по которой 0 HU – значение для воды, а -1000 HU – значение для воздуха. Формула и другие аспекты протоколов и расчетов прошли валидацию и использовались другими авторами [13–16].

6ТШХ. Контроль толерантности к физической нагрузке у пациентов оценивали с помощью 6ТШХ, следуя рекомендациям Американского торакального общества, перед планируемой выпиской пациента из стационара [17]. Для оценки влияния физической нагрузки на динамику застоя

Таблица 1. Клинико-демографическая характеристика пациентов (n=28)**Table 1. Clinical-demographic characteristics of patients (n=28)**

Показатель	Значение
Пол, абс. (%):	
мужчины	15 (53)
женщины	13 (39)
Возраст, лет	62 [58,7; 70]
Этиология ХСН, абс. (%):	
КМП	5 (17,8)
ИБС	15 (53,5)
ГБ	4 (14,3)
другие	4 (14,3)
ФК по NYHA, абс. (%)	III ФК – 25 (89,3) IV ФК – 3 (10,7)
САД, мм рт. ст.	115,1±16
ЧСС, уд/мин	76,3±13,0
СД, абс. (%)	11 (39)
Фибрилляция предсердий, абс. (%):	
нет	10 (35,7)
пароксизмальная	4 (14,3)
постоянная	14 (50)
Длительность ХСН, годы	4 [1; 7]
ФВ ЛЖ, %	32,5 [24,25; 45]
NT-proBNP, пг/мл	3124 [1596; 5493]

Примечание. КМП – кардиомиопатии, ИБС – ишемическая болезнь сердца, ГБ – гипертоническая болезнь, СД – сахарный диабет, ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка, САД – систолическое артериальное давление, ЧСС – частота сердечных сокращений; параметры, приводимые в таблице, представлены в виде $M (sd)$ и $Me [Lq; Uq]$, где M – среднее, sd – стандартное отклонение, Me – медиана, $Lq; Uq$ – межквартильный размах.

в легких проводился бТШХ с последующим определением волемического статуса методом ReDS.

В ходе исследования не отмечено никаких побочных явлений, связанных с устройством.

Статистика

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. 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

Клиническая характеристика пациентов, включенных в исследование, представлена в **табл. 1**.

Таким образом, в исследуемой группе большинство составили мужчины (53%), средний возраст пациентов – 62 [58,7; 70] года. Индекс массы тела (ИМТ) – 29,5 [26,95; 35,25] кг/м². Следует отметить, что подсчет ИМТ у паци-

Таблица 2. Показатели степени венозного застоя, измеренного РГ ОГК, ReDS и КТ ОГК исходно (n=28)**Table 2. Venous stagnation rate (Chest radiograph, chest CT scan, ReDS) (n=28)**

Показатель	Значение
ReDS, %	38,2±4,6
КТ ОГК, HU	-769±33,6
СПТЛ	23,03±3,9
	0-я степень – 3 (10,7)
РГ ОГК, ВЗЛ абс. (%)	1-я степень – 5 (17,8)
	2-я степень – 20 (71,4)

Примечание. Параметры, приводимые в таблице, представлены в виде $M (sd)$, где M – среднее, sd – стандартное отклонение. Качественные величины представлены как абсолютные значения и проценты.

ентов с ОДСН является суррогатным, поскольку этот индекс зависит не только от массы тела пациента, но и степени гиперволемии, однако подсчет выполнялся, поскольку крайняя степень ожирения является ограничением метода. ИМТ > 36 кг/м² стал ограничительным фактором согласно актуальной инструкции по применению устройства ReDS, поскольку из-за наличия жировой и/или мышечной ткани вокруг грудной клетки показатели могли быть ошибочными. Однако в нашем исследовании участвовали 6 пациентов с ИМТ > 36 кг/м² (согласно антропологическим данным объективного осмотра столь высокий показатель расценен как ошибочный по причине тяжелых явлений ОДСН по большому кругу кровообращения). У 2 исследуемых, несмотря на высокий ИМТ, значения ReDS оставались в пределах 35–36%, в то время как у четверых показатель ReDS оказался выше 42%, что соответствовало скорее истинному показателю гиперволемии, а не жировой массе, более того, при проведении КТ ОГК определялся венозный застой в легких (ВЗЛ).

Всем пациентам выполнена РГ ОГК, ReDS и КТ ОГК. Данные проведенных инструментальных методов исследования представлены в **табл. 2**.

На основании данных КТ ОГК при поступлении отмечалось повышение единиц Хаунсфилда до -769±33,6, причем за нормальные показатели приняты значения -900 HU [18].

Содержание жидкости в легких по данным ReDS в среднем при поступлении составило 38,2±4,6% в положении сидя и 38,0±3,9% в положении лежа ($p=0,819$). Так как статистической разницы между измерениями в разных положениях тела не выявлено, то в дальнейшем принято решение использовать показатель, измеренный в положении сидя. При поступлении значения ReDS превышали верхнюю границу нормы (т.е. $\geq 35\%$) у 25 пациентов (89%), у 3 пациентов (10%) значения ReDS определены как <35%. По клинко-инструментальным данным (объективный осмотр, РГ ОГК и КТ ОГК) наличие признаков гиперволемии не вызвало сомнений.

По данным РГ ОГК у большинства пациентов определялись признаки венозного застоя 2-й степени.

Кроме того, ОДСН подтверждена повышением уровня NT-proBNP до 3124 [1596; 5493] пг/мл.

При проведении корреляционного анализа при поступлении выявлена прямая корреляционная связь между показателями ReDS и данными КТ ОГК ($r=+0,5$; $p=0,001$), график представлен на **рис. 2**.

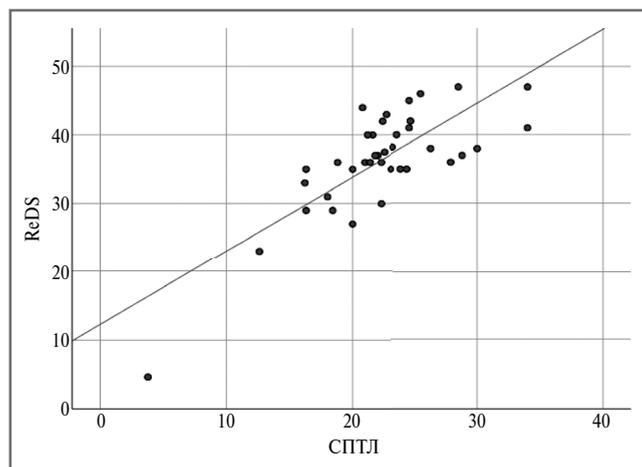


Рис. 2. Корреляция данных КТ ОГК и ReDS при поступлении.

Fig. 2. Correlation of chest CT scan and ReDS data at arrival.

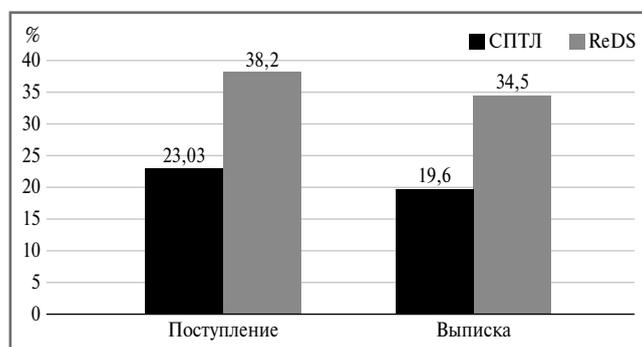


Рис. 3. Динамика показателей волемии по данным ReDS и СПТЛ.

Fig. 3. Evolution of blood volume indicators according to ReDS and average lung tissue density.

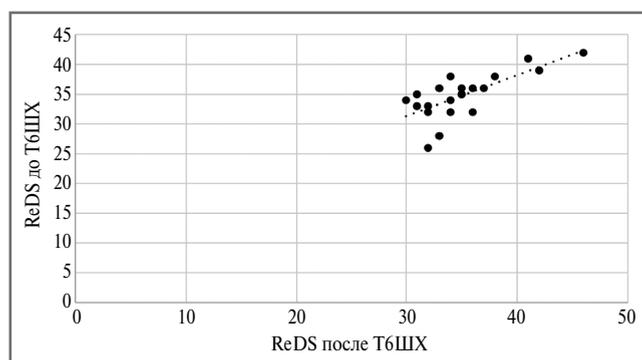


Рис. 4. Корреляция значений ReDS до и после 6ТШХ на момент выписки пациента.

Fig. 4. Correlation of ReDS values before and after a 6-minute walk test.

Повторно ReDS проводилось на фоне активной мочегонной терапии на 5–7-е сутки госпитализации. К этому сроку отмечалась тенденция к снижению значений, измеренных ReDS как сидя, так и лежа. Они составили $34,88 \pm 4,5$ и $35,04 \pm 3,6\%$ соответственно.

При выписке из стационара по достижению компенсации ХСН данные инструментальные методы диагностики проведены повторно.

Таблица 3. Динамика степени ВЗЛ

Table 3. Dynamics of the degree of lung venous stasis

Показатель	Поступление	Выписка	<i>p</i>
РГ ОГК, ВЗЛ абс. (%)	0-я степень – 3 (10,7%)	0-я степень – 15 (53,5)	0,0001
	1-я степень – 5 (17,8%)	1-я степень – 6 (21,4)	
	2-я степень – 20 (71,4%)	2-я степень – 2 (7,1)	

Таблица 4. Динамика показателей гиперволемии по данным КТ ОГК

Table 4. Trends in hypervolemia according to chest CT scan

Показатель КТ ОГК	Поступление	Выписка	<i>p</i>
Единицы Хаунсфилда	$-769 \pm 33,6$	$-803,6 \pm 33,6$	0,003
СПТЛ (УЖ, %)	$23,03 \pm 3,9$	$19,6 \pm 3,3$	0,003

Таблица 5. Динамика показателей волемии по данным ReDS

Table 5. Evolution of blood volume indicators according to ReDS

Положение	Поступление	Выписка	<i>p</i>
Сидя, %	$38,2 \pm 4,6$	$34,5 \pm 3,9$	0,005
Лежа, %	$38,0 \pm 3,9$	$34,6 \pm 3,2$	0,004

На момент выписки из стационара у большинства пациентов признаки венозного застоя регрессировали, что подтверждалось и снижением показателей ReDS (табл. 3).

На фоне активной диуретической терапии за время госпитализации статистически значимо снизились показатели гиперволемии по данным КТ ОГК (табл. 4), что отражалось и в снижении показателя ReDS (табл. 5). Положительная динамика ReDS и рентгенологических методов исследований отражалась и в положительной динамике NT-proBNP, который снизился на 46% ($p=0,015$) и составил при выписке $1696 [1110; 2203]$ пг/мл.

На рис. 3 отражена динамика показателей волемии как по данным КТ ОГК, так и по данным ReDS.

При анализе данных ReDS до и после физической нагрузки получены следующие результаты. Отмечался рост значения ReDS после выполненного 6ТШХ, он составил $35,09 \pm 3,9\%$. При проведенном корреляционном анализе между показателем ReDS до и после 6ТШХ при выписке пациентов из стационара выявлена сильная прямая значимая корреляционная связь ($r=+0,7$; $p=0,0001$); рис. 4.

Технология ReDS является перспективным малоинвазивным методом определения венозного застоя. В нашем исследовании коэффициент корреляции между КТ ОГК и ReDS составил $r=+0,5$; $p=0,001$, что соответствует средней степени корреляции. Однако в исследовании O. Amir и соавт. (2016 г.) получен высокий коэффициент корреляции между этими показателями ($p=0,90$) [19]. Возможно, это связано с тем, что в исследовании полученные по КТ ОГК значения затем корректировали в соответствии со средним

объемом легких, полученным путем спирометрии, чтобы нивелировать вариабельность объема воздуха в легких во время задержки дыхания пациентом, что не учитывалось в нашей работе. Дополнительные расчеты с помощью спирометрии будут проведены в дальнейшем.

В нашей работе достигнуто снижение NT-proBNP на 46% от исходного, что сопровождалось другими клиническими критериями улучшения состояния пациентов и согласуется с результатами ранее проведенной работы О. Amir и соавт. (2013 г.) [20].

Интересным результатом нашей работы явился тот факт, что при проведении ReDS во время 6ТШХ перед выпиской пациентов из стационара отмечался рост процента жидкости после выполненной нагрузки (с $34,5 \pm 3,9\%$ до теста до $35,09 \pm 3,9\%$ после), кроме того, выявлена сильная прямая значимая корреляционная связь ($r=+0,7$; $p=0,0001$) между показателями ReDS до и после 6ТШХ. Подобных результатов в доступной нам литературе не описано. Выявленные изменения могут говорить о высокой чувствительности метода ReDS к изменяющейся гемодинамике во время физической нагрузки и требуют дополнительного переосмысления.

Что касается пациентов с астенией, у которых при осмотре отмечалась атрофия мышц грудной клетки, что мешало правильному позиционированию датчиков ввиду их дислокации, их результаты измерения оказались ложноотрицательными. Выборка пациентов в исследовании достаточно разнородна. Несмотря на рекомендации производителя, в группу исследования включены пациенты с различными ИМТ, и получены неоднозначные результаты. На данный момент нет исследований, оценивающих форму грудной клетки и ее влияние на результат диагностики ReDS. До тех пор, пока в дальнейших исследованиях не будет установлена связь между ИМТ и результатами ReDS, следует иметь в виду, что у пациентов с ожирением и кахексией этот метод может давать как ложноположительные, так и ложноотрицательные результаты, поэтому клинический диагноз должен быть дополнительно верифицирован. ReDS необходимо использовать в сочетании со стандартными методами обследования.

Заключение

Раннее выявление застоя в легких считается основным методом предотвращения ОДСН. В настоящее время в арсенале кардиолога имеется достаточное количество технологий для прогнозирования наступления ОДСН. В настоя-

щем исследовании описан новый подход к количественной оценке жидкости в легких с использованием технологии ReDS. Результаты представляют прямую валидацию точности данных ReDS по сравнению с КТ ОГК, которая в настоящее время считается «золотым стандартом» измерения содержания жидкости в легких. Измерения ReDS соответствовали клиническому течению, улучшению состояния в течение всей госпитализации, так как показатели перед выпиской значительно улучшились по сравнению с показателями ReDS при поступлении, что дополнительно подтверждалось динамикой NT-proBNP.

Таким образом, система ReDS способна предоставить дополнительную информацию, клинически сопоставимую с гемодинамическими измерениями. Воспроизводимость, легкость в использовании и объективность делают этот метод ценным инструментом, который можно использовать в различных условиях оказания помощи пациентам с СН.

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

Disclosure of interest. The authors declare that they have no competing interests.

Вклад авторов. Авторы декларируют соответствие своего авторства международным критериям ICMJE. Все авторы в равной степени участвовали в подготовке публикации: разработка концепции статьи, получение и анализ фактических данных, написание и редактирование текста статьи, проверка и утверждение текста статьи.

Authors' contribution. The authors declare the compliance of their authorship according to the international ICMJE criteria. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Источник финансирования. Авторы декларируют отсутствие внешнего финансирования для проведения исследования и публикации статьи.

Funding source. The authors declare that there is no external funding for the exploration and analysis work.

Информированное согласие на публикацию. Пациенты подписали форму добровольного информированного согласия на публикацию медицинской информации.

Consent for publication. Written consent was obtained from the patients for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript.

Список сокращений

6ТШХ – тест 6-минутной ходьбы
ВЗЛ – венозный застой в легких
ИМТ – индекс массы тела
КТ – компьютерная томография
ОГК – органы грудной клетки
ОДСН – острая декомпенсация сердечной недостаточности
ОСН – острая сердечная недостаточность
РГ – рентгенография
СН – сердечная недостаточность

СПТЛ – средняя плотность ткани легких
УЖ – уровень жидкости
ХСН – хроническая сердечная недостаточность
НУ – Единицы Хаунсфилда (Hounsfield Units)
NT-proBNP – N-терминальный предшественник мозгового натрий-уретического пептида
ReDS (remote dielectric sensing) – дистанционное диэлектрическое исследование

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Российское кардиологическое общество (РКО). Хроническая сердечная недостаточность. Клинические рекомендации 2020. *Российский кардиологический журнал*. 2020;25(11):4083 [Russian Society of Cardiology (RSC). 2020 Clinical practice guidelines for Chronic heart failure. *Russian Journal of Cardiology*. 2020;25(11):4083 (in Russian)]. DOI:10.15829/1560-4071-2020-4083
2. Adams KF Jr, Fonarow GC, Emerman CL, et al. Characteristics and outcomes of patients hospitalized for heart failure in the United States: rationale, design, and preliminary observations from the first 100,000 cases in the Acute Decompensated Heart Failure National Registry (ADHERE). *Am Heart J*. 2005;149(2):209-16. DOI:10.1016/j.ahj.2004.08.005

3. O'Connor CM, Abraham WT, Albert NM, et al. Predictors of mortality after discharge in patients hospitalized with heart failure: an analysis from the Organized Program to Initiate Lifesaving Treatment in Hospitalized Patients with Heart Failure (OPTIMIZE-HF). *Am Heart J*. 2008;156(4):662-73. DOI:10.1016/j.ahj.2008.04.030
4. Cleland JG, Swedberg K, Follath F, et al. The EuroHeart Failure survey programme – a survey on the quality of care among patients with heart failure in Europe. Part 1: patient characteristics and diagnosis. *Eur Heart J*. 2003;24(5):442-63. DOI:10.1016/s0195-668x(02)00823-0
5. Komajda M, Follath F, Swedberg K, et al. The EuroHeart Failure Survey programme – a survey on the quality of care among patients with heart failure in Europe. Part 2: treatment. *Eur Heart J*. 2003;24(5):464-74. DOI:10.1016/s0195-668x(02)00700-5
6. Maggioni AP, Dahlstrom U, Filippatos G, et al. EURObservational Research Programme: regional differences and 1-year follow-up results of the Heart Failure Pilot Survey (ESC-HF Pilot). *Eur J Heart Fail*. 2013;15(7):808-17. DOI:10.1093/eurjhf/hft050
7. Follath F, Yilmaz MB, Delgado JF, et al. Clinical presentation, management and outcomes in the Acute Heart Failure Global Survey of Standard Treatment (ALARM-HF). *Intensive Care Med*. 2011;37(4):619-26. DOI:10.1007/s00134-010-2113-0
8. Farmakis D, Parissis J, Lekakis J, Filippatos G. Acute heart failure: Epidemiology, risk factors, and prevention. *Rev Esp Cardiol (Engl Ed)*. 2015;68(3):245-8. DOI:10.1016/j.rec.2014.11.004
9. Терещенко С.Н., Жиров И.В., Насонова С.Н., и др. Патфизиология острой сердечной недостаточности. Что нового? *Российский кардиологический журнал*. 2016;9:52-64 [Tereshchenko SN, Zhiron IV, Nasonova SN, et al. Pathophysiology of acute heart failure. Whats new? *Russian Journal of Cardiology*. 2016;9:52-64 (in Russian)]. DOI:10.15829/1560-4071-2016-9-52-64
10. Mueller C, McDonald K, de Boer RA, et al. Heart Failure Association of the European Society of Cardiology practical guidance on the use of natriuretic peptide concentrations. *Eur J Heart Fail*. 2019;21(6):715-31. DOI:10.1002/ejhf.1494
11. Mueller C, McDonald K, de Boer RA, et al. Heart Failure Association of the European Society of Cardiology practical guidance on the use of natriuretic peptide concentrations. *Eur J Heart Fail*. 2019;21(6):715-31. DOI:10.1002/ejhf.1494
12. Жиров И.В., Насонова С.Н., Сырхаева А.А., и др. Оптимизация определения волевического статуса у пациентов с острой декомпенсацией сердечной недостаточности. *Российский кардиологический журнал*. 2022;27(5):5039 [Zhiron IV, Nasonova SN, Syrkhaeva AA, et al. Optimization of intravascular volume determination in patients with acute decompensated heart failure. *Russian Journal of Cardiology*. 2022;27(5):5039 (in Russian)]. DOI:10.15829/1560-4071-2022-5039
13. Simon BA. Non-invasive imaging of regional lung function using x-ray computed tomography. *J Clin Monit Comput*. 2000;16(5-6):433-42. DOI:10.1023/a:1011444826908
14. Morooka N, Watanabe S, Masuda Y, Inagaki Y. Estimation of pulmonary water distribution and pulmonary congestion by computed tomography. *Jpn Heart J*. 1982;23(5):697-709. DOI:10.1536/ihj.23.697
15. 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;109(6):1439-45. DOI:10.1378/chest.109.6.1439
16. 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;102(6):2172-8. DOI:10.1152/jappphysiol.01300.2006
17. ATS Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories. ATS statement: guidelines for the six-minute walk test. *Am J Respir Crit Care Med*. 2002;166(1):111-7. DOI:10.1164/ajrccm.166.1.at1102
18. Rosenblum LJ, Mauceri RA, Wellenstein DE, et al. Density patterns in the normal lung as determined by computed tomography. *Radiology*. 1980;137(2):409-16. DOI:10.1148/radiology.137.2.7433674
19. 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;221:841-6. DOI:10.1016/j.ijcard.2016.06.323
20. Amir O, Rappaport D, Zafrir B, Abraham WT. A novel approach to monitoring pulmonary congestion in heart failure: initial animal and clinical experiences using remote dielectric sensing technology. *Congest Heart Fail*. 2013;19(3):149-55. DOI:10.1111/chf.12021

Статья поступила в редакцию / The article received: 22.04.2023

