



Кужелева Е.А.¹ ✉, Доржиева Б.Б.², Фатеев А.В.³, Витт К.Н.¹, Тукиш О.В.¹, Сыромятникова Е.Е.², Кондратьев М.Ю.¹, Гарганеева А.А.¹

¹ Научно-исследовательский институт кардиологии Томского национального исследовательского медицинского центра Российской академии наук, Томск, Россия

² Сибирский государственный медицинский университет, Томск, Россия

³ Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия

Методика измерения импеданса грудной клетки с нагрузочной пробой и перспективы ее применения у пациентов с хронической сердечной недостаточностью

Конфликт интересов: не заявлен.

Вклад авторов: Кужелева Е.А. – участие в разработке концепции и дизайна исследования, отработка методики эксперимента, участие в проведении измерения биоимпеданса, статистическая обработка результатов, написание текста статьи; Доржиева Б.Б. – участие в наборе исследуемой группы, участие в проведении измерения биоимпеданса, заполнение базы данных; Фатеев А.В. – участие в разработке концепции и дизайна исследования, обучение сотрудников НИИ кардиологии работе на приборе «Измеритель иммитанса МНИПИ Е7-20», изготовление и оптимизация оборудования для адаптации прибора для измерения биоимпеданса грудной клетки человека (проводящие элементы), участие в написании текста статьи; Витт К.Н. – участие в наборе исследуемой группы, участие в проведении измерения биоимпеданса, участие в заполнении и оптимизации базы данных; Тукиш О.В. – участие в наборе исследуемой группы, участие в проведении измерения биоимпеданса, участие в заполнении и оптимизации базы данных, критическая оценка полученных данных и текста статьи; Сыромятникова Е.Е. – участие в наборе исследуемой группы, участие в проведении измерения импеданса, участие в заполнении базы данных; Кондратьев М.Ю. – участие в наборе исследуемой группы, участие в заполнении базы данных, подготовка текста статьи к опубликованию согласно требованиям журнала, критическая оценка полученных данных и текста статьи; Гарганеева А.А. – разработка концепции и дизайна исследования, теоретическое обоснование методики эксперимента, критическая оценка полученных данных и текста статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Финансирование: исследование проведено в рамках госзадания, тема ФНИ № 122020300045-5.

Подана: 22.12.2023

Принята: 12.02.2024

Контакты: kea@cardio-tomsk.ru

Резюме

Цель. Разработка методики измерения импеданса грудной клетки с помощью прибора «Измеритель иммитанса МНИПИ Е7-20» (Беларусь) и анализ возможности применения результатов измерений для диагностики гиперволемии малого круга кровообращения у пациентов с хронической сердечной недостаточностью (ХСН).

Материалы и методы. Проведено исследование с включением 26 пациентов с III функциональным классом ХСН. Группу сравнения составили 25 здоровых добровольцев.

Результаты. Исследуемая и контрольная группы различались по гендерно-возрастным, антропометрическим параметрам, а также показателям активного и реактивного сопротивления с поверхности грудной клетки. При этом в группе здоровых добровольцев индекс массы тела и пол испытуемых существенно влияли на значения анализируемых показателей импеданса. В исследовании был осуществлен анализ динамики показателей импеданса при проведении нагрузочной пробы с пассивным подъемом ног. Согласно полученным результатам на фоне нагрузки показатели активного и реактивного сопротивления грудной клетки уменьшались в значительно



большей степени в группе пациентов с ХСН, что регистрировалось преимущественно на низких частотах: на частоте 10 кГц $p=0,016$ и $p=0,035$, для активного и реактивного сопротивления соответственно.

Выводы. Показатели импеданса, измеренные с поверхности грудной клетки, имеют выраженную зависимость от возраста, индекса массы тела и пола испытуемых. Нагрузочная проба (горизонтальное положение с поднятым до 45° ножным концом кровати) удовлетворительно переносится пациентами с ХСН, клинически приводит к усилению одышки. Динамика реактивного и активного сопротивления при проведении нагрузочной пробы более выражена в группе пациентов с ХСН.

Ключевые слова: биоимпеданс, хроническая сердечная недостаточность, волемиа, активное сопротивление, реактивное сопротивление

Elena A. Kuzheleva¹ ✉, Beligma B. Dorzhieva², Alexey V. Fateev³, Karina N. Vitt¹, Olga V. Tukish¹, Ekaterina E. Syromyatnikova², Michail Yu. Kondratiev¹, Alla A. Garganeeva¹

¹ Cardiology Research Institute of the Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia

² Siberian State Medical University, Tomsk, Russia

³ Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russia

Methodology for Measuring Chest Impedance with Stress Testing and Prospects for Its Use in Patients with Chronic Heart Failure

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors' contribution: Elena A. Kuzheleva – participation in the development of the concept and design of the study, development of the experimental methodology, participation in measuring bioimpedance, statistical processing of results, writing the text of the article; Beligma B. Dorzhieva – participation in the recruitment of the study group, participation in measuring bioimpedance, filling out the database; Alexey V. Fateev – participation in the development of the concept and design of the study, training of employees of the Research Institute of Cardiology to work on the device "Immitance Meter MRIMI E7-20", production and optimization of equipment for adapting the device for measuring the bioimpedance of the human chest (conducting elements), participation in writing the text of the article; Karina N. Vitt – participation in the recruitment of the study group, participation in measuring bioimpedance, participation in filling out and optimizing the database; Olga V. Tukish – participation in the recruitment of the study group, participation in measuring bioimpedance, participation in filling out and optimizing the database, critical assessment of the data obtained and the text of the article; Ekaterina E. Syromyatnikova – participation in the recruitment of the study group, participation in impedance measurements, participation in filling out the database; Michail Yu. Kondratiev – participation in the recruitment of the study group, participation in filling out the database, preparing the text of the article for publication, in accordance with the requirements of the journal, critical assessment of the data obtained and the text of the article; Alla A. Garganeeva – development of the concept and design of the study, theoretical justification of the experimental methodology, critical assessment of the data obtained and the text of the article, approval of the final version of the article.

Funding: state assignment, FSR No. 122020300045-5.

Submitted: 22.12.2023

Accepted: 12.02.2024

Contacts: kea@cardio-tomsk.ru

Abstract

Purpose. Development of a technique for measuring the chest impedance using the device "Immitance meter MNIP E7-20" and analysis of the possibility of using the measurement results for the diagnosis of hypervolemia of the pulmonary circulation.

Materials and methods. A study with the inclusion of 26 patients with New York Heart Association (NYHA) class III heart failure (CHF) was conducted. The comparison group consisted of 25 healthy volunteers.

Results. The study and control groups differed in gender, age, anthropometric parameters, as well as indices of active and reactive resistance from the surface of the chest. At the same time, in the group of healthy volunteers, the body mass index and gender of the subjects significantly influenced the values of the analyzed impedance indicators. The study analyzed the dynamics of impedance indicators in a group of patients with chronic heart failure (CHF) and healthy volunteers. According to the results obtained, the indicators of active and reactive resistance decreased to a significantly greater extent in the group of patients with CHF, which was recorded mainly at low frequencies: at a frequency of 10 kHz $p=0.016$ and $p=0.035$, for active and reactive resistance, respectively.

Conclusions. The impedance values measured on the chest surface have a pronounced dependence on the age, body mass index and gender of the subjects. The load test (horizontal position with the foot end of the bed raised to 45°), is well tolerated by patients with CHF, leads to increased shortness of breath. The dynamics of reactive and active resistance during the exercise test is more pronounced in the group of patients with CHF.

Keywords: bioimpedance, chronic heart failure, volemia, active resistance, reactive resistance

■ ВВЕДЕНИЕ

Статус волемии является одним из ключевых параметров для пациентов с хронической сердечной недостаточностью (ХСН) [1].

Перспективным методом оценки волемии малого круга кровообращения является биоимпедансометрия с определением внутригрудного (легочного) импеданса [2]. Физическое обоснование метода заключается в том, что электрическая проводимость тела человека (или его частей) пропорциональна процентному содержанию воды в тканях, что обеспечивается механизмами поддержания стабильных концентраций электролитов [3]. Вместе с тем для биоимпедансного анализа грудной клетки на сегодняшний день не разработано стандартизированной методики измерения, а также математической формулы, позволяющей получать абсолютные значения жидкости в малом круге кровообращения. Основными ограничениями для применения методики измерения электрических параметров с поверхности грудной клетки является зависимость данных показателей от характеристики кожного покрова, объема подкожно-жировой клетчатки, размера молочных желез у женщин, характера условий окружающей среды и т. д. Таким образом, при интерпретации однократно измеренного значения импеданса необходимо внесение большого числа поправок на вмешивающиеся факторы, что существенно затрудняет внедрение данного метода в рутинную клиническую практику. Вместе с тем динамическое измерение биоимпеданса грудной клетки с поверхности кожи демонстрирует свою прогностическую значимость в клинических исследованиях. Так, группе авторов под руководством профессора Michael Shochat (Израиль) удалось доказать, что снижение внутригрудного импеданса более чем на 12% от исходного позволяет предсказать развитие отека легкого за несколько часов до клинической манифестации симптомов [4, 5].



В исследовании IMPEDANCE-HF, в которое было включено 256 пациентов с ХСН и фракцией выброса левого желудочка $\leq 35\%$, было получено существенное снижение количества повторных госпитализаций и летальных исходов при использовании подхода модификации медикаментозной терапии на основании данных биоимпедансометрии грудной клетки [5]. Ряд других исследователей также продемонстрировали эффективность измерения грудного импеданса в прогнозировании развития декомпенсации ХСН [6–8]. Однако при проведении данных работ использовались значительно различающиеся методики измерения и обработки полученных данных, что препятствует внедрению полученных результатов в клиническую практику. Кроме этого, ограничением практического внедрения неинвазивной биоимпедансометрии является высокая стоимость приборов, обусловленная в том числе применением запатентованных алгоритмов расчета параметров с целью преодоления вмешивающихся факторов, в первую очередь сопротивления кожных покровов [9]. Таким образом, на сегодняшний день необходимо проведение собственных исследований, направленных на определение возможности использования доступных приборов для измерения импеданса грудной клетки, отработку протокола измерения и алгоритма расчета параметров, обладающих высоким клиническим и прогностическим значением.

■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработка методики измерения импеданса грудной клетки с помощью прибора «Измеритель иммитанса МНИПИ Е7-20» и анализ возможности применения результатов измерений для диагностики гиперволемии малого круга кровообращения.

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено исследование с включением 26 пациентов с III функциональным классом по NYHA (ФК) ХСН. Группу сравнения составили 25 здоровых добровольцев. Критериями включения в исследование для основной группы явились подписанное пациентом информированное согласие и диагностированная ХСН с ФК III по NYHA [1]; для группы сравнения – подписанное информированное согласие. Диагноз ХСН выставлялся согласно действующим клиническим рекомендациям [1] по наличию симптомов и признаков сердечной недостаточности, структурно-функциональных изменений сердца по данным эхокардиографии и повышению уровня натрийуретического пептида (NTproBNP). Медиана фракции выброса включенных в исследование пациентов составила 63,5 (50; 65)%.

Критерии невключения в исследование: отказ от участия в исследовании, менее 3 месяцев после перенесенных острых ишемических коронарных или цереброваскулярных событий, тяжелое течение бронхиальной астмы, хронической обструктивной болезни легких, гидроторакс, пневмоторакс, объемные образования в легких, наличие имплантированных устройств для контроля ритма сердца. Протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом и соответствовал принципам Хельсинкской декларации.

Всем пациентам исследуемой группы было проведено рутинное эхокардиографическое (ЭхоКГ) исследование и тест шестиминутной ходьбы для оценки функционального класса ХСН, оценены наличие и выраженность симптомов и признаков сердечной недостаточности. Всем пациентам проводилось исследование уровня

NTproBNP, диагностически значимым считали повышение концентрации NTproBNP ≥ 125 пг/мл.

Ход эксперимента: измерение импеданса с поверхности грудной клетки осуществлялось с использованием прибора «Измеритель иммитанса МНИПИ Е7-20» (рис. 1), калибровка прибора осуществлялась перед каждым исследованием. Исследование проводилось в утреннее время, через 2 часа после приема пищи. На кожу пациента накладывалось 2 электрода: первый – на переднюю поверхность грудной клетки по срединно-ключичной линии справа, на уровне IV межреберья, второй – под нижним углом правой лопатки. После подключения электродов пациент в течение 5 минут находился в положении сидя в спокойной обстановке, до стабильно повторяющихся показателей на дисплее прибора. Измерение импеданса (активное и реактивное сопротивление) осуществлялось последовательно на разных частотах: 10 кГц, 25 кГц, 50 кГц, 100 кГц, 200 кГц. Результаты исследования заносились в таблицу.

После окончания измерений пациенту предлагали занять горизонтальное положение с поднятым под углом 45° ножным концом кровати, не снимая электродов. В указанном положении пациент находился в течение 5 минут, после чего осуществлялась регистрация импеданса грудной клетки. Исследование импеданса грудной клетки у лиц группы контроля выполнялось аналогичным образом.

Статистическая обработка осуществлялась с использованием программы IBM SPSS 21 и MS Excel. Непрерывные переменные представлены в виде медианы и межквартильного размаха (Me (Q25; Q75)). Категориальные данные – в абсолютных и относительных величинах (n (%)). Непрерывные переменные в независимых выборках анализировали с использованием критерия Манна – Уитни. Для исследуемых параметров: сопротивление активное (R) и реактивное (X) – на каждой из исследуемых частот производился расчет динамики показателя по формуле:

$\Delta \text{ параметра} = ((\text{значение параметра через 5 минут после принятия горизонтального положения} - \text{исходное значение параметра}) / \text{исходное значение параметра}) \times 100\%$.



Рис. 1. Прибор, используемый в исследовании для измерения импеданса грудной клетки (производитель – Минский научно-исследовательский приборостроительный институт)
Fig. 1. Instrument used in the study to measure chest impedance (manufactured by Minsk Research Instrument-Making Institute)

Для изучения ассоциации параметров импеданса с гендерными и антропометрическими данными проводился расчет коэффициента корреляции Спирмена. Значение $p < 0,05$ считалось статистически значимым.

■ РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследуемая и контрольная группы значительно различались по гендерно-возрастным, антропометрическим параметрам, а также показателям активного и реактивного сопротивления с поверхности грудной клетки (табл. 1).

Значения активного и реактивного сопротивлений были выше в группе пациентов с ХСН, что противоречит факту большего содержания жидкости в органах грудной клетки у пациентов с гиперволемией малого круга кровообращения, а соответственно, меньшего сопротивления тканей электрическому току. Полученные различия могли быть обусловлены особенностями состояния кожных покровов (степени гидратации кожи) и ассоциированы с возрастом и телосложением испытуемых. В связи с чем был проведен анализ корреляционных связей основных показателей импеданса с возрастом и индексом массы тела для исследуемой и контрольной групп (табл. 2). Также исследованы гендерные различия показателей импеданса по критерию Манна – Уитни.

В когорте пациентов с ХСН показатели активного и общего сопротивления не коррелировали со значениями возраста и ИМТ, а также не имели гендерных различий. Однако в группе здоровых добровольцев ИМТ и пол существенно влияли на значения анализируемых показателей импеданса. Полученные в ходе первого этапа данные подтверждают наличие существенных сложностей в трактовке показателей импеданса грудной клетки, зависимость их значений от возраста, пола и телосложения

Таблица 1
Гендерно-возрастные и антропометрические характеристики групп, показатели импеданса в положении сидя

Table 1
Gender, age, anthropometric data of patients and impedance indicators in the sitting position

Показатель	Исследуемая группа, n=26	Группа контроля, n=25	p
Пол мужской, n (%)	17 (65,4)	5 (20)	<0,001
Возраст	67 (63,7; 70)	19 (18; 22)	0,002
Индекс массы тела	28,5 (25,2; 33,8)	22,3 (20,5; 24,1)	<0,001
Активное сопротивление (R) в диапазоне частот			
10 кГц	3890,3 (2629,5; 4979,55)	2304,8 (1799,85; 2651,45)	<0,001
25 кГц	1660 (1018,1; 2117,5)	926,87 (834,67; 1101,5)	<0,001
50 кГц	1174 (691,3; 1447,7)	638,64 (611,775; 690,35)	<0,001
100 кГц	901,55 (571,1; 1060,8)	521,9 (480,585; 569,1)	<0,001
200 кГц	713,3 (522,3; 754,8)	471,4 (407,7; 525,2)	<0,001
Реактивное сопротивление (X) в диапазоне частот			
10 кГц	2060 (1314; 2608,5)	1169,7 (1074,9; 1330,65)	<0,001
25 кГц	1294,45 (779,915; 1556)	702,76 (677,6; 777,8)	<0,001
50 кГц	999,5 (617,85; 1173,2)	563,9 (524,1; 612,4)	<0,001
100 кГц	811,55 (551,375; 950,15)	494,7 (440,35; 548,1)	<0,001
200 кГц	666,9 (515,275; 711,7)	459,4 (388,5; 511,84)	<0,001

Таблица 2
Анализ связи показателей импеданса с возрастом, полом и индексом массы тела
Table 2
Analysis of the relationship between impedance indicators and age, gender and body mass index

Показатель	Возраст, г		Возраст, р		ИМТ, г		ИМТ, р		Пол, р при использовании критерия Манна – Уитни	
	ХСН	ЗД	ХСН	ЗД	ХСН	ЗД	ХСН	ЗД	ХСН	ЗД
Сопротивление R (10 кГц)	0,27	0,169	0,18	0,42	–0,222	–0,693	0,276	0,000	0,426	0,012
Сопротивление R (25 кГц)	0,208	0,116	0,3	0,42	–0,113	–0,795	0,584	0,000	0,833	0,497
Сопротивление R (50 кГц)	0,174	0,015	0,39	0,94	–0,70	–0,577	0,733	0,003	0,874	0,035
Сопротивление R (100 кГц)	0,097	–0,104	0,639	0,62	0,028	–0,113	0,894	0,592	0,833	0,005
Сопротивление R (200 кГц)	0,301	–0,092	0,135	0,661	–0,104	0,082	0,613	0,697	0,426	0,014
Сопротивление X (10 кГц)	0,208	0,189	0,31	0,365	–0,087	–0,736	0,67	0,000	0,726	0,455
Сопротивление X (25 кГц)	0,140	0,024	0,49	0,909	0,004	–0,608	0,986	0,001	0,893	0,035
Сопротивление X (50 кГц)	0,106	–0,077	0,605	0,713	–0,002	–0,191	0,993	0,36	0,808	0,005
Сопротивление X (100 кГц)	0,085	–0,145	0,68	0,49	0,061	–0,035	0,767	0,868	0,726	0,005
Сопротивление X (200 кГц)	0,180	–0,146	0,38	0,486	–0,018	0,104	0,932	0,62	0,403	0,012

Примечания: г – коэффициент корреляции; р – статистическая значимость; ХСН – хроническая сердечная недостаточность; ЗД – здоровые добровольцы.

пациента. В связи с чем был проведен эксперимент с нагрузочной пробой: пребывание в горизонтальном положении с поднятым до 45° ножным концом кровати в течение 5 минут. Указанное положение тела приводит к повышению венозного возврата крови к сердцу и обуславливает дополнительную нагрузку на сосудистую систему малого круга кровообращения, что клинически проявлялось усилением одышки у большинства исследуемых пациентов и не влияло на самочувствие здоровых добровольцев.

Была проанализирована динамика показателей (Δ) в группе пациентов с ХСН и здоровых добровольцев. За счет этого были нивелированы влияния вмешивающихся факторов (пол, возраст, ИМТ, условия окружающей среды) (табл. 3).

Согласно полученным результатам, показатели активного и реактивного сопротивления уменьшались в значительно большей степени в группе пациентов с ХСН, что регистрировалось преимущественно на низких частотах: на частоте 10 кГц $p=0,016$ и $p=0,035$, для активного и реактивного сопротивления соответственно (рис. 2а и 2б).

На более высоких частотах (25–50 кГц) регистрировалась статистическая значимость различий величины снижения показателей сопротивления грудной клетки у пациентов с ХСН.

Таблица 3
Изменение показателей импеданса в горизонтальном положении с поднятым до 45° ножным концом кровати
Table 3
Changes in impedance in a horizontal position with the foot end of the bed raised to 45°

Значение Δ параметра	Исследуемая группа, n=26	Группа контроля, n=25	p
Активное сопротивление (R) в диапазоне частот			
10 кГц	-14,05 (-21,23; -6,37)	-9,08 (-12,26; -5,06)	0,016
25 кГц	-9,78 (-12,36; -5,19)	-5,94 (-9,17; -4,78)	0,118
50 кГц	-4,56 (-7,4; -1,89)	-4,32 (-6,56; -2,79)	0,763
100 кГц	-3,94 (-7,29; -1,1)	-2,44 (-5,47; -0,95)	0,142
200 кГц	-2,43 (-4,36; -0,8)	-2 (-4,62; -0,03)	0,971
Реактивное сопротивление (X) в диапазоне частот			
10 кГц	-11,24 (-15,11; -5,34)	-6,56 (-8,67; -3,7)	0,035
25 кГц	-5,15 (-8,75; -1,71)	-4,38 (-7,06; -2,33)	0,585
50 кГц	-4,37 (-7,52; -2,22)	-3,18 (-4,76; -0,8)	0,152
100 кГц	-3,68 (-6,1; -1,03)	-2,24 (-4,49; -0,48)	0,152
200 кГц	-3,55 (-4,47; -0,83)	-1,91 (-4,19; -0,14)	0,624

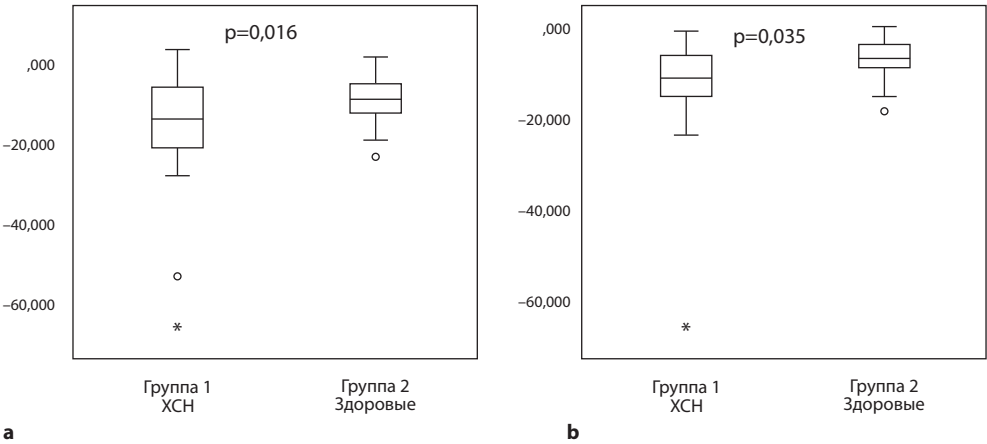


Рис. 2. Разница в динамике показателей активного (а) и реактивного (б) сопротивления, измеренного с поверхности грудной клетки на частоте 10 кГц
Fig. 2. Difference in the dynamics of active (a) and reactive (b) resistance, measured from the surface of the chest at a frequency of 10 kHz

■ ОБСУЖДЕНИЕ

Своевременная диагностика увеличения объема жидкости в малом круге кровообращения зачастую имеет решающее значение в предупреждении развития декомпенсации ХСН [1]. В настоящее время для этой цели используется анализ динамики клинических симптомов и признаков сердечной недостаточности, мониторинг массы тела пациента, расчет количества выпитой и выделенной жидкости [1]. Однако данные методы обладают невысокой диагностической точностью, характеризуюсь низкими показателями чувствительности (отеки, хрипы в легких) и специфичности

(одышка) [2]. В последнее время широкое применение находит ультразвуковой метод диагностики гиперволемии малого круга кровообращения по визуализации феномена В-линий [10]. Однако данный метод требует применения дорогостоящей ультразвуковой аппаратуры и достаточной компетенции специалиста, который проводит исследование, что затрудняет широкое внедрение данного метода в клиническую практику, в частности на амбулаторном приеме.

Решением данной проблемы может стать применение биоимпедансометрии, которое не требует соблюдения данных условий. Вместе с тем на сегодняшний день приборы, широко используемые для биоимпедансометрии, либо не позволяют измерять количество жидкости в одном сегменте тела (в частности, грудной клетке), либо характеризуются высокой стоимостью и недостаточной доказательной базой [11, 12]. Таким образом, данная проблема на сегодняшний день не решена.

В нашей работе было проведено измерение биоимпеданса грудной клетки с помощью прибора «Измеритель иммитанса МНИПИ Е7-20», изначально не предназначенного для осуществления измерений параметров сопротивления тканей у человека. Проведен сравнительный анализ показателей биоимпеданса грудной клетки, полученных с помощью прибора «Измеритель иммитанса МНИПИ Е7-20» у пациентов с ХСН и здоровых добровольцев. Значения активного и реактивного сопротивлений грудной клетки были выше в группе пациентов с ХСН, что не согласуется с ожидаемыми результатами, поскольку повышенное количество жидкости у пациентов с ХСН должно было привести к снижению электрического сопротивления тканей. На наш взгляд, полученные различия могли быть обусловлены особенностями состояния кожных покровов (степени гидратации кожи) и ассоциированы с возрастом и телосложением испытуемых. Был проведен статистический анализ наличия корреляционных связей между значениями параметров биоимпеданса, возрастом, полом и индексом массы тела испытуемых. Выявленные корреляционные связи между анализируемыми показателями свидетельствуют о наличии существенных сложностей в трактовке результатов однократного измерения показателей сопротивления грудной клетки.

В связи с этим был проведен эксперимент с нагрузочной пробой: пребывание в горизонтальном положении с поднятым до 45° ножным концом кровати в течение 5 минут. Указанное положение тела приводит к повышению венозного возврата крови к сердцу и обуславливает дополнительную нагрузку на сосудистую систему малого круга кровообращения. Во время проведения пробы электроды не удалялись с тела испытуемого и индивидуальные особенности пациента не могли повлиять на окончательный результат эксперимента: динамику активного и реактивного сопротивления в диапазоне частот от 10 до 200 кГц.

Согласно полученным результатам, показатели активного и реактивного сопротивления уменьшались в значительно большей степени в группе пациентов с ХСН, что регистрировалось преимущественно на низких частотах, а на более высоких частотах наблюдалась аналогичная динамика на уровне статистической тенденции. Указанные результаты могут свидетельствовать о большем накоплении именно внеклеточного компонента жидкости у пациентов с ХСН, поскольку частота в 10 кГц имеет низкую проникающую способность и не проходит через клеточные мембраны [3].

Таким образом, предложенная методика проведения измерения имеет ряд преимуществ перед другими методами диагностики гиперволемии в малом круге



кровообращения: использование для проведения измерений доступного прибора с приемлемой стоимостью, отсутствие жестких требований по условиям проведения измерения и квалификации оператора, наличие высокого потенциала практического внедрения с целью персонификации терапии сердечной недостаточности. Безусловно, основным ограничением данного исследования является отсутствие сопоставимости групп по гендерно-возрастным и антропометрическим параметрам. Вместе с тем в работе предложена оригинальная методика измерения импеданса грудной клетки и показано наличие статистически значимых различий у пациентов с ХСН и здоровых добровольцев, что влияет на перспективы проведения дальнейших исследований в данной области. Последующий этап исследования предусматривает включение более однородной группы пациентов с ХСН и анализ ассоциаций результатов измерения импеданса грудной клетки с прогнозом пациентов.

■ ВЫВОДЫ

1. Показатели импеданса, измеренные с поверхности грудной клетки, имеют выраженную зависимость от возраста, индекса массы тела и пола испытуемых.
2. Нагрузочная проба, заключающаяся в принятии пациентом горизонтального положения с поднятым до 45° ножным концом кровати, удовлетворительно переносится пациентами с ХСН, клинически приводит к усилению одышки.
3. Динамика реактивного и активного сопротивления при проведении нагрузочной пробы более выражена в группе пациентов с ХСН.
4. Полученные результаты обосновывают целесообразность дальнейших исследований в данной области.

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. 2020 Clinical practice guidelines for Chronic heart failure. *Russian Journal of Cardiology*. 2020;25(11):4083. doi: 10.15829/1560-4071-2020-4083 (in Russian)
2. Mareev V., Garganeeva A., Ageev F., Arutunov G., Begrambekova Yu., Belenkov Yu. et al. The use of diuretics in chronic heart failure. Position paper of the Russian Heart Failure Society. *Kardiologiia*. 2020;60(12):13–47. doi: 10.18087/cardio.2020.12.n1427 (in Russian)
3. Nikolaev D., Smirnov A., Bobrinskaya I., Rudnev S. *Bioimpedance analysis of the human body composition*. M.: Science. 2009;392 p. (in Russian)
4. Shochat M., Charach G., Meyler S., et al. Prediction of cardiogenic pulmonary edema onset by monitoring right lung impedance. *Intensive Care Med*. 2006;32(8):1214–21. doi: 10.1007/s00134-006-0237-z. Epub 2006 Jun 15.
5. Shochat M., Shotan A., Blondheim D.S. et al. Derivation of baseline lung impedance in chronic heart failure patients: use for monitoring pulmonary congestion and predicting admissions for decompensation. *J Clin Monit Comput*. 2015;29:341–349. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10877-014-9610-6>.
6. Malfatto G., Blengino S., Perego G.B., et al. Transthoracic impedance accurately estimates pulmonary wedge pressure in patients with decompensated chronic heart failure. *Congest Heart Fail*. 2012;18(1):25–31. doi: 10.1111/j.1751-7133.2011.00248.x. Epub 2011 Sep 14.
7. Packer M., Abraham W.T., Mehra M.R., et al. Prospective Evaluation and Identification of Cardiac Decompensation by ICG Test (PREDICT) Study Investigators and Coordinators. Utility of impedance cardiography for the identification of short-term risk of clinical decompensation in stable patients with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol*. 2006;47(11):2245–52. doi: 10.1016/j.jacc.2005.12.071. Epub 2006 May 15.
8. Facchini C., Malfatto G., Giglio A., et al. Lung ultrasound and transthoracic impedance for noninvasive evaluation of pulmonary congestion in heart failure. *J Cardiovasc Med (Hagerstown)*. 2016;17(7):510–7. doi: 10.2459/JCM.0000000000000226.
9. Nasonova S., Lapteva A., Zhirov I., Tereshchenko S., Boytsov S. Remote monitoring of patients with heart failure in real clinical practice. *Kardiologiia*. 2021;61(8):76–86. Available at: <https://doi.org/10.18087/cardio.2021.8.n1683> (in Russian)
10. Mareev Yu., Dzhoieva O., Zorya O., Pisaryuk A., Verbilo S., Skaletsky K. et al. Focus ultrasound for cardiology practice. Russian consensus document. *Kardiologiia*. 2021;61(11):4–23. (in Russian)
11. Koell B., Zotter-Tufaro C., Duca F., Kammerlander A.A., Aschauer S., Dalos D., Antlanger M., Hecking M., Saemann M., Mascherbauer J., Bonderman D. Fluid status and outcome in patients with heart failure and preserved ejection fraction. *Int J Cardiol*. 2017;230:476–481.
12. Nitsche C., Kammerlander A.A., Koschutnik M., Sinnhuber L., et al. Fluid overload in patients undergoing TAVR: what we can learn from the nephrologists. *ESC Heart Fail*. 2021;8(2):1408–1416. doi: 10.1002/ehf2.13226.