

DOI 10.23946/2500-0764-2018-3-2-59-65

# ЗНАЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ВНУТРИГРУДНОГО ИМПЕДАНСА ИМПЛАНТИРУЕМЫХ АНТИАРИТМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ПРИ ПОМОЩИ СИСТЕМ УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА В ДИАГНОСТИКЕ СУБКЛИНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССИРОВАНИЯ СЕРДЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ

МАМЧУР С.Е.<sup>1</sup>, ПЕТЕЛИН М.О.<sup>2</sup>, ХОМЕНКО Е.А.<sup>1</sup>, ЧИЧКОВА Т.Ю.<sup>1</sup>, РОМАНОВА М.П.<sup>1</sup>, ПОДОЛЯК Д.Г.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», г. Кемерово, Россия

<sup>2</sup>ГБУЗ КО «Кемеровский областной клинический кардиологический диспансер имени академика Л.С. Барбараша», г. Кемерово, Россия

<sup>3</sup>ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. академика Б.В. Петровского», г. Москва, Россия

## REVIEW ARTICLE

### MEASUREMENT OF INTRATHORACIC IMPEDANCE IN IMPLANTED ANTIARRHYTHMIC DEVICES BY REMOTE MONITORING SYSTEM IN DIAGNOSIS OF SUBCLINICAL HEART FAILURE PROGRESSION

SERGEY E. MAMCHUR<sup>1</sup>, MAXIM O. PETELIN<sup>2</sup>, EGOR A. KHOMENKO<sup>1</sup>, TATIANA Y. CHICHKOVA<sup>1</sup>, MARIA P. ROMANOVA<sup>1</sup>, DMITRIY G. PODOLYAK<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases (6, Sosnovy Boulevard, Kemerovo, 650002), Russian Federation

<sup>2</sup>Kemerovo Regional Clinical Cardiology Dispensary (6, Sosnovy Boulevard, Kemerovo, 650002), Russian Federation

<sup>3</sup>Petrovskiy National Research Centre of Surgery (2, Abrikosovskiy Pereulok, Moscow, 119991), Russian Federation

## Резюме

Распространенность хронической сердечной недостаточности (ХСН) в Российской Федерации составляет 7%, в США и Европе – от 1 до 3%. Годовая смертность среди пациентов с ХСН различной степени тяжести достигает 6%, а у пациентов с клинически выраженной ХСН – до 12%, что примерно равно 300 тыс. человек в год по всему миру. Самым распространенным методом лечения ХСН является консервативная терапия, при неэффективности которой последним шансом спасения жизней пациентов является трансплантация сердца. Однако в последние годы активно развиваются электрофизиологические методы лечения ХСН, а именно имплантация ан-

тиаритмических устройств, способствующих продлению жизни и улучшению ее качества. Для оптимальной терапии пациентов с ХСН остается немаловажным вопрос о своевременной регистрации симптомов прогрессирования заболевания. В настоящее время для этой цели разработана и успешно внедряется в клиническую практику технология измерения внутригрудного импеданса. В обзорной статье описываются современные представления о роли функции измерения внутригрудного импеданса в имплантируемых антиаритмических устройствах и возможностях его применения для ранней диагностики субклинически протекающего прогрессирования сердечной недостаточности. Также описываются возможно-

сти совместного применения данного метода с технологией удаленного мониторинга антиаритмических устройств.

**Ключевые слова:** сердечная недостаточность, имплантируемые устройства, внутригрудной импеданс.

English ►

## Abstract

The prevalence of chronic heart failure (CHF) in Russian Federation remains unacceptably high (7%) compared to United States and Europe (1-3%). Annual case fatality rate among patients with CHF reaches 12%, which is equal to 300,000 deaths worldwide. Implantation of antiarrhythmic devices is able to significantly improve both survival rates and quality of life of such patients. Currently, CHF progression

can be reliably detected by a measurement of intrathoracic impedance. Here we summarize the data on measurement of intrathoracic impedance in implantable antiarrhythmic devices for proper and timely diagnosis of CHF progression. We particularly focus on combination of this technique with remote monitoring of antiarrhythmic devices.

**Keywords:** heart failure, implantable devices, intrathoracic impedance.

По последним данным, распространенность хронической сердечной недостаточности (ХСН) в Российской Федерации составляет 7% [1]. Результаты эпидемиологических исследований последних лет сообщают, что распространенность ХСН в США и Европе составляет от 1 до 3% [2]. Годовая смертность среди пациентов с ХСН различной степени тяжести достигает 6%. Однолетняя смертность пациентов с клинически выраженной ХСН увеличивается до 12%, что примерно равно 300 тыс. человек в год по всему миру [1, 2].

Самым распространенным методом лечения ХСН является консервативная терапия. В случае терминальных стадий ХСН последним шансом спасения жизней пациентов является трансплантация сердца. Также немаловажным дополнением к вышеперечисленным методам в последние годы стали электрофизиологические методы лечения, способствующие не только достижению максимально эффективной терапии, но и улучшению уровня качества жизни пациентов. К таким электрофизиологическим методам лечения относятся имплантация электрокардиостимуляторов (ЭКС), устройств для ресинхронизирующей терапии (СРТ), имплантируемые кардио-дефибрилляторы (ИКД) [3].

Для оптимальной терапии пациентов с ХСН остается вопрос о своевременной регистрации симптомов прогрессирования заболевания. Также приходится учитывать такую проблему, как приверженность пациентов к терапии. Некоторые авторы демонстрируют, что 51,3-70% больных ХСН оказались некомплаентны [4, 5]. При этом с увеличением возраста пациентов тенденция приверженности к лечению снижается, а частота осложнений со стороны сердечно-сосудистой системы возрастает [5].

Нарушение сердечной проводимости у больных ХСН встречается в 35% случаев [6]. При этом большой процент этих больных нуждается в имплантации антиаритмических устройств для сердечной ресинхронизирующей терапии или электрокардиостимуляции [3].

В настоящий момент существуют имплантируемые устройства, способные дополнительно регистрировать физическую активность пациента и внутригрудной импеданс (ВГИ). Идея измерения ВГИ для мониторинга легких была предложена и исследована в университете Миннесоты в 60-х гг. двадцатого столетия и спонсировалась Национальным управлением по авиации и исследованию космического пространства (NASA) [7].

Физический принцип ВГИ был основан на измерении активного сопротивления тканей, замеряемого между правожелудочковым электродом и корпусом имплантируемого устройства. Данный метод позволяет оценивать уровень гидратации и распределения жидкости в клетках и межклеточных пространствах исследуемых тканей. Импеданс измеряется по закону Ома электрических цепей переменного тока. В свою очередь, величина активного сопротивления тканей близка к модулю импеданса и обратно пропорциональна количеству накопленной жидкости [7, 8].

Существуют некоторые состояния, которые могут влиять на надежность и специфичность измерения ВГИ: пневмония, пневмо- и/или гидроторакс, некоторые некардиальные патологии. Изменения в легком, контралатеральной стороне имплантируемого устройства, не должны влиять на измерение импеданса. Кроме того, повышенная воздушность легких мо-

жет усиливать уровень импеданса, например, при хронической обструктивной болезни легких или эмфиземе [7].

Внедрение в данные устройства телеметрических систем, использование удаленного мониторинга средствами сети Интернет и мобильных телекоммуникаций, а также облачных сервисов, значительно расширяет возможности для ранней диагностики субклинически протекающей декомпенсации сердечной недостаточности, что также ведет к улучшению приверженности к врачебному наблюдению и лечению. Уменьшается число посещений клиники пациентами, что, в свою очередь, экономит время пациента и обслуживающего персонала, уменьшаются затраты на лечение [9, 10, 11].

Клинические исследования Medtronic Impedance Diagnostics in Heart Failure Trial (MID-HeFT) показали, что ВГИ коррелирует с давлением в капиллярах легких и снижается при декомпенсации ХСН. Также замечено, что изменения импеданса обычно предшествуют симптомам ХСН [8]. Таким образом, данная технология позволяет диагностировать усугубление течения ХСН на ее доклинической стадии.

Имеются данные о наличии связи между изменением ВГИ, прогнозом для жизни пациента и риском госпитализации. Доказана обратная взаимосвязь между ВГИ и давлением наполнения левого желудочка, уровнем мозгового на-

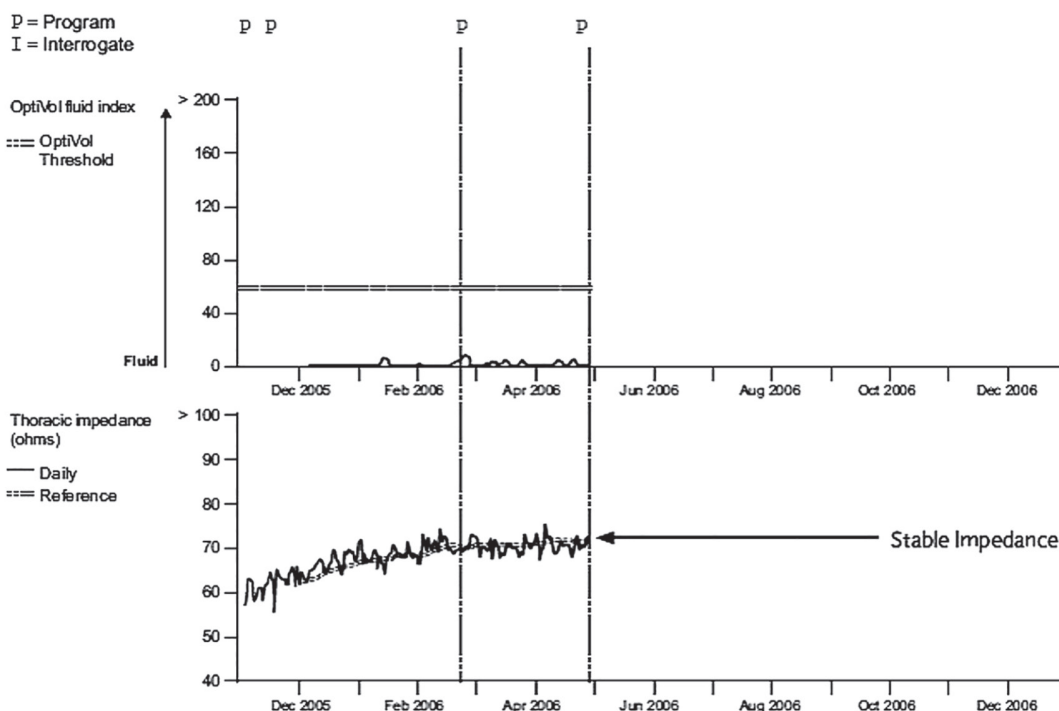
триуретического пептида и функциональным статусом пациента [9].

В настоящее время в практическом здравоохранении используется только одна система для определения ВГИ – OptiVol, разработанная компанией Medtronic (США). OptiVol – это электронная система мониторинга водного баланса организма, одобренная к применению Управлением по контролю за пищевыми продуктами и лекарственными средствами (FDA) США более десяти лет назад и с тех пор успешно применяемая в некоторых имплантируемых устройствах одноименного производителя [9].

После имплантации устройства с системой OptiVol программа начинает собирать данные без какого-либо дополнительного программирования. Измерение ВГИ происходит ежедневно с 00 до 17 часов с интервалами, равными 20 мин [9]. Благодаря такому методу записи минимизируются погрешности от экскурсии грудной клетки и положения тела при усреднении результатов. При детекции системой случая фибрилляции желудочков также происходят замеры ВГИ до восстановления нормального ритма.

Для оценки ВГИ оцениваются следующие программные параметры (рисунки 1-3):

1. Среднесуточное значение ВГИ (Average daily impedance) – среднее значение замеров ВГИ за период с 00 до 17 часов.
2. Ожидаемое пороговое значение ВГИ (Reference impedance) – среднее значе-

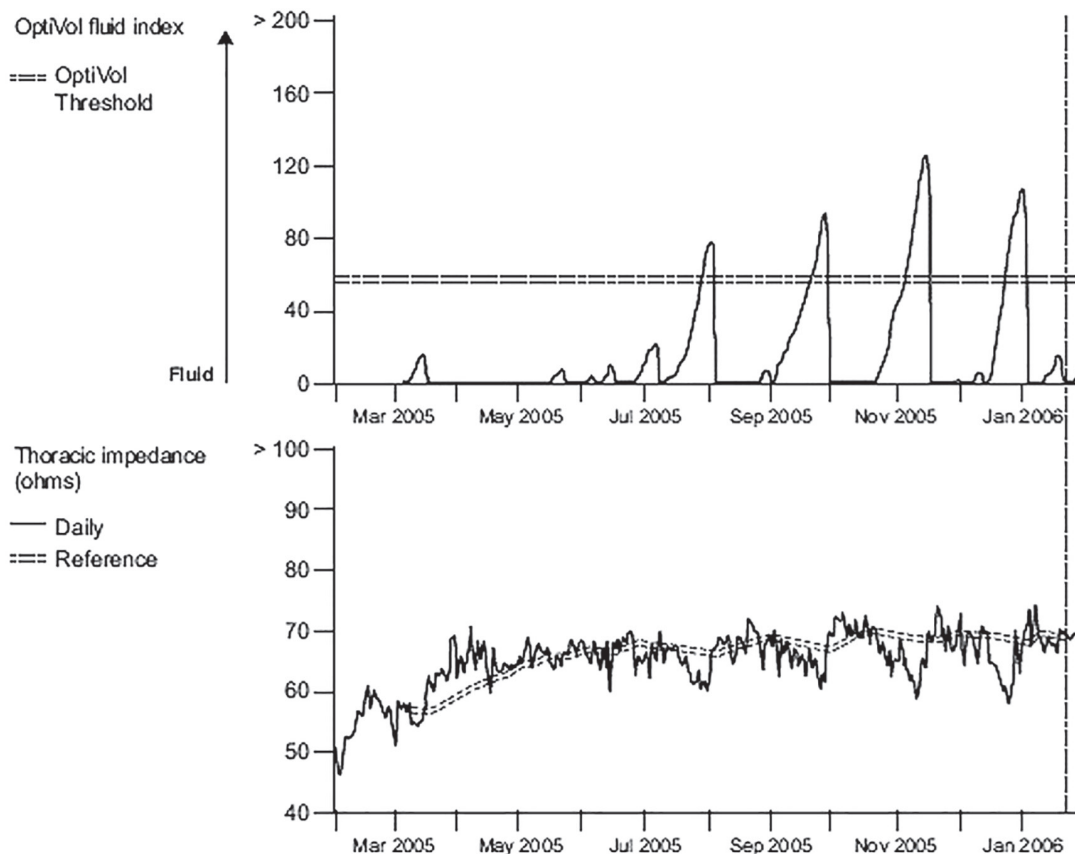


**Рисунок 1.** Данные по OptiVol у пациента с ХСН напоминают стабильное течение. Отмечается возрастание импеданса после имплантации устройства, далее отмечается период стабилизации импеданса, что означает готовность системы к работе

**Figure 1.** OptiVol data in a patient with CHF indicate stable course. After an initial increase after implantation of antiarrhythmic device, impedance becomes stable indicating system readiness

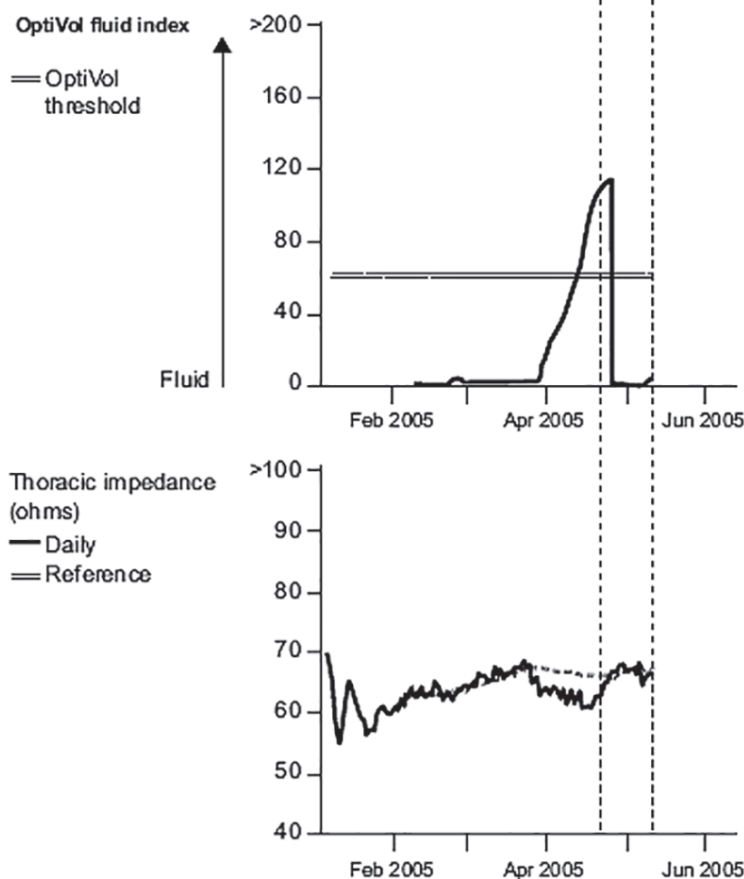
**Рисунок 2.** Снижение ВГИ на электроде выше порогового значения ассоциировано с прогрессированием симптомов ХСН и несоблюдением предписанной медикаментозной терапии. Отмечаются циклические изменения импеданса в виде роста индекса OptiVol (пики на первом графике), связанные с периодами финансовых затруднений пациента и невозможностью приобретения медикаментов

**Figure 2.** The decrease in intrathoracic impedance at the electrode above the threshold value is associated with the progression of CHF and low adherence to prescribed therapy. There are cyclic changes in impedance (increase in OptiVol index, peaks on the first chart) due to financial limitations of the patient resulting in inability to purchase medications



**Рисунок 3.** Однократное изменение в импедансе, ассоциированное с нарушением диеты у пациента в период отпуска

**Figure 3.** A single change in the impedance associated with a diet violation by the patient during vacation



ние ВГИ для данного пациента. Начинает измеряться через 34 дня после имплантации устройства. Это связано с тем, что за это время воспалительные изменения в ложе имплантата не дают провести достоверные замеры, что было подтверждено результатами проспективного многоцентрового исследования SENSE-HF [12].

3. OptiVol fluid Index (OVfi) – индекс, отражающий отношение ВГИ к ожидаемому (референтному) показателю.
4. Пороговое значение (OptiVol threshold). По умолчанию это значение устанавливается на 60 Ом/дней, основываясь на исследованиях MIDHeFT, но может и корректироваться в диапазоне 30-180 Ом/дней для учета некоторых особенностей пациента. Если значение среднесуточного ВГИ меньше ожидаемого порогового значения импеданса за последние 2-3 дня, то система не фиксирует OVfi на графике. При устойчивом повышении данного значения можно предположить усиление гиперволемии в малом кругу кровообращения. Имплантируемое устройство при этом выдает звуковой сигнал пациенту, сигнализируя о необходимости обратиться в клинику.

Для того чтобы данная система работала на максимум своего потенциала, необходимо, чтобы информация о тревожных сигналах состояний пациента приходила к врачу в кратчайшее время и удобным способом. Эти сигналы могут включать в себя статус батареи, импеданс электродов, параметры программирования устройств, а также клиническую информацию о физической активности пациента, эпизодах аритмий, накоплении жидкости в грудной клетке [13, 14].

На сегодняшний день существует 5 систем удаленного мониторинга, соответствующих

компаниям-производителям ЭКС/ИКД, однако совместно с системой OptiVol работает только CareLink Network (Medtronic, США). Каждую ночь устройство при помощи беспроводного модуля передает через сеть 3G или LTE на облачный сервер информацию о сделанных устройством измерениях, а также фрагменты электрограмм наиболее важных событий, произошедших за день. Любые сигналы тревоги, например, сообщение о развитии желудочковой тахикардии, отправляются врачу немедленно, а также с повторными попытками каждые 3 часа в течение трех дней при невозможности установить связь [13]. В дополнение к этому пациент самостоятельно может передать по беспроводной связи на сервер полную информацию обо всех эпизодах за истекшие сутки [15].

Результаты исследования систем удаленного мониторинга за пациентами с имплантированными электронными устройствами, оснащенными датчиками измерения ВГИ, демонстрируют уменьшение частоты обращений в клинику пациентов, у которых ранее выявлена сердечная недостаточность [10].

Удаленный мониторинг становится стандартом наблюдения за пациентами с имплантированными электронными устройствами. В данном техническом решении имеет место сочетание удобства использования, точность, объективность и оперативность анализа данных, сочетающаяся с безопасностью для пациентов, а также экономия рабочего времени и времени пациентов [10, 13].

Несмотря на проделанную работу, актуальными остаются вопросы об использовании ВГИ не только в антиаритмических имплантируемых устройствах. Также показания для установки данных устройств остаются узкими, что пока не позволяет расширить область применения метода.

## Литература / References:

1. Frolova EB, Yaushev MF. Current understanding of chronic heart failure. Bulletin of Current Clinical Medicine. 2013; 6(2): 87-93. Russian (Фролова Э.Б., Яушев М.Ф. Современное представление о хронической сердечной недостаточности // Вестник современной клинической медицины. 2013. Т. 6, № 2. С. 87-93).
2. Kiyutina MV, Gordeev IG, Samoylenko IV, Samoylenko VI. Cardiac resynchronisation therapy: selected pathophysiological aspects of dyssynchrony and hemodynamic disturbances. Russian Journal of Cardiology. 2012; (2): 79-84. Russian (Кiyutina М.В., Гордеев И.Г., Самойленко И.В., Самойленко
3. Mareev VYu, Ageev FT, Arutyunov GP, Koroteev AV, Mareev YuV, Ovchinnikov AG, et al. SEHF, RSC and RSMSIM national guidelines on CHF diagnostics and treatment (fourth revision). Approved at the SEHF Congress on December 7, 2012, at the SEHF Board of Directors meeting on March 31, 2013, and at the RSC Congress on September 25, 2013. Journal of Heart Failure. 2013; (7): 379-472. Russian (Маре-

- ев В.Ю., Агеев Ф.Т., Арутюнов Г.П., Коротеев А.В., Мареев Ю.В., Овчинников А.Г. и др. Национальные рекомендации ОССН, РКО и РНМОТ по диагностике и лечению ХСН (четвертый пересмотр) Утверждены на Конгрессе ОССН 7 декабря 2012 года, на Правлении ОССН 31 марта 2013 и Конгрессе РКО 25 сентября 2013 года // Журнал Сердечная Недостаточность. 2013. № 7. С. 379-472).
4. Shtegman OA, Polikarpov LS, Novikov OM. Adherence to treatment in outpatients with chronic heart failure. *Siberian Medical Journal (Tomsk)*. 2013; 28 (2): 78-82. Russian (Штерман О.А., Поликарпов Л.С., Новиков О.М. Приверженность к лечению амбулаторных больных хронической сердечной недостаточностью // Сибирский медицинский журнал (Томск). 2013. Т. 28, №2. С. 78-82).
  5. Kuimova ZhV, Filonova MV, Bolotnova TV. Compliance and risk of cardiovascular complications in elderly patients. *Tyumen Medical Journal*. 2013; 15(2): 11-13. Russian. (Куимова Ж.В., Филонова М.В., Болотнова Т.В. Влияние приверженности лечению на риск сердечно-сосудистых осложнений у больных пожилого и старческого возраста // Тюменский медицинский журнал. 2013. Т.15. №2. С. 11-13).
  6. Zhelyakov EG, Dzhandzhgava AO, Popov SV, Ardashev AV. Resynchronizing electrocardiotherapy in patients with chronic heart failure. *Clinical arrhythmology*. A.V. Ardashev [Ed]. Moscow, 2009. P. 640-664. Russian (Желяков Е.Г., Джанджгава А.О., Попов С.В., Ардашев А.В. Ресинхронизирующая электрокардиотерапия у пациентов с хронической сердечной недостаточностью // Клиническая аритмология / под ред. А.В. Ардашева. М., 2009. С. 640-664).
  7. Wang L. Fundamentals of intrathoracic impedance monitoring in heart failure. *Am J Cardiol*. 2007; 99(10A): 3G-10G.
  8. Yu CM, Wang L, Chau E, Chan RH, Kong SL, Tang MO, et al. Intrathoracic impedance monitoring in patients with heart failure: correlation with fluid status and feasibility of early warning preceding hospitalization. *Circulation*. 2005; 112(6): 841-848.
  9. Gavryushina SV, Ovchinnikov AG, Ageev FT. The diagnostic value of intrathoracic impedance monitoring in patients with chronic heart failure. *Emergency Cardiology* 2015; (2): 34-40. Russian (Гаврюшина С.В., Овчинников А.Г., Агеев Ф.Т. Клиническая значимость оценки внутригрудного импеданса у больных с хронической сердечной недостаточностью // Неотложная кардиология. 2015. № 2. С. 34-40).
  10. Sticherling C, Kuhne M, Schaer B, Altmann D, Osswald S. Remote monitoring of cardiovascular implantable electronic devices. Prerequisite or luxury? *Swiss Med Wkly*. 2009; 139(41-42): 596-601.
  11. Khasanov ISh. On pathophysiological aspects of electrotherapy of the heart. *Siberian Medical Journal (Tomsk)*. 2015; 30(1): 7-16. Russian (Хасанов И.Ш. К патофизиологическим аспектам электрокардиотерапии (обзор литературы) // Сибирский медицинский журнал (г. Томск). 2015. Т. 30, № 1. С. 7-16).
  12. Conraads VM, Tavazzi L, Santini M, Oliva F, Gerritse B, Yu CM, et al. Sensitivity and positive predictive value of implantable intrathoracic impedance monitoring as a predictor of heart failure hospitalizations: the SENSE-HF trial. *Eur Heart J*. 2011; 32(18): 2266-2273.
  13. Lebedeva VK, Lyubimtseva TA, Lebedev DS. Remote monitoring in management of patients with cardiac pacemakers, implantable cardioverters-defibrillators, and devices for cardiac resynchronization therapy. *Bulletin of Arrhythmology*. 2017; (88): 57-61. Russian (Лебедева В.К., Любимцева Т.А., Лебедев Д.С. Удаленный мониторинг в наблюдении за пациентами с электрокардиостимуляторами, имплантируемыми кардиовертерами-дефибрилляторами и устройствами сердечной ресинхронизирующей терапии // Вестник аритмологии. 2017. № 88. С. 57-61).
  14. Mamchur SE, Khomenko EA, Bokhan NS. Home monitoring of implanted antiarrhythmic devices in control of effectiveness of therapy of chronic heart failure. *Bulletin of Arrhythmology*. 2014; (77): 13-18. Russian (Мамчур С.Е., Хоменко Е.А., Бокхан Н.С. Использование домашнего мониторинга имплантируемых антиаритмических устройств для контроля эффективности терапии хронической сердечной недостаточности // Вестник аритмологии. 2014. № 77. С. 13-18).
  15. Slotwiner D, Varma N, Akar JG, Annas G, Beardsall M, Fogel RI, et al. HRS expert consensus statement on remote interrogation and monitoring for cardiovascular implantable electronic devices. *Bulletin of Arrhythmology*. 2015; (82): 43-72. Russian (Slotwiner D, Varma N, Akar JG, Annas G, Beardsall M, Fogel RI. и др. Совместное экспертное заключение американского общества сердечного ритма (HRS) по удалённой телеметрии и мониторингу сердечно-сосудистых имплантируемых электронных устройств // Вестник аритмологии. 2015. № 82. С. 43-72).

## Сведения об авторе

**Мамчур Сергей Евгеньевич**, доктор медицинских наук, заведующий отделом диагностики сердечно-сосудистых заболеваний, ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», г. Кемерово, Россия

**Вклад в статью:** руководство, утверждение окончательного варианта статьи.

**Петелин Максим Олегович**, врач-рентгенолог, ГБУЗ КО «Кемеровский областной клинический кардиологический диспансер имени академика Л.С. Барбараша», г. Кемерово, Россия

**Вклад в статью:** поиск литературы, анализ и интерпретация данных.

**Хоменко Егор Александрович**, кандидат медицинских наук, научный сотрудник отдела диагностики сердечно-сосудистых заболеваний, ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», г. Кемерово, Россия

**Вклад в статью:** написание рабочего варианта рукописи.

## Author

**Dr. Sergey E. Mamchur**, MD, PhD, Head of the Division for Diagnosis of Cardiovascular Diseases, Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases, Kemerovo, Russian Federation

**Contribution:** conceived and designed the review; wrote the manuscript.

**Dr. Maxim O. Petelin**, MD, Physician Radiologist, Department of Radiology, Kemerovo Regional Clinical Cardiology Dispensary, Kemerovo, Russian Federation

**Contribution:** performed a literature search; analyzed the literature; wrote the manuscript.

**Dr. Egor A. Khomenko**, MD, PhD, Researcher, Division for Diagnosis Cardiovascular Diseases Diagnosis, Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases, Kemerovo, Russian Federation

**Contribution:** wrote the manuscript.

**Dr. Tatiana Y. Chichkova**, MD, Researcher, Division for Diagnosis Cardiovascular Diseases Diagnosis, Research Institute

**Чичкова Татьяна Юрьевна**, научный сотрудник отдела диагностики сердечно-сосудистых заболеваний, ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», г. Кемерово, Россия

**Вклад в статью:** написание рабочего варианта рукописи.

**Романова Мария Петровна**, младший научный сотрудник отдела диагностики сердечно-сосудистых заболеваний, ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», г. Кемерово, Россия

**Вклад в статью:** поиск литературы, анализ и интерпретация данных.

**Подольяк Дмитрий Геннадьевич**, кандидат медицинских наук, врач-сердечно-сосудистый хирург отделения хирургического лечения сложных нарушений ритма сердца и электрокардиостимуляции, ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. академика Б.В. Петровского», г. Москва, Россия

**Вклад в статью:** предоставление и оформление иллюстративного материала.

**Корреспонденцию адресовать:**

Мамчур Сергей Евгеньевич,  
Сосновый бульвар, д. 6, г. Кемерово, 650002, Россия  
E-mail: mamchse@kemcardio.ru

**Выражение благодарности:** данное исследование выполнено при финансовой поддержке комплексной программы фундаментальных научных исследований СО РАН в рамках фундаментальной темы НИИ КПССЗ №0546-2015-0013 «Научное обоснование комплексного подхода к разработке и внедрению современных методов диагностики, интервенционного лечения сложных нарушений ритма и проводимости сердца с целью улучшения качества и прогноза жизни пациентов с заболеваниями сердечно-сосудистой системы».

Статья поступила: 8.05.18 г.

Принята в печать: 31.05.18 г.

for Complex Issues of Cardiovascular Diseases, Kemerovo, Russian Federation

**Contribution:** wrote the manuscript.

**Dr. Maria P. Romanova**, MD, Junior Researcher, Division for Diagnosis Cardiovascular Diseases Diagnosis, Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases, Kemerovo, Russian Federation

**Contribution:** performed a literature search; analyzed the literature.

**Dr. Dmitry G. Podolyak**, MD, PhD, Cardiovascular Surgeon, Unit for Surgical Treatment of Complex Arrhythmias And Pacing, Petrovskiy National Research Centre of Surgery, Moscow, Russian Federation

**Contribution:** designed and prepared illustrative material.

**Corresponding author:**

Dr. Sergey E. Mamchur,  
6, Sosnovy Boulevard, Kemerovo, 650002, Russian Federation  
E-mail: mamchse@kemcardio.ru

**Acknowledgements:** This study was supported by the Complex Program of Basic Research under the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences within the Basic Research Topic of Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases № 0546-2015-0013 "Scientific rationale of integrated approach to development and implementation of modern methods of diagnosis and interventional treatment of complex arrhythmias to improve quality of life and prognosis in patients with cardiovascular diseases".