



Современное состояние ядерной кардиологии в Российской Федерации

Завадовский К. В.¹, Веснина Ж. В.¹, Анашбаев Ж. Ж.², Мочула А. В.¹, Сазонова С. И.¹, Ильющенкова Ю. Н.¹, Шипулин В. В.¹, Варламова Ю. В.¹, Аншелес А. А.³, Асланиди И. П.⁴, Валиуллина Н. М.⁵, Вахромеева М. Н.⁶, Володина В. В.⁷, Давыдов Г. А.⁸, Дризнер Е. А.⁹, Знаменский И. А.¹⁰, Карпов Е. Н.¹¹, Коков А. Н.¹², Кудряшова Н. Е.¹³, Минин С. М.², Мирзоянц С. Г.¹⁴, Рыжкова Д. В.¹⁵, Садчиков А. А.¹⁶, Сайфуллина Г. Б.⁵, Сергиенко В. Б.³, Смолярчук М. Я.¹⁷, Старикова Е. В.¹⁸, Сухов В. Ю.¹⁹, Талантов С. В.²⁰, Темпель М. В.²¹, Теффенберг Д. В.²², Томашевский И. О.¹⁴, Трифонова Т. А.⁴, Удодов В. Д.²³, Чернов В. И.²⁴, Шурупова И. В.⁴

Статья посвящена анализу современного состояния ядерной кардиологии в Российской Федерации. Приведены данные о количестве структурных подразделений, выполняющих радионуклидные исследования для диагностики и мониторинга лечения сердечно-сосудистых заболеваний, их оснащении кадрами и аппаратурой. Приведена статистика проведенных исследований по ядерной кардиологии за 2018-2020 гг, описаны методы, особенности их проведения и клинико-диагностическая значимость.

Ключевые слова: ядерная кардиология, сердечно-сосудистые заболевания, сцинтиграфия миокарда.

Отношения и деятельность: нет.

Благодарности. Благодарим исполнительного директора Общества ядерной медицины к.м.н. Е.И. Василенко за помощь в организации анкетирования.

¹Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук, Томск; ²ФГБУ НМИЦ им. акад. Е. Н. Мешалкина Минздрава России, Новосибирск; ³ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии им. акад. Е. И. Чазова Минздрава России, Москва; ⁴ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А. Н. Бакулева Минздрава России, Москва; ⁵ГАУЗ Межрегиональный клинико-диагностический центр, Казань; ⁶ФГБУ Национальный медико-хирургический Центр им. Н. И. Пирогова Минздрава России, Москва; ⁷ФГБУЗ Волгоградский областной клинический кардиологический центр, Волгоград; ⁸Медицинский радиологический научный центр им. А. Ф. Цыба — филиал ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр радиологии Минздрава России, Обнинск; ⁹ГАУЗ Свердловской области "Свердловский областной онкологический диспансер", Екатеринбург; ¹⁰ФГБНУ Центральная клиническая больница Российской академии наук Министерства науки и высшего образования России, Москва; ¹¹ОГАУЗ Томский областной онкологический диспансер, Томск; ¹²ФГБНУ Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний, Кемерово; ¹³ФГБУЗ Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н. В. Склифосовского ДЗМ, Москва; ¹⁴ФГБНУ Центральная клиническая больница "РЖД-Медицина", Москва; ¹⁵ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова Минздрава России, Санкт-Петербург; ¹⁶АО Медицинский Центр "АВИЦЕННА", Новосибирск; ¹⁷ООО "Медицина и ядерные технологии", Москва; ¹⁸ФГБУЗ Челябинская областная клиническая больница, Челябинск; ¹⁹ФГБУ Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А. М. Никифорова МЧС России, Санкт-Петербург; ²⁰ФГБВОУ высшего образования Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова Минобороны России, Санкт-Петербург; ²¹БУЗ Омской области Областная клиническая больница, Омск; ²²ГАУЗ ТО МКМЦ "Медицинский город", Тюмень; ²³ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России, Томск; ²⁴Научно-исследовательский институт онкологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук, Томск, Россия.

Завадовский К. В.* — д.м.н., зав. отделом лучевой диагностики, ORCID: 0000-0002-1513-8614, Веснина Ж. В. — д.м.н., зав. лабораторией — врач-радиолог, ORCID: 0000-0002-9238-6814, Анашбаев Ж. Ж. — врач-радиолог, ORCID: 0000-0003-3169-0326, Мочула А. В. — к.м.н., с.н.с., ORCID: 0000-0003-0883-466X, Сазонова С. И. — д.м.н., в.н.с., ORCID: 0000-0003-2799-3260, Ильющенкова Ю. Н. — к.м.н., с.н.с., ORCID: 0000-0002-8649-3648, Шипулин В. В. — к.м.н., м.н.с., ORCID: 0000-0001-9887-8214, Варламова Ю. В. — к.м.н., врач-радиолог, ORCID: 0000-0002-0193-9453, Аншелес А. А. — д.м.н., в.н.с., ORCID: 0000-0002-2675-3276, Асланиди И. П. — д.м.н., профессор, ORCID: 0000-0001-6386-2378, Валиуллина Н. М. — зав. лабораторией радиоизотопной диагностики — врач-радиолог, ORCID: 0000-0002-7533-7332, Вахромеева М. Н. — д.б.н., профессор, зав. отделением радионуклидной и функциональной диагностики, ORCID: 0000-0002-2268-6969, Володина В. В. — врач-радиолог, ORCID: нет, Давыдов Г. А. — к.м.н., врач-радиолог, ORCID: 0000-0001-7851-2119, Дризнер Е. А. — зав. отделением радионуклидной диагностики — врач-радиолог, ORCID: 0000-0002-5691-5897, Знаменский И. А. — зав. отделением радионуклидных методов диагностики — врач-радиолог, ORCID: 0000-0003-0305-6723, Карпов Е. Н. — зав. отделением радионуклидной диагностики — врач-радиолог, ORCID: 0000-0003-2282-365X, Коков А. Н. — к.м.н., зав. отделением лучевой диагностики, ORCID: 0000-0002-7573-0636, Кудряшова Н. Е. — г.н.с. отделения лучевой диагностики, врач-радиолог, ORCID: 0000-0003-1647-1635, Минин С. М. — к.м.н., врач-радиолог, ORCID: 0000-0001-6626-6408, Мирзоянц С. Г. — к.м.н., руководитель центра ядерной медицины и позитронно-эмиссионной томографии — врач-радиолог, ORCID: нет, Рыжкова Д. В. — д.м.н., профессор РАН, зав. кафедрой ядерной медицины и радиационных технологий с клиникой, г.н.с. научно-исследовательской лаборатории ядерной медицины и тераностики, ORCID: 0000-0002-7086-9153, Садчиков А. А. — зав. отделением радионуклидной диагностики — врач-радиолог, ORCID: нет, Сайфуллина Г. Б. — врач-радиолог, ORCID: 0000-0002-1259-0285, Сергиенко В. Б. — д.м.н., профессор, ORCID: 0000-0002-0487-6902, Смолярчук М. Я. — зам. главного врача по клинико-экспертной работе, ORCID: 0000-0001-9819-8657, Старикова Е. В. — врач-радиолог, ORCID: 0000-0002-5085-2899, Сухов В. Ю. — к.м.н., зав. отделом ядерной медицины — врач-радиолог, ORCID: нет, Талантов С. В. — врач-радиолог, ORCID: 0000-0001-6999-4937, Темпель М. В. — зав. радиологическим отделением — врач-радиолог, ORCID: нет, Теффенберг Д. В. — врач-радиолог, ORCID: 0000-0001-5193-5218, Томашевский И. О. — д.м.н., врач-радиолог, ORCID: 0000-0001-6658-537X, Трифонова Т. А. — к.м.н., зав. отделением радионуклидных методов исследования — врач-радиолог, ORCID: 0000-0002-9727-4213, Удодов В. Д. — к.м.н., зав. отделением радионуклидной диагностики — врач-радиолог, ORCID: 0000-0002-1321-7861, Чернов В. И. — член-корр. РАН, д.м.н., профессор НИИ онкологии, ORCID: 0000-0002-5524-9546, Шурупова И. В. — д.м.н., в.н.с., ORCID: 0000-0002-2154-474X.

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author): konstz@cardio-tomsk.ru

АТФ — аденозинтрифосфат, ИЭ — инфекционный эндокардит, КТ — компьютерная томография, ЛЖ — левый желудочек, МК — миокардиальный кровоток, МРТ — магнитно-резонансная томография, ОЭКТ — однофотонная эмиссионная компьютерная томография, ПСМ — перфузионная сцинтиграфия миокарда, ПЭТ — позитронно-эмиссионная томография, РМК — резерв миокардиального кровотока, РНД — радионуклидная диагностика, РРВГ — радионуклидная равновесная вентрикулография, РФ — Российская Федерация, РФП — радиофармацевтический препарат, СН — сердечная недостаточность, ССЗ — сердечно-сосудистые заболевания, ФО — федеральный округ, ХСН — хроническая сердечная недостаточность, ЭКГ — электрокардиография, ЯК — ядерная кардиология, ¹²³I-МИБГ — ¹²³I-метайодбензилгуанидин, ^{99m}Tc-PYP — ^{99m}Tc-пирофосфат, ¹⁸F-ФДГ — ¹⁸F-фтордезоксилглюкоза.

Рукопись получена 27.06.2022
Рецензия получена 19.07.2022
Принята к публикации 29.07.2022



Аншелес А. А., Асланиди И. П., Валиуллина Н. М., Вахромеева М. Н., Володина В. В., Давыдов Г. А., Дризнер Е. А., Знаменский И. А., Карпов Е. Н., Кокков А. Н., Кудряшова Н. Е., Минин С. М., Мирзоянц С. Г., Рыжкова Д. В., Садчиков А. А., Сайфуллина Г. Б., Сергиенко В. Б., Смоляруч М. Я., Старикова Е. В., Сухов В. Ю., Талантов С. В., Темпель М. В., Теффенберг Д. В., Томашевский И. О., Трифонова Т. А., Удодов В. Д., Чернов В. И., Шурупова И. В. Современное состояние ядерной кардиологии в Российской Федерации. *Российский кардиологический журнал*. 2022;27(12):5134. doi:10.15829/1560-4071-2022-5134. EDN FBVSNX



Для цитирования: Завадовский К. В., Веснина Ж. В., Анашбаев Ж. Ж., Мочула А. В., Сазонова С. И., Ильющенкова Ю. Н., Шипулин В. В., Варламова Ю. В.,

Current status of nuclear cardiology in the Russian Federation

Zavadovsky K. V.¹, Vesnina Zh. V.¹, Anashbaev Zh. Zh.², Mochula A. V.¹, Sazonova S. I.¹, Ilyushenkova Yu. N.¹, Shipulin V. V.¹, Varlamova Yu. V.¹, Ansheles A. A.³, Aslanidi I. P.⁴, Valiullina N. M.⁵, Vakhromeeva M. N.⁶, Volodina V. V.⁷, Davydov G. A.⁸, Drizner E. A.⁹, Znamensky I. A.¹⁰, Karpov E. N.¹¹, Kokov A. N.¹², Kudryashova N. E.¹³, Minin S. M.², Mirzoyants S. G.¹⁴, Ryzhkova D. V.¹⁵, Sadchikov A. A.¹⁶, Sayfullina G. B.⁵, Sergienko V. B.³, Smolyarchuk M. Ya.¹⁷, Starikova E. V.¹⁸, Sukhov V. Yu.¹⁹, Talantov S. V.²⁰, Tempel M. V.²¹, Teffenberg D. V.²², Tomashevsky I. O.¹⁴, Trifonova T. A.⁴, Udodov V. D.²³, Chernov V. I.²⁴, Shurupova I. V.⁴

The article is devoted to the analysis of the current status of nuclear cardiology in the Russian Federation. The data on the number of facilities performing radionuclide investigations for the diagnosis and monitoring of the treatment of cardiovascular diseases, their staffing and equipment are given. The statistics of the conducted nuclear cardiology tests for 2018-2020 are given, as well as their methods, features and diagnostic significance are described.

Keywords: nuclear cardiology, cardiovascular diseases, myocardial scintigraphy.

Relationships and Activities: none.

Acknowledgments. We thank the Executive Director of the Society for Nuclear Medicine Ph.D. E. I. Vasilenko for help in organizing the survey.

¹Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Tomsk; ²Meshalkin National Medical Research Center, Novosibirsk; ³E. I. Chazov National Medical Research Center of Cardiology, Moscow; ⁴A. N. Bakulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery, Moscow; ⁵Interregional Clinic and Diagnostic Center, Kazan; ⁶Pirogov National Medical and Surgical Center, Moscow; ⁷Volgograd Regional Clinical Cardiology Center, Volgograd; ⁸A. Tsyba Medical Radiological Research Center — branch of the National Medical Research Center for Radiology, Obninsk; ⁹Sverdlovsk Regional Oncology Dispensary, Yekaterinburg; ¹⁰Central Clinical Hospital, Moscow; ¹¹Tomsk Regional Oncology Dispensary, Tomsk; ¹²Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases, Kemerovo; ¹³N. V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow; ¹⁴Central Clinical Hospital "RZD-Medicine", Moscow; ¹⁵Almazov National Medical Research Center, St. Petersburg; ¹⁶Medical Center "AVICENNA", Novosibirsk; ¹⁷OOO Medicine and Nuclear Technologies, Moscow; ¹⁸Chelyabinsk Regional Clinical Hospital, Chelyabinsk; ¹⁹Nikiforov All-Russian Center for Emergency and Radiation Medicine, St. Petersburg; ²⁰S. M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg; ²¹Omsk Regional Clinical Hospital, Omsk; ²²Multidisciplinary Clinical Medical Center "Medical City", Tyumen; ²³Siberian State Medical University, Tomsk; ²⁴Research Institute of Oncology, Tomsk National Research Medical Center, Tomsk, Russia.

Zavadovsky* K. V. ORCID: 0000-0002-1513-8614, Vesnina Zh. V. ORCID: 0000-0002-9238-6814, Anashbaev Zh. Zh. ORCID: 0000-0003-3169-0326, Mochu-

la A. V. ORCID: 0000-0003-0883-466X, Sazonova S. I. ORCID: 0000-0003-2799-3260, Ilyushenkova Yu. N. ORCID: 0000-0002-8649-3648, Shipulin V. V. ORCID: 0000-0001-9887-8214, Varlamova Yu. V. ORCID: 0000-0002-0193-9453, Ansheles A. A. ORCID: 0000-0002-2675-3276, Aslanidi I. P. ORCID: 0000-0001-6386-2378, Valiullina N. M. ORCID: 0000-0002-7533-7332, Vakhromeeva M. N. ORCID: 0000-0002-2268-6969, Volodina V. V. ORCID: none, Davydov G. A. ORCID: 0000-0001-7851-2119, Drizner E. A. ORCID: 0000-0002-5691-5897, Znamensky I. A. ORCID: 0000-0003-0305-6723, Karpov E. N. ORCID: 0000-0003-2282-365X, Kokov A. N. ORCID: 0000-0002-7573-0636, Kudryashova N. E. ORCID: 0000-0003-1647-1635, Minin S. M. ORCID: 0000-0001-6626-6408, Mirzoyants S. G. ORCID: none, Ryzhkova D. V. ORCID: 0000-0002-7086-9153, Sadchikov A. A. ORCID: none, Sayfullina G. B. ORCID: 0000-0002-1259-0285, Sergienko V. B. ORCID: 0000-0002-0487-6902, Smolyarchuk M. Ya. ORCID: 0000-0001-9819-8657, Starikova E. V. ORCID: 0000-0002-5085-2899, Sukhov V. Yu. ORCID: none, Talantov S. V. ORCID: 0000-0001-6999-4937, Tempel M. V. ORCID: none, Teffenberg D. V. ORCID: 0000-0001-5193-5218, Tomashevsky I. O. ORCID: 0000-0001-6658-537X, Trifonova T. A. ORCID: 0000-0002-9727-4213, Udodov V. D. ORCID: 0000-0002-1321-7861, Chernov V. I. ORCID: 0000-0002-5524-9546, Shurupova I. V. ORCID: 0000-0002-2154-474X.

*Corresponding author: konstz@cardio-tomsk.ru

Received: 27.06.2022 **Revision Received:** 19.07.2022 **Accepted:** 29.07.2022

For citation: Zavadovsky K. V., Vesnina Zh. V., Anashbaev Zh. Zh., Mochula A. V., Sazonova S. I., Ilyushenkova Yu. N., Shipulin V. V., Varlamova Yu. V., Ansheles A. A., Aslanidi I. P., Valiullina N. M., Vakhromeeva M. N., Volodina V. V., Davydov G. A., Drizner E. A., Znamensky I. A., Karpov E. N., Kokov A. N., Kudryashova N. E., Minin S. M., Mirzoyants S. G., Ryzhkova D. V., Sadchikov A. A., Sayfullina G. B., Sergienko V. B., Smolyarchuk M. Ya., Starikova E. V., Sukhov V. Yu., Talantov S. V., Tempel M. V., Teffenberg D. V., Tomashevsky I. O., Trifonova T. A., Udodov V. D., Chernov V. I., Shurupova I. V. Current status of nuclear cardiology in the Russian Federation. *Russian Journal of Cardiology*. 2022;27(12):5134. doi:10.15829/1560-4071-2022-5134. EDN FBVSNX

Ведущей причиной смертности во многих странах мира являются сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ), уносящие ежегодно до 17 млн жизней, что составляет 16% всех смертей [1]. В 2020г заболеваемость ССЗ в Российской Федерации (РФ) составила 2940 на 100 тыс. населения, что почти в 3 раза превышает таковую в странах Европейского союза (1133 на

100 тыс.) [2], а смертность была на уровне 2,3 млн человек. В пересчете на 100 тыс. населения это в 2 раза больше, чем в Европе и в США, в 1,5 раза больше, чем в среднем по миру.

По данным МАГАТЭ, смертность от ССЗ обратно пропорциональна объему использования радионуклидных методов диагностики в кардиологии [3].

Этим фактором определяется социальная значимость такого направления медицинской визуализации, как ядерная кардиология (ЯК), представляющего собой раздел ядерной медицины, направленный на использование методов радионуклидной индикации для диагностики заболеваний сердца. В России координацию деятельности в сфере ЯК осуществляют Российское общество рентгенологов и радиологов, а также Российское общество ядерной медицины.

По мнению Beller GA, методы ЯК за последние 20 лет уже в значительной мере помогли снизить риски неблагоприятных исходов у пациентов высокого риска, благодаря их своевременному выявлению, эффективному терапевтическому ведению или более обоснованному направлению на инвазивные вмешательства [4]. По данным Cedars-Sinai Group (Cedars-Sinai Medical Center, США) среди всех пациентов, направленных на перфузионную однофотонную эмиссионную томографию (ОЭКТ), доля лиц с выраженной преходящей ишемией миокарда снизилась с 29,6% в 1991г до 5,0% в 2009г [5].

Однако, несмотря на принятую Министерством здравоохранения РФ межведомственную программу "Развитие ядерной медицины в РФ" (разработана во исполнение п. 2 Перечня поручений Президента РФ от 08.05.2010 № Пр-1314), число изотопных исследований на душу населения в РФ существенно ниже по сравнению со странами Европы и США [6]. По данным Росстата за 2012г в РФ функционирует всего 217 отделений радионуклидной диагностики (РНД), оснащенных 282 гамма-камерами и/или томографами (ОЭКТ). При этом в Японии функционируют 3 тыс. ОЭКТ-томографов, в Западной Европе — 4 тыс., в США — 13 тыс. Несмотря на наличие аналитических работ по распространённости методов лучевой диагностики в нашей стране [7], систематизированная информация о современном состоянии ЯК в РФ отсутствует.

Целью данного обзора является анализ состояния ЯК в РФ по данным на 2021г.

Материал и методы

Осенью 2021г в структурные подразделения (кабинеты, лаборатории, отделения РНД) клиник страны были разосланы анкеты, в которых респондентам было предложено ответить на ряд вопросов относительно качественных и количественных показателей работы за период 2018-2020гг. Последующий анализ анкет позволил получить информацию о кадровой оснащённости структурных подразделений штатными единицами (в т.ч. наличие в штате врачей-кардиологов или функциональных диагностов), аппаратной оснащённости, используемых РПФ, видах и количестве исследований, использовании нагрузочных тестов, протоколах исследования, программном обеспечении.

Результаты

Всего было собрано 24 анкеты, на основании которых были получены изложенные ниже данные.

Отделения, выполняющие кардиологические исследования

В настоящее время центров РНД, где выполняются исследования для кардиологии, всего 24 (рис. 1). Из них позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) — 3 (1 — в Москве и 2 — в Санкт-Петербурге). Наибольшее число отделений сконцентрировано в г. Москве (7) и Сибирском Федеральном округе (8) (Кемерово — 1, Новосибирск — 2, Омск — 1, Томск — 4). По другим Федеральным округам (ФО): в Северо-Западном ФО — 3 (Санкт-Петербург); в Центральном ФО — 1 (Обнинск); в Уральском ФО — 3 (Екатеринбург, Тюмень, Челябинск); в Приволжском ФО — 1 (Казань); в Южном — 1 (Волгоград).

Приборная база

24 отделения РНД снабжены 34 аппаратами, из них: — гибридные — 25 (20 — ОЭКТ/компьютерная томография (КТ); 4 — ПЭТ/КТ; 1 — ПЭТ/магнитно-резонансная томография (МРТ));

— моно ОЭКТ гамма-камеры — 9.

При этом старше 10 лет — 25 (31%) аппаратов.

В 5 отделениях РНД имеются только моно гамма-камеры, две из которых 1997 и 1998гг выпуска (в Волгоградском областном клиническом кардиологическом центре и в Межрегиональном клинико-диагностическом центре г. Казани, соответственно).

Спектр исследований

Основные методы РНД для кардиологии включают в себя:

- перфузионную сцинтиграфию миокарда (ПСМ);
- радионуклидную равновесную томовентрикулографию или радионуклидную ангиографию;
- сцинтиграфию миокарда с ^{99m}Tc -пирофосфатом (диагностика амилоидоза и воспалительных процессов в сердце);
- сцинтиграфию миокарда с ^{123}I -метайодбензилгуанидином (^{123}I -МИБГ) для визуализации симпатической активности сердца.
- сцинтиграфию миокарда с мечеными лейкоцитами;
- ПЭТ исследования сердца с ^{18}F -фтордезоксиглюкозой (^{18}F -ФДГ) (для диагностики метаболизма, воспаления и кардиоонкологии) и ^{13}N -аммонием (для оценки миокардиального кровотока (МК)).

Перфузионная сцинтиграфия миокарда

В России за 2018-2020гг суммарно было проведено 68829 ПСМ, большинство их которых — 26589 (39%) в г. Москве и 25906 (38%) в Северном ФО (рис. 2, табл. 1). Для ОЭКТ-ПСМ все отделения используют аналог ^{99m}Tc -сестамиби — ^{99m}Tc -технетрил (ООО "Диамед", Россия), в трех отделениях используют также ^{99m}Tc -тетрофосмин (Myoview (^{99m}Tc), GE

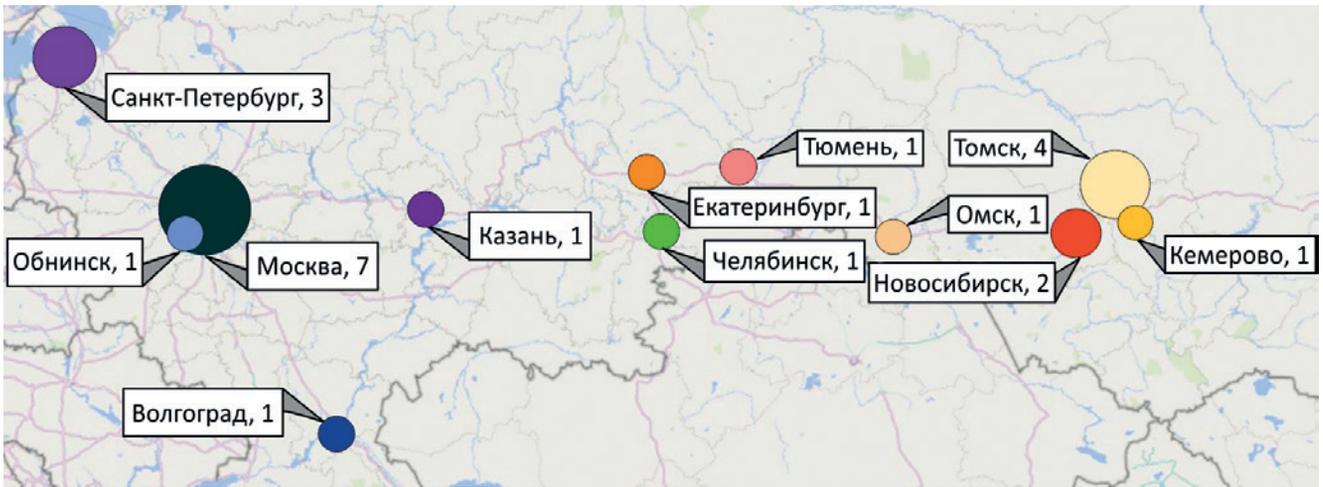


Рис. 1. Количество учреждений, занимающихся кардиологическими радионуклидными исследованиями в городах РФ.
Примечание: текст в указателях: название города, абсолютное количество учреждений.

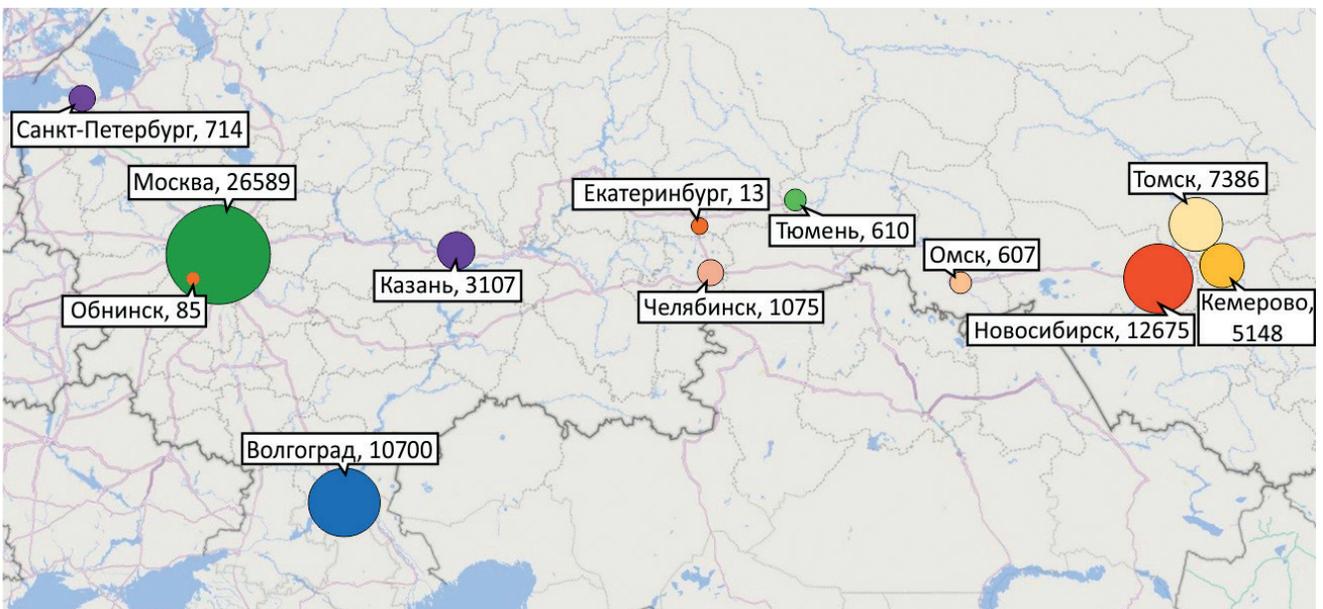


Рис. 2. Абсолютное количество проведенных ПСМ, нагрузка/покой, за период 2018-2020гг.

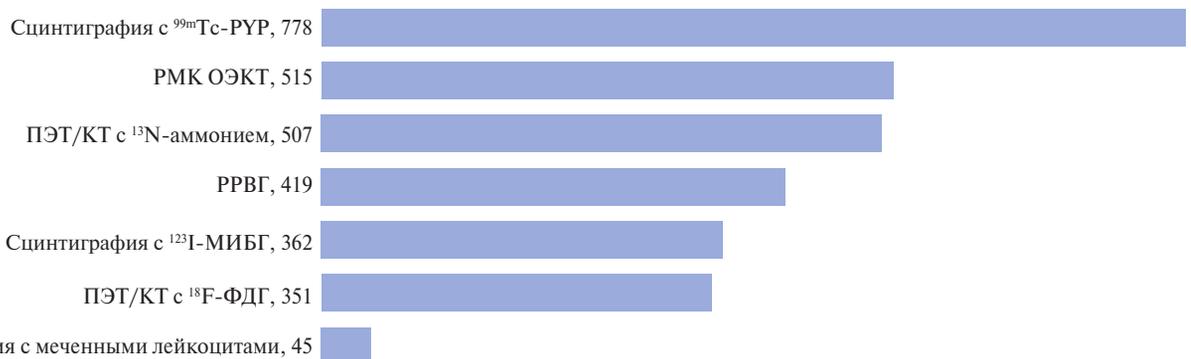


Рис. 3. Абсолютное количество радионуклидных исследований, кроме ПСМ, выполненных в РФ за период 2018-2020гг.
 Сокращения: КТ — компьютерная томография, ^{123}I -МИБГ — ^{123}I -метайодбензилгуанидин, ОЭКТ — однофотонная эмиссионная компьютерная томография, ПЭТ — позитронно-эмиссионная томография, РМК — резерв миокардиального кровотока, РРВГ — радионуклидная равновесная вентрикулография, ^{99m}Tc -РУР — ^{99m}Tc -пирофосфат, ^{18}F -ФДГ — ^{18}F -фтордезоксиглюкоза.

Healthcare AC). Используемые для ОЭКТ-ПСМ радиофармацевтические препараты (РФП) и их свойства имеют общую характеристику, заключающуюся в их накоплении в жизнеспособном миокарде пропорционально регионарному кровотоку. Технеций- ^{99m}Tc — (^{99m}Tc)-Сестамиби — был одобрен для использования в США в 1990г, а вскоре после этого был зарегистрирован ^{99m}Tc -Тетрофосмин. Для ПЭТ-ПСМ используют ^{13}N -аммоний.

ПСМ с помощью ОЭКТ и ПЭТ составляет подавляющее большинство из современных клинических процедур ЯК. Более половины от числа ежегодно выполняемых в США радионуклидных исследований приходится на ПСМ. В 2007г в 20 странах Европы было выполнено исследование, в котором оценивали число выполняющих ПСМ центров, а также число этих процедур [8]. Согласно результатам опроса, в этих странах в среднем выполняется 2300-2770 ПСМ на 1 млн населения в год. В РФ подобных показателей удалось достичь только в Томской области — 2530. В двух регионах данный показатель на уровне 1500 — в Новосибирской — 1530; и в Волгоградской 1450 областях; в Москве — 701. В остальных регионах ежегодное количество ПСМ в среднем не превышает 300, а в целом по стране составляет 157,6 ПСМ на 1 млн жителей.

Наибольшее количество центров РНД, где проводят исследования по направлению ЯК, сосредоточено в Москве (0,56 на 1 млн жителей) и в Северном ФО (0,96 на 1 млн жителей, при этом в Томской области — 3,7). Средний показатель по странам Европы, вошедшим в исследования Reyes E, et al. на 2007г, составил 0,6 центров на 1 млн населения. Лидером по этому показателю в странах Европы является Норвегия — 3 центра на 1 млн населения, на последнем месте Франция — 0,2 на 1 млн. Средний показатель по РФ — 0,2. Анализируя эту статистику, можно сделать вывод, что данный показатель в РФ обеспечивается Москвой и Северным ФО. Таким образом, данный вид диагностики в РФ представлен точно и не доступен на большинстве территорий страны.

Использование стресс-тестов

Для выявления стресс-индуцированной ишемии миокарда применяют нагрузочные пробы с физической нагрузкой, фармакологические тесты, их комбинацию [6]. Из 68829 ОЭКТ-ПСМ, проведенных в отделениях РНД РФ в 2018-2020гг, 37654 (54,5%) было выполнено с нагрузочным тестированием.

По данным проведенного нами анализа, в шести отделениях РНД в качестве нагрузочного теста используют только физическую нагрузку (велозергometry), только фармакологический стресс-тест — в десяти, комбинированный — в пяти подразделениях. Это обусловлено, вероятно, тем, что стресс-

системами оборудованы только 9 (23%) отделений РНД из 23, в которых 3 аппарата имеют срок эксплуатации >10 лет. Следует отметить, что, несмотря на самостоятельную диагностическую ценность нагрузочного тестирования [9], а также возможное развитие неблагоприятных побочных эффектов в процессе его выполнения, в штатном расписании РНД врач-кардиолог присутствует только в 2 подразделениях, а врач функциональной диагностики — в 8. Учитывая вышеизложенное, наличие врача-кардиолога или врача функциональной диагностики в штатном расписании отделения РНД, в котором выполняются нагрузочные исследования, является обязательным. Важно обратить внимание на то, что в настоящее время отсутствуют отвечающие современным требованиям нормативные документы, регламентирующие деятельность отдела лучевой диагностики в отношении радионуклидных методов диагностики при оказании медицинской помощи пациентам с ССЗ.

В качестве фармакологического агента для проведения теста с вазодилататором в основном используют аденозинтрифосфат (АТФ) и дипиридамол. Согласно рекомендациям, АТФ вводят внутривенно, в дозе 140 мкг/кг/мин, в течение 4 или 6 мин с последующим введением РФП на 2-3 мин инфузии. Не все отделения РНД соблюдают рекомендованную дозировку АТФ: в трёх подразделениях вводят 10 мг (1 мл), и в одном — 20 мг (2 мл). Альтернативой стресс-тесту с вазодилататором является инотропный стресс-тест с добутином. В качестве стресс-агента добутамин используют 5 подразделений, при этом в 3 из них соблюдается ступенчатый характер введения в дозе 5-40 мкг/кг/мин.

Исследования с электрокардиографической синхронизацией

Большинство отделений РНД (19 из 23) проводят ПСМ в электрокардиографическом (ЭКГ)-синхронизированном режиме.

Комментарий. К 2003г в Европе $>90\%$ ОЭКТ-ПСМ стали проводить с ЭКГ-синхронизацией, что обеспечивало объективную клиническую оценку перфузии и функции миокарда в состоянии покоя и нагрузки [10]. Выполнение исследований с ЭКГ-синхронизацией дает возможность получать информацию о сократимости миокарда, выявлять зоны гипокинезии, акинезии или дискинезии левого желудочка (ЛЖ), получать количественные параметры систолической и диастолической функции.

Использование коррекции аттенюации

В 16 из 18 отделений РНД, оборудованных гибридными томографами, используют КТ для коррекции аттенюации в 100% случаев при проведении ПСМ, за исключением 3 подразделений, в 2 из которых коррекцию аттенюации используют в менее, чем 50% ПСМ, а в 1 не установлено программное обе-

Таблица 1

Количество ПСМ, выполненных в учреждениях здравоохранения за период 2018-2020гг

Учреждение	2018г	2019г	2020г	2018-2020гг
Научно-исследовательский институт кардиологии, ФГБНУ Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук, Томск	2287	2450	2352	7089
Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е. Н. Мешалкина Министерства Здравоохранения Российской Федерации, Новосибирск	2675	4896	3936	11507
ФГБУ "Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии им. акад. Е. И. Чазова" Минздрава России, Москва	2060	4150	2150	8360
ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А. Н. Бакулева Минздрава России, Москва	2750	2548	1240	6538
ГАУЗ "Межрегиональный клинико-диагностический центр", Казань	1169	1147	791	3107
ФГБУ "Национальный медико-хирургический Центр им. Н. И. Пирогова" Минздрава России, Москва	3149	3101	2702	8952
ГБУЗ "Волгоградский областной клинический кардиологический центр", Волгоград	3400	3500	3800	10700
Медицинский радиологический научный центр им. А. Ф. Цыба — филиал ФГБУ "Национальный медицинский исследовательский центр радиологии" Минздрава России, Обнинск	26	20	39	85
ГАУЗ Свердловской области "Свердловский областной онкологический диспансер", Екатеринбург	0	0	13	13
ФГБНУ Центральная клиническая больница Российской академии наук Министерства науки и высшего образования России, Москва	226	78	130	434
ОГАУЗ "Томский областной онкологический диспансер", Томск	77	82	49	208
ФГБНУ "Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний", Кемерово	1936	1724	1488	5148
ГБУЗ "Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н. В. Склифосовского" ДЗМ, Москва	492	358	277	1127
ЧУЗ "Центральная клиническая больница "РЖД-Медицина", Москва	524	346	308	1178
ФГБУ "Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова" Минздрава России, Санкт-Петербург	114	158	54	326
АО Медицинский Центр "АВИЦЕННА", Новосибирск	291	452	515	1258
ГБУЗ Челябинская областная клиническая больница, Челябинск	516	314	245	1075
ФГБУ "Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А. М. Никифорова" МЧС России, Санкт-Петербург	114	166	88	368
ФГБВОУ высшего образования "Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова" Минобороны России, Санкт-Петербург	0	0	20	20
БУЗ Омской области "Областная клиническая больница", Омск	234	243	130	607
ГАУЗ ТО "МКМЦ "Медицинский город", Тюмень	200	220	220	640
ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России, Томск	82	4	0	86
Научно-исследовательский институт онкологии ФГБНУ "Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук", Томск	1	1	1	3

спечение для обработки исследований сердца с протоколом коррекции аттенюации.

Комментарий. Коррекция аттенюации приводит к уменьшению или полному исчезновению ложных дефектов перфузии нижней стенки (аттенюация диафрагмой), а также передней и передне-боковой областей ЛЖ (аттенюация тканью молочной железы) [11]. В крупном метаанализе, включавшем 86 исследований с участием 10870 пациентов, было установлено, что ОЭКТ, выполнявшаяся без коррекции аттенюации или ЭКГ-синхронизации, имела чувствительность 87% и специфичность 70%. Добавление синхронизации увеличивало специфичность до 78%, а использование коррекции аттенюации сиг-

нала дополнительно повышало специфичность до 81% [12].

Исследование МК и резерва

За 2018-2020гг в РФ проведено 507 исследования резерва МК (РМК) методом ПЭТ (ФГБУ "НМИЦ им. В. А. Алмазова" МЗ РФ, НМИЦ "Сердечно-сосудистой хирургии им. А. Н. Бакулева" МЗ РФ) и 515 — методом ОЭКТ (НИИ кардиологии Томского НИМЦ) (рис. 3).

Комментарий. МК представляет собой количественный показатель объема крови, проходящего за минуту в единице объема (чаще всего в 1 или 100 г) миокарда ЛЖ. Отношение значения МК на нагрузке к покою отражает его резерв. В качестве нагруз-

ки чаще всего используются фармакологические вазодилататоры [13]. Золотым стандартом неинвазивной оценки МР и РМК является ПЭТ с $^{15}\text{O}-\text{H}_2\text{O}$, т.к. этот радиотрейсер демонстрирует линейную зависимость между его экстракцией кардиомиоцитами и объемным кровотоком [14]. Тем не менее разработаны и валидированы математические модели, описывающие скорость экстракции других перфузионных РФП для ПЭТ: ^{13}N -аммония, ^{82}Rb -рубидия хлорида, корректирующие нелинейность их захвата МК. На основе этих математических моделей были созданы программные пакеты расчета МК и коронарного резерва (Corridor 4DM, Carimas), которые используются в 2 ПЭТ-центрах (ФГБУ "НМИЦ им. В.А. Алмазова" МЗ РФ, НМИЦ "Сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева" МЗ РФ).

Внедрение в клиническую практику ОЭКТ (или ОЭКТ/КТ) томографов с CZT-детекторами позволило преодолеть технические ограничения стандартного сцинтиграфического исследования и провести количественную оценку МК и РМК с использованием перфузионных РФП [13, 15, 16]. В частности, метод был валидизирован в сравнении с использованием меченных микросфер [17]. Была показана высокая согласованность измерений МК и РМК, выполненных на CZT гамма-камерах, с данными определения фракционного коронарного резерва [18, 19], результатами инвазивной ангиографии [20] и ПЭТ с $^{15}\text{O}-\text{H}_2\text{O}$ [21]. К сожалению, в настоящее время в России функционирует только одна гамма-камера, произведенная с использованием технологии CZT и позволяющая оценивать МК и РМК.

Радионуклидная равновесная вентрикулография

За анализируемый период в отделениях РНД страны было проведено 419 радионуклидных равновесных вентрикулографий (РРВГ) в томографическом режиме (из них 142 — в НИИ кардиологии Томского НИМЦ) (рис. 3).

Комментарий. РРВГ представляет собой метод оценки сократительной функции сердца, основанный на ЭКГ-синхронизированной регистрации радиоактивности кровяного пула сердца. Запись данных может быть выполнена как в планарном, так и томографическом режимах [22]. Методика томографической записи РРВГ показала высокую корреляцию с данными фантомных исследований и МРТ [23]. Отличительными особенностями данного подхода являются его высокая внутри- и межоператорская воспроизводимость [24], а также возможность выполнения у пациентов, имеющих противопоказания и ограничения для МРТ или эхокардиографии. Высокие диагностические возможности метода были показаны в аспекте оценки дисфункции правого желудочка у пациентов с тромбоэмболией лёгочной артерии [25], обнаружении областей эктопической активности сердца при желудочковых аритмиях [26],

а также при изучении нарушения функции обоих желудочков сердца при сердечной недостаточности (СН) [27] и сопутствующей патологии [28]. Выполнение РРВГ на фоне фармакологической инотропной стимуляции позволяет идентифицировать сократительный резерв ЛЖ у пациентов с ишемической кардиомиопатией [29], что имеет значение в аспекте прогнозирования неблагоприятного ремоделирования у данной группы пациентов [30].

Исследования сердца с ^{123}I -МИБГ

За 2018-2020гг в РФ проведено 362 исследования сердца с ^{123}I -МИБГ (Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск, Томск). Из них 157 в планарном режиме для оценки глобальной симпатической активности миокарда и 205 в режиме ОЭКТ для выявления зон регионарного нарушения симпатической иннервации (рис. 3).

Комментарий. ^{123}I -МИБГ представляет собой меченный йодом-123 аналог норадреналина, широко используемый для оценки симпатической активности сердца у пациентов с хронической СН (ХСН) [31, 32], аритмиями и другой патологией сердечно-сосудистой системы [33]. При ХСН наблюдается снижение поглощения МИБГ миокардом, что имеет тесную связь с вероятностью неблагоприятных сердечных событий [34]. Визуализация сердца с ^{123}I -МИБГ может подтвердить улучшение симпатической активности в ответ на лечение СН нейрогуморальными агентами или с помощью медицинских вспомогательных устройств [32, 35]. Несоответствие между величиной дефекта по данным томографии с МИБГ и дефицитом перфузии миокарда указывает на вероятность нестабильных аритмий, связанных с внезапной сердечной смертью, и необходимость в имплантируемом кардиовертере-дефибрилляторе [36].

Анализируя накопление ^{123}I -МИБГ в предсердиях, представляется возможным локализовать области повышенной симпатической активности, что позволяет провести эффективную радиочастотную абляцию у пациентов с фибрилляцией предсердий [37]. Нарушение накопления ^{123}I -МИБГ в миокарде продемонстрировало тесную связь с тяжестью гипертрофической кардиомиопатии [38] и идиопатической легочной гипертензии [39].

Сцинтиграфия миокарда с $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -пирофосфатом

За 2018-2020гг в РФ проведено 778 исследований с $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -пирофосфатом ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -РҮР), преимущественно для диагностики хронического миокардита или транстиретинового (ATTR) амилоидоза сердца (рис. 3). Изначально данный РФП был создан для "позитивной" диагностики острого инфаркта миокарда, однако, в связи с появлением высокочувствительных маркеров лабораторной диагностики, сцинтиграфия с $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -РҮР при остром инфаркте миокарда проводится только у больных с повторными и рецидивирующими инфарктами на фоне имеющихся рубцо-

вых изменений и при ферментонегативных инфарктах. Более широкое применение ^{99m}Tc -РПР нашел в диагностике миокардита и сердечного амилоидоза.

Комментарий:

Диагностика воспаления (миокардита)

Использование ^{99m}Tc -РПР для диагностики миокардита основано на способности РПР фиксироваться в очаге повреждения сердечной мышцы за счет образования фосфатных соединений с ионами кальция, которые в избытке выходят в межклеточное пространство из поврежденных кардиомиоцитов. На сегодняшний день в нескольких исследованиях показана возможность индикации очагов повреждения миокарда у пациентов с хроническим миокардитом [40–43]. Данный подход позволил повысить чувствительность и специфичность ^{99m}Tc -РПР в диагностике миокардита до 91% и 100%, соответственно (на основании сопоставления с верифицирующим методом — эндомикардиальной биопсией) [40].

Диагностика АТТР амилоидоза

РНД АТТР амилоидоза сердца стала применяться в РФ с 2019г и на сегодняшний день проведено 143 исследования (ФГБУ "НМИЦ им. В. А. Алмазова" МЗ РФ, ФГБУ НМИЦ кардиологии МЗ РФ и НИИ кардиологии Томского НИМЦ) (рис. 3).

Отложение амилоида в миокарде приводит к развитию амилоидоза сердца и в последствии к амилоидной кардиомиопатии. Из-за неспецифической клинической картины заболевание, как правило, либо остается нераспознанным, либо диагностируется на поздних стадиях, когда появляются признаки выраженной СН.

В мировой литературе сообщения о возможности визуализации АТТР амилоидоза сердца при использовании фосфатных комплексов технеция-99m появились еще в 1980-х годах. Однако, в связи с отсутствием инструмента для терапевтического воздействия на заболевание, скинтиграфическая визуализация амилоидоза широко не применялась. В 2019г в США был одобрен первый лекарственный препарат для специфического лечения АТТР амилоидоза сердца, что привело к необходимости его ранней неинвазивной диагностики и повышению интереса к методам ЯК. На сегодняшний день скинтиграфия с ^{99m}Tc -РПР и его аналогами включена в клинические алгоритмы диагностики амилоидоза сердца, где играет ключевую роль [44].

Скинтиграфия сердца с мечеными лейкоцитами

За 2018–2020гг в РФ проведено 45 исследования (НИИ кардиологии Томского НИМЦ, НИИ скорой помощи им. Н. В. Склифосовского) (рис. 3). Диагностическая точность метода по сравнению с биопсией составляет ~75% [45]. Поскольку метод является трудоемким и дорогостоящим, его целесообразно использовать главным образом для диагностики электрокардиального эндокардита (осложнение

имплантации внутрисердечных девайсов), инфекционного эндокардита (ИЭ) на фоне протеза клапана сердца [43], а также инфекционно-воспалительных осложнений кардиохирургических вмешательств.

Широкому внедрению метода в клиническую практику препятствует высокая стоимость РПР для метки лейкоцитов "Ceretek", а также сложности с его регистрацией и ввозом на территорию Российской Федерации.

ПЭТ исследования сердца

За 2018–2020гг в РФ для ПЭТ исследований сердца использовали РПР ^{18}F -ФДГ и ^{13}N -аммоний. Проведено 507 ПЭТ/КТ с ^{13}N -аммонием (для оценки РМК и миокардиальной перфузии), с ^{18}F -ФДГ — 351 исследование (ФГБУ НМИЦ ССХ им. А. Н. Бакулева МЗ РФ и ФГБУ "НМИЦ им. В. А. Алмазова" МЗ РФ).

Комментарий. Основными клиническими сценариями, при которых используется ПЭТ сердца с ^{18}F -ФДГ, являются оценка жизнеспособности миокарда, диагностика воспаления [46] и опухолей сердца [47]. Сохранный метаболизм глюкозы, по данным ПЭТ с ^{18}F -ФДГ, в областях нарушенной перфузии является классическим признаком жизнеспособности.

В настоящее время диагностика ИЭ в рутинной практике основывается на клинических и анамнестических данных, а также результатах лабораторных и инструментальных исследований. Тем не менее отрицательные посеы крови не исключают наличия инфекционного процесса, а указанные методы лучевой диагностики, несмотря на высокую разрешающую способность, информативны только на стадии выраженных анатомических изменений. ПЭТ, совмещенная с КТ, с использованием ^{18}F -ФДГ обладает высокими значениями информативности и является методом выбора при подозрении на ИЭ [48].

В отдельных клинических ситуациях у пациентов с ХСН и ИБС целесообразна оценка жизнеспособности миокарда перед реваскуляризацией. Метаанализ наблюдений, основанных на радионуклидных или эхокардиографических оценках, в которых участников делили на две группы с сохранением или без сохранения жизнеспособности миокарда, показал, что только у пациентов с достаточно высокой степенью жизнеспособности миокарда наблюдается улучшение выживаемости при коронарном шунтировании по сравнению с медикаментозной терапией [49].

Ограничения исследования. Часть отделений РНД, где выполняются радионуклидные кардиологические исследования, могла остаться за пределами опроса. В то же время это не должно существенно отразиться на общей картине состояния ЯК в РФ. 2020г прошел в условиях пандемии новой коронавирусной инфекции, в связи с чем число кардиологических исследований было ниже по сравнению с предыдущими годами [50], что, безусловно, повлияло на общую статистику.

Заключение

Наиболее распространённым видом кардиологического радионуклидного исследования в РФ является ПСМ. Однако в РФ данный вид диагностики представлен точечно и недоступен на большинстве территорий страны. В настоящее время документы, регламентирующие деятельность отдела лучевой диагностики в отношении радионуклидных методов диагностики при оказании медицинской помощи пациентам с ССЗ, нуждаются в корректировке с учетом современных требований. Более 70% диагностических аппаратов имеют срок эксплуатации

>10 лет. Стресс-системами оборудованы только 9 (23%) отделений РНД, что создает сложности в корректном выполнении исследований. Указанные обстоятельства диктуют необходимость обновления приборной базы.

Благодарности. Благодарим исполнительного директора Общества ядерной медицины к.м.н. Е. И. Василенко за помощь в организации анкетирования.

Отношения и деятельность: все авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Литература/References

- WHO. Leading causes of death and disability 2000-2019: A visual summary of global and regional trends 2000-2019. WHO's Global Health Estimates (GHE) 2019. <https://www.who.int/data/gho/data/themes/mortality-and-global-health-estimates/ghe-leading-causes-of-death>.
- Timmis A, Townsend N, Gale CP, et al. European Society of Cardiology: Cardiovascular Disease Statistics 2019. *Eur Heart J*. 2020;41(1):12-85. doi:10.1093/eurheartj/ehz859.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Nuclear Cardiology: Guidance on the Implementation of SPECT Myocardial Perfusion Imaging, IAEA Human Health Series No. 23 (Rev. 1), IAEA, Vienna (2016). p. 101. ISBN 978-92-0-107616-8.
- Beller GA. Future growth and success of nuclear cardiology. *J Nucl Cardiol*. 2018; 25(2):375-8. doi:10.1007/s12350-018-1211-1.
- Rozanski A, Gransar H, Hayes SW, et al. Temporal trends in the frequency of inducible myocardial ischemia during cardiac stress testing: 1991 to 2009. *J Am Coll Cardiol*. 2013;61(10):1054-65.
- Ansheles AA, Sergienko VB. Nuclear cardiology. Publishing House of the Federal State Budgetary Institution "NMIC of Cardiology" of the Ministry of Health of Russia. Moscow: 2021. 516 p. (In Russ.) Аншелес А. А., Сергиенко В. Б. Ядерная кардиология. Издательство ФГБУ "НМИЦ кардиологии" Минздрава России. Москва: 2021. 516 с.
- Morozov SP, Smolyarchuk MYa, Vladimirov AV. PET/CT in Moscow healthcare: equipment, usability, accessibility. *Russian Electronic Journal of Radiation Diagnostics*. 2018;8(3):318-24. (In Russ.) Морозов С. П., Смоляручк М. Я., Владимиров А. В. ПЭТ/КТ в здравоохранении Москвы: оснащённость, используемость, доступность. Российский электронный журнал лучевой диагностики. 2018;8(3):318-24. doi:10.21569/2222-7415-2018-8-3-318-324. EDN YMSOSL.
- Reyes E, Wiener S, Underwood SR; European Council of Nuclear Cardiology. Myocardial perfusion scintigraphy in Europe 2007: a survey of the European Council of Nuclear Cardiology. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2012;39(1):160-4. doi:10.1007/s00259-011-1923-9.
- ACC/AHA/ASNC guidelines for the clinical use of cardiac radionuclide imaging — executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (ACC/AHA/ASNC Committee to Revise the 1995 Guidelines for the Clinical Use of Cardiac Radionuclide Imaging). *Circulation*. 2003;108:1404-18. doi:10.1161/01.CIR.0000080946.42225.4D.
- Germano G, Berman DS. Quantification of ventricular function. In: Germano G, Berman DS, eds. *Clinical Gated Cardiac SPECT*. Oxford, UK: Blackwell Publishing; 2006:93-137.
- Hayes SW, De Lorenzo A, Hachamovitch R, et al. Prognostic implications of combined prone and supine acquisitions in patients with equivocal or abnormal supine myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Med*. 2003;44:1633-40.
- Medical Advisory Secretariat. Single photon emission computed tomography for the diagnosis of coronary artery disease: an evidence-based analysis. *Ont Health Technol Assess Ser*. 2010;10(8):1-64.
- Zavadovsky KV, Mochula AV, Maltseva AN, et al. The current status of CZT SPECT myocardial blood flow and reserve assessment: Tips and tricks. *J Nucl Cardiol*. 2021. doi:10.1007/s12350-021-02620-y.
- Gould KL, Johnson NP, Bateman TM, et al. Anatomic versus physiologic assessment of coronary artery disease: role of CFR, FFR, and PET imaging in revascularization decision-making. *J Am Coll Cardiol*. 2013;62:1639-53. doi:10.1016/j.jacc.2013.07.076.
- Mochula AV, Maltseva AN, Shipulin VV, et al. Assessment of myocardial blood flow and reserve — physiological basis and clinical significance of perfusion scintigraphy in the examination of patients with chronic coronary syndrome. *Russian Journal of Cardiology*. 2020;25(2):3649. (In Russ.) Мочула А. В., Мальцева А. Н., Шипулин В. В. и др. Оценка миокардиального кровотока и резерва — физиологические основы и клиническое значение перфузионной скintiграфии в обследовании пациентов с хроническим коронарным синдромом. Российский кардиологический журнал. 2020;25(2):3649. doi:10.15829/1560-4071-2020-2-3649.
- Minin SM, Zavadovsky KV, Nikitin NA, et al. Modern possibilities of cardiovascular imaging using gamma cameras with cadmium-zinc-telluride-detectors. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokirurgiya*. 2020;24(3):11-22. (In Russ.) Минин С. М., Завадовский К. В., Никитин Н. А. и др. Современные возможности кардиовизуализации с использованием гамма-камер, оснащенных czт-детекторами. Патология кровообращения и кардиохирургия. 2020;24(3):11-22. doi:10.21688/1681-3472-2020-3-11-22.
- Wells RG, Timmins R, Klein R, et al. Dynamic SPECT measurement of absolute myocardial blood flow in a porcine model. *J Nucl Med*. 2014;55(10):1685-91. doi:10.2967/jnumed.114.139782.
- Miyagawa M, Nishiyama Y, Uetani T, et al. Estimation of myocardial flow reserve utilizing an ultrafast cardiac SPECT: Comparison with coronary angiography, fractional flow reserve, and the SYNTAX score. *Int J Cardiol*. 2017;244:347-53. doi:10.1016/j.ijcard.2017.06.012.
- Zavadovsky KV, Mochula AV, Boshchenko AA, et al. Absolute myocardial blood flows derived by dynamic CZT scan vs invasive fractional flow reserve: Correlation and accuracy. *J Nucl Cardiol*. 2021;28(1):249-59. doi:10.1007/s12350-019-01678-z.
- Zavadovsky KV, Mochula AV, Maltseva AN, et al. The diagnostic value of SPECT CZT quantitative myocardial blood flow in high-risk patients. *J Nucl Cardiol*. 2020. doi:10.1007/s12350-020-02395-8.
- Agostini D, Roule V, Nganoa C, et al. First validation of myocardial flow reserve assessed by dynamic ^{99m}Tc-sestamibi CZT-SPECT camera: head to head comparison with ¹⁵O-water PET and fractional flow reserve in patients with suspected coronary artery disease. The WATERDAY study. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2018;45(7):1079-90. doi:10.1007/s00259-018-3958-7.
- Zavadovsky KV, Saushkin VV, Pankova AN, et al. Methodological features of the implementation, processing of results and interpretation of radionuclide equilibrium tomoventriculography data. *Radiology is a practice*. 2011;6:75-83. (In Russ.) Завадовский К. В., Саушкин В. В., Панькова А. Н. и др. Методические особенности выполнения, обработки результатов и интерпретации данных радионуклидной равновесной томоventрикулографии. Радиология — практика. 2011;6:75-83.
- Sibille L, Bouallegue FB, Bourdon A, et al. Comparative values of gated blood-pool SPECT and CMR for ejection fraction and volume estimation. *Nucl Med Commun*. 2011;32(2):121-8. doi:10.1097/MNM.0b013e32834155f1.
- Sachpekidis C, Sachpekidis V, Kopp-Schneider A, et al. Equilibrium radionuclide angiography: Intra- and inter-observer repeatability and reproducibility in the assessment of cardiac systolic and diastolic function. *J Nucl Cardiol*. 2021;28(4):1304-14. doi:10.1007/s12350-019-01830-9.
- Zavadovsky KV, Krivonogov NG, Lishmanov YB. The usefulness of gated blood pool scintigraphy for right ventricular function evaluation in pulmonary embolism patients. *Ann Nucl Med*. 2014;28(7):632-37. doi:10.1007/s12149-014-0861-6.
- Zavadovsky KV, Saushkin VV, Khlynin MS, et al. Radionuclide Assessment of Cardiac Function and Dyssynchrony in Children with Idiopathic Ventricular Tachycardia. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2016;39(11):1213-24. doi:10.1111/pace.12948.
- Saltykova DF, Mareev VYu, Sergienko VB. Comparative assessment of remodeling parameters, volume rates of hemodynamics of the systole and diastole of the right ventricle in patients with CHF and CH-SSF according to 4D tomoventriculography. *Journal of Heart failure*. 2013;14(5):263-71. (In Russ.) Салтыкова Д. Ф., Мареев В. Ю., Сергиенко В. Б. Сравнительная оценка показателей ремоделирования, объемных скоростей гемодинамики систолы и диастолы правого желудочка у пациентов с ХСН и СН-ССФ по данным 4D-томоventрикулографии. Журнал сердечная недостаточность. 2013;14(5):263-71.
- Vasilyeva AE, Georgadze ZO, Volodina VA, et al. Changes in myocardial contractile function and body mass index in patients with coronary heart disease and type 2 diabetes mellitus. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2007;6(4):30-6. (In Russ.) Васильева А. Е., Георгадзе З. О., Володина В. А. и др. Изменение сократительной функции миокарда и индекса массы тела у больных ишемической болезнью сердца и сахарным диабетом 2 типа. Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2007;6(4):30-6.

29. Shipulin VV, Andreev SL, Pryakhin AS, et al. Low-dose dobutamine stress gated blood pool SPECT assessment of left ventricular contractile reserve in ischemic cardiomyopathy: a feasibility study. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2022;49(7):2219-2231 doi:10.1007/s00259-022-05714-y.
30. Shipulin VV, Mishkina AI, Gulya MO, et al. Long-term prognosis of repeated remodeling of the left ventricle after surgical treatment of ischemic cardiomyopathy: possibilities of loading radionuclide tomoventriculography. *Russian Journal of Cardiology*. 2020;25(11):3831. (In Russ.) Шипулин В. В., Мишкина А. И., Гуля М. О. и др. Отдаленный прогноз повторного ремоделирования левого желудочка после хирургического лечения ишемической кардиомиопатии: возможности нагрузочной радионуклидной томографии. *Российский кардиологический журнал*. 2020;25(11):3831. doi:10.15829/1560-4071-2020-3831.
31. Travin MI. Cardiac radionuclide imaging to assess patients with heart failure. *Semin Nucl Med*. 2014;44(4):294-313. doi:10.1053/j.semnuclmed.2014.04.005.
32. Zavadovsky KV, Mishkina AI, Lebedev DI, et al. Myocardial scintigraphy with 123I-MIBG in assessing the prognosis of chronic heart failure and the effectiveness of cardiac resynchronization therapy. *Kardiologiia*. 2020;60(2):122-30. (In Russ.) Завадовский К. В., Мишкина А. И., Лебедев Д. И. и др. Сцинтиграфия миокарда с 123I-МИБГ в оценке прогноза хронической сердечной недостаточности и эффективности сердечной ресинхронизирующей терапии. *Кардиология*. 2020;60(2):122-30. doi:10.18087/cardio.2020.2.n324.
33. Prokudina ES, Kurbatov BK, Zavadovsky KV, et al. Takotsubo Syndrome: Clinical Manifestations, Etiology and Pathogenesis. *Curr Cardiol Rev*. 2021;17(2):188-203. doi:10.2174/1573403X16666200129114330.
34. Flotats A, Carrió I, Agostini D, et al. Proposal for standardization of 123I-metaiodobenzylguanidine (MIBG) cardiac sympathetic imaging by the EANM Cardiovascular Committee and the European Council of Nuclear Cardiology. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2010;37(9):1802-12. doi:10.1007/s00259-010-1491-4.
35. Drakos SG, Athanasoulis T, Malliaras KG, et al. Myocardial sympathetic innervation and long-term left ventricular mechanical unloading. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2010;3(1):64-70. doi:10.1016/j.jcmg.2009.10.008.
36. Sazonova SI, Varlamova JV, Nikitin NA, et al. Cardiac 123I-MIBG scintigraphy for prediction of catheter ablation outcome in patients with atrial fibrillation. *J Nucl Cardiol*. 2021;29(5):2220-2231. doi:10.1007/s12350-021-02658-y.
37. Romanov AB, Shabanov VV, Losik DV, et al. Visualization and radiofrequency ablation of foci of sympathetic innervation of the left atrium in patients with paroxysmal atrial fibrillation. *Kardiologiia*. 2019;59(4):33-8. (In Russ.) Романов А. Б., Шабанов В. В., Лосик Д. В. и др. Визуализация и радиочастотная абляция очагов симпатической иннервации левого предсердия у пациентов с пароксизмальной формой фибрилляции предсердий. *Кардиология*. 2019;59(4):33-8. doi:10.18087/cardio.2019.4.10249.
38. Ansheles AA, Shchegoleva YaV, Sergienko IV, et al. Features of perfusion and sympathetic innervation of the myocardium according to single-photon emission computed tomography in patients with hypertrophic cardiomyopathy. *Cardiological Bulletin*. 2016;11(1):24-33. (In Russ.) Аншелес А. А., Щиголева Я. В., Сергиенко И. В. и др. Особенности перфузии и симпатической иннервации миокарда по данным однофотонной эмиссионной компьютерной томографии у пациентов с гипертрофической кардиомиопатией. *Кардиологический вестник*. 2016;11(1):24-33.
39. Ansheles AA, Kuznetsova EG, Martynyuk TV, et al. To study the features of sympathetic activity and myocardial perfusion of the left and right ventricles according to single-photon emission computed tomography of the myocardium in patients with idiopathic pulmonary hypertension. *Bulletin of Radiology and Radiology*. 2018;99(5):244-52. (In Russ.) Аншелес А. А., Кузнецова Э. Г., Мартынюк Т. В. и др. Изучение особенностей симпатической активности и перфузии миокарда левого и правого желудочков по данным однофотонной эмиссионной компьютерной томографии миокарда у пациентов с идиопатической легочной гипертензией. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2018;99(5):244-52. doi:10.20862/0042-4676-2018-99-5-244-252.
40. Ilyushenkova J, Sazonova S, Zavadovsky K, et al. Diagnostic Efficacy of Cardiac Scintigraphy with 99mTc-Pyrophosphate for Latent Myocardial Inflammation in Patients with Atrial Fibrillation. *Cardiol Res Pract*. 2020. doi:10.1155/2020/5983751.
41. Sazonova SI, Lishmanov YuB, Batalov RE, et al. The possibilities of single-photon emission computed tomography with 99mTc-pyrophosphate combined with perfusion scintigraphy of the myocardium in the assessment of inflammatory changes of the heart in patients with persistent atrial fibrillation. *Therapeutic Archive*. 2014;86(12):10-4. (In Russ.) Сазонова С. И., Лишманов Ю. Б., Баталов Р. Е. и др. Возможности однофотонной эмиссионной компьютерной томографии с 99mTc-пирфотехом, совмещенной с перфузионной сцинтиграфией миокарда, в оценке воспалительных изменений сердца у больных с персистирующей формой фибрилляции предсердий. *Терапевтический архив*. 2014;86(12):10-4. doi:10.17116/terarkh2014861210-14.
42. Ilyushenkova YuN, Sazonova SI, Batalov RE. Hybrid imaging methods in the diagnosis of inflammatory processes in the ventricular myocardium in patients with atrial fibrillation of unclear etiology. *Bulletin of Radiology and Radiology*. 2019;100(3):166-74. (In Russ.) Илюшенкова Ю. Н., Сазонова С. И., Баталов Р. Е. Гибридные методы визуализации в диагностике воспалительных процессов в миокарде желудочков у пациентов с фибрилляцией предсердий неясной этиологии. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2019;100(3):166-74. doi:10.20862/0042-4676-2019-100-3-166-174.
43. Sazonova SI, Ilyushenkova YuN, Lishmanov YuB. Modern possibilities of single-photon emission computed tomography in the diagnosis of infectious endocarditis. *Russian Electronic Journal of Radiation Diagnostics*. 2020;10(1):178-90. (In Russ.) Сазонова С. И., Илюшенкова Ю. Н., Лишманов Ю. Б. Современные возможности однофотонной эмиссионной компьютерной томографии в диагностике инфекционного эндокардита. *Российский электронный журнал лучевой диагностики*. 2020;10(1):178-90.
44. 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. *European Heart Journal*. 2021;42(36):3599-726. doi:10.1093/eurheartj/ehab368.
45. Sazonova SI, Ilyushenkova YuN, Batalov RE, et al. Determination of the effectiveness of single-photon emission computed tomography with leukocytes labeled 99mTc-HMPAO in the diagnosis of myocarditis: comparison of scintigraphy results and histological examination data. *Bulletin of Radiology and Radiology*. 2015;4:29-34. (In Russ.) Сазонова С. И., Илюшенкова Ю. Н., Баталов Р. Е. и др. Определение эффективности однофотонной эмиссионной компьютерной томографии с лейкоцитами, мечеными 99mTc-HMPAO, в диагностике миокардитов: сопоставление результатов сцинтиграфии и данных гистологического исследования. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2015;4:29-34.
46. Aslanidi IP, Pursanova DM, Mukhortova OV, et al. PET/CT features with 18F-fluorodeoxyglucose in the diagnosis of vascular prosthesis infection. *Surgery. N.I. Pirogov journal*. 2021;2:58-66. (In Russ.) Асланиди И. П., Пурсанова Д. М., Мухортова О. В. и др. Возможности ПЭТ/КТ с 18F-фтордезоксиглюкозой в диагностике инфекции сосудистых протезов. *Хирургия. Журнал им. Н. И. Пирогова*. 2021;2:58-66. doi:10.17116/hirurgia202102158.
47. Konradi YuV, Ryzhkova DV. Radiation diagnosis of heart tumors. *Translational medicine*. 2015;4:28-40. (In Russ.) Конради Ю. В., Рыжкова Д. В. Лучевая диагностика опухолей сердца. *Трансляционная медицина*. 2015;4:28-40.
48. Golukhova EZ, Aslanidi IP, Pursanova DM, et al. Positron emission tomography combined with computed tomography with 18F-fluorodeoxyglucose in assessing the prevalence of the infectious process in patients with suspected infectious endocarditis of the prosthetic valve. *Creative cardiology*. 2020;14(3):245-54. (In Russ.) Голухова Е. З., Асланиди И. П., Пурсанова Д. М. и др. Возможности позитронно-эмиссионной томографии, совмещенной с компьютерной томографией, с 18F-фтордезоксиглюкозой в оценке распространенности инфекционного процесса у пациентов с подозрением на инфекционный эндокардит протезированного клапана. *Креативная кардиология*. 2020;14(3):245-54. doi:10.24022/19973187-2020-14-3-245-254. EDN FPRKMD.
49. Allman KC, Shaw LJ, Hachamovitch R, et al. Myocardial viability testing and impact of revascularization on prognosis in patients with coronary artery disease and left ventricular dysfunction: a meta-analysis. *J Am Coll Cardiol*. 2002;39(7):1151-8. doi:10.1016/s0735-1097(02)01726-6.
50. Ansheles AA, Sergienko VB, Sinitsyn VE, et al. The impact of the first wave of the pandemic of new coronavirus infection (COVID-19) on the volume of diagnostic studies of cardiac diseases in the Russian Federation: results of the Russian segment of the international study INCAPS COVID under the auspices of the International Atomic Energy Agency. *Russian Journal of Cardiology*. 2021;26(1):4276. (In Russ.) Аншелес А. А., Сергиенко В. Б., Синицын В. Е. и др. Влияние первой волны пандемии новой коронавирусной инфекции (COVID-19) на объемы диагностических исследований кардиологических заболеваний в Российской Федерации: результаты российского сегмента международного исследования INCAPS COVID под эгидой международного агентства по атомной энергии. *Российский кардиологический журнал*. 2021;26(1):4276. doi:10.15829/1560-4071-2021-4276. EDN KFBYDR.