

РАДИОНУКЛИДНАЯ ОЦЕНКА СОКРАТИТЕЛЬНОЙ ДИСФУНКЦИИ ПРАВЫХ ОТДЕЛОВ СЕРДЦА У ПАЦИЕНТОВ СО СТЕНОЗОМ МИТРАЛЬНОГО КЛАПАНА

К.В. Завадовский^{1,2}, А.В. Евтушенко¹, В.В. Саушкин¹, Ю.Б. Лишманов^{1,2}

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Научно-исследовательский институт кардиологии», Томск, Россия

² Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский
политехнический университет», Томск, Россия

Завадовский Константин Валерьевич — доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории радионуклидных методов исследования ФГБУ «Научно-исследовательский институт кардиологии (НИИ кардиологии), лаборант лаборатории № 31 ядерного реактора физико-технического института ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (НИ ТПУ); *Евтушенко Алексей Валерьевич* — доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник кардиохирургического отделения НИИ кардиологии; *Саушкин Виктор Вячеславович* — кандидат медицинских наук, младший научный сотрудник лаборатории радионуклидных методов исследования НИИ кардиологии; *Лишманов Юрий Борисович* — доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАМН, заслуженный деятель науки РФ, руководитель лаборатории радионуклидных методов исследования, заместитель директора по НИР НИИ кардиологии, ведущий инженер лаборатории № 31 ядерного реактора физико-технического института НИ ТПУ.

Контактная информация: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт кардиологии», ул. Киевская, 111А, г. Томск, ул. Россия, 634012. Тел.: +7(382)255–82–98. E-mail: konstz@cardio-tomsk.ru (Завадовский Константин Валерьевич).

Резюме

Цель исследования. При помощи радионуклидной равновесной томовентрикулографии (РТВГ) оценить состояние правых отделов сердца у пациентов со стенозом митрального клапана (МК) ревматической этиологии. **Материал и методы.** Обследовано 20 пациентов (средний возраст 54,2 ± 8,22 года) с ревматическим поражением МК; 13 пациентов были обследованы до и после коррекции митрального порока. Все пациенты, до и после коррекции порока, были обследованы методом РТВГ. **Результаты.** У всех пациентов с пороками МК сердца фиксировали снижение региональной сократимости стенок правого желудочка (ПЖ). Больные с пороками МК по отношению к пациентам группы сравнения имели статистически значимо меньшие значения фракции выброса (ФВ), максимальной скорости изгнания (МСИ) и среднего времени наполнения за 1/3 диастолы (СВН/3), ударного объема (УО) и большие значения конечно-систолического объема (КСО) ПЖ. Коррекция порока реализовалась статистически значимым уменьшением КСО, увеличением МСИ и ФВ ПЖ. Размеры правого предсердия, измеренные по данным РТВГ, достоверно превышали таковые в группе сравнения, а после коррекции порока достоверно уменьшались. **Заключение.** Метод РТВГ может быть использован для неинвазивной оценки функционального состояния правых отделов сердца у пациентов со стенозом МК ревматической этиологии.

Ключевые слова: правый желудочек, порок митрального клапана, радионуклидная равновесная вентрикулография.

RADIONUCLIDE ASSESSMENT OF RIGHT VENTRICLE CONTRACTILE DYSFUNCTION IN PATIENTS WITH MITRAL VALVE STENOSIS

K.V. Zavadovsky^{1,2}, A.V. Evtushenko¹, V.V. Saushkin¹, Yu.B. Lishmanov^{1,2}

¹ *Research Institute for Cardiology, Tomsk, Russia*

² *National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia*

Corresponding author: Research Institute for Cardiology, 111a Kievskaya str., Tomsk, Russia, 634012. Tel.: +7(382)255–82–98. E-mail: konstz@cardio-tomsk.ru (Konstantin Zavadovsky — PhD, MD, Leading Researcher at Nuclear Medicine Department of Research Institute for Cardiology).

Abstract

Purpose. To assess the value of gated blood pool SPECT in assessment of right ventricle (RV) contractility in patients with rheumatic mitral stenosis (MS). **Materials and methods.** The study included 20 patients (mean age 54.2 ± 8.22 years) with rheumatic MS, 13 patients were examined before and after correction of mitral defect. All patients underwent gated blood pool SPECT before and after mitral valve replacement. **Results.** All patients with mitral stenosis show fixed RV regional wall contractility reduction. Patients with MS, in comparison with control group patients show significantly lower values of EF, the MSI and the MFR/3, SV, and larger values of RV EDV. Mitral valve replacement realized in statistically significant decrease of ESV, increasing of MSI and RV EF. The size of the right atrium, measured by blood pool SPECT, was significantly increased in patients with MS, and significantly decreased after mitral valve replacement. **Conclusion.** Gated blood pool SPECT can be used for noninvasive assessment of functional status of the right ventricle in patients with rheumatic mitral stenosis.

Keywords: right ventricle, mitral stenosis, gated blood pool SPECT.

Статья поступила в редакцию 07.06.14 и принята к печати 15.08.14.

Введение

Важным звеном патогенеза гемодинамических нарушений при стенозе МК является легочная гипертензия, которая приводит к дисфункции и недостаточности ПЖ [1]. В исследованиях de Groote P. [2] было показано, что именно сократительная функция ПЖ является наиболее значимым независимым предиктором клинического исхода при клапанной патологии.

Важно отметить, что сложная геометрия и особенности анатомии правого желудочка (малая толщина и загрудинная локализация свободной стенки, выраженная трабекулярность внутренней поверхности и др.) накладывают ряд ограничений на точную количественную оценку его функции [3].

Наиболее распространенным методом оценки гемодинамики сердца при пороках митрального клапана является трансторакальная эхокардиография (ЭхоКГ), позволяющая оценить геометрию камер сердца, состояние клапанного аппарата, наличие и степень патологической регургитации крови. В то же время данный метод не позволяет адекватно оценить объемы правого желудочка, что связано, во-первых, с определенными математическими допущениями при использовании модели Симпсона [3] и, во-вторых, с загрудинным расположением свободной стенки правого желудочка, что

зачастую определяет сложности ее ультразвуковой визуализации [4].

Методом выбора оценки функции ПЖ, по мнению ряда авторов, является высокопольная магнитно-резонансная томография (МРТ) [5]. Однако выполнение МРТ противопоказано пациентам с имплантированными электрокардиостимуляторами, которые часто устанавливают после коррекции пороков МК, осложненных фибрилляцией предсердий. Кроме того, среди исследователей до сих пор нет единства мнений относительно используемых для визуализации сердца импульсных последовательностей — SSFP либо gradient ECHO [6].

Планарная радионуклидная равновесная вентрикулография не нашла широкого применения у пациентов с приобретенными пороками сердца в связи с недостаточной точностью вычислений параметров сократимости правого желудочка (что обусловлено проекционным наложением на последний других камер сердца).

Альтернативным подходом к оценке внутрисердечной гемодинамики и диссинхронии может быть использование радионуклидной томовентрикулографии (РТВГ) — неинвазивного, томографического метода, позволяющего оценить функциональное состояние сердца на основе анализа относительно большого массива (обычно более 2500) сердечных

циклов [7]. Однако в мировой и отечественной литературе практически не встречается работ, посвященных оценке сердечной гемодинамики методом РТВГ у пациентов с митральным стенозом.

Цель исследования

Определить возможности радионуклидной томовентрикулографии в оценке сократительной дисфункции правых отделов сердца у пациентов со стенозом МК ревматической этиологии.

Материалы и методы

В ходе работы были обследованы 20 пациентов (средний возраст $54,2 \pm 8,22$ года, $M \pm SD$), находившихся на госпитализации в кардиохирургическом отделении НИИ кардиологии (директор — академик РАМН Р. С. Карпов). До включения в исследование от всех участников было получено письменное информированное согласие. Исследование было выполнено в соответствии со стандартами надлежащей клинической практики (Good Clinical Practice) и принципами Хельсинкской Декларации. Протокол исследования был одобрен этическим комитетом НИИ кардиологии.

У всех 20 пациентов был диагностирован порок МК ревматической этиологии («чистый» стеноз или его преобладание) с индексом площади левого атриовентрикулярного клапана менее $0,7 \text{ см}^2/\text{м}^2$.

Среднее давление в легочной артерии по данным ЭхоКГ составило $50,66 \pm 10,76$ мм рт.ст.). Во всех случаях пациенты имели сердечную недостаточность III и выше функционального класса (ФК) по классификации Нью-Йоркской ассоциации кардиологов (NYHA), на ЭКГ регистрировалась фибрилляция предсердий. Все пациенты были обследованы до и после коррекции митрального порока. Протезирование МК выполняли механическим двустворчатым протезом «Мединж-2» с частичным сохранением задней створки и подклапанных структур. Критериями исключения из исследования явились: ортопноэ в состоянии функционального покоя, наличие воспалительных процессов в легких, хронические обструктивные болезни легких, дилатационная кардиомиопатия, врожденные пороки сердца. В качестве группы сравнения были обследованы 16 больных ишемической болезнью сердца (средний возраст $56,3 \pm 8,3$ лет, НК I–II ФК по NYHA).

Всем пациентам наряду со стандартным физикальным обследованием были выполнены рутинные инструментальные исследования (ЭКГ, ЭхоКГ, лабораторные тесты). Всем мужчинам старше 40 лет и женщинам старше 45 лет выполняли коронаровентрикулографию и зондирование правых

отделов сердца. Кроме того, за 2–3 суток до и через 3–4 недели после хирургической коррекции митрального порока все пациенты были обследованы методом ЭКГ-синхронизированной РТВГ на томографической двудетекторной гамма-камере «Philips-Forte», оснащенной параллельными высококоразрешающими коллиматорами (Rembrandt™) и настройкой окна дифференциального дискриминатора на энергетический пик $140 \pm 10\%$ КэВ. В качестве радиофармпрепарата использовали эритроциты, меченные *in vivo* технецием-99m. Детекторы гамма-камеры устанавливали в положение 90° по отношению друг к другу, при этом угол вращения составил 180° . Поворот детекторов происходил в автоматическом пошаговом режиме с углом смещения $2,8^\circ$ по нециркулярной орбите — с максимальным приближением детекторов к поверхности тела пациента. Запись информации была выполнена в матрицу 64×64 пиксела в 64 проекциях с экспозицией 45 секунд на кадр. Синхронизацию записи сокращений сердца с ЭКГ осуществляли с учетом коррекции аритмии в фиксированном режиме (средняя продолжительность RR интервала составила $858 \pm 201,3$ мс). Представительный сердечный цикл был разделен на 16 кадров. Лучевая нагрузка на всё тело составила $0,0021 \text{ мЗв/МБк}$, что не превышало предельно допустимого уровня для данной категории пациентов. Конечно-систолический, конечно-диастолический, ударный объемы сердца (соответственно, КСО, КДО и УО) и фракцию выброса (ФВ) желудочков вычисляли, используя специализированную программу Quantitative Blood Pool SPECT 2.0 (Cedars-Sinai Medical Center) [7]. Кроме того, для обоих желудочков были построены кривые изгнания, по которым были рассчитаны: максимальная скорость изгнания (МСИ, КДО/с) и наполнения (МСН, КДО/с), среднее время наполнения за 1/3 диастолы (СВН/3, КДО/с), время максимума наполнения (ВМН, мс). Фазовую неоднородность сердечного цикла оценивали визуально по наличию одной или нескольких зон асинхронного сокращения миокарда (АСМ), в которых изменение фазы движения сердечной стенки на протяжении сердечного цикла происходит раньше или позже, по сравнению с основной массой кардиомиоцитов. Внутривентрикулярную диссинхронию характеризовали количественно по круговой гистограмме времени сокращения левого и правого желудочков [8]. Для измерения размеров предсердий мы использовали поперечные, сагиттальные и фронтальные томосцинтиграммы кровяного пула сердца, полученные без ЭКГ-синхронизации. В эти же сроки методом трансторакальной ЭХО-КГ всем пациентам опреде-

ляли передне-задний и поперечный размеры правого желудочка.

Статистическую обработку результатов выполняли при помощи программы Statistica 10 (StatSoft, Inc.). Данные представлены в виде среднего арифметического $\pm$ стандартное отклонение ($M \pm SD$). Полученные данные не подчинялись закону нормального распределения (по критерию Колмогорова-Смирнова), в связи с чем достоверность межгрупповых различий оценивали по непараметрическим критериям Уилкоксона и Манна-Уитни, взаимосвязь — по критерию Pearson.

Результаты исследования и обсуждение

При визуальном анализе сокращения миокарда (на срезах по короткой оси, полярных картах и трехмерной модели) у всех пациентов с пороками МК сердца мы фиксировали в различной степени выраженное снижение региональной сократимости стенок правого желудочков сердца (Рис. 1).

Переднезадний размер правого желудочка, определенный по данным ЭхоКГ, положительно коррелировал с КСО ($r = 0,74$, $p = 0,008$) и отрицательно с ФВ ПЖ ($r = -0,73$, $p = 0,01$), измеренными сцин-

тиграфическим методом. В то же время указанный сонографический показатель не был статистически значимо взаимосвязан ни с КДО, ни с УО правого желудочка (коэффициенты корреляции составили $r = 0,54$, $p = 0,08$ и $r = -0,53$, $p = 0,09$ соответственно). Приведенные данные свидетельствуют, на наш взгляд, в пользу того, что для оценки объемных показателей правого желудочка предпочтение следует отдавать трехмерным, т.е. томографическим методам, к числу которых относится и радионуклидная томовентрикулография.

Как следует из таблицы, больные с пороками МК по отношению к пациентам группы сравнения имели достоверно более низкие значения ФВ и УО, МСИ и средней скоростей изгнания, но более высокие показатели КСО ПЖ.

УО, ФВ и МСИ правого желудочка являются показателями, характеризующими функцию изгнания, и уменьшенные их значения в группе пациентов с пороками МК объясняются возросшей постнагрузкой на ПЖ за счет гипертензии в малом круге кровообращения. Меньшая ССН/3 ПЖ также связана, на наш взгляд, с легочной гипертензией, которая приводит к повышению конечно-систолического давления в ПЖ. В пользу этого предположения го-

Таблица

ПОКАЗАТЕЛИ ФУНКЦИИ ПРАВОГО ЖЕЛУДОЧКА И РАЗМЕРОВ ПРАВОГО ПРЕДСЕРДИЯ У ПАЦИЕНТОВ ГРУППЫ СРАВНЕНИЯ И БОЛЬНЫХ СО СТЕНОЗОМ МИТРАЛЬНОГО КЛАПАНА ДО И ПОСЛЕ КОРРЕКЦИИ ПОРОКА (ПО ДАННЫМ РАДИОНУКЛИДНОЙ РАВНОВЕСНОЙ ТОМОВЕНТРИКУЛОГРАФИИ) ($M \pm SD$)

Показатели	Гр. сравнения	Пациенты со стенозом МК (до лечения)	Mann-Whitney U test (1 vs 2)	Пациенты со стенозом МК (после лечения)	Wilcoxon test (2 vs 3)
	1	2		3	
КДО, мл	168,54 $\pm$ 23,52	156,93 $\pm$ 34,66	0,07	153,08 $\pm$ 31,16	0,64
КСО, мл	76,18 $\pm$ 20,52	99,66 $\pm$ 36,46	0,046	87,58 $\pm$ 28,51	0,04
УО, мл	93,38 $\pm$ 15,66	57,26 $\pm$ 16,06	0,00003	65,33 $\pm$ 15,99	0,17
ФВ, %	53,84 $\pm$ 8,63	37,66 $\pm$ 11,94	0,001	43,5 $\pm$ 11,12	0,005
МСИ, КДО/с	-2,78 $\pm$ 0,79	-1,72 $\pm$ 0,63	0,001	-2,20 $\pm$ 0,62	0,01
МСН, КДО/с	2,02 $\pm$ 0,74	1,69 $\pm$ 0,71	0,23	1,88 $\pm$ 0,47	0,64
ССН/3, КДО/с	1,41 $\pm$ 0,52	0,97 $\pm$ 0,4	0,008	1,09 $\pm$ 0,28	0,38
ВМН, мсек	153,9 $\pm$ 43,10	189,4 $\pm$ 136,36	0,73	149,83 $\pm$ 32,53	0,28
ВЖД, мсек	45,21 $\pm$ 20,52	56,47 $\pm$ 19,36	0,44	54,8 $\pm$ 21,19	0,50
МЖД, мсек	19,83 $\pm$ 9,32	46,58 $\pm$ 34,94	0,001	33,83 $\pm$ 28,43	0,01
ПП (trans.), мм	31,25 $\pm$ 6,34	43,5 $\pm$ 14,7	0,005	34,14 $\pm$ 8,12	0,047
ПП (sag.), мм	45,12 $\pm$ 7,52	67,37 $\pm$ 19,9	0,005	56,42 $\pm$ 18,15	0,011
ПП (front), мм	45,62 $\pm$ 10,13	63,5 $\pm$ 16,03	0,002	49,48 $\pm$ 13,91	0,004

Примечание: КДО — конечно-диастолический объем; КСО — конечно-систолический объем; УО — ударный объем; ФВ — фракция выброса; МСИ — максимальная скорость изгнания; МСН — максимальная скорость наполнения; ССН/3 — скорость наполнения за 1/3 диастолы; ВМН — время максимума наполнения правого желудочка; ВЖД — внутрисердечная диссинхрония; МЖД — межжелудочковая диссинхрония; ПП (trans) — поперечный размер правого предсердия; ПП (sag) — сагиттальный размер правого предсердия; ПП (front) — фронтальный размер правого предсердия.

Рисунок 1. А — срез кровяного пула камер сердца по короткой оси, конечно-систолический кадр (зеленая линия — конечно-диастолический контур; белая линия — конечно-систолический контур); Б — полярная карта сократимости правого желудочка; В — трехмерная модель камер сердца. Локальный гипокинез гипокинез передне-боковой стенки правого желудочка указан стрелкой

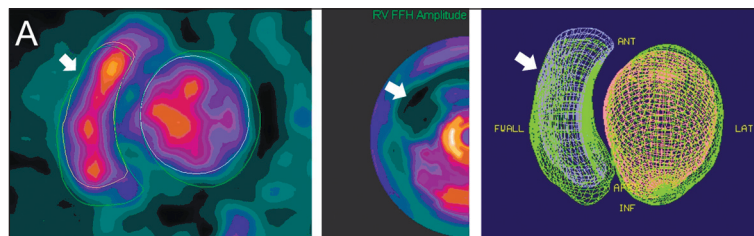
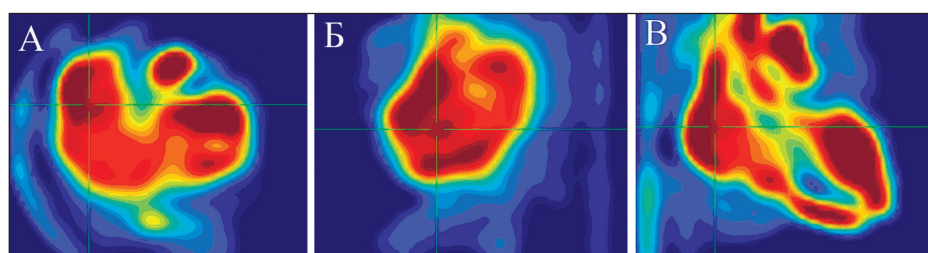


Рисунок 2. На рисунках А, Б и В визуализируется кровяной пул камер сердца, соответственно в поперечной, сагиттальной и фронтальной проекциях. Изображения центрированы на области дилатированного правого предсердия



воят и повышенное систолическое давление в ПЖ ($50,66 \pm 10,76$ мм), и более высокие значения КСО ПЖ (см табл.), а также тесная корреляция между значениями КСО ПЖ и ССН/3 ПЖ ($r = -0,74$, $p = 0,001$).

Коррекция порока реализовалась статистически значимым уменьшением КСО, увеличением МСИ и ФВ ПЖ. Улучшение КСО, МСИ и ФВ ПЖ объясняется устранением первого (суженное митральное отверстие) и второго (обусловленный рефлексом Китаева спазм легочных артериол) барьеров и уменьшением, тем самым, постнагрузки на ПЖ. Устранение «второго барьера» подтверждается достоверным снижением давления в ПЖ (с исходных $50,66 \pm 10,76$ мм рт. ст. до $36,8 \pm 12,26$ мм рт. ст. после коррекции порока; $p = 0,002$).

Помимо изменения объемных и скоростных показателей, у пациентов с пороками МК была выявлена межжелудочковая диссинхрония. Важно отметить, что значения данного скинтиграфического показателя ($46,58 \pm 34,94$ мс), с одной стороны, лишь немного превысили его нормальные лимиты (40 мс) [9], с другой — достоверно превышали аналогичные значения в группе сравнения (см. табл.). Причиной межжелудочковой диссинхронии является общая контрактильная дисфункция ПЖ в ответ на повышение легочного сосудистого сопротивления [10]. После оперативной коррекции митрального порока данный показатель достоверно нормализовался по причине устранения постнагрузки на ПЖ.

Показатели внутрижелудочковой диссинхронии обоих желудочков сердца в группе сравнения и основной группе как до, так и после коррекции порока достоверно не различались. Кроме того, нами не было выявлено корреляционной зависимости между выраженностью межжелудочковой диссинхронии и показателями сократимости желудочков сердца.

В отечественной и зарубежной литературе встречается весьма ограниченное число публикаций по скинтиграфической оценке внутри- и межжелудочковой диссинхронии. Имеющиеся работы касаются, в основном, анализа пациентов, подвергшихся сердечной ресинхронизирующей терапии [11]. По нашему мнению, исследования, направленные на разработку радионуклидной семиотики нарушений синхронности движения желудочков сердца, требуют дальнейшего развития.

Кроме оценки функциональных показателей правого желудочка, метод РТВГ позволяет оценить размеры правого предсердия (ПП) (Рис. 2). В нашем исследовании поперечный, сагиттальный и фронтальный размеры ПП достоверно превышали таковые в группе сравнения (см. табл.). Дилатация ПП является следствием легочной гипертензии, длительное течение которой способствует структурным изменениям в миокарде правых отделов сердца [11]. После коррекции порока мы отметили статистически значимое уменьшение всех размеров ПП, что является скорее всего результатом снижения внутриполостного давления.

У 25 % пациентов из числа больных основной группы размеры ПП после коррекции порока заметно не уменьшались. Кроме того, после коррекции порока у них отмечалось весьма умеренное улучшение функциональных показателей ПЖ. Следует отметить, что в дооперационном периоде эти больные отличались высокой степенью легочной гипертензии, выраженным снижением систоло-диастолической функции и дилатацией полости ПЖ.

В литературе имеются данные о применении Эхо-КГ для изучения структурных и функциональных показателей ПП у пациентов с легочной гипертензией. Так, в исследовании Raymond R.J. с соавт. [12] было показано, что расширение ПП является одним из независимых предикторов неблагоприятного клинического исхода у пациентов с первичной легочной гипертензией. Более того, научной группой Gioffi с соавт. [13] было установлено, что у пациентов с заболеваниями органов дыхания в сочетании с легочной гипертензией расширение ПП происходит задолго до дисфункции и дилатации ПЖ.

Выводы

1) Использование РТВГ позволяет визуально оценить нарушение региональной сократимости желудочков сердца, при этом качество изображения и точность вычисления параметров гемодинамики не зависят от особенностей геометрии желудочков и «экранирующих» их структур (грудина, ребра, легкие, послеоперационные изменения мягких тканей и т.д.).

2) Обусловленные стенозом МК изменения гемодинамики правого желудочка в наибольшей степени проявляются снижением УО, ФВ, МСИ и ССН/3, а также увеличением КСО. После коррекции порока в наибольшей степени нормализуются КСО, ФВ и МСИ ПЖ.

3) Метод РТВГ можно использовать для оценки выраженности межжелудочковой диссинхронии и изменений размеров предсердий у пациентов со стенозом МК и легочной гипертензией.

Благодаря указанным особенностям метод РТВГ наряду с другими визуализирующими методиками может быть использован для неинвазивной оценки функционального состояния правых отделов сердца у пациентов со стенозом МК ревматической этиологии (включая больных с имплантированными электрокардиостимуляторами).

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-15-00178).

Литература

1. Бураковский В. И. и др. Сердечно-сосудистая хирургия: руководство / В. И. Бураковский, Л. А. Бокерия и др.; Под ред. акад. АМН СССР В. И. Бураковского, проф. Л. А. Бокерия. — М.: Медицина, 1989. — 752 с.
2. de Groote P., Millaire A., Foucher-Hossien C. et al. Right ventricular ejection fraction is an independent predictor of survival in patients with moderate heart failure. — J. Am. Coll. Cardiol. — 1998. — Vol. 32. — P. 948–954.
3. Haddad F., Hunt S. A., Rosenthal D. N. et al. Right ventricular function in cardiovascular disease, part I: Anatomy, physiology, aging, and functional assessment of the right ventricle. — Circulation. — 2008. — Vol. 117, № 11. — P. 1436–1448.
4. Tugcu A., Yildirimtürk O., Tayyareci Y. et al. Evaluation of subclinical right ventricular dysfunction in obstructive sleep apnea patients using velocity vector imaging. — Circ. J. — 2010. — Vol. 74, № 2. — P. 312–319.
5. Miller S., Reissen R., Claussen C. et al. Cardiac Imaging. — Stuttgart — New York: Thieme, 2007.
6. Alfakih K., Plein S., Thiele H. et al. Normal human left and right ventricular dimensions for MRI as assessed by turbo gradient echo and steady-state free precession imaging sequences. — J. Magn. Reson. Imaging. — 2003. — Vol. 17. — P. 323–329.
7. Daou D., Van Krieking S. D., Coaguila C. et al. Automatic quantification of right ventricular function with gated blood pool SPECT. — J. Nucl. Cardiol. — 2004. — Vol. 11, № 3. — P. 242–244.
8. Fauchier L., Marie O., Casset-Senon D. et al. Interventricular and intraventricular dyssynchrony in idiopathic dilated cardiomyopathy: a prognostic study with Fourier phase analysis of radionuclide angioscintigraphy. — J. Am. Coll. Cardiol. — 2002. — Vol. 40, № 11. — P. 2022–2030.
9. Ghio S., Constantin C., Klersy C. et al. Interventricular and intraventricular dyssynchrony are common in heart failure patients, regardless of QRS duration. — Eur. Heart J. — 2004. — Vol. 25, № 7. — P. 571–578.
10. Schwartz D. J., Kop W. J., Park M. H. et al. Evidence for early right ventricular and septal mechanical activation (interventricular dyssynchrony) in pulmonary hypertension. — Am. J. Cardiol. — 2008. — Vol. 102, № 9. — P. 1273–1277.
11. Chen J., Boogers M. M., Bax J. J. et al. The use of nuclear imaging for cardiac resynchronization therapy. — Curr. Cardiol. Rep. — 2010. — Vol. 12, № 2. — P. 185–191.
12. Raymond R. J., Hinderliter A. L., Willis P. W. et al. Echocardiographic predictors of adverse outcomes in primary pulmonary hypertension. — J. Am. Coll. Cardiol. — 2002. — Vol. 39, № 7. — P. 1214–1219.
13. Cioffi G., de Simone G., Mureddu G. et al. C. Right atrial size and function in patients with pulmonary hypertension associated with disorders of respiratory system or hypoxemia. — Eur. J. Echocardiogr. — 2007. — Oct. — Vol. 8, № 5. — P. 322–331.