

Новый способ количественной радионуклидной оценки перфузии миокарда при легочной гипертензии

А.А. Аншелес, к. м. н., ст. науч. сотр.;

Э.Г. Валеева, аспирант;

Т.В. Мартынюк, д. м. н., руководитель лаборатории легочной гипертензии, вед. науч. сотр. отдела гипертонии;

В.Б. Сергиенко, д. м. н., профессор, руководитель отдела радионуклидной диагностики и позитронной эмиссионной томографии

ФГБУ «Российский кардиологический научно-производственный комплекс»

Министерства здравоохранения РФ,

ул. 3-я Черепковская, 15а, Москва, 121552, Российская Федерация

New approach of quantitative nuclear cardiac perfusion assessment in patients with pulmonary hypertension

A.A. Ansheles, MD, PhD, Senior Researcher;

E.G. Valeeva, Postgraduate;

T.V. Martynyuk, MD, PhD, DSc, Head of Laboratory of Pulmonary Hypertension, Leading Researcher of Department of Hypertension;

V.B. Sergienko, MD, PhD, DSc, Professor, Head of Nuclear Medicine and Positron Emission Tomography Department

Russian Cardiology Research-and-Production Complex, Ministry of Health of the RF, ul. Tret'ya Cherepkovskaya, 15a, Moscow, 121552, Russian Federation

Цель исследования – разработать и внедрить новый способ обработки перфузионных томосцинтиграмм миокарда, полученных методом однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОЭКТ), у больных легочной гипертензией (ЛГ).

Материал и методы. В покое и на фоне физической нагрузки 18 пациентам с идиопатической легочной гипертензией выполнена перфузионная ОЭКТ миокарда с ^{99m}Tc -МИБИ, с КТ-коррекцией поглощения излучения (АС), с ЭКГ-синхронизацией. Обработку томосцинтиграмм выполняли в ручном режиме, с раздельной реориентацией и полуавтоматическим оконтуриванием обоих желудочков. Расчет коэффициента относительной интенсивности накопления МИБИ в правом и левом желудочках (RV/LV) проводился по собственному методу, в сравнении с другими описанными способами.

Результаты. У пациентов с ЛГ, по данным перфузионной ОЭКТ миокарда, отмечаются патологическая визуализация правого желудочка (ПЖ), его дилатация и снижение сократимости, парадоксальное движение и характерные дефекты перфузии межжелудочковой перегородки. Оконтуривание ПЖ в полуавтоматическом режиме оказалось возможным у 100% пациентов. Средние значения коэффициента RV/LV у пациентов с ЛГ и в норме составили $0,6097 \pm 0,0090$ и $0,2750 \pm 0,0355$ соответственно ($p < 0,001$).

Заключение. Новый способ расчета количественных параметров нарушений перфузии позволяет выявить особенности перфузии миокарда правого и левого желудочков у пациентов с легочной гипертензией, с потенциальной возможностью оценки эффективности терапии у этих пациентов.

Ключевые слова: легочная гипертензия; однофотонная эмиссионная компьютерная томография; перфузия миокарда.

Для цитирования: Аншелес А.А., Валеева Э.Г., Мартынюк Т.В., Сергиенко В.Б. Новый способ количественной радионуклидной оценки перфузии миокарда при легочной гипертензии. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2016; 97 (6): 340–7. DOI: 10.20862/0042-4676-2016-97-6-340-347

Для корреспонденции: Аншелес Алексей Аркадьевич; E-mail: a.ansheles@gmail.com

Objective: to develop and implement a new processing approach of myocardial perfusion images obtained by single-photon emission computed tomography (SPECT) in patients with pulmonary hypertension (PH).

Material and methods. 18 patients with idiopathic pulmonary hypertension underwent gated rest-stress perfusion SPECT with ^{99m}Tc -MIBI with CT-attenuation correction. Images were processed manually, with separate reorientation and semi-automatic contouring of both ventricles. MIBI intensity ratio in the right and left ventricles (RV/LV) was calculated using novel volumetric method, in comparison with other described approaches.

Results. In patients with PH myocardial perfusion SPECT revealed abnormal RV visualization, dilation and reduced contractility, paradoxical motion and typical perfusion defects of interventricular septum. RV contouring in semi-automatic mode was possible in 100% of cases. The average values of RV/LV ratio in PH patients and normal group was 0.6097 ± 0.0090 and 0.2750 ± 0.0355 , respectively ($p < 0.001$).

Conclusion. The new method of quantitative calculation of perfusion impairments allows to reveal the features of myocardial perfusion of the right and left ventricles in patients with pulmonary hypertension, with the potential to assess therapy effectiveness in these patients.

Index terms: pulmonary hypertension; single-photon emission computed tomography; myocardial perfusion.

For citation: Ansheles A.A., Valeeva E.G., Martynyuk T.V., Sergienko V.B. New approach of quantitative nuclear cardiac perfusion assessment in patients with pulmonary hypertension. *Vestnik Rentgenologii i Radiologii (Russian Journal of Radiology)*. 2016; 97 (6): 340–7 (in Russ.). DOI: 10.20862/0042-4676-2016-97-6-340-347

For correspondence: Aleksey A. Ansheles; E-mail: a.ansheles@gmail.com

Information about authors:

Ansheles A.A., <http://orcid.org/0000-0002-2675-3276>

Valeeva E.G., <http://orcid.org/0000-0002-1289-8781>

Martynyuk T.V., <http://orcid.org/0000-0002-9022-8097>

Sergienko V.B., <http://orcid.org/0000-0002-0487-6902>

Acknowledgements. The study had no sponsorship.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Received 1 July 2016

Accepted 12 August 2016

Введение

Радионуклидные методы играют важнейшую роль в диагностическом алгоритме у пациентов с легочной гипертензией (ЛГ) различной этиологии. Вентиляционно-перфузионная сцинтиграфия и однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОЭКТ) легких являются методами выбора для скрининга пациентов с ЛГ с целью выявления хронического тромбоэмболического поражения легких (ХТЛГ) [1]. Не менее важными являются различные методы визуализации миокарда, в частности правого желудочка (ПЖ) [2]. Это связано с тем, что недостаточность ПЖ, возникающая вследствие его длительной перегрузки, представляет собой ключевой неблагоприятный прогностический фактор независимо от причины повышения давления в легочных артериях [1]. «Золотым стандартом» среди неинвазивных методов оценки функции обоих желудочков сердца служит радионуклидная вентрикулография, предоставляющая детальную информацию о систолической и диастолической дисфункции, асинхронии ЛЖ и ПЖ [3]. Нейротропная сцинтиграфия и ОЭКТ миокарда с ^{123}I -метайодбензилгуанидином (МИБГ) позволяют выявлять у пациентов с ЛГ нарушения симпатической активности миокарда, которые являются предиктором жизнеугрожающих нарушений ритма сердца и связаны с риском внезапной смерти [4]. Нарушения метаболизма глюкозы и жирных кислот в миокарде, определяемые с помощью ПЭТ с ^{18}F -фтордезоксиглюкозой (ФДГ) и ОЭКТ с ^{123}I -бета-метилйодофенилпентадекановой кислотой (ВМПП) соответственно, являются, с одной стороны, наиболее ранними маркерами нарушения состояния миокарда, а с другой – важным прогностическим фактором и критерием оценки эффективности терапии [5, 6].

В связи с этим ОЭКТ миокарда с оценкой клеточной перфу-

зии представляется еще одним перспективным направлением диагностики состояния миокарда у больных с ЛГ [7]. Одна из клинических задач у этой категории больных состоит в исключении сопутствующей ишемической болезни сердца (ИБС), которая может развиваться на фоне нарастания несоответствия между доставкой и потребностью в кислороде гипертрофированного миокарда ПЖ [8, 9]. При этом именно у пациентов с ЛГ перфузионная ОЭКТ миокарда может оказаться особенно ценным диагностическим методом оценки состояния ПЖ. Это связано с тем, что при значительном повышении давления в легочных артериях гипертрофированный ПЖ начинает визуализироваться на томосцинтиграммах, хотя в норме он не виден (в силу небольшого объема миокарда ПЖ относительно ЛЖ). Визуализация ПЖ дает возможность выявления стабильных и преходящих (стресс-индуцированных) дефектов его перфузии, а также степени его дилатации [10]. При выполнении методики ОЭКТ, синхронизированной с ЭКГ (С-ОЭКТ), возможна оценка сократительной способности ПЖ с измерением того же самого набора параметров, что и при радионуклидной вентрикулографии. Наиболее характерное изменение конфигурации миокарда при ЛГ – сдавление левого желудочка гипертрофированным правым. При этом возникают феномены D-образного ЛЖ и парадоксального движения МЖП, хорошо видимые как при ЭхоКГ, так и при С-ОЭКТ [11]. Дополнительной возможностью является измерение соотношения интенсивности накопления радиофармпрепарата (РФП) правым и левым желудочками (коэффициент RV/LV). Имеются данные, что увеличение этого показателя служит достоверным признаком гипертрофии ПЖ [12].

Основным недостатком указанной методики на сегодняшний день является отсутствие ее

стандартизации. Как уже упоминалось выше, в норме на перфузионных томосцинтиграммах ПЖ не визуализируется, поэтому и нет специализированных программ для его оконтуривания и количественной обработки. Также в литературе описано несколько различных способов измерения RV/LV [12, 13], каждый из которых имеет свои недостатки. Все это препятствует воспроизводимости и оператор-независимости – свойствам, необходимым любому диагностическому методу для возможности сопоставления нескольких исследований в динамике (в частности, при оценке эффективности проводимой терапии).

Таким образом, в данном исследовании предпринята попытка автоматизации обработки и стандартизации радионуклидной методики для объективной оценки параметров перфузии ПЖ у больных ЛГ.

Материал и методы

В исследование были включены 18 пациентов с идиопатической легочной артериальной гипертензией (ИЛГ). В рамках стандартного обследования выполнена эхокардиография, с оценкой линейных размеров стенок и камер сердца и расчетом систолического давления в легочной артерии (СДЛА). Всем пациентам была проведена перфузионная однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОЭКТ) миокарда с $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -МИБИ, с КТ-коррекцией поглощения излучения, синхронизированная с ЭКГ, в покое и в сочетании с велоэргометрической пробой, по стандартному протоколу [14]. Реконструкции выполняли в программе AutoSPECT (Cedars-Sinai) с итеративным алгоритмом Astonish (Philips), реориентацию изображений желудочков сердца проводили отдельно для ЛЖ и ПЖ (рис. 1, 2).

Оконтуривание ЛЖ и ПЖ осуществляли с применением программ AutoQuant (QPS, QGS,

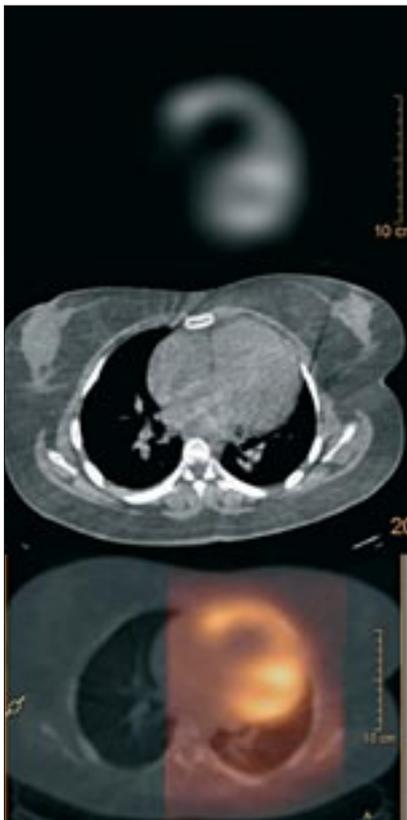


Рис. 1. ОЭКТ/КТ миокарда у пациента с ЛГ. Отмечаются выраженная дилатация ПЖ, сдавление ЛЖ

Cedars-Sinai), в ручном режиме, с использованием функций Constrain и Mask (рис. 3).

Для вычисления RV/LV использовали программу QPS в режиме Database Variation. Этот режим предоставляет данные об

абсолютном числе импульсов в каждом из 17 сегментов миокарда, в дополнение к стандартным параметрам, представляющим собой относительные значения перфузии сегмента в процентах от максимума (рис. 4).

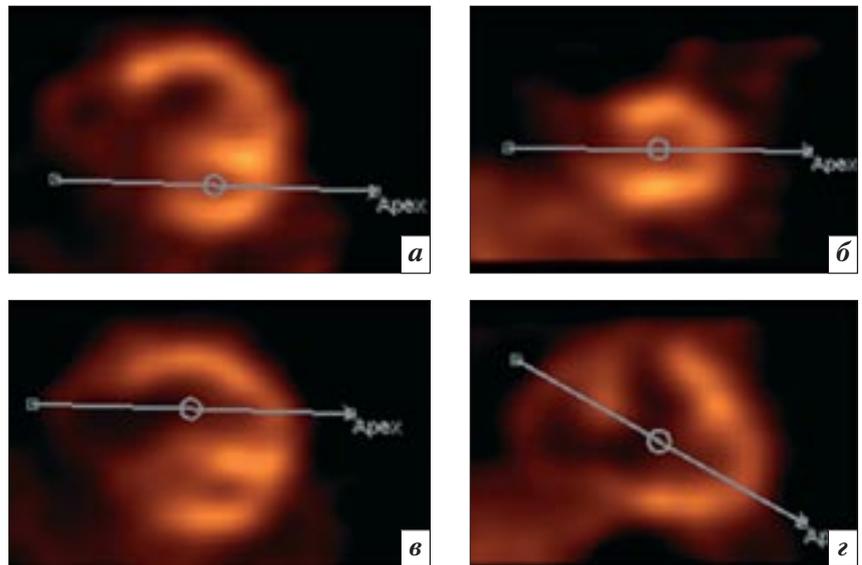


Рис. 2. Реориентация и построение косых срезов миокарда для ЛЖ (а, б) и ПЖ (в, з)

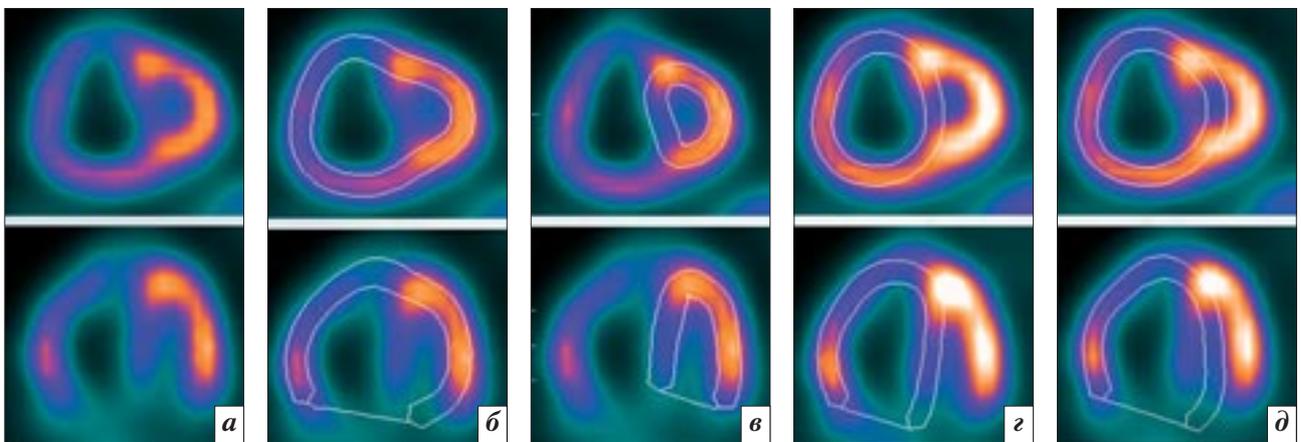


Рис. 3. Особенности оконтуривания ЛЖ и ПЖ у пациентов с ЛГ: а – исходные томографические срезы; б – автоматическое (неверное) оконтуривание. Режимы Constrain/Mask: в – правильное обведение ЛЖ; з – правильное обведение ПЖ; д – приемлемый вариант обведения ПЖ (корректно обведена только свободная стенка ПЖ)

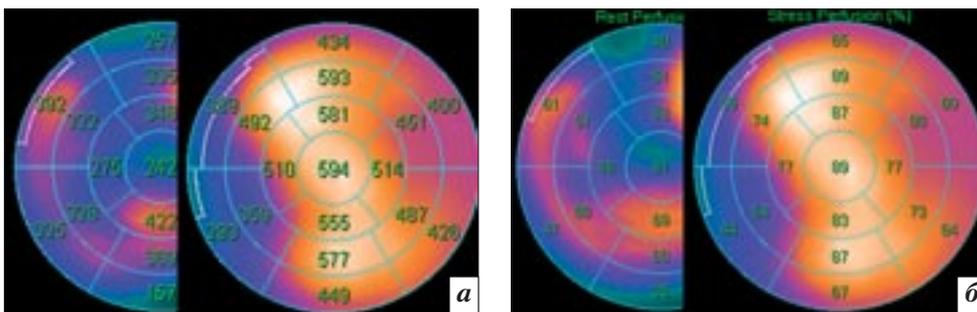


Рис. 4. Режим Database Variation: получение данных об абсолютной статистике счета в каждом сегменте ЛЖ и ПЖ (а) в дополнение к стандартным процентным значениям (б)

Коэффициент RV/LV вычисляли с использованием наборов данных в покое (RST) и после нагрузки (STR), с коррекцией поглощения (attenuation correction, AC) и без нее (nAC), тремя способами:

1) по методу F. Mannting et al. (1999 г.): с использованием максимальных значений числа импульсов в левом и правом желудочках (рис. 5, А) [13];

2) по методу R.M. Mazraeshahi et al. (2010 г.): с использованием ROI по боковым стенкам желудочков в пределах одного среза (рис. 5, Б) [12];

3) по собственному экспериментальному методу: с использованием усредненных значений по всей боковой стенке (рис. 5, В).

Результаты

По данным ЭхоКГ, СДЛА в группе пациентов составило 80 (62–95) мм рт. ст., толщина передней стенки (ТПС) ПЖ – 0,7 (0,6–0,8) мм, переднезадний размер (ПЗР) ПЖ – 3,2 (3,0–3,8) мм. ФВ ЛЖ у всех пациентов превышала 60%, отмечалось парадоксальное движение МЖП.

При С-ОЭКТ в покое и после нагрузочной пробы у всех пациентов распределение РФП в ЛЖ было достаточно равномерным, хорошо визуализировался ПЖ, что указывает на его гипертрофию, отмечалось снижение включения РФП в базальные отделы МЖП, имитирующее очагово-рубцовое или фиброзное изменение. У 5 пациентов на нагрузочных изображениях наблюдалось распространение зоны снижения перфузии на средний сегмент МЖП, что имитировало переходящую ишемию миокарда (рис. 6, а). В то же время истинную переходящую ишемию миокарда можно было предположить у 2 пациентов, у которых переходящий дефект перфузии визуализировался в передневерхушечных сегментах (рис. 6, б).

При количественном анализе дефектов перфузии было отмечено ошибочное автоматическое

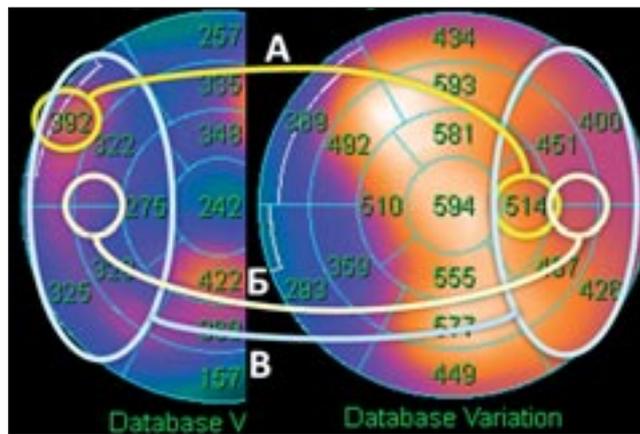


Рис. 5. Вычисление RV/LV: А – по F. Mannting et al.; Б – по R.M. Mazraeshahi et al.; В – по собственному методу

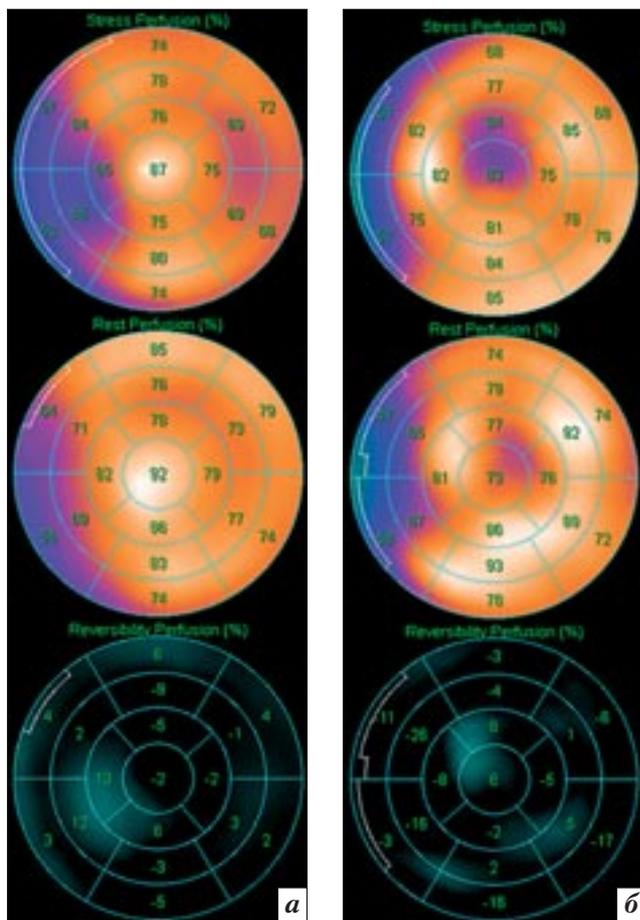


Рис. 6. Варианты переходящей ишемии у пациентов с ЛГ: а – по перегородочной стенке на фоне исходного снижения перфузии; б – по передневерхушечной стенке

обведение ЛЖ и ПЖ в программе AutoQuant у всех пациентов. Использование функций Constrain и Mask оказалось единственным способом корректного обведения обоих желудочков (см. рис. 3), которое также в ито-

ге удалось выполнить у всех пациентов обследуемой группы. Таким образом стало возможным вычисление количественных параметров как для ЛЖ, так и для ПЖ. При последующем анализе у всех пациентов параметр Summed

Stress Score (SSS, сумма баллов при нагрузке) превышал нормальные значения (>4), ФВ ЛЖ находилась в пределах нормы (>50%), нарушения локальной сократимости ЛЖ во всех случаях были представлены гипо-, а или дискинезом МЖП (рис. 7). ФВ ПЖ была резко снижена на фоне его дилатации (табл. 1).

Средние значения коэффициента RV/LV, вычисленные различными способами, у пациентов с ЛГ и в норме составили $0,6097 \pm 0,0090$ и $0,2750 \pm 0,0355$ соответственно ($p < 0,001$) (табл. 2).

При анализе корреляционных связей RV/LV, вычисленных различными способами, с СДЛА, ПЗР и ТПС ПЖ наилучшие связи показали параметры, рассчитанные по способу F. Mannting (табл. 3).

Обсуждение

В данной работе, являющейся продолжением наших предыдущих исследований [7], больший акцент был сделан на новые методические аспекты перфузионного исследования миокарда у больных ЛГ. Основным отличием стало выполнение у данной группы пациентов исследования на совмещенном ОЭКТ/КТ-томографе, с более современными протоколами регистрации и обработки изображений. В мировой литературе подчеркивается важность использования гибридной и мультимодальной визуализации у пациентов с ЛГ [15]. Ранее нами уже были показаны преимущества гибридной визуализации, в том числе получение изображений более высокого качества и более объективные базы нормы, что позволило значительно снизить число ложноположительных заключений [16]. В данном исследовании были получены результаты, несколько противоречащие ранее сделанным выводам. Так, у пациентов, включенных в настоящее исследование, не было выявлено значительных неоднородностей перфузии ЛЖ. Это можно объяс-

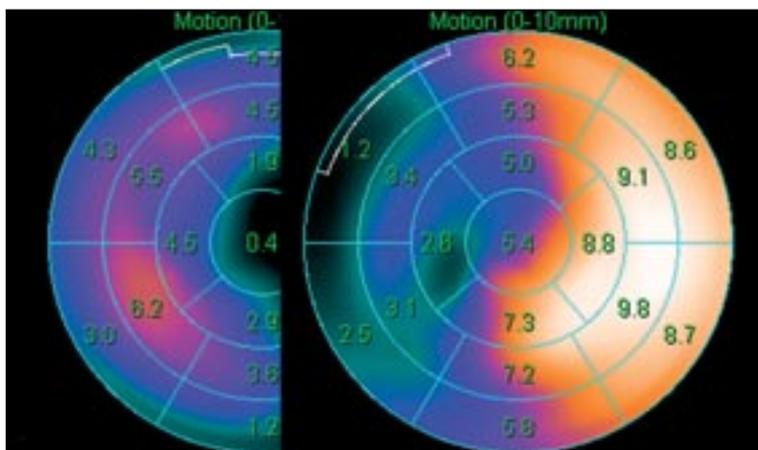


Рис. 7. Полярные карты сократимости миокарда ПЖ (слева) и ЛЖ (справа)

Таблица 1
Параметры перфузии и сократимости миокарда ЛЖ и ПЖ у пациентов с ЛГ

Параметр	SSS AC	SDS AC	SSS nAC	SDS nAC	КДО, мл	ФВ, %
ЛЖ	9 (8–12)	1 (0–2)	6 (4–8)	4 (1–6)	56 (34–66,5)	66 (58–79)
ПЖ	–	–	–	–	65 (57–137)	22 (16–31)

Примечание. SDS – Summed Difference Score (сумма баллов разности между нагрузкой и покоем).

Таблица 2
Расчет RV/LV по методу R.M. Mazraeshahi (Maz), F. Mannting (Man), собственным способом (Соb)

Параметр	AC						nAC					
	STR			RST			STR			RST		
	Maz	Man	Соb									
RV/LV	0,60	0,60	0,61	0,61	0,60	0,61	0,62	0,61	0,63	0,61	0,61	0,61

Таблица 3
Связь RV/LV (рассчитано по F. Mannting) с данными ЭхоКГ

Параметр	RV/LV			
	AC RST (Man)		nAC RST (Man)	
	r	p	r	p
СДЛА	0,40	0,10	0,34	0,16
ПЗР ПЖ	0,40	0,09	0,46	0,04
ТПС ПЖ	0,53	0,03	0,60	0,01

Примечание. r – коэффициент ранговой корреляции по Спирмену; p – уровень значимости для r.

нить более высоким качеством изображения (с более высокой статистикой счета) и, как следствие, более корректной работой алгоритмов реконструкции, а

также влиянием коррекции поглощения излучения.

Тем не менее мы наблюдали довольно характерные нарушения перфузии у пациентов с ИЛГ,

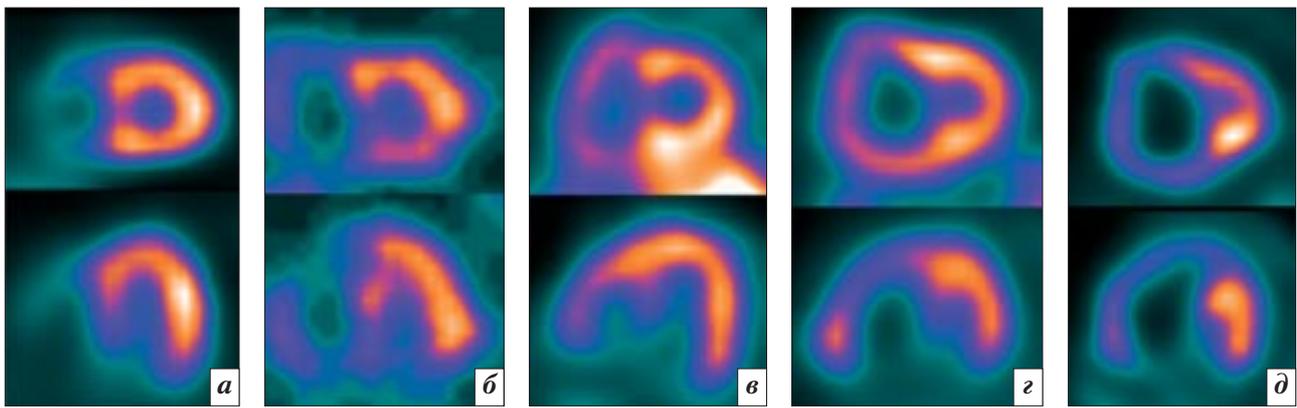


Рис. 8. Варианты перфузии ЛЖ и ПЖ у пациентов с различными причинами ЛГ: а – норма (СДЛА 25 мм рт. ст.); б – ВПС (ДМЖП) (СДЛА 46 мм рт. ст.); в – ХТЛГ (СДЛА 70 мм рт. ст.); г – ИЛГ (СДЛА 95 мм рт. ст.); д – ИЛГ (СДЛА 125 мм рт. ст.)

локализованные в базальных сегментах МЖП (рис. 8).

Механизм появления этих дефектов не до конца изучен [17], однако зарубежными авторами на модели собак было показано, что перегрузка ПЖ приводит к существенному снижению кровотока в МЖП [18]. На основании этих данных можно высказать предположение, что источником стенокардии у пациентов с ЛГ с интактными КА может быть ишемия, возникающая в результате компрессии МЖП. Кроме того, в исследовании М. Oikawa et al. было продемонстрировано восстановление метаболизма глюкозы в данной зоне на фоне терапии ЛГ [19]. Таким образом, эти дефекты перфузии, по-видимому, являются обратимыми и, следовательно, не должны трактоваться как стойкие дефекты вследствие предполагаемых очагов фиброза. С учетом того, что пациенты с ЛГ имеют низкую толерантность к нагрузке и, как правило, не достигают диагностических критериев преходящей ишемии миокарда, аналогичным образом следует трактовать и случаи дальнейшего ухудшения перфузии миокарда МЖП на фоне нагрузки. Такое преходящее ухудшение кровоснабжения связано, скорее всего, с дальнейшим нарушением геометрии ПЖ вследствие повышения давления в ЛА при нагрузочной пробе.

В остальном полученные нами новые результаты согласуются с данными, полученными ранее [7]. Так, перфузия ПЖ у всех исследуемых пациентов была несколько неравномерной, что может свидетельствовать о наличии мелкоочаговых фиброзных изменений ПЖ вследствие его дилатации. Однако грубых дефектов перфузии ПЖ не было выявлено, при этом отмечалась возможность ложноположительной диагностики дефекта перфузии в передних сегментах ПЖ, в зоне фиброзного кольца клапана легочной артерии (см. рис. 4).

При анализе томосцинтиграмм у больных ЛГ наблюдалось патологическое увеличение накопления РФП в ПЖ, пропорционально степени его гипертрофии и дилатации и в то же время пропорционально СДЛА, причем независимо от причины его повышения (см. рис. 8). Это наблюдение позволило нам предположить, что такой параметр, как отношение включения РФП в ПЖ и ЛЖ (RV/LV), может быть не только маркером гипертрофии ПЖ, но и показателем эффективности терапии. Однако, как уже отмечалось выше, измерение данного параметра еще не стандартизировано. Кроме того, методы F. Mannting и R.M. Mazgaeshahi нельзя назвать воспроизводимыми, поскольку в них используются ручное обведение зон интереса (ROI) и различные

срезы томографических реконструкций. Для стандартизации методики необходимо максимально автоматизировать обведение контуров ЛЖ и ПЖ с применением специальной программы. Наши результаты указывают на то, что обведение ЛЖ и ПЖ у этих пациентов может быть выполнено с использованием стандартных программ, но исключительно в ручном или полуавтоматическом (как в программе AutoQuant) режиме. Причины ошибочного автоматического оконтуривания связаны, по-видимому, со снижением накопления РФП в МЖП, сдавлением ЛЖ и яркой визуализацией ПЖ, которая принимается программой за МЖП. В связи с кропотливостью этой работы мы считаем достаточным корректное обведение только свободной стенки ПЖ (см. рис. 3, д). Мы полагаем, что такой подход является более воспроизводимым, поскольку имеется визуальный контроль корректности обведения контуров желудочков (см. рис. 3).

В результате программного оконтуривания стандартные количественные параметры оценки состояния перфузии становятся доступными для обоих желудочков. Однако у данной категории пациентов были получены явно завышенные значения сумм баллов (SRS, SSS, SDS) для ЛЖ, что, по-видимому, связано с упомянутыми выше «дефектами»

перфузии перегородочной локализации. Суммы баллов для ПЖ были еще более завышенными, также по причине упомянутых выше «дефектов» перфузии по передней стенке ПЖ (см. рис. 4, табл. 1). Кроме того, для ПЖ используется только левая половина полярной карты, в то время как суммы баллов рассчитываются для всего изображения. Таким образом, ясно, что в отношении пациентов с ЛГ требуются абсолютно другие базы норм, а поскольку они отсутствуют, суммы баллов нарушений перфузии ЛЖ и ПЖ должны выставляться только в ручном режиме.

В то же время программное обведение обоих желудочков позволило нам получить несколько удобных способов измерения RV/LV, используя данные из одних и тех же полярных карт, созданных в режиме Database Variances. При этом мы получили очень сходные данные при измерении различными способами (в пределах погрешности в 1,59%). Таким образом, появилась возможность определения нового способа измерения RV/LV, которое бы имело наилучшую корреляцию с клиническими данными и результатами ЭхоКГ. При этом мы учитывали результаты работы R.M. Mazzaeshahi et al., в которой был сделан вывод о том, что коэффициент RV/LV, рассчитанный по изображениям, полученным с коррекцией поглощения (AC), не имеет корреляции с СДЛА, в отличие от пАС-изображений [12]. Однако нами были получены противоположные данные: и AC-, и пАС-изображения оказались практически одинаковыми по диагностической ценности и имели схожую корреляцию с СДЛА. Вероятно, причина расхождений наших данных заключается в том, что в указанном исследовании использовали трансмиссионную коррекцию с гадолиниевым источником гамма-излучения (¹⁵³Gd), в нашем же исследовании использовался

более современный вариант коррекции – с помощью КТ.

Заключение

Предложенный нами способ обработки данных перфузионной ОЭКТ/КТ миокарда у пациентов с ЛГ позволяет получать количественные данные о перфузии и сократимости ЛЖ и ПЖ с более высокой воспроизводимостью, что крайне важно для сопоставления нескольких исследований в динамике. Тем не менее в данном исследовании мы не касались оценки диастолической функции у пациентов с ЛГ, а также не использовали разработанные нами новые количественные параметры, предназначенные для оценки более тонких нарушений перфузии [20]. Данные аспекты являются задачами для наших дальнейших исследований.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Литература/References

- Galie N., Humbert M., Vachiery J.L., Gibbs S., Lang I., Torbicki A. et al. 2015 ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension: The Joint Task Force for the Diagnosis and Treatment of Pulmonary Hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Respiratory Society (ERS): Endorsed by: Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC), International Society for Heart and Lung Transplantation (ISHLT). *Eur. Heart J.* 2016; 37 (1): 67–119.
- Gargiulo P., Cuocolo A., Dellegrottaglie S., Prastaro M., Savarese G., Assante R. et al. Nuclear assessment of right ventricle. *Echocardiography.* 2015; 32 (Suppl. 1): S69–74.
- Corbett J.R., Akinboboye O.O., Bacharach S.L., Borer J.S., Botvinick E.H., DePuey E.G. et al. Equilibrium radionuclide angiocar-

- diography. *J. Nucl. Cardiol.* 2006; 13 (6): e56–79.
- Verrier R.L., Antzelevitch C. Autonomic aspects of arrhythmogenesis: the enduring and the new. *Curr. Opin. Cardiol.* 2004. 19 (1): 2–11. PMID: 1513619.
- Matsushita T., Ikeda S., Miyahara Y., Yakabe K., Yamaguchi K., Furukawa K. et al. Use of [¹²³I]-BMIPP myocardial scintigraphy for the clinical evaluation of a fatty-acid metabolism disorder of the right ventricle in chronic respiratory and pulmonary vascular disease. *J. Int. Med. Res.* 2000; 28 (3): 111–23.
- Bokhari S., Raina A., Rosenweig E.B., Schulze P.C., Bokhari J., Einstein A.J. et al. PET imaging may provide a novel biomarker and understanding of right ventricular dysfunction in patients with idiopathic pulmonary arterial hypertension. *Circ. Cardiovasc. Imaging.* 2011; 4 (6): 641–7.
- Архипова О.А., Мартынюк Т.В., Валеева Э.Г., Рябыкина Г.В., Самойленко Л.Е., Сергиенко В.Б. Ишемия миокарда у пациентов с легочной артериальной гипертензией. *Системные гипертензии.* 2015; 4: 52–6. [Arkhipova O.A., Martynuk T.V., Valeeva E.G., Ryabykina G.V., Samoilenko L.E., Sergienko V.B. Myocardial ischemia in patients with pulmonary arterial hypertension. *Sistemnye Gipertenzii (Systemic Hypertension, Russian journal).* 2015; 4: 52–6 (in Russ.).]
- Vogel-Claussen J., Skrok J., Shehata M.L., Singh S., Sibley C.T., Boyce D.M. et al. Right and left ventricular myocardial perfusion reserves correlate with right ventricular function and pulmonary hemodynamics in patients with pulmonary arterial hypertension. *Radiology.* 2011; 258 (1): 119–27. PMID: 3009386.
- Сергиенко В.Б., Аншелес А.А. Томографические методы в оценке перфузии миокарда. *Вестник рентгенологии и радиологии.* 2010; 3: 10–4. [Sergienko V.B., Anshel A.A. Tomographic methods in the assessment of myocardial perfusion. *Vestnik Rentgenologii i Radiologii (Russian Journal of Radiology).* 2010; 3: 10–4 (in Russ.).]
- Gomez A., Bialostozky D., Zajarias A., Santos E., Palomar A., Martinez M.L.

- et al. Right ventricular ischemia in patients with primary pulmonary hypertension. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2001; 38 (4): 1137–42.
11. Ohira H., Beanlands R.S., Davies R.A., Mielniczuk L. The role of nuclear imaging in pulmonary hypertension. *J. Nucl. Cardiol.* 2015; 22 (1): 141–57.
 12. Mazraeshahi R.M., Striet J., Oeltgen R.C., Gerson M.C. Myocardial SPECT images for diagnosis of pulmonary hypertension and right ventricular hypertrophy. *J. Nucl. Med. Technol.* 2010; 38 (4): 175–80.
 13. Mannting F, Zabrodina Y.V., Dass C. Significance of increased right ventricular uptake on ^{99m}Tc-sestamibi SPECT in patients with coronary artery disease. *J. Nucl. Med.* 1999; 40 (6): 889–94.
 14. Сергиенко В.Б., Аншелес А.А., Шульгин Д.Н., Иванов К.П., Миронов С.П. Методические рекомендации: перфузионная сцинтиграфия и ОЭКТ миокарда. *Кардиологический вестник.* 2015; X (2): 6–21. [Sergienko V.B., Ansheles A.A., Shul'gin D.N., Ivanov K.P., Mironov S.P. Guidelines: myocardial perfusion scintigraphy and SPECT. *Kardiologicheskii Vestnik (Journal of Cardiology, Russian journal).* 2015; X (2): 6–21 (in Russ.).]
 15. Bossone E., Dellegrottaglie S., Patel S., Grunig E., D'Andrea A., Ferrara F. et al. Multimodality imaging in pulmonary hypertension. *Can. J. Cardiol.* 2015; 31 (4): 440–59.
 16. Аншелес А.А. Особенности интерпретации перфузионной однофотонной эмиссионной компьютерной томографии миокарда с компьютерно-томографической коррекцией поглощения. *Вестник рентгенологии и радиологии.* 2014; 2: 5–20. [Ansheles A.A. Specific features of interpretation of myocardial perfusion single-photon emission computed tomography with computed tomographic absorption correction. *Vestnik Rentgenologii i Radiologii (Russian Journal of Radiology).* 2014; 2: 5–20 (in Russ.).]
 17. Maedera M.T., Stöcklib M., Zellweger M.J. Myocardial perfusion SPECT features of severe pulmonary artery hypertension. *Kardiovaskuläre Medizin.* 2007; 10: 113–4.
 18. Gibbons Kroeker C.A., Adeeb S., Shrive N.G., Tyberg J.V. Compression induced by RV pressure overload decreases regional coronary blood flow in anesthetized dogs. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2006; 290 (6): H2432–8.
 19. Oikawa M., Kagaya Y., Otani H., Sakuma M., Demachi J., Suzuki J. et al. Increased [18F]fluorodeoxyglucose accumulation in right ventricular free wall in patients with pulmonary hypertension and the effect of eprostenol. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2005; 45 (11): 1849–55.
 20. Аншелес А.А., Мартиросян Л.А., Сергиенко И.В., Сергиенко В.Б. Новые подходы к количественной оценке начальных нарушений и неоднородности перфузии миокарда по данным однофотонной эмиссионной компьютерной томографии. *Вестник рентгенологии и радиологии.* 2015; 5: 17–26. [Ansheles A.A., Martirosyan L.A., Sergienko I.V., Sergienko V.B. New approaches to quantifying early disorders and perfusion inhomogeneity of the myocardium according to the data of single-photon emission computed tomography. *Vestnik Rentgenologii i Radiologii (Russian Journal of Radiology).* 2015; 5: 17–26 (in Russ.).]

Поступила 01.07.2016
Принята к печати 12.08.2016