

# Перспективы использования показателей жесткости легочной артерии для оценки прогноза больных с легочной артериальной гипертензией

М.А. СИМАКОВА<sup>1</sup>, А.В. РЫЖКОВ<sup>1</sup>, А.В. КАЗЫМЛЫ<sup>1</sup>, А.В. НАЙМУШИН<sup>1</sup>, В.Л. ЛУКИНОВ<sup>2</sup>, О.М. МОИСЕЕВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup>Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН, Новосибирск, Россия

## Резюме

**Цель исследования.** Охарактеризовать механические свойства стенки легочной артерии (ЛА) у пациентов с легочной артериальной гипертензией (ЛАГ), используя данные магнитно-резонансной томографии (МРТ) сердца, а также определить их диагностическое и прогностическое значение.

**Материалы и методы.** Обследовано 57 пациентов с ЛАГ. Диагноз ЛАГ верифицирован согласно рекомендациям ERS/ESC от 2015 г. Всем пациентам выполнено развернутое эхокардиографическое (ЭхоКГ) исследование, МРТ сердца и катетеризация правых отделов сердца (КПОС). Для расчета показателей жесткости стенки ЛА использовались данные МРТ и КПОС.

**Результаты.** Подтверждена связь между функциональным классом ЛАГ и показателями гемодинамики, физической работоспособности, ЭхоКГ параметрами правых камер. Не установлено различий в показателях жесткости ЛА в зависимости от функционального класса ЛАГ. Среди шести анализируемых показателей жесткости только индекс пульсации сопряжен со структурно-функциональными показателями правого желудочка и легочным сосудистым сопротивлением.

**Заключение.** Индекс пульсации – наиболее простой в исполнении и перспективный – в отношении оценки прогноза больных с ЛАГ МРТ показатель жесткости стенки легочной артерии.

*Ключевые слова:* легочная гипертензия, правожелудочковая недостаточность, жесткость сосудистой стенки, патофизиология легочной артериальной гипертензии.

## Perspectives of using pulmonary arterial stiffness indicators to evaluate the prognosis of patients with pulmonary arterial hypertension

М.А. SIMAKOVA<sup>1</sup>, А.В. RYZHKOV<sup>1</sup>, А.В. KYZYMLY<sup>1</sup>, А.В. NAIMUSHIN<sup>1</sup>, В.Л. LUKINOV<sup>2</sup>, О.М. MOISEEVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Almazov National Medical Research Centre

<sup>2</sup>Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS

## Summary

**Objective:** the aim of the study was to characterize the mechanical properties of the pulmonary arterial wall (PA) in patients with pulmonary arterial hypertension (PAH) using magnetic resonance imaging (MRI) of the heart, and to determine their diagnostic and prognostic value.

**Materials and methods:** 57 patients with PAH were examined. The diagnosis of PAH was verified according to the recommendations of the ERS/ESC from 2015. All patients underwent a detailed echocardiographic (ECHO) study, MRI of the heart and right heart catheterization (RHC). To calculate the stiffness of the pulmonary artery wall, the MRI and RHC data were used.

**Results:** We identified a correlation between the functional class of PAH and the parameters of hemodynamic, physical performance, ECHO parameters of the right chambers. There were no differences in the stiffness of the pulmonary artery wall, depending on the functional class of PAH. Among the six stiffness indicators, only pulsation index was associated with the structural and functional parameters of the right ventricle and pulmonary vascular resistance.

**Conclusion:** The MRI pulsation index is the simplest stiffness index of the pulmonary artery wall and the most promising one for evaluating the prognosis of patients with PAH.

*Key words:* pulmonary hypertension, right ventricular heart failure, stiffness of the vessel wall, pathophysiology of pulmonary arterial hypertension.

КПОС – катетеризация правых отделов сердца

ЛА – легочная артерия

ЛАГ – легочная артериальная гипертензия

ЛСС – легочное сосудистое сопротивление

МРТ – магнитно-резонансная томография

ПЖ – правый желудочек

ФК – функциональный класс

ЭхоКГ – эхокардиография

Главной детерминантой прогноза больных с легочной артериальной гипертензией (ЛАГ) служит функция правого желудочка (ПЖ) [1]. Однако его резервные возможности, направленные на сохранение ударного объема, весьма индивидуальны. Современное руководство по ведению пациентов с ЛАГ предлагает использовать комплексный подход для оценки размеров и функции ПЖ. Несмотря на то,

что катетеризация правых камер сердца остается стандартом в оценке гемодинамики малого круга и производительности ПЖ, высокая стоимость этого исследования в сочетании с риском развития осложнений и низкой доступностью делает данный метод малоприменимым для динамического наблюдения за пациентами с ЛАГ. На сегодняшний день эхокардиография (ЭхоКГ) по-прежнему остается наи-

Таблица 1. Формулы для расчета показателей жесткости стенки легочной артерии

Показатель	Формула
Индекс пульсации, %	$\Delta SJA / \min SJA \cdot 100$
Упругость, мм <sup>2</sup> /мм рт. ст.	$\Delta SJA / ПД$
Емкостное сопротивление, мм <sup>3</sup> /мм рт. ст.	СВ/ПД
Растяжимость, %/мм рт. ст.	$[\Delta SJA / ПД \cdot \min SJA] \cdot 100$
Эластичность, мм рт. ст.	$\Delta SJA / \min SJA \cdot ПД$
Индекс жесткости	$\ln(CДЛА / ДДЛА) / [\Delta SJA / \min SJA]$

*Примечание.*  $\Delta SJA$  – изменение площади сечения ЛА;  $\min SJA$  – минимальная площадь сечения ЛА; ПД – пульсовое давление в ЛА; СВ – сердечный выброс;  $\ln$  – натуральный логарифм.

более доступным и безопасным методом оценки камер сердца [2]. Однако эхокардиографическая оценка ПЖ сопряжена с определенными трудностями, которые связаны с его расположением и анатомией. Наряду с этим, магнитно-резонансная томография (МРТ) позволяет получать трехмерное изображение сердца с высокой разрешающей способностью [2]. У тяжелых пациентов с ЛАГ, у которых за счет снижения систолической функции ПЖ возможно снижение среднего давления в ЛА и как следствие расчетного показателя легочного сосудистого сопротивления (ЛСС), указывающего на мнимое благополучие, рекомендуется сочетать данные инвазивной манометрии с МРТ для адекватной оценки функции ПЖ [3, 4]. В основе систолической дисфункции ПЖ лежит ремоделирование артерии и артериол малого круга кровообращения, приводящее к повышению ЛСС и увеличению постнагрузки на ПЖ. Поэтому с патофизиологической точки зрения процессы, происходящие в легочной артерии (ЛА) и ПЖ, целесообразно рассматривать как единую систему, структурно-функциональная целостность которой необходима для поддержания нормальной гемодинамики малого круга кровообращения [5, 6]. Таким образом, оценка механических свойств ЛА может способствовать раскрытию тонких механизмов формирования ЛАГ, ее ранней диагностике, оценке эффективности терапии и прогноза больных. В связи с этим цель настоящей работы – охарактеризовать эластические свойства ЛА у пациентов с ЛАГ, используя данные МРТ, а также определить их диагностическое и прогностическое значение.

## Материалы и методы

В работе представлены данные 57 пациентов с ЛАГ, наблюдавшихся в ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» с 2013 по 2016 г. Среди них группа больных с идиопатической ЛАГ составила 72% (n=41), с системной склеродермией – 19% (n=11) и пациенты с корригированными врожденными пороками сердца – 9% (n=5). ЭхоКГ-исследование выполнялось на аппарате VIVID-7 Demension (General Electric,

### Сведения об авторах:

*Рыжков Антон Владимирович* – врач-рентгенолог, зав. отд-нием магнитно-резонансной томографии

*Казьмлы Айгон Вюгаркызы* – к.м.н., н.с. НИЛ кардиомиопатий

*Наймушин Александр Викторович* – к.м.н., зав. отд-нием анестезиологии-реанимации с палатами реанимации и интенсивной терапии №2

*Лукинов Виталий Леонидович* – к.ф.-м.н., ассистент каф. прикладной математики

*Моисеева Ольга Михайловна* – д.м.н., зав. НИО некоронарогенных заболеваний сердца

США), оценка правых камер сердца проводилась в соответствии с рекомендациями по ЭхоКГ от 2015 г. [2, 7]. Оценка гемодинамики производилась в ходе катетеризации правых камер сердца с использованием термодилуционного баллонного катетера 7FSwan-Ganz путем измерения среднего давления в правом предсердии, систолического, диастолического и среднего давления в ЛА; давления заклинивания капилляров легких. Сердечный выброс измерялся трижды методом термодилуции и выбиралось среднее значение. ЛСС, ударный объем и сердечный индекс рассчитывали по стандартным формулам. МРТ сердца проводилась на MAGNETOM TrioaTimSistem 3.0 Тесла (Siemens, Германия) в режиме синхронизации с ЭКГ с использованием контраста Магневист. Формулы для расчета показателей жесткости стенки ЛА взяты из работы J. Sans и соавт. [8] и приведены в табл. 1. Они сочетают такие данные МРТ, как изменение площади поперечного сечения ЛА ( $\Delta SJA = \max \Delta SJA - \min \Delta SJA$ ) и пульсовое давление в ЛА, рассчитанное по данным катетеризации правых камер сердца.

## Статистические методы

Дескриптивные характеристики представлены в виде медианы [первый квартиль; третий квартиль] для числовых данных, числа пациентов (процент от общего количества) для бинарных и категориальных показателей. Для статистической проверки гипотез о равенстве числовых характеристик выборочных распределений в сравниваемых группах использовался непарный U-критерий Манна–Уитни. Для сравнения бинарных и категориальных показателей применялся точный двусторонний критерий Фишера. Выявление попарных статистических связей проводилось вычислением  $r$  – коэффициента корреляции Спирмена и достигнутого уровня значимости  $p$ . С помощью линейной регрессии выявлялись значимые предикторы из показателей жесткости сосудистой стенки оценки систолической функции ПЖ и прогноза больных. Функции выживаемости рассчитывали с использованием метода Каплана–Майера, результаты представлены в виде графиков с указанием 95% доверительных областей для вероятности выживаемости. Сравнение выживаемости групп выполняли log-rank тестом. Проверка статистических гипотез проводилась при

### Контактная информация:

*Симакова Мария Александровна* – к.м.н., с.н.с. НИЛ кардиомиопатий; тел.: +7(921)589-87-63; e-mail: maria.simakova@gmail.com; ORCID: 0000-0001-9478-1941

Таблица 2. Клиническая характеристика обследованных пациентов

Показатель	I-II ФК (n=18)	III-IV ФК (n=39)	p
Возраст, лет	41 [32; 45]	51,5 [38; 59]	0,015*
Женщины, n (5%)	12 (71)	30 (78)	0,738
Длительность заболевания, дней	2255 [2046; 2777]	1803 [1278; 2823]	0,264
Дистанция в ТШХ, м	440 [400; 461]	308 [243; 367]	<0,001*
NTproBNP, пг/мл	178 [73; 781]	1845 [1284; 4590]	<0,001*
Мочевая кислота, ммоль/л	311 [279; 421]	555 [433; 629]	<0,001*
Отеки, n (%)	6 (35)	26 (67)	0,043*
Синкопальные состояния, n (%)	6 (35)	15 (79)	0,018*
<b>ЭхоКГ, параметры правых камер сердца</b>			
Площадь ПП, см <sup>2</sup>	22 [14; 25]	29 [25; 35]	0,002*
Соотношение ПЖ/ЛЖ	1,1 [1; 1,4]	1,4 [1,2; 1,7]	0,139
ПЖ в парастернальном сечении, мм	35 [30; 42]	39 [35; 46]	0,157
ПЖ в 4-камерном апикальном сечении, мм	46 [43; 55]	54 [47; 59]	0,128
TAPSE, мм	20 [17; 22]	15 [14; 20]	0,018*
TAVS, см/с	12 [10; 12]	10 [8; 10]	<0,001*
ФАС, %	27 [25; 34]	24 [21; 29]	0,108
РДЛА, мм рт. ст.	82 [70; 90]	95 [85; 105]	0,04*
<b>Данные катетеризации правых камер сердца</b>			
Среднее ДЛА, мм рт. ст.	52 [47; 62]	54 [45; 61]	0,172
ДЗЛК, мм рт. ст.	6 [4; 7]	8 [4; 12]	0,021*
ЦВД, мм рт. ст.	4 [2; 7]	8,5 [5; 13]	0,003*
СВ, л/мин	4 [4; 5]	4 [3; 4]	0,027*
СИ, л/мин/м <sup>2</sup>	2 [2; 3]	2 [1,2; 2]	0,002*
ЛСС, дин · с/см <sup>5</sup>	756 [471; 935]	994 [741; 1326]	0,004*
SvO <sub>2</sub> , %	73 [66; 75]	61 [55; 66]	<0,001*
<b>Данные МРТ сердца</b>			
ФВ ПЖ, %	33 [23; 37]	28,5 [22; 39]	0,143
КДО ПЖ, мл	157 [132; 199]	181,5 [151; 217]	0,602
КСО ЛЖ, мл	102 [81; 149]	126 [106; 156]	0,175
св.ст. ПЖ, мм	6 [5; 8]	7 [6; 8]	0,344
Индекс пульсации, %	9,3 [5,6; 28,8]	11,5 [7,2; 18,9]	0,728
Упругость, мм <sup>2</sup> /мм рт. ст.	1,52 [0,9; 3,7]	2,21 [1,3; 2,6]	0,143
Емкостное сопротивление, мм <sup>3</sup> /мм рт. ст.	0,8 [0,8; 1,4]	0,9 [0,7; 1,3]	0,213
Растяжимость, %/мм рт. ст.	0,16 [0,1; 0,3]	0,18 [0,1; 0,4]	0,421
Эластичность, мм рт. ст.	532 [163; 849]	496 [271; 674]	0,113
Индекс жесткости	5,2 [3,2; 15,2]	8,4 [5,1; 11,1]	0,725

*Примечание.* \*Статистически значимо различающиеся показатели, для сравнения бинарных показателей использовался точный двусторонний критерий Фишера; для числовых показателей – U-критерий Манна–Уитни. Данные представлены в виде медианы, 25-й и 75-й квартилей распределения. Здесь и в табл. 3: ТШХ – тест шестиминутной ходьбы; NTproBNP – натрийуретический пропептид; ПП – правое предсердие; ПЖ – правый желудочек; ПЖ/ЛЖ – отношение базальных размеров правого и левого желудочков; TAPSE – амплитуда движения латеральной части фиброзного кольца трикуспидального клапана; TAVS – скорость движения латеральной части фиброзного кольца трикуспидального клапана; ФАС – процент изменения площади ПЖ в одном сердечном цикле; ДЗЛК – давление заклинивания легочных капилляров; ЦВД – центральное венозное давление; СВ – сердечный выброс; СИ – сердечный индекс; ЛСС – легочное сосудистое сопротивление; SvO<sub>2</sub> – смешанная венозная сатурация; ФВ ПЖ – фракция выброса ПЖ; КДО – конечно-диастолический объем; КСО – конечно-систолический объем; св.ст. ПЖ – свободная стенка ПЖ.

критическом уровне значимости  $p=0,05$ , нижняя граница доказательной мощности бралась равной 80%. Все статистические расчеты проводили в программе Rstudio (version 1.0.136 – © 2009-2016 RStudio, Inc., USA, 250 NorthernAve, Boston, MA 02210 844-448-121, info@rstudio.com).

## Результаты

С учетом небольшого числа наблюдений пациенты с I и II функциональным классом (ФК), а также с III и IV ФК

легочной гипертензии объединены между собой. Пациенты с более высоким ФК ожидаемо имели более тяжелые нарушения показателей гемодинамики малого круга, сниженную физическую работоспособность, что в свою очередь объясняет наличие дилатации правых камер с систолической дисфункцией ПЖ у этих больных.

Вместе с тем значимых различий в анализируемых МРТ показателях размеров, функции камер сердца и характеристик жесткости сосудистой стенки не выявлено (табл. 2). При оценке выживаемости пациентов с ЛАГ в

Таблица 3. Показатели ЭхоКГ и катетеризации правых камер сердца в зависимости от значения индекса пульсации по МРТ

Показатель	Индекс пульсации <20% (n= 39) МЕД [ИКИ]	Индекс пульсации >20% (n= 39) МЕД [ИКИ]	U-критерий Манна–Уитни	
			разница [ДИ]	p
Возраст, лет	50 [37; 57]	41 [31; 52]	7 [3; -22]	0,137
Дистанция в ТШХ, м	330 [257; 407]	360 [345; 440]	105 [35; 170]	0,012*
Площадь ПП, см <sup>2</sup>	28 [23; 35]	17 [14; 25]	11 [0; 23]	0,052
ПЖ в парастеральном сечении, мм	40 [35; 46]	32 [29; 36]	7 [-1; 15]	0,073
ПЖ в 4-камерном апикальном сечении, мм	55 [49; 60]	45 [40; 47]	8 [0; 16]	0,045*
ФАС, %	24 [21; 29]	29 [26; 34]	5,3 [-3; 14]	0,288
TAPSE, мм	15 [14; 20]	19 [17; 22]	2 [-1; 7]	0,102
TAVS, см/с	10 [8; 10]	11 [10; 13]	1 [0; 3]	0,013*
ФВПЖ, % (МРТ)	28 [21; 36]	42 [27; 51]	13 [2; 25]	0,036*
Среднее ДЛА, мм рт. ст.	56 [47; 67]	52 [45; 54]	4 [-5; 16]	0,589
ЦВД, мм рт. ст.	8 [5; 11]	3 [2; 7]	3 [0; 8]	0,051
СИ, л/мин/м <sup>2</sup>	2 [1,6; 2,2]	2 [2; 2,1]	0,3 [0; 1]	0,048*
ЛСС, дин · с/см <sup>5</sup>	959 [737; 1266]	770 [558; 924]	342 [111; 573]	0,004*
Мочевая кислота, ммоль/л	513 [388; 595]	340 [277; 395]	159 [-2; 283]	0,050*
NTproBNP, пг/мл	1882 [907; 4606]	338 [99; 1271]	2048 [-447; 4429]	0,004*

\*Статистически значимо различающиеся показатели.

зависимости от ФК на момент постановки диагноза у больных III ФК она составила 56% [25%; 100%] и у больных с IV – 27% [5%; 100%] (рис. 1). Таким образом, такой комплексный показатель, как ФК ЛАГ, подтвердил свою прогностическую ценность в обследованной группе больных: ОР 2,98 [1,05; 8,47],  $p=0,041$ .

Статистически значимая ассоциация с возрастом пациентов получена для большинства показателей жесткости ЛА, что подтверждает влияние возраста на ремоделирование сосудистой стенки. В свою очередь гендерных различий в показателях жесткости сосудистой стенки не выявлено. Не установлено также связи между ФК ЛАГ, показателями гемодинамики малого круга кровообращения и показателями жесткости стенки ЛА. При этом отмечена связь парастерального размера ПЖ с такими показателями жесткости, как индекс пульсации эластичность ( $r=-0,31$  и  $r=0,37$  соответственно;  $p=0,037$ ). Оба показателя жесткости коррелируют также с таким показателем систолической функции ПЖ по данным ЭхоКГ, как TAVS ( $r=0,35$  и  $r=-0,38$  соответственно;  $p=0,02$ ). На основании ранее опубликованных данных J. Sans и соавт. [8] мы выделили наиболее тяжелую группу больных с выраженным снижением индекса пульсации менее 20% ( $n=39$ , 68%), при этом группа с индексом более 20% составила 15(26%) пациентов. У трех пациентов данный показатель не оценивался по техническим причинам. Группы больных, различавшиеся по индексу пульсации, достоверно отличались между собой по гемодинамическим показателям, степени дилатации и дисфункции ПЖ, оцененные с помощью ЭхоКГ и МРТ сердца (табл. 3).

В подгруппе пациентов с низким показателем пульсации (менее 20%) отмечена корреляционная связь с ЛСС ( $r=0,399$ ;  $p<0,001$ ), что подтверждает возможность экстра-

полировать изменения в ЛА на ремоделирование артерий и артериол малого круга кровообращения при ЛАГ. Для всей группы пациентов установлена зависимость между скоростью движения фиброзного кольца трикуспидального клапана, характеризующей систолическую функцию ПЖ, и показателями жесткости стенки ЛА (рис. 2).

Наиболее информативным показателем для TAVS оказался индекс пульсации (коэффициент детерминации линейной регрессии  $R^2=0,34$ ;  $p<0,001$ ). При построении модели линейной регрессии для фракции выброса ПЖ его величину наилучшим образом характеризуют такие показатели жесткости сосудистой стенки, как индекс пульсации (угловой коэффициент регрессии  $\alpha=0,788$  [0,22; 1,36]), эластичность (угловой коэффициент регрессии  $\alpha=0,02$  [0,001; 0,04]) и емкостное сопротивление (угловой коэффициент регрессии  $\alpha=17,483$  [10,67; 24,3]). Среди них с учетом простоты расчета наиболее привлекательным является индекс пульсации ЛА. Однако при построении оптимальной модели с включением ЭхоКГ показателей систолической функции ПЖ индекс пульсации не подтвердил свою предсказательную ценность, что, вероятно, обусловлено малочисленностью выборки (ОШ 0,78 [0,58; 0,97],  $p=0,056$ ).

## Обсуждение

В отличие от артериального русла большого круга кровообращения в системе ЛА давление ниже, а растяжимость сосудов при их меньшей общей протяженности выше. Благодаря этому феномену, ЛА смягчает передачу ударной пульсовой волны от ПЖ к легочным капиллярам, где кровоток замедлен и постоянен по скорости [9]. Потеря упру-

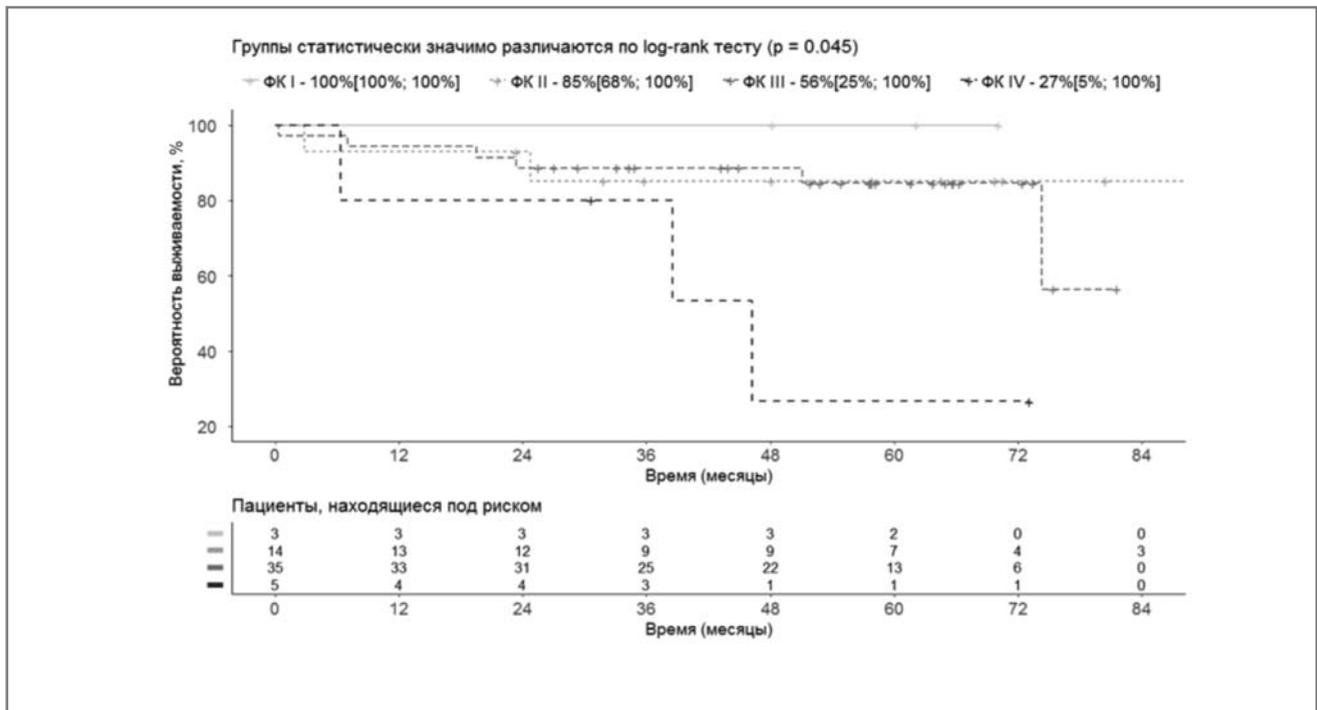


Рис. 1. Кривые выживаемости Каплана–Майера для пациентов с ЛАГ в зависимости от функционального класса.

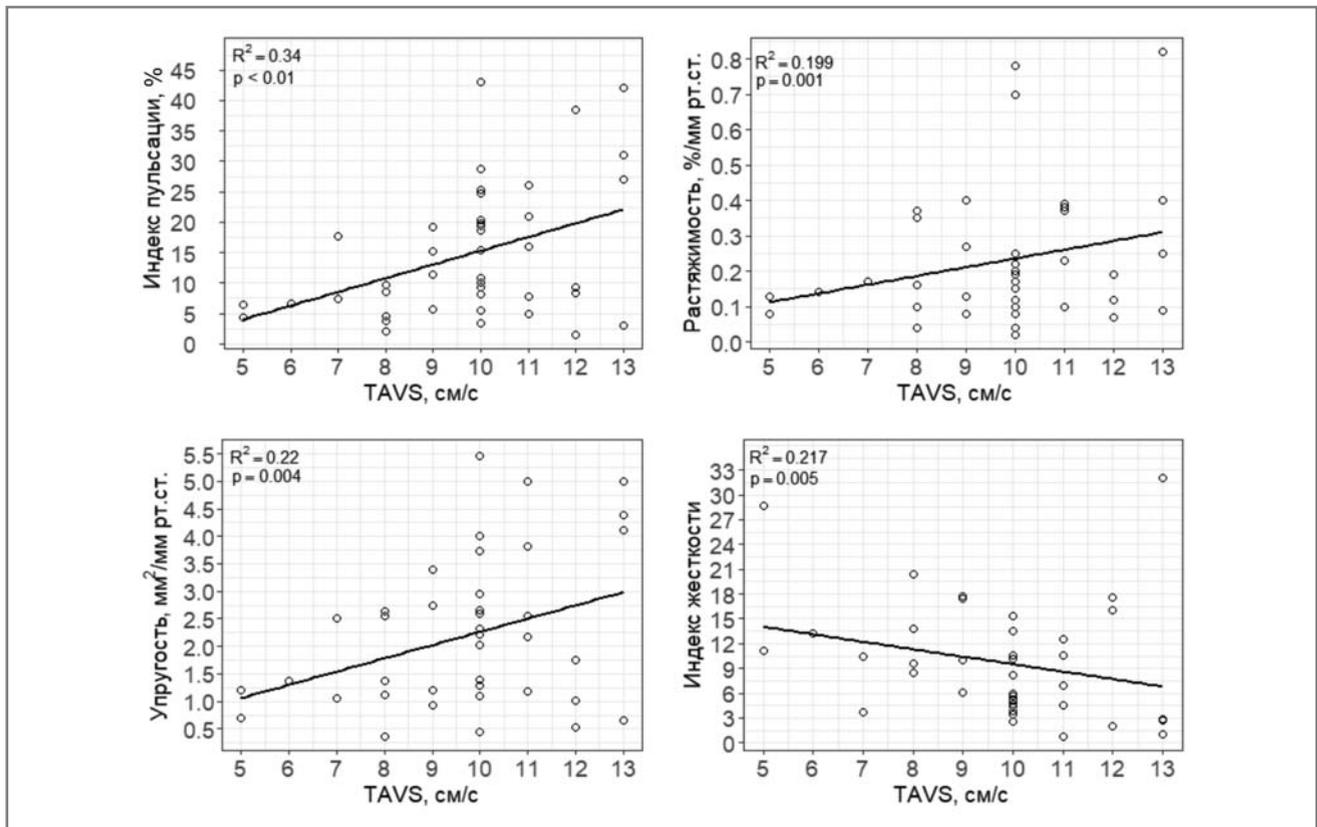


Рис. 2. Взаимосвязь показателей жесткости сосудистой стенки с эхокардиографическим показателем.

гости в сочетании с увеличением жесткости сосудистой стенки ведет к повышению нагрузки на ПЖ, росту его пропульсивной активности и механической энергии, передаваемой на сосуды малого калибра. С течением времени эта модель взаимодействия между ПЖ и ЛА приводит к сниже-

нию контрактильной способности ПЖ [9, 10]. Нарушение эластических свойств ЛА при развитии легочной гипертензии подтверждено на примере экспериментальных и клинических исследований. При этом до сих пор неясно, является ли снижение эластичности сосудов малого круга кровооб-

ращения причиной или следствием развития ЛАГ [11]. Другим важным показателем механических свойств ЛА является ее емкостное сопротивление, определяющее, в какой мере русло данного сосуда расширяется при каждом сокращении ПЖ. Изначально в работах К. Kang и соавт. [12] установлено, что низкое емкостное сопротивление в системном кровотоке ассоциировано с высокой летальностью при ишемической болезни сердца у пациентов с систолической дисфункцией левого желудочка. На примере пациентов с идиопатической ЛАГ С. Gan и соавт. [13] показали, что емкостное сопротивление может рассматриваться как предиктор выживаемости больных. В более поздних исследованиях данный показатель стал включать параметры, получаемые при катетеризации сердца и МРТ [14, 15].

Настоящая работа представляет собой пилотное исследование, в котором оценивалась информативность расчетных показателей жесткости ЛА с использованием метода МРТ сердца. Как следует из представленного исследования, наиболее простым и воспроизводимым параметром оказался индекс пульсации ЛА. Все остальные параметры жесткости сосудистой стенки являются лишь производными от этой величины. Полученные нами средние значения расчетных показателей жесткости стенки ЛА сопоставимы с данными J. Sans и соавт. Во всей обследованной группе показатели жесткости оказались сниженными, что также соответствует результатам ранее опубликованных работ [16, 17]. В настоящей работе подтверждено негативное влияние возраста на физические свойства сосудистой стенки. Однако следует заметить, что в подгруппе пациентов с пульсацией менее 20% эта взаимосвязь с возрастом утрачивается. В отличие от итальянских исследователей нами не выявлена связь расчетных показателей жесткости стенки ЛА с инвазивными показателями гемодинамики малого

круга. Возможно, это связано с другим лимитирующим фактором настоящей работы – невозможностью выполнения МРТ сердца и манометрии правых камер последовательно в течение короткого интервала времени. Чаще всего оба исследования выполнялись в течение 48 ч. Вместе с тем у пациентов с низким показателем пульсации связь с величиной ЛСС очевидна. О структурно-функциональной целостности ПЖ и системы ЛА говорят нелинейные кривые логистической регрессии, полученные для пульсации и показателей систолической функции ПЖ (см. рис. 1). Кроме того, у больных с индексом пульсации менее 20% при сравнении с остальными пациентами отмечено снижение физической работоспособности по данным ТШХ: 330 м против 360 м;  $p=0,012$ , что подтверждает наличие патофизиологической взаимосвязи между эластическими свойствами ЛА и функциональным состоянием ПЖ.

## Заключение

Таким образом, снижение индекса пульсации ЛА можно рассматривать в качестве маркера легочной гипертензии, отражающего степень ремоделирования сосудов малого круга кровообращения. Тем не менее, требуются дальнейшие исследования на большей выборке пациентов для подтверждения этой гипотезы, определения референтных значений в контрольной группе, в том числе и с учетом демографических характеристик. Остальные показатели жесткости представляются нам менее востребованными в рутинной практике в силу необходимости параллельного выполнения катетеризации правых камер сердца с целью их расчета.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Казымылы А.В., Рыжков А.В., Симакова М.А., Козленок А.В., Наймушин А.В., Моисеева О.М. Значение двухмерной эхокардиографии в оценке больных с легочной гипертензией. *Кардиология*. 2016;56(1):25-30. [Kazymlay AV, Ryzhkov AV, Simakova MA, Kozlyonok AV, Naimushin AV, Moiseeva OM. Value of Two Dimensional Echocardiography for Assessment of Disease Severity in Patients With Pulmonary Hypertension. *Kardiologiia*. 2016;56(1):25-30. (In Russ.)] <http://dx.doi.org/10.18565/cardio.2016.1.25-30>
2. Galie N, Humbert M, Vachiery J, Gibbs S, Lang I, Torbicki A, et al. 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 (AEPCC), International Society for Heart and Lung Transplantation (ISHLT). *Eur Respir J*. 2015; 46: 903-75. <http://dx.doi.org/10.1183/13993003.01032-2015>
3. Stevens G, Fida N, Sanz J. Computed tomography and cardiac magnetic resonance imaging in pulmonary hypertension. *Prog Cardiovasc Dis*. 2012;55(2):161-71. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pcad.2012.07.009>
4. Swift A, Rajaram S, Condliffe R, et al. Pulmonary artery relative area change detects mild elevations in pulmonary vascular resistance and predicts adverse outcome in pulmonary. *J Thorac Imaging*. 2014;29(2): 68-79. <http://dx.doi.org/10.1097/RTI.0000000000000079>
5. Naeije R, D'Alto M, Forfia P. Clinical and research measurement techniques of the pulmonary circulation: the present and the future. *Prog Cardiovasc Dis*. 2015; 57: 463-72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pcad.2014.12.003>
6. Creuzé N, Hoette S, Montani D, et al. Usefulness of Cardiovascular Magnetic Resonance Indices to Rule In or Rule Out Precapillary Pulmonary Hypertension. *Can J Cardiol*. 2015;31(12):1469-76. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cjca.2015.04.014>
7. Lang R, Badano L, Mor-Avi V, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2015;16(3): 233-70. <http://dx.doi.org/10.1093/ehjci/jev014>
8. Sanz J, Kariisa M, Dellegrottaglie S, Prat-González S, Garcia M, Fuster V, Rajagopalan S. Evaluation of pulmonary artery stiffness in pulmonary hypertension with cardiac magnetic resonance. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2009; 2(3): 286-95. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.2008.08.007>
9. Stevens G, Garcia-Alvarez A, Sahni S, Garcia M, Fuster V, Sanz J. RV dysfunction in pulmonary hypertension is independently related to pulmonary artery stiffness. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2012;5(4):378-87. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.2011.11.020>

10. Jardim C, Rochitte C, Humbert M, Rubenfeld G, Jasinowodolinski D, Carvalho C, et al. Pulmonary artery distensibility in pulmonary arterial hypertension: an MRI pilot study. *Eur Respir J*. 2007;29:476–81. <http://dx.doi.org/10.1183/09031936.00016806>
11. Peacock A, Vonk Noordegraaf A. Cardiac magnetic resonance imaging in pulmonary arterial hypertension. *Eur Respir Rev*. 2013;22(130): 526-34. <http://dx.doi.org/10.1183/09059180.00006313>
12. Kang K, Chang H, Kim Y, Choi B, Lee H, Yang W, et al. Cardiac magnetic resonance imaging-derived pulmonary artery distensibility index correlates with pulmonary artery stiffness and predicts functional capacity in patients with pulmonary arterial hypertension. *Circ J*. 2011; 75:2244–51. <http://dx.doi.org/10.1253/circj.CJ-10-1310>
13. Gan C, Lankhaar J, Westerhof N, et al. Noninvasively assessed pulmonary artery stiffness predicts mortality in pulmonary arterial hypertension. *Chest*. 2007;132(6):1906-12.
14. Swift A, Rajaram S, Hurdman J, Hill C, Davies C, Sproson T, et al. Noninvasive estimation of PA pressure, flow, and resistance with CMR imaging: derivation and prospective validation study from the ASPIRE registry. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2013;6(10):1036-47. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.2013.01.013>
15. Ibrahim el-SH, Shaffer JM, White RD. Assessment of pulmonary artery stiffness using velocity-encoding magnetic resonance imaging: evaluation of techniques. *Magn Reson Imaging*. 2011;29(7):966-74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mri.2011.04.012>
16. Rolf A, Rixe J, Kim W, Guth S, Kořrlings N, Mořllmann H, et al. Pulmonary vascular remodeling before and after pulmonary endarterectomy in patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension: a cardiac magnetic resonance study. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2015;31:613-9. <http://dx.doi.org/10.1007/s10554-014-0580-z>
17. Vonk-Noordegraaf A, Souza R. Cardiac magnetic resonance imaging: what can it add to our knowledge of the right ventricle in pulmonary arterial hypertension? *Am J Cardiol*. 2012;110:25S-31S. <http://dx.doi.org/10.1016/j.amjcard.2012.06.013>

Поступила 19.08.17