

Оригинальные статьи

© Коллектив авторов, 2020

УДК 616.124.3-008.6-073.43:616.9

*Е.З. Голухова¹, И.В. Сливнева¹, М.М. Рыбка¹, М.Л. Мамалыга¹, М.Н. Алехин²,
И.В. Ключников¹, Д.Е. Антонова¹, Д.И. Марапов³, И.В. Волковская¹*

Структурно-функциональные изменения правого желудочка при COVID-19 по данным эхокардиографии

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева» (президент – академик РАН и РАМН Л.А. Бокерия) Минздрава России, Рублевское ш., 135, Москва, 121552, Российская Федерация

² ФГБУ «Центральная клиническая больница с поликлиникой» УД Президента РФ, ул. Маршала Тимошенко, 15, Москва, 121359, Российская Федерация

³ Кафедра общественного здоровья, экономики и управления здравоохранением Казанской государственной медицинской академии – филиала ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, ул. Бутлерова, 36, Казань, 420012, Российская Федерация

Голухова Елена Зеликовна, доктор мед. наук, профессор, академик РАН, заведующий кафедрой, и. о. директора НИИССХ им. А.Н. Бакулева, зам. главного редактора журнала, orcid.org/0000-0002-6252-0322

Сливнева Инесса Викторовна, канд. мед. наук, науч. сотр., доцент, orcid.org/0000-0001-7935-7093
Рыбка Михаил Михайлович, доктор мед. наук, профессор, зам. директора по анестезиологии и реаниматологии, заведующий отделением, orcid.org/0000-0003-2663-2236

Мамалыга Максим Леонидович, доктор мед. наук, ст. науч. сотр., orcid.org/0000-0002-7444-9930

Алехин Михаил Николаевич, доктор мед. наук, профессор, вице-президент РАСУДМ, заведующий отделением, orcid.org/0000-0002-9725-7528

Ключников Иван Вячеславович, доктор мед. наук, профессор, гл. науч. сотр., orcid.org/0000-0002-8652-9639

Антонова Диана Евгеньевна, ординатор, orcid.org/0000-0002-4682-1440

Марапов Дамир Ильдарович, канд. мед. наук, доцент, orcid.org/0000-0003-2583-0599

Волковская Ирина Васильевна, канд. мед. наук, руководитель отдела, orcid.org/0000-0001-9533-5556

Цель. Комплексная эхокардиографическая (ЭхоКГ) оценка дисфункции правого желудочка (ПЖ) в зависимости от варианта течения COVID-19.

Материал и методы. В исследование включены 109 пациентов с COVID-19. Пациенты были разделены на 2 группы: 1-я группа – с компенсированным течением COVID-19 (n=86) и 2-я группа – с тяжелым течением, декомпенсированным по правожелудочковому типу (n=23). Всем пациентам исходно было проведено комплексное эхокардиографическое исследование: в том числе тканевое доплеровское исследование (TDI) и спекл-трекинг эхокардиография (STE). Во 2-й группе показатели оценивали в динамике (этап А – исходно, этап В – прогрессирование заболевания по данным компьютерной томографии). Срок госпитализации пациентов от начала заболевания – 7 сут (Q₁–Q₃: 5–10 сут).

Результаты. При сравнении 1–2В групп отмечена статистически достоверная разница между ЭхоКГ-параметрами: TAPSE (экскурсия кольца трикуспидального клапана) (p=0,006), скорости (S') трикуспидального кольца (p=0,032), IVA RV (миокардиальное ускорение ПЖ в фазу изовольютрического сокращения) глобальный (p=0,035) и апикальный (p=0,039), strain RV средний (p=0,006) и глобальный (p=0,014), LS RV (продольный стрейн ПЖ) базальный, средний и глобальный (p<0,001), LS RV апикальный (p=0,022), давление в легочной артерии (p<0,001). Во 2-й группе на этапах А и В значимые различия отмечались относительно: FAC RV (фракционное изменение площади ПЖ) (p=0,033), IVA RV глобальный (p=0,041), strain RV на среднем уровне (p=0,047), давление в легочной артерии (p<0,001).

Выводы. Определение средних значений LS RV (STE), в отличие от пиковых значений в режиме TDI, продемонстрировало более высокую диагностическую ценность в идентификации признаков систолической дисфункции ПЖ. Раннее выявление признаков прогрессирования правожелудочковой дисфункции позволяют более точно прогнозировать дальнейшее течение заболевания COVID-19 и тем самым искать новые пути решения проблемы своевременной поддерживающей терапии в перспективе.

Ключевые слова: COVID-19; эхокардиография; правый желудочек; систолическая функция.

Для цитирования: Голухова Е.З., Сливнева И.В., Рыбка М.М., Мамалыга М.Л., Алехин М.Н., Ключников И.В., Антонова Д.Е., Маратов Д.И., Волковская И.В. Структурно-функциональные изменения правого желудочка при COVID-19 по данным эхокардиографии. *Креативная кардиология*. 2020; 14 (3): 206–23. DOI: 10.24022/1997-3187-2020-14-3-206-223

Для корреспонденции: Сливнева Инесса Викторовна, e-mail: slivneva@mail.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 10.08.2020
Принята к печати 20.08.2020

*E.Z. Golukhova¹, I.V. Slivneva¹, M.M. Rybka¹, M.L. Mamalyga¹, M.N. Alekhin²,
I.V. Klyuchnikov¹, D.E. Antonova¹, D.I. Marapov³, I.V. Volkovskaya¹*

Structural and functional changes of the right ventricle in COVID-19 according to echocardiography

¹ Bakoulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery, Moscow, 121552, Russian Federation

² Central Clinical Hospital with a Polyclinic, Presidential Administration, Moscow, 121359, Russian Federation.

³ Department of Public Health, Economics and Health Management of the Kazan State Medical Academy Affiliate of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Kazan, 420012, Russian Federation.

Elena Z. Golukhova, Dr. Med. Sc., Professor, Academician of RAS, Chief of Chair, Acting Head of Bakoulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery, Deputy Chief Editor of the Journal, orcid.org/0000-0002-6252-0322

Inessa V. Slivneva, Cand. Med. Sc., Researcher, Associate Professor, orcid.org/0000-0001-7935-7093

Mikhail M. Rybka, Dr. Med. Sc., Professor, Deputy Director, Head of Department, orcid.org/0000-0003-2663-2236

Maksim L. Mamalyga, Dr. Med. Sc., Senior Researcher, orcid.org/0000-0002-7444-9930

Mikhail N. Alekhin, Dr. Med. Sc., Professor, Vice President of the Russian Association of Ultrasound Diagnostics Specialists, Head of Department, orcid.org/0000-0002-9725-7528

Ivan V. Klyuchnikov, Dr. Med. Sc., Professor, Chief Researcher, orcid.org/0000-0002-8652-9639

Diana E. Antonova, Resident Physician, orcid.org/0000-0002-4682-1440

Damir I. Marapov, Cand. Med. Sc., Associate Professor, orcid.org/0000-0003-2583-0599

Irina V. Volkovskaya, Cand. Med. Sc., Head of Department, orcid.org/0000-0001-9533-5556

Objective. Comprehensive echocardiographic assessment of right ventricle (RV) dysfunction depending on the course of COVID-19.

Material and methods. A study of 109 patients with COVID-19. The patients were divided into 2 groups: group 1 – with a compensated state of COVID-19 (n=86) and group 2 – with a severe state, decompensated according to the right ventricular failure (n=23). All patients underwent a comprehensive echocardiographic examination at baseline, including tissue Doppler imaging (TDI) and speckle tracking echocardiography (STE). In group 2, parameters were assessed in dynamics (stage A – initially, stage B – disease progression according to computed tomography data). Hospitalization period from the onset of the disease – 7 days (Q₁–Q₃: 5–10 days).

Results. There was a statistically significant difference among the Echo parameters when comparing 1-2B groups: TAPSE (tricuspid annular plane systolic excursion) (p=0.032), tricuspid annular peak systolic velocity (S') (p=0.032), IVA RV (isovolumetric myocardial acceleration of RV) global (p=0.035) and apical (p=0.039), Strain RV at the middle level (p=0.006) and global (p=0.014), LS RV (right ventricular longitudinal strain) basal, middle and global (p<0.001), LS RV apical (p=0.022), pulmonary artery pressure (p<0.001). When comparing group 2 at stages A and B, significant differences were noted about: FAC RV (right ventricular fractional area change) (p=0.033), IVA RV global (p=0.041), Strain RV at the middle level (p=0.047), pulmonary artery pressure (p<0.001).

Conclusion. The determination of the mean LS RV (STE) values, in contrast to the peak values in the TDI mode, demonstrated a higher diagnostic value in identifying signs of RV systolic dysfunction. Early detection of signs of progression of right ventricular dysfunction makes it possible to more accurately predict the progression of COVID-19 and, thereby, look for new ways to solve the problem of timely maintenance therapy in the future.

Keywords: COVID-19; echocardiography; right ventricle; systolic function.

For citation: Golukhova E.Z., Slivneva I.V., Rybka M.M., Mamalyga M.L., Alekhin M.N., Klyuchnikov I.V., Antonova D.E., Marapov D.I., Volkovskaya I.V. Structural and functional changes of the right ventricle in COVID-19 according to echocardiography. *Creative Cardiology*. 2020; 14 (3): 206–23 (in Russ.). DOI: 10.24022/1997-3187-2020-14-3-206-223

For correspondence: Inessa V. Slivneva, e-mail: slivneva@mail.ru

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

Received August 10, 2020
Accepted August 20, 2020

Введение

Основными патогенетическими нарушениями при COVID-19 является гипериммунная реакция, эндотелиальная дисфункция, гиперкоагуляция и повреждение альвеолоцитов [1–3]. Формируется порочный круг, когда повышение легочного сосудистого сопротивления, конечного систолического давления в правом желудочке (ПЖ) приводят к гипоперфузии ПЖ и снижению его сократимости, которое вызывает уменьшение легочного кровотока [4].

Рентгенологическое обследование является только интегральным методом оценки объема повреждения легких и альвеолярных коллапсов и не позволяет проводить гемодинамический мониторинг состояния легочного русла. Проведение компьютерной томографии (КТ) легких с целью определения объема их поражения также не дает представления о выраженности гемодинамических сдвигов. Напротив, эхокардиографическое (ЭхоКГ) исследование позволяет оценивать различные морфологические и функциональные нарушения при развитии недостаточности ПЖ с нарушением легочного кровотока и проводить их мониторинг. Можно предположить, что выявление признаков систолической дисфункции ПЖ позволит с более высокой точностью прогнозировать течение заболевания при остром поражении легочной ткани, вызванном COVID-19.

Целью исследования является оценка структурно-функциональных изменений ПЖ в зависимости от вариантов течения COVID-19 по данным ЭхоКГ.

Материал и методы

Проспективное исследование проводилось в период наблюдения с мая по июнь 2020 г. у пациентов, находящихся на лечении в Центре оказания медицинской помощи больным с коронавирусной инфекцией. Критериями исключения из исследования являлись: недостаточная визу-

ализация структур сердца, инфаркт миокарда в анамнезе, операции на сердце в анамнезе, признаки острой левожелудочковой дисфункции, тромбоэмболия легочной артерии (ТЭЛА), пороки аортального и митрального клапанов.

Проанализированы данные 109 пациентов со средним и тяжелым течением COVID-19. Нами были выделены 2 типа клинического течения острого повреждения легких, вызванного SARS-CoV-2, в соответствии с которыми были определены группы пациентов: 1-я группа – с компенсированным течением (n=86); 2-я группа – с тяжелым течением, декомпенсированным по правожелудочковому типу (острое легочное сердце) (n=23).

Клиническая характеристика

В таблице 1 представлена клинико-морфофункциональная характеристика пациентов с COVID-19. Средний возраст пациентов с COVID-19 составил 62,9±15,4 года, в исследование были включены 63 (57,8%) мужчины, 46 (42,2%) женщин. Площадь поверхности тела пациентов в среднем составила 2,0 м² (Q₁–Q₃: 1,86–2,13 м²). При анализе исходных данных: у большей части пациентов регистрировался синусовый ритм – 102 (93,6%) с частотой сердечных сокращений 76,6±13,2 уд/мин; 7 (6,4%) пациентов поступили с постоянной формой фибрилляции предсердий. Артериальное давление исходно составляло 125/77 мм рт. ст. (Q₁–Q₃: 117/70–130/80 мм рт. ст.).

Среди сопутствующей патологии у пациентов с COVID-19 наиболее часто встречались: артериальная гипертензия – 80 (73,4%), сахарный диабет 2-го типа – 20 (18,3%), онкологические заболевания – 18 (16,5%), острые нарушения мозгового кровообращения (ОНМК) в анамнезе – 14 (12,8%), хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ) – 12 (11,0%), бронхиальная астма – 9 (8,3%), хроническая болезнь почек – 7 (6,4%), из них 2 (1,8%) пациента имели предшествующий курс химиотерапии.

Таблица 1

Исходная клинико-морфофункциональная характеристика пациентов в зависимости от варианта течения COVID-19

Показатель	Общая когорта (n=109)
Возраст, полных лет, M±SD	62,9±15,4
Пол, n (%)	
мужской	63 (57,8)
женский	46 (42,2)
ППТ, м/м ² , Me [Q ₁ -Q ₃]	2,0 [1,86-2,13]
Характеристика сердечного ритма, n (%)	
синусовый	102 (93,6)
фибрилляция предсердий	7 (6,4)
Объем поражения легких (КТ-исследование), %, Me [Q ₁ -Q ₃]	44 [33-60]
<i>Эхокардиографические характеристики</i>	
КДИ ЛЖ, мл/м ² , Me [Q ₁ -Q ₃]	49,7 [43,2-58,1]
КСИ ЛЖ, мл/м ² , Me [Q ₁ -Q ₃]	17,1 [14,3-22,2]
УИ ЛЖ, мл/м ² , M±SD	33,0±8,0
ФВ ЛЖ (2D Simpson), %, Me [Q ₁ -Q ₃]	64 [60-68]
Минутный объем, л/мин, Me [Q ₁ -Q ₃]	4,67 [3,94-6,26]
Сердечный индекс, л/мин/м ² , Me [Q ₁ -Q ₃]	2,47 [2,02-3,2]
Площадь ПЖ/ЛЖ, M±SD	0,67±0,17
Объем ЛП индекс (2D), мл/м ² , Me [Q ₁ -Q ₃]	22,2 [19,1-28,7]
Объем ПП индекс (2D), мл/м ² , Me [Q ₁ -Q ₃]	26,3 [20,0-34,6]
Базальный диаметр ПЖ, мм, M±SD	41,1±5,5
Средний диаметр ПЖ, мм, M±SD	34,9±6,8
Продольный размер ПЖ, мм, Me [Q ₁ -Q ₃]	60 [57-66,5]
Индекс сферичности ПЖ, базальный, M±SD	0,7±0,1
Индекс сферичности ПЖ, средний, M±SD	0,6±0,1
Приточный отдел ПЖ, мм, Me [Q ₁ -Q ₃]	33 [30-36]
Выводной отдел ПЖ, мм, Me [Q ₁ -Q ₃]	31 [28-33]
Диаметр ствола ЛА, мм, M±SD	25,2±3,3
ТН II степени и более, n (%)	21 (19,8)
Толщина стенки ПЖ, мм (субкостально), M±SD	5,11±0,9
рсДЛА, мм рт. ст., M±SD	32,8±8,7
срдЛА, мм рт. ст., Me [Q ₁ -Q ₃]	15,0 [12,9-20,3]
<i>Показатели систолической функции ПЖ</i>	
FAC RV (2D), %, M±SD	52,3±10,3
TAPSE (2D), мм, M±SD	20,4±2,8
Индекс Tei RV (PW), Me [Q ₁ -Q ₃]	0,42 [0,32-0,59]
Индекс Tei RV (TDI), Me [Q ₁ -Q ₃]	0,57 [0,45-0,73]
IVA RV глобальный, м/с (TDI), Me [Q ₁ -Q ₃]	1,29 [0,87-1,92]
Strain RV (глобальный), % (TDI), M±SD	23,1±6,0
LS RV (глобальный) % (2D STE), M±SD	20,7±6,5
LS septal (глобальный), % (2D STE), M±SD	18,2±5,9
Скорость S' трикуспидального кольца, см/с (PW), M±SD	13,4±3,2
Признаки McConnell, n (%)	24 (22,0)

Примечание. Индекс Tei – индекс производительности миокарда; КДИ – конечный диастолический индекс; КСИ – конечный систолический индекс; ЛА – легочная артерия; ЛЖ – левый желудочек; ЛП – левое предсердие; ПЖ (RV) – правый желудочек; ПП – правое предсердие; ППТ – площадь поверхности тела; рсДЛА – расчетное систолическое давление в ЛА; срдЛА – среднее давление в ЛА; ТН – трикуспидальная недостаточность; УИ – ударный объем; ФВ – фракция выброса; FAC – фракционное изменение площади; IVA – миокардиальное ускорение в фазу изоволюметрического сокращения; LS – продольная деформация; PW – импульсно-волновая доплерография; septal – септальная стенка; TAPSE – систолическая экскурсия фиброзного кольца трикуспидального клапана; TDI – тканевое доплеровское исследование

Эхокардиографический анализ

Трансторакальное эхокардиографическое исследование проводилось на ультразвуковой системе Vivid E9 (GE Healthcare) с использованием секторного и объемного датчиков (M5S-D 1,5–4,6 МГц, 4V-D 1,5–4 МГц). Для визуализации правых отделов сердца использовались парастернальный, апикальный и субкостальный доступы с применением модифицированных позиций. Количественные измерения выполнялись согласно рекомендациям ASE и EACVI [5].

Систолическую экскурсию трикуспидального кольца – TAPSE определяли в М-режиме из апикальной четырехкамерной позиции.

Фракционное изменение площади ПЖ (FAC RV) рассчитывали по формуле $FAC RV (\%) = (EDA RV - ESA RV) / EDA RV$, умножая на 100%, где EDA RV – конечная диастолическая площадь ПЖ, ESA RV – конечная систолическая площадь ПЖ.

Индекс производительности миокарда ПЖ (индекс Tei) рассчитывали с помощью импульсно-волновой (PW) или тканевой доплерографии (TDI) при использовании следующих формул [6]:

Индекс Tei (PW) = $\frac{TCOT - RVET}{RVET}$, где TCOT – время от закрытия до открытия трикуспидального клапана; RVET – время изгнания ПЖ.

Индекс Tei (TDI) = $\frac{IVRT + IVCT}{RVET}$, где IVRT – время изоволюметрического расслабления; IVCT – время изоволюметрического сокращения; RVET – время изгнания ПЖ.

Измерения систолической миокардиальной скорости (S') движения трикуспидального кольца проводили в PW-режиме.

Измерение миокардиального ускорения ПЖ в фазу изоволюметрического сокращения (IVA RV) осуществляли в режиме color TDI. IVA – тканевая доплеровская пиковая скорость миокарда во время изоволюметрического сокращения (IVV), деленная на время ускорения (t) [7].

Для определения пиковой систолической продольной деформации свободной стенки ПЖ – strain RV, использовали режим TDI с определением сегментарных и глобальных значений.

Для анализа продольной систолической деформации свободной стенки ПЖ – longitudinal strain (LS RV) в режиме STE проводили запись работы ПЖ в режиме AFI (automatic functional imaging) на базе функции 2D strain из апикальной позиции с частотой кадров более 60 кадров/с. Определяли область интереса с последующей корректировкой толщины стенки ПЖ. Выделяли 6 сегментов – 3 сегмента свободной стенки ПЖ: базальный, средний и апикальный и по аналогии 3 сегмента межжелудочковой перегородки. Согласно рекомендациям ASE и EACVI (2015 г.) [5, 8], при интерпретации полученных показателей деформации использовались абсолютные величины, то есть неотрицательные числа.

Расчетное систолическое давление в легочной артерии (рсДЛА) рассчитывалось как сумма максимального систолического градиента давления трикуспидальной регургитации и давления в правом предсердии (ПП). Среднее давление в легочной артерии (срДЛА) рассчитывали по формуле: $срДЛА = 4 \times V_{max} LP^2 + ЦВД$ (Т. Masuyama) [9], где $V_{max} LP$ – максимальная скорость легочной регургитации в начале диастолы (м/с), ЦВД – центральное венозное давление при наличии центрального венозного катетера или предполагаемое давление в ПП (мм рт. ст.). Оценка давления в ПП определялась путем измерения максимального диаметра и степени коллабирования нижней полой вены (НПВ). Диаметр НПВ измерялся в конце выдоха, в 0,5–3,0 см проксимальнее места впадения НПВ в ПП [7]. При инспираторном коллапсе более 50% и диаметре НПВ менее 2,0 см, давление считалось равным 5 мм рт. ст., при коллапсе менее 50% или диаметре НПВ свыше 2,0 см – 15 мм рт. ст., при отсутствии реакции НПВ на инспираторные усилия и вы-

раженной дилатации НПВ (более 2,5 см) – 20 мм рт. ст. [10].

Медиана срока оценки показателей в динамике во 2-й группе составила 7 сут (Q_1 – Q_3 : 4–11 сут) от момента госпитализации.

Статистическая обработка

Выполнена статистическая обработка результатов с использованием методов параметрического и непараметрического анализа. Накопление, корректировка, систематизация исходной информации и полученных результатов осуществлялись в электронной таблице Microsoft Office Excel 2016. С помощью программы IBM SPSS Statistics 26 (разработчик – IBM Corporation) проводился статистический анализ данных.

Для проверки количественных показателей на нормальность распределения использовался критерий Шапиро–Уилка. В случае нормального распределения данных показатели описывались с указанием среднего значения и стандартного отклонения ($M \pm SD$), при распределении, отличном от нормального, – с указанием медианы и интерквартильного размаха ($Me [Q_1$ – $Q_3]$).

Для сравнения нормально распределенных количественных показателей в исследуемых группах применялся t-критерий Стьюдента, при оценке динамики показателей – парный t-критерий Стьюдента. В случае распределения, отличного от нормального, использовались непараметрические методы – критерий Манна–Уитни и критерий Уилкоксона соответственно.

Категориальные показатели представлялись с указанием абсолютных значений и процентных долей. Для сравнения в зависимости от значений ожидаемого явления использовались критерий χ^2 Пирсона (при минимальном ожидаемом явлении более 10) или точный критерий Фишера (при минимальном ожидаемом явлении менее 10).

Определение пороговых значений параметров, позволяющих разделить исследуе-

мую когорту на группы, выполнялось с помощью анализа ROC-кривых. Оценивалась площадь под ROC-кривой (AUC) с 95% доверительным интервалом. Оценка диагностической эффективности модели при выбранном значении показателя в точке cut-off выполнялась с использованием показателей чувствительности и специфичности. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты

В 1-й группе мы не наблюдали отрицательной динамики заболевания, в связи с чем измерения показателей выполнялись только на исходном этапе. Во 2-й группе отмечалось прогрессирование заболевания, поэтому показатели оценивались в динамике: этап А – в течение первых суток после госпитализации, этап В – при наступлении прогрессирования по данным КТ. Сопоставленные значения показателей на исходном этапе исследования представлены в таблице 2.

Этап А

Во 2-й группе чаще встречались пациенты, перенесшие нарушения мозгового кровообращения, – 6 (26,1%) по сравнению с 8 (9,3%) в 1-й группе, $p = 0,033$. В остальном сравнительный анализ исходных групп по возрасту, гендерным различиям и сопутствующей патологии в исходных группах достоверных различий не показал.

По данным ЭхоКГ-исследования было выявлено увеличение исходных размеров ПЖ во 2-й группе (см. табл. 2). Дистальный диастолический диаметр выводного отдела ПЖ в исходных группах статистически значимо не различался, тем не менее превышал нормативные значения [11, 12]. Исходные значения индексированного объема ПП во 2-й группе были на 30% больше, чем в 1-й ($p = 0,009$). Во 2-й группе отношение площадей ПЖ/ЛЖ составило ($0,74 \pm 0,25$) по сравнению с 1-й ($0,65 \pm 0,13$), $p = 0,11$. Индекс сферичности

Сравнительная клиничко-морфофункциональная характеристика пациентов в зависимости от варианта течения COVID-19 на исходном этапе (этап А)

Показатель	1-я группа (n=86)	2-я группа (n=23)	p
Возраст, полных лет, M±SD	61,6±15,1	67,8±16,1	0,085
Пол, n (%)			0,482
мужской	48 (55,8)	15 (65,2)	
женский	38 (44,2)	8 (34,8)	
ППТ, м/м ² , Me [Q ₁ -Q ₃]	1,99 [1,86-2,09]	2,05 [1,86-2,31]	0,171
Характеристика сердечного ритма, n (%)			0,637
синусовый	81 (94,2)	21 (91,3)	
фибрилляция предсердий	5 (5,8)	2 (8,7)	
Объем поражения легких (КТ-исследование), %, Me [Q ₁ -Q ₃]	40 [32-56]	56 [35,5-75]	0,033*
<i>Эхокардиографические характеристики</i>			
КДИ ЛЖ, мл/м ² , Me [Q ₁ -Q ₃]	49,4 [43,2-57,2]	51,4 [43,0-66,3]	0,499
КСИ ЛЖ, мл/м ² , Me [Q ₁ -Q ₃]	16,5 [14,2-22,1]	17,6 [15,0-26,0]	0,312
УИ ЛЖ, мл/м ² , M±SD	32,7±7,5	33,9±10,0	0,544
ФВ ЛЖ (2D Simpson), %, Me [Q ₁ -Q ₃]	64 [60-68]	63 [59-65,5]	0,281
Минутный объем, л/мин, Me [Q ₁ -Q ₃]	4,57 [3,94-5,89]	5,89 [3,9-7,82]	0,115
Сердечный индекс, л/мин/м ² , Me [Q ₁ -Q ₃]	2,37 [2,01-3,08]	3,04 [2,29-3,7]	0,077
Площадь ПЖ/ЛЖ, M±SD	0,65±0,13	0,74±0,25	0,110
Объем ЛП индекс (2D), мл/м ² , Me [Q ₁ -Q ₃]	21,8 [19,1-28,7]	23,4 [21,1-28,6]	0,239
Объем ПП индекс (2D), мл/м ² , Me [Q ₁ -Q ₃]	24,7 [19,4-33,7]	32,1 [26,3-42,2]	0,009*
Базальный диаметр ПЖ, мм, M±SD	40,3±4,9	44,3±6,6	0,002*
Средний диаметр ПЖ, мм, M±SD	34,2±6,1	37,7±8,4	0,032*
Продольный размер ПЖ, мм, Me [Q ₁ -Q ₃]	60 [56-66]	65 [60-72]	0,031*
Индекс сферичности ПЖ, базальный, M±SD	0,7±0,1	0,7±0,1	1,0
Индекс сферичности ПЖ, средний, M±SD	0,6±0,1	0,6±0,1	1,0
Приточный отдел ПЖ, мм, Me [Q ₁ -Q ₃]	32 [29-36]	35 [31-36,5]	0,009*
Выводной отдел ПЖ, мм, Me [Q ₁ -Q ₃]	30,5 [27-33]	32 [29-35]	0,091
Диаметр ствола ЛА, мм, M±SD	24,9±3,2	26,2±3,5	0,106
ТН II степени и более, n (%)	12 (14,3)	9 (40,9)	0,013*
Толщина стенки ПЖ, мм (субкостально), M±SD	5,0±0,9	5,5±0,8	0,022*
рСДЛА, мм рт. ст., M±SD	32,1±8,1	35,5±10,5	0,155
срДЛА, мм рт. ст., Me [Q ₁ -Q ₃]	15,0 [10,5-20,2]	15,0 [14,0-20,3]	0,504
<i>Показатели систолической функции ПЖ</i>			
FAC RV (2D), %, M±SD	52,3±10,2	52,1±11,0	0,937
TAPSE (2D), мм, M±SD	20,6±2,6	19,6±3,5	0,167
Индекс Tei RV (PW), Me [Q ₁ -Q ₃]	0,42 [0,32-0,58]	0,43 [0,34-0,73]	0,672
Индекс Tei RV (TDI), Me [Q ₁ -Q ₃]	0,56 [0,45-0,71]	0,63 [0,46-0,95]	0,266
IVA RV глобальный, м/с (TDI), Me [Q ₁ -Q ₃]	1,32 [0,88-1,91]	1,13 [0,76-2,2]	0,755
Strain RV (глобальный), % (TDI), M±SD	23,1±6,1	22,9±5,7	0,854
LS RV (глобальный), % (2D STE), M±SD	21,7±6,2	16,9±6,5	0,001*
LS Septal (глобальный), % (2D STE), M±SD	18,2±5,5	18,3±7,4	0,947
Скорость S' трикуспидального кольца, см/с (PW), M±SD	13,5±3,1	13,1±3,6	0,605
Признаки McConnell, n (%)	15 (17,4)	9 (39,1)	0,044*

См. примечание к табл. 1.

* p < 0,05 – различия статистически достоверны

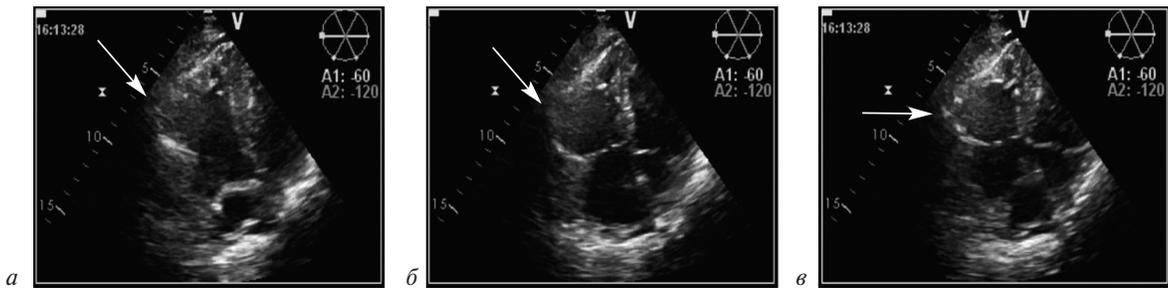


Рис. 1. Пример движения свободной стенки ПЖ из апикального доступа на 4 камеры сердца с акцентом на правый желудочек в двухмерном режиме. Дискинез свободной стенки ПЖ на базальном и среднем уровнях (отмечен стрелками) — признак McConnell:

а — диастола; б — начало систолы; в — конец систолы

ПЖ составил $0,7 \pm 0,1$ на базальном уровне, $0,6 \pm 0,1$ на среднем уровне.

Признаки McConnell в проведенном исследовании были зарегистрированы у 22% пациентов в общей когорте (рис. 1). В группе прогрессирования заболевания количество пациентов с признаками McConnell было достоверно больше (39,1%) относительно 1-й группы (17,4%), ($p=0,044$).

Однотипный характер изменений, выявленный при расчете индекса Tei в исходных группах, не показал статистически значимых различий.

Нами было выполнено сравнение исходных показателей продольной деформации ПЖ — глобального и сегментарных LS RV в режиме 2D STE в зависимости от вариантов течения COVID-19 (рис. 2).

В результате проведенного анализа были установлены статистически значимые различия показателей LS RV (2D STE) на базальном и среднем уровнях в зависимости от течения заболевания. Глобальная продольная деформация свободной стенки ПЖ была существенно выше в 1-й группе, составляя в среднем $21,7 \pm 6,3\%$ по сравнению со 2-й группой (среднее значение составило $16,9 \pm 6,5\%$), показав статистически значимые различия на исходном этапе ($p < 0,001$).

Для оценки пороговых значений показателей продольной деформации свободной стенки ПЖ, позволяющих разделить исследуемую когорту по степени тяжести заболевания, был выполнен ROC-анализ. В каче-

стве проверяемой переменной был выбран глобальный LS RV (2D STE). Площадь под ROC-кривой составила $0,70 \pm 0,07$ (95% доверительный интервал (ДИ) $0,58-0,83$).

Значение глобального LS RV (2D STE) в точке cut-off составило 19,6%. При значениях глобального LS RV (2D STE) ниже 19,6% предполагалось осложненное течение заболевания. Чувствительность и спе-

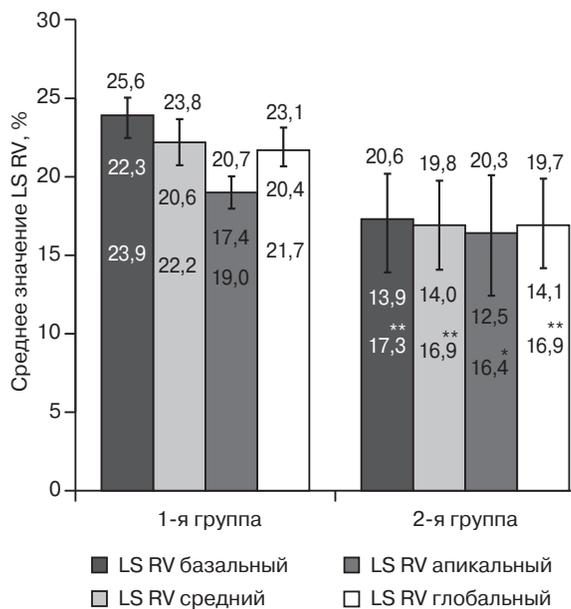


Рис. 2. Сравнение значений продольной деформации свободной стенки ПЖ (2D STE) на исходном этапе в зависимости от вариантов течения COVID-19. * $p < 0,05$ — различия статистически достоверны; ** $p < 0,001$ — различия статистически достоверны

цифичность полученной модели при заданном пороговом значении показателя составляли 69,6 и 63,5% соответственно.

Этап В

Осложнениями на госпитальном этапе являлись: респираторный дистресс-синдром – 13 (11,9%), острая сердечная недостаточность – 7 (6,4%), острое почечное повреждение – 4 (3,7%), отек головного мозга – 3 (2,8%), синдром полиорганной недостаточности – 9 (8,3%), венозный тромбоз – 10 (9,2%), синдром диссеминированного внутрисосудистого свертывания – 4 (3,7%), синдром системного воспалительного ответа – 13 (11,9%). Вышеперечисленные осложнения достоверно чаще встречались во 2-й группе пациентов. Также в группе пациентов с прогрессирующим течением заболевания (на этапе В) искусственную вентиляцию легких (ИВЛ) применяли в 19 (82,6%) случаях, тогда как в первые сутки после госпитализации использовали в 2 (8,7%) случаях.

Значения показателей, выявленные к концу наблюдения у пациентов 2-й группы, по сравнению с аналогичными показателями в 1-й группе отражены в таблице 3.

Объем поражения легочной ткани по данным КТ показал статистически значимые различия при межгрупповом анализе (1–2В) ($p < 0,001$), а также статистически значимые изменения при оценке динамики показателя во 2-й группе (2А–2В) ($p = 0,003$).

Оценка динамики показателей при декомпенсированном течении заболевания позволила получить статистически значимое снижение показателей FAC RV (2D), IVA RV глобальный (TDI), strain RV на среднем уровне (TDI). FAC RV снизился с $52,1 \pm 11,0$ до $45,1 \pm 8,8\%$, $p = 0,033$; IVA RV глобальный – с $1,13$ м/с (Q_1 – Q_3 : $0,76$ – $2,2$ м/с) до $1,03$ м/с (Q_1 – Q_3 : $0,73$ – $1,37$ м/с), $p = 0,041$; strain RV на среднем уровне – с $23,6 \pm 8,7$ до $17,7 \pm 9,1\%$, $p = 0,047$.

Межгрупповой анализ (1–2В) показал статистически значимую разницу для па-

раметров TAPSE (2D), скорости (S') трикуспидального кольца (RW), IVA RV глобальный и апикальный (TDI), strain RV глобальный и на среднем уровне (TDI), LS RV (STE) на всех уровнях свободной стенки ПЖ, а также глобальных значений продольной деформации. Значения TAPSE при сравнении данных 2-й группы с 1-й группой составили $18,7 \pm 2,7$ мм по сравнению с $20,6 \pm 2,6$ мм, $p = 0,006$; скорости (S') трикуспидального кольца – $12,0 \pm 2,7$ мм по сравнению с $13,5 \pm 3,1$ мм, $p = 0,032$; IVA RV глобального – $1,32$ м/с (Q_1 – Q_3 : $0,88$ – $1,91$ м/с) по сравнению с $1,03$ м/с (Q_1 – Q_3 : $0,73$ – $1,37$ м/с), $p = 0,035$; IVA RV апикального – $0,54$ м/с (Q_1 – Q_3 : $0,25$ – $0,77$ м/с) по сравнению с $0,76$ м/с (Q_1 – Q_3 : $0,5$ – $1,2$ м/с), $p = 0,039$; strain RV глобального – $19,3 \pm 5,8\%$ по сравнению с $23,1 \pm 6,1\%$, $p = 0,014$; strain RV на среднем уровне – $17,7 \pm 9,1\%$ по сравнению с $25,0 \pm 10,3\%$, $p = 0,006$.

При сравнении сегментарных и глобальных значений LS RV между 2-й группой на этапе В и 1-й группой были также выявлены статистически значимые различия ($p < 0,05$). В связи с тем, что дисфункция ПЖ может проявляться через межжелудочковое взаимодействие [13], мы проанализировали LS RV как с исключением (рис. 3, а), так и с включением межжелудочковых сегментов (рис. 3, б), изучая возможное праволевожелудочковое влияние. Статистически значимого снижения продольной деформации септальной стенки получено не было.

Согласно полученным данным, пророст легочной гипертензии с умеренной степени до выраженной отмечен при прогрессирующем развитии заболевания (рСДЛА с $35,5 \pm 10,5$ до $46,3 \pm 9,2$ мм рт. ст., $p < 0,001$; срДЛА с $15,0$ мм рт. ст. (Q_1 – Q_3 : $14,0$ – $20,3$ мм рт. ст.) до $23,2$ мм рт. ст. (Q_1 – Q_3 : $17,1$ – $27,8$ мм рт. ст.), $p < 0,001$. Ограничение визуализации не позволило определить диастолический легочный поток для расчета срДЛА у 41 (38%) пациента, при этом рСДЛА было определено у всех пациентов.

Таблица 3

Оценка изменений показателей в процессе наблюдения пациентов с прогрессированием и без (этап В)

Показатель	Исследуемые группы			P _{2A-2B}	P _{2-2B}
	1-я группа (n=86)	2-я группа (n=23)			
		этап А	этап В		
Объем поражения легких (КТ-данные), %, Me [Q ₁ -Q ₃]	40 [32-56]	56 [35,5-75]	76 [62-92]	0,003*	<0,001*
FAC RV (2D), %, M±SD	52,3±10,2	52,1±11,0	45,1±8,8	0,033*	0,125
TAPSE (2D), мм, M±SD	20,6±2,6	19,6±3,5	18,7±2,7	0,052	0,006*
IVA RV (TDI), м/с, Me [Q ₁ -Q ₃]					
базальный	2,02 [1,15-2,53]	1,78 [1,22-2,31]	1,38 [1,08-2,01]	0,11	0,088
средний	1,21 [0,83-2,04]	1,15 [0,87-2,12]	1,0 [0,87-1,38]	0,062	0,163
апикальный	0,76 [0,5-1,2]	0,8 [0,26-1,0]	0,54 [0,25-0,77]	0,182	0,039*
глобальный	1,32 [0,88-1,91]	1,13 [0,76-2,2]	1,03 [0,73-1,37]	0,041*	0,035*
Strain RV (TDI), %, M±SD					
базальный	22,3±10,4	23,0±5,7	22,6±9,5	0,972	0,986
средний	25,0±10,3	23,6±8,7	17,7±9,1	0,047*	0,006*
апикальный	22,0±10,4	22,1±11,4	17,7±8,3	0,623	0,097
глобальный	23,1±6,1	22,9±5,7	19,3±5,8	0,09	0,014*
LS RV (2D STE), %, M±SD					
базальный	23,9±7,6	17,3±7,8	15,5±8,6	0,284	<0,001*
средний	22,2±7,3	16,9±6,7	15,5±8,5	0,477	<0,001*
апикальный	19,0±7,6	16,4±9,1	14,5±10,3	0,423	0,022*
глобальный	21,7±6,2	16,9±6,5	15,2±7,6	0,331	<0,001*
LS septal (2D STE), %, M±SD					
базальный	18,3±5,7	18,0±7,1	16,0±6,4	0,511	0,079
средний	18,8±5,6	17,0±8,1	15,8±7,7	0,922	0,091
апикальный	17,4±7,7	15,6±10,4	14,5±11,3	0,984	0,147
глобальный	18,2±5,5	18,3±7,4	15,4±7,6	0,269	0,112
Скорость S' трикуспидального кольца (PW), см/с, M±SD	13,5±3,1	13,1±3,6	12,0±2,7	0,163	0,032*
pСДЛА, мм рт. ст., M±SD	32,1±8,1	35,5±10,5	46,3±9,2	<0,001*	<0,001*
срДЛА, мм рт. ст., Me [Q ₁ -Q ₃]	15,0 [10,5-20,2]	15,0 [14,0-20,3]	23,2 [17,1-27,8]	<0,001*	<0,001*

См. примечание к табл. 1.

* p < 0,05 – различия статистически достоверны

Медиана срока госпитализации пациентов от начала заболевания составляла 7 сут (Q₁-Q₃: 5-10 сут). Максимальный срок наблюдения составил 56 сут. Госпитальная летальность отмечалась только среди пациентов 2-й группы, где доля умерших в стационаре составила 73,9% (17 случаев).

Обсуждение

Высокий комплаенс правых отделов сердца приводит к значительной дилатации ПП и ПЖ и компенсирует возросшую постнагрузку, обусловленную ростом давления в малом круге кровообращения. При прогрессировании дилатации правых

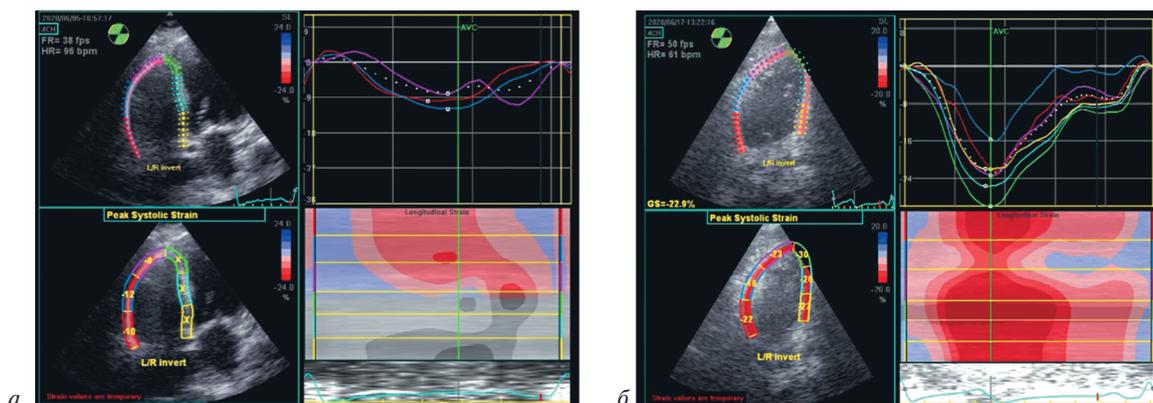


Рис. 3. Примеры оценки продольной деформации ПЖ (STE):

a – пациент А. Оценка среднего значения продольной деформации 3 сегментов свободной стенки ПЖ (LS RV) составляет 10% (диффузная гипокинезия свободной стенки ПЖ); *б* – пациент Б. Пример анализа продольной деформации ПЖ с включением септальных сегментов (LS RV – 20,3%, LS septal – 26%)

отделов сердца отношение площадей ПЖ/ЛЖ приближается к 1,0 и даже может превышать ($n=9$) при норме 0,6. По данным нашего исследования, статистически значимым оказалось преобладание размеров правых камер сердца во 2-й группе на исходном уровне, что, по всей видимости, обусловлено резким повышением легочного сопротивления на фоне вирусной пневмонии.

М. V. McConnell et al. в 1996 г. впервые описали характерные признаки визуальной оценки по данным ЭхоКГ у пациентов с ТЭЛА [14]. Специфическая картина правожелудочковой дисфункции имела выраженную гипо- или акинезию базального и среднего сегмента латеральной стенки ПЖ с нормокинезией апикальной части. Однако при сопоставлении полученных данных с результатами КТ-диагностики, несмотря на высокую специфичность (96%), чувствительность признаков McConnell составила всего 16% [15]. В дальнейшем ряд авторов подтвердил низкую чувствительность визуальных признаков, аргументируя это отсутствием различий между перегрузкой давлением на фоне острой ТЭЛА и нарушением кровоснабжения ПЖ [16–18].

Согласно нашим данным, в группе прогрессирования заболевания признаки McConnell встречались достоверно чаще

($p=0,044$), чем среди пациентов с неосложненным течением. Причем в дизайн исследования были включены пациенты без острой легочной эмболии. В проведенном исследовании наблюдалось появление признаков McConnell по мере нарастания легочного поражения и дисфункции ПЖ, что расценивалось как признаки перегрузки давлением без идентификации причины.

Наиболее легко воспроизводимым и распространенным методом оценки систолической функции ПЖ является экскурсия кольца трикуспидального клапана – TAPSE (*tricuspid annular plane systolic excursion*). Значение TAPSE менее 16 мм свидетельствует о признаках систолической дисфункции ПЖ [7]. Однако в исследовании N.S. Anavekar et al. корреляция между показателями TAPSE и ФВ ПЖ по данным магнитно-резонансной томографии (МРТ) не подтвердилась [19]. В нашем исследовании редкие случаи снижения экскурсии латеральной части трикуспидального кольца, как правило, наблюдались у пациентов в критическом состоянии. При этом полученные значения TAPSE во 2-й группе ($18,7 \pm 2,7$ мм) превышали нормальные референсные показатели, что, по всей видимости, может быть обусловлено рядом недостатков, присущих данному параметру. Во-первых, потенциальное завышение

экскурсии возможно при наличии значимой трикуспидальной регургитации. Во-вторых, зависимость от угла, то есть использование М-модального режима не в анатомической плоскости может приводить как к завышению, так и к занижению показателей. В-третьих, оценка систолической функции ограничивается его продольной функцией на базальном уровне.

Следующим распространенным показателем оценки систолической функции ПЖ является *фракционное изменение площади ПЖ (FAC – fractional area change)*. По данным ряда авторов, FAC RV показал хорошую корреляцию с ФВ ПЖ (МРТ-исследование) и, как было показано, имеет прогностическое значение у пациентов с инфарктом миокарда и легочной гипертензией [20–22]. Простота и воспроизводимость метода нивелируется рядом недостатков, одним из которых является невозможность идентификации четких границ эндокарда при выраженной трабекулярности желудочка. С другой стороны, в расчет этого показателя включены измерения конечной диастолической и конечной систолической площадей ПЖ, что само по себе вносит одноплоскостную оценку функции ПЖ. Помимо этого, полученные значения FAC RV во 2-й группе при развитии декомпенсации ($45,1 \pm 8,8\%$) укладываются в нормальные пороговые показатели (более 35%) [7].

Более корректным параметром оценки систолической функции ПЖ считается *индекс производительности миокарда ПЖ (индекс Tei)*, который включает в себя как систолические, так и диастолические интервалы времени для отображения глобальной систолической и диастолической функции ПЖ [6]. В норме индекс Tei ПЖ не превышает 0,40 (PW доплерография), 0,55 (TDI). Возрастание значений обычно происходит при заболеваниях, связанных с дисфункцией ПЖ [6, 13] и, согласно исследованию Р.К. Karnati et al., отмечается хорошая корреляция с радиоизотопной ФВ ПЖ [23]. Считается, что индекс Tei

имеет прогностическое значение у больных легочной гипертензией и отклонения этого показателя коррелируют с изменением их клинического статуса. Однако повышенное давление в ЛА приводит к укорочению времени изоволюметрического расслабления ПЖ и занижению значения индекса Tei. Возникает так называемая псевдонормализация индекса [24], что является существенным недостатком в использовании этого показателя у пациентов с возрастающим легочным сопротивлением.

Систолическая миокардиальная скорость (S') трикуспидального кольца в режиме импульсно-волновой доплерографии (PW), в норме должна превышать 10 см/с [12]. В исследовании Т. Kukulski et al. была продемонстрирована хорошая взаимосвязь между систолической миокардиальной скоростью (S') трикуспидального кольца и перенесенным инфарктом миокарда ПЖ [25]. Простота и доступность метода ограничены оценкой базальных сегментов свободной стенки ПЖ и его продольной функцией [26]. Также считается, что воспроизводимость метода снижается для средних и апикальных сегментов ПЖ [7]. По нашим данным, различия в скорости S' трикуспидального кольца были получены в группе прогрессирования 2В по сравнению с 1-й группой ($p=0,032$), тем не менее с превышением нормальных пороговых значений. Вероятно, появление трикуспидальной регургитации может приводить к завышению скорости движения S' трикуспидального кольца.

Более информативным тканевым доплеровским параметром, отражающим систолическую функцию ПЖ, является *миокардиальное ускорение в течение изоволюметрического сокращения ПЖ (IVA RV)* [7]. Согласно данным авторов, нормальные значения IVA RV составляют $2,2 \text{ м/с}^2$ (95% ДИ 1,4–3,0) на базальном уровне ПЖ [7, 27]. Однако оценка функции одного сегмента не может представлять функцию всего желудочка, поэтому использование базального значения малоприменимо при

инфаркте миокарда ПЖ или легочной эмболии [7]. В связи с этим в проведенном исследовании анализировались сегментарные и глобальные значения IVA RV. Было выявлено снижение глобального показателя IVA RV как в группе декомпенсации на разных этапах наблюдения ($p=0,041$), так и по сравнению с группой компенсированного течения ($p=0,035$).

Деформация свободной стенки ПЖ. Деформацию (strain) и скорость деформации (strain rate) свободной стенки ПЖ можно анализировать в тканевом доплеровском режиме (TDI). Если strain выражает амплитуду мгновенной деформации, то strain rate отражает скорость укорочения волокон во времени, обеспечивая независимые от преднагрузки маркеры сократительной функции [28]. Согласно полученным данным, статистических различий strain RV (TDI) между группами на исходном этапе выявлено не было. При внутригрупповом сравнении наблюдалась статистически значимая редукция показателя strain RV (средний уровень) на этапе В, вероятно, обусловленная максимальным напряжением свободной стенки в этой зоне.

Допплеровская визуализация тканей по своей сути одномерна и позволяет рассчитать деформацию из скорости движения миокарда только в направлении ультразвукового луча, при этом угол между лучом сканирования и направлением движения изучаемой стенки не должен превышать 20° [29]. Другим вариантом анализа деформации свободной стенки ПЖ (LS RV) является недоплеровская технология – 2D спекл-трекинг эхокардиография (2D STE), которая позволяет оценивать средние значения деформации миокарда в продольном направлении. В отличие от доплеровской визуализации, показатели деформации на основе двухмерного отслеживания спеклов не зависят от угла сканирования [30]. Y. Motoji et al. отметили значение глобального LS RV менее 19,4% в качестве предиктора неблагоприятного исхода от сердечно-сосудистых событий у пациентов с ле-

гочной гипертензией [31]. По данным D. Muragu et al., нарушения систолической функции ПЖ определяются при значениях продольной деформации 23% и менее [32]. Показатель LS RV (STE) продемонстрировал статистически значимые различия в группе прогрессирования (2В) по сравнению с 1-й группой, не только глобальных значений, но и на сегментарных уровнях ($p<0,05$). Причем глобальный LS RV оказался единственным из параметров оценки систолической функции ПЖ, показавшим статистически значимое различие при исходном межгрупповом сравнении ($p<0,001$).

Таким образом, фракционное изменение площади ПЖ, индекс Tei и скорость S' трикуспидального кольца, по всей видимости, не предоставляют необходимой информации относительно функциональных возможностей ПЖ на фоне острого развития легочного поражения. Напротив, показатели IVA RV, strain RV и LS RV, имея свои преимущества в оценке деформации миокарда, могут быть рекомендованы в качестве маркеров оценки систолической функции у пациентов с коронавирусной инфекцией. Согласно полученным нами данным, показатель LS RV (STE) является приоритетным в идентификации признаков систолической дисфункции ПЖ по сравнению с другими ЭхоКГ-параметрами [33]. Полученное значение *cut-off* параметра LS RV глобальный (2D STE), составляющее 19,6%, может рассматриваться в качестве прогностического порога осложненного течения заболевания.

При оценке функции ПЖ также необходимо учитывать его сопряжение, так называемый coupling, с малым кругом кровообращения, то есть рассматривать в комплексе с легочной артерией, как единую кардиопульмональную систему [34]. При фазном течении COVID-19 с прогрессирующим развитием заболевания отмечается прирост степени легочной гипертензии от умеренной до выраженной, что, вероятно, связано с увеличением объема

поражения легочной ткани и переходом в фазу консолидации, не исключая присоединения бактериальной инфекции.

Такие показатели, как рСДЛА, срДЛА, диаметр НПВ и ее инспираторное спадение, позволяют оценивать и мониторировать легочную гемодинамику [35].

Заключение

Базовые параметры, основанные на М-режиме, 2D-эхокардиографии и спектральной доплерографии, были валидированы в оценке сократительной способности, давления или фракции выброса ПЖ [36]. Однако они имеют значительные ограничения, обусловленные сложной геометрией ПЖ и невозможностью адаптироваться к изменениям формы на фоне прогрессирования заболевания или изменении условий нагрузки [37].

Тканевая доплерография ПЖ представляет большой потенциал в оценке деформации и показывает хорошую корреляцию с инвазивной оценкой контрактильности ПЖ, как было показано в исследованиях ряда авторов [38, 39]. Такие параметры, как IVA RV (TDI), strain RV (TDI), LS RV (2D STE), согласно полученным результатам, показывают свое преимущество в идентификации признаков систолической дисфункции ПЖ у пациентов с COVID-19.

Наиболее чувствительным методом неинвазивной оценки систолической правожелудочковой дисфункции, по данным проведенного исследования, оказалась недопплеровская технология пространственной ЭхоКГ – спекл-трекинг (STE). Определение средней продольной деформации свободной стенки ПЖ, в отличие от пиковых значений (TDI), продемонстрировало более высокую диагностическую ценность в идентификации признаков систолической дисфункции ПЖ. В свою очередь, раннее выявление признаков прогрессирования правожелудочковой дисфункции и оценка состояния легочной гемодинамики позволяют более точно прогнозировать

развитие заболевания COVID-19 и эффективнее осуществлять поиск новых перспективных способов терапии таких больных.

Литература

1. Rothan H.A., Byrareddy S.N. The epidemiology and pathogenesis of coronavirus disease (COVID-19) outbreak. *J. Autoimmun.* 2020; 102433. DOI: 10.1016/j.jaut.2020.102433
2. Jin Y., Yang H., Ji W., Wu W., Chen S., Zhang W., Duan G. Virology, epidemiology, pathogenesis, and control of COVID-19. *Viruses.* 2020; 12 (4): 372. DOI: 10.3390/v12040372
3. Абатуров А.Е., Агафонова Е.А., Кривуша Е.Л., Никулина А.А. Патогенез COVID-19. *Здоровье ребенка.* 2020; 15 (2): 133–44. DOI: 10.22141/2224-0551.15.1.2020.2005984
4. Чучалин А.Г. Правожелудочковая сердечная недостаточность. *Пульмонология.* 2019; 29 (2): 135–47. DOI: 10.18093/0869-0189-2019-29-2-135-147
5. Lang R.M., Badano L.P., Mor-Avi V., Afilalo J., Armstrong A., Ernande L. 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): 233–71. DOI: 10.1093/ehjci/jev014
6. Tei C., Dujardin K.S., Hodge D.O., Bailey K.R., McGoon M.D., Tajik A.J., Seward J.B. Doppler echocardiographic index for assessment of global right ventricular function. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 1996; 9 (6): 838–47. DOI: 10.1016/S0894-7317(96)90476-9
7. Rudski L.G., Lai W.W., Afilalo J., Hua L., Handschumacher M.D., Chandrasekaran K. et al. Guidelines for the echocardiography assessment of the right heart in adults: a report from the American Society of Echocardiography Endorsed by the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2010; 23: 685–713. DOI: 10.1016/j.echo.2010.05.010
8. Voigt J.U., Pedrizzetti G., Lysyansky P., Marwick T.H., Houle H., Baumann R. et al. Definition for a common standard for 2D speckle tracking echocardiography: a consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2015; 16: 1–11. DOI: 10.1093/ehjci/jev184
9. Masuyama T., Kodama K., Kitakabe A., Sato H., Nanto H., Inoue M. Continuous-wave Doppler echocardiographic detection of pulmonary regurgitation and its application to noninvasive estimation of pulmonary artery pressure. *Circulation.*

- 1986; 74: 484–92. DOI: 10.1161/01.CIR.74.3.484
10. Алехин М.Н., Затейшикова А.А., Киселев Д.Г., Шаврин И.В., Привалов Д.В., Вторушин Д.В. и др. Значение эхокардиографической оценки нижней полой вены для расчета среднего давления в легочной артерии у больных хронической обструктивной болезнью легких. *Кремлевская медицина. Клинический вестник*. 2010; 2: 64–7.
11. Foale R., Nihoyannopoulos P., McKenna W., Kleinebenne A., Nadazdin A., Rowland E. et al. Echocardiographic measurement of the normal adult right ventricle. *Br. Heart J.* 1986; 56: 33–44. DOI: 10.1136/hrt.56.1.33
12. Jurcut R., Giusca S., La Gerche A., Vasile S., Ghingina C., Voigt J.U. The echocardiographic assessment of the right ventricle: what to do in 2010? European journal of echocardiography: the journal of the Working Group on Echocardiography of the European Society of Cardiology. 2010; 11 (2): 81–96. DOI: 10.1093/ejehocard/jep234
13. Нарцисова Г.П. Роль правого желудочка в патологии сердечно-сосудистой системы. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2014; 18 (1): 32–6. DOI: 10.21688/1681-3472-2014-1-32-36
14. McConnell M.V., Solomon S.D., Rayan M.E., Come P.C., Goldhaber S.Z., Lee R.T. Regional right ventricular dysfunction detected by echocardiography in acute pulmonary embolism. *Am. J. Cardiol.* 1996; 78: 469–73. DOI: 10.1016/S0002-9149(96)00339-6
15. Lodato J.A., Ward R.P., Lang R.M. Echocardiographic predictors of pulmonary embolism in patients referred for helical CT. *Echocardiography* 2008; 25: 584–90. DOI: 10.1111/j.1540-8175.2008.00665.x
16. Casazza F., Bongarzone A., Capozzi A., Agostoni O. Regional right ventricular dysfunction in acute pulmonary embolism and right ventricular infarction. *Eur. J. Echocardiogr.* 2005; 6: 11–4. DOI: 10.1016/j.euje.2004.06.002
17. Torbicki A. Echocardiographic diagnosis of pulmonary embolism: a rise and fall of McConnell sign? *Eur. J. Echocardiogr.* 2005; 6: 2–3. DOI: 10.1016/j.euje.2004.11.007
18. Fields J.M., Davis J., Girson L., Au A., Potts J., Morgan C.J., Vetter I., Riesenber L.A. Transthoracic echocardiography for diagnosing pulmonary embolism: a systematic review and meta-analysis. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2017; 30 (7): 714–23.e4. DOI: 10.1016/j.echo.2017.03.004
19. Anavekar N.S., Gerson D., Skali H., Kwong R.Y., Yucel E.K., Solomon S.D. Two-dimensional assessment of right ventricular function: an echocardiographic-MRI correlative study. *Echocardiography*. 2007; 24: 452–6. DOI: 10.1111/j.1540-8175.2007.00424.x
20. Zornoff L.A.M., Skali H., Pfeffer M.A., Sutton J.M., Rouleau J.L., Lamas G.A. et al. Right ventricular dysfunction and risk of heart failure and mortality after myocardial infarction. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2002; 39: 1450–5. DOI: 10.1016/S0735-1097(02)01804-1
21. Ghio S., Gavazzi A., Campana C., Inserra C., Klersy C., Sebastiani R. et al. Independent and additive prognostic value of right ventricular systolic function and pulmonary artery pressure in patients with chronic heart failure. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2001; 37: 183–8. DOI: 10.1016/S0735-1097(00)01102-5
22. Anavekar N.S., Skali H., Bourgoun M., Ghali J.K., Kober L., Maggioni A.P. et al. Usefulness of right ventricular fractional area change to predict death, heart failure, and stroke following myocardial infarction (from the Valiant ECHO study). *Am. J. Cardiol.* 2008; 101: 607–12. DOI: 10.1016/j.amjcard.2007.09.115
23. Karnati P.K., El-Hajjar M., Torosoff M., Fein S.A. Myocardial performance index correlates with right ventricular ejection fraction measured by nuclear ventriculography. *Echocardiography*. 2008; 25 (3): 81–5. DOI: 10.1111/J.1540-8175.2007.00601.X
24. Yoshifuku S., Otsuji Y., Takasaki K., Yuge K., Kisanuki A., Toyonaga K. et al. Pseudonormalized Doppler total ejection isovolume (Tei) index in patients with right ventricular acute myocardial infarction. *Am. J. Cardiol.* 2003; 91: 527–31. DOI: 10.1016/S0002-9149(02)03299-X
25. Kukulski T., Hübber L., Arnold M., Wranne B., Hatle L., Sutherland G.R. Normal regional right ventricular function and its change with age: a Doppler myocardial imaging study. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2000; 13: 194–204. DOI: 10.1067/mje.2000.103106
26. Lindqvist P., Waldenström A., Henein M., Mörner S., Kazzam E. Regional and global right ventricular function in healthy individuals aged 20–90 years: a pulsed Doppler tissue imaging study: Umea General Population Heart Study. *Echocardiography* 2005; 22: 305–14. DOI: 10.1111/j.1540-8175.2005.04023.x
27. Frigiola A., Redington A.N., Cullen S., Vogel M. Pulmonary regurgitation is an important determinant of right ventricular contractile dysfunction in patients with surgically repaired tetralogy of Fallot. *Circulation*. 2004; 110 (11 Suppl. 1): II153–7. DOI: 10.1161/01.CIR.0000138397.60956.c2
28. Мазур Е.С., Мазур В.В., Рабинович Р.М., Мясников К.С., Орлов Ю.А. Деформация миокарда при инфаркте правого желудочка и тромбоэмболии легочной артерии. *Российский кардиологический журнал*. 2020; 25 (2): 3731. DOI: 10.15829/1560-4071-2020-2-3731
29. Алехин М.Н. Ультразвуковые методики оценки деформации миокарда и их клиническое значение. Допплеровская визуализация тканей в оценке деформации миокарда (лекция 1). *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2011; 1: 105–17.
30. Алехин М.Н. Ультразвуковые методики оценки деформации миокарда и их клиническое

- значение. Двухмерное отслеживание пятен серой шкалы ультразвукового изображения миокарда в оценке его деформации и скручивания (лекция 2). *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2011; 3: 107–20.
31. Motoji Y., Tanaka H., Fukuda Y., Ryo K., Emoto N., Kawai H., Hirata K. Efficacy of right ventricular free-wall longitudinal speckle-tracking strain for predicting long-term outcome in patients with pulmonary hypertension. *Circ. J.* 2013; 77 (3): 756–63. DOI: 10.1253/circj.CJ-12-1083
 32. Muraru D., Onciul S., Peluso D., Soriani N., Cucchini U., Aruta P. et al. Sex- and method-specific reference values for right ventricular strain by 2-dimensional speckle-tracking echocardiography. *Circ. Cardiovasc. Imaging*. 2016; 9: e003866. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.115.003866
 33. Li Y., Li H., Zhu S., Xie Y., Wang B., He L. et al. Prognostic Value of Right Ventricular Longitudinal Strain in Patients with COVID-19. *JACC: Cardiovasc. Imaging*. 2020; 13 (11): 2287–99. DOI: 10.1016/j.jcmg.2020.04.014
 34. Noordegraaf A.V., Westerhof B.E., Westerhof N. The relationship between the right ventricle and its load in pulmonary hypertension. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2017; 69: 236–43. DOI: 10.1016/j.jacc.2016.10.047
 35. Мамалыга М.Л. Применение инновационных технологий для комплексной оценки гемодинамики при изучении взаимообусловленных физиологических процессов в мозге и сердце [Электронный ресурс]: науч. и учеб.-метод. рекомендации. М.: Прометей; 2015.
 36. Kjærgaard J. Assessment of right ventricular systolic function by tissue Doppler echocardiography. *Dan. Med. J.* 2012; 59 (3): B4409.
 37. Haddad F., Hunt S.A., Rosenthal D.N., Murphy D.J. Right ventricular function in cardiovascular disease, part I: Anatomy, physiology, aging, and functional assessment of the right ventricle. *Circulation* 2008; 117 (11): 1436–48. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.107.653576
 38. Jamal F., Bergerot C., Argaud L., Loufouat J., Ovize M. Longitudinal strain quantitates regional right ventricular contractile function. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2003; 285 (6): H2842–7. DOI: 10.1152/ajpheart.00218.2003
 39. Naito H., Arisawa J., Harada K., Yamagami H., Kozuka T., Tamura S. Assessment of right ventricular regional contraction and comparison with the left ventricle in normal humans: a cine magnetic resonance study with presaturation myocardial tagging. *Br. Heart J.* 1995; 74 (2): 186–91. DOI: 10.1136/hrt.74.2.186
 2. Jin Y., Yang H., Ji W., Wu W., Chen S., Zhang W., Duan G. Virology, epidemiology, pathogenesis, and control of COVID-19. *Viruses*. 2020; 12 (4): 372. DOI: 10.3390/v12040372
 3. Abaturov A.E., Agafonova E.A., Krivusha E.L., Nikulina A.A. Pathogenesis of COVID-19. *Zdorov'e Rebenka*. 2020; 15 (2): 133–44. DOI: 10.22141/2224-0551.15.1.2020.2005984 (in Russ.).
 4. Chuchalin A.G. The right-sided heart failure. *Pulmonology*. 2019; 29 (2): 135–47. DOI: 10.18093/0869-0189-2019-29-2-135-147
 5. Lang R.M., Badano L.P., Mor-Avi V., Afilalo J., Armstrong A., Ernande L. 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): 233–71. DOI: 10.1093/ehjci/jev014
 6. Tei C., Dujardin K.S., Hodge D.O., Bailey K.R., McGoon M.D., Tajik A.J., Seward J.B. Doppler echocardiographic index for assessment of global right ventricular function. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 1996; 9 (6): 838–47. DOI: 10.1016/S0894-7317(96)90476-9
 7. Rudski L.G., Lai W.W., Afilalo J., Hua L., Handschumacher M.D., Chandrasekaran K. et al. Guidelines for the echocardiography assessment of the right heart in adults: a report from the American Society of Echocardiography Endorsed by the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2010; 23: 685–713. DOI: 10.1016/j.echo.2010.05.010
 8. Voigt J.U., Pedrizzetti G., Lysyansky P., Marwick T.H., Houle H., Baumann R. et al. Definition for a common standard for 2D speckle tracking echocardiography: a consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2015; 16: 1–11. DOI: 10.1093/ehjci/jeu184
 9. Masuyama T., Kodama K., Kitakabe A., Sato H., Nanto H., Inoue M. Continuous-wave Doppler echocardiographic detection of pulmonary regurgitation and its application to noninvasive estimation of pulmonary artery pressure. *Circulation*. 1986; 74: 484–92. DOI: 10.1161/01.CIR.74.3.484
 10. Alekhin M.N., Zateischikova A.A., Kiselev D.G., Shavrin I.V., Privalov D.V., Vtorushkin D.V. et al. Importance of echocardiographic postcava evaluation for calculations of average pressure in the pulmonary artery in patients with chronic obstructive lung disease. *Kremlin medicine. Clinical Bulletin*. 2010; 2: 64–7 (in Russ.).
 11. Foale R., Nihoyannopoulos P., McKenna W., Kleinebenne A., Nadazdin A., Rowland E. et al. Echocardiographic measurement of the normal adult right ventricle. *Br. Heart J.* 1986; 56: 33–44. DOI: 10.1136/hrt.56.1.33
 12. Jurcut R., Giusca S., La Gerche A., Vasile S.,

References

1. Rothan H.A., Byrareddy S.N. The epidemiology and pathogenesis of coronavirus disease (COVID-19) outbreak. *J. Autoimmun.* 2020; 102433. DOI: 10.1016/j.jaut.2020.102433

- Ginghina C., Voigt J.U. The echocardiographic assessment of the right ventricle: what to do in 2010? European journal of echocardiography: the journal of the Working Group on Echocardiography of the European Society of Cardiology. 2010; 11 (2): 81–96. DOI: 10.1093/ejehocard/jep234
13. Nartsissova G.P. Role of right ventricle in cardiovascular pathology. *Circulatory pathology and cardiac surgery*. 2014; 18 (1): 32–6. DOI: 10.21688/1681-3472-2014-1-32-36 (in Russ.).
 14. McConnell M.V., Solomon S.D., Rayan M.E., Come P.C., Goldhaber S.Z., Lee R.T. Regional right ventricular dysfunction detected by echocardiography in acute pulmonary embolism. *Am. J. Cardiol*. 1996; 78: 469–73. DOI: 10.1016/S0002-9149(96)00339-6
 15. Lodato J.A., Ward R.P., Lang R.M. Echocardiographic predictors of pulmonary embolism in patients referred for helical CT. *Echocardiography* 2008; 25: 584–90. DOI: 10.1111/j.1540-8175.2008.00665.x
 16. Casazza F., Bongarzone A., Capozzi A., Agostoni O. Regional right ventricular dysfunction in acute pulmonary embolism and right ventricular infarction. *Eur. J. Echocardiogr*. 2005; 6: 11–4. DOI: 10.1016/j.euje.2004.06.002
 17. Torbicki A. Echocardiographic diagnosis of pulmonary embolism: a rise and fall of McConnell sign? *Eur. J. Echocardiogr*. 2005; 6: 2–3. DOI: 10.1016/j.euje.2004.11.007
 18. Fields J.M., Davis J., Girson L., Au A., Potts J., Morgan C.J., Vetter I., Riesenber L.A. Transthoracic echocardiography for diagnosing pulmonary embolism: a systematic review and meta-analysis. *J. Am. Soc. Echocardiogr*. 2017; 30 (7): 714–23.e4. DOI: 10.1016/j.echo.2017.03.004
 19. Anavekar N.S., Gerson D., Skali H., Kwong R.Y., Yucel E.K., Solomon S.D. Two-dimensional assessment of right ventricular function: an echocardiographic-MRI correlative study. *Echocardiography*. 2007; 24: 452–6. DOI: 10.1111/j.1540-8175.2007.00424.x
 20. Zornoff L.A.M., Skali H., Pfeffer M.A., Sutton J.M., Rouleau J.L., Lamas G.A. et al. Right ventricular dysfunction and risk of heart failure and mortality after myocardial infarction. *J. Am. Coll. Cardiol*. 2002; 39: 1450–5. DOI: 10.1016/S0735-1097(02)01804-1
 21. Ghio S., Gavazzi A., Campana C., Inerra C., Klersy C., Sebastiani R. et al. Independent and additive prognostic value of right ventricular systolic function and pulmonary artery pressure in patients with chronic heart failure. *J. Am. Coll. Cardiol*. 2001; 37: 183–8. DOI: 10.1016/S0735-1097(00)01102-5
 22. Anavekar N.S., Skali H., Bourgoun M., Ghali J.K., Kober L., Maggioni A.P. et al. Usefulness of right ventricular fractional area change to predict death, heart failure, and stroke following myocardial infarction (from the Valiant ECHO study). *Am. J. Cardiol*. 2008; 101: 607–12. DOI: 10.1016/j.amjcard.2007.09.115
 23. Karnati P.K., El-Hajjar M., Torosoff M., Fein S.A. Myocardial performance index correlates with right ventricular ejection fraction measured by nuclear ventriculography. *Echocardiography*. 2008; 25 (3): 81–5. DOI: 10.1111/J.1540-8175.2007.00601.X
 24. Yoshifuku S., Otsuji Y., Takasaki K., Yuge K., Kisanuki A., Toyonaga K. et al. Pseudonormalized Doppler total ejection isovolume (Tei) index in patients with right ventricular acute myocardial infarction. *Am. J. Cardiol*. 2003; 91: 527–31. DOI: 10.1016/S0002-9149(02)03299-X
 25. Kukulski T., Hübbert L., Arnold M., Wranne B., Hatle L., Sutherland G.R. Normal regional right ventricular function and its change with age: a Doppler myocardial imaging study. *J. Am. Soc. Echocardiogr*. 2000; 13: 194–204. DOI: 10.1067/mje.2000.103106
 26. Lindqvist P., Waldenström A., Henein M., Mörner S., Kazzam E. Regional and global right ventricular function in healthy individuals aged 20–90 years: a pulsed Doppler tissue imaging study: Umea General Population Heart Study. *Echocardiography* 2005; 22: 305–14. DOI: 10.1111/j.1540-8175.2005.04023.x
 27. Frigiola A., Redington A.N., Cullen S., Vogel M. Pulmonary regurgitation is an important determinant of right ventricular contractile dysfunction in patients with surgically repaired tetralogy of Fallot. *Circulation*. 2004; 110 (11 Suppl. 1): II153–7. DOI: 10.1161/01.CIR.0000138397.60956.c2
 28. Mazur E.S., Mazur V.V., Rabinovich R.M., Myasnikov K.S., Orlov Y.A. Cardiac strain in right ventricular myocardial infarction and pulmonary embolism. *Russian Journal of Cardiology*. 2020; 25 (2): 3731. DOI: 10.15829/1560-4071-2020-2-3731 (in Russ.).
 29. Alekhin M.N. Ultrasound techniques for assessing myocardial deformation and their clinical significance. Doppler tissue imaging in assessing myocardial deformation (lecture 1). *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2011; 1: 105–17 (in Russ.).
 30. Alekhin M.N. Ultrasound techniques for assessing myocardial deformation and their clinical significance. Two-dimensional tracking of gray-scale spots of an ultrasound image of the myocardium in the assessment of its deformation and twisting (Lecture 2). *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2011; 3: 107–20 (in Russ.).
 31. Motoji Y., Tanaka H., Fukuda Y., Ryo K., Emoto N., Kawai H., Hirata K. Efficacy of right ventricular free-wall longitudinal speckle-tracking strain for predicting long-term outcome in patients with pulmonary hypertension. *Circ. J*. 2013; 77 (3): 756–63. DOI: 10.1253/circj.CJ-12-1083
 32. Muraru D., Onciul S., Peluso D., Soriani N., Cucchini U., Aruta P. et al. Sex- and method-

- specific reference values for right ventricular strain by 2-dimensional speckle-tracking echocardiography. *Circ. Cardiovasc. Imaging*. 2016; 9: e003866. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.115.003866
33. Li Y., Li H., Zhu S., Xie Y., Wang B., He L. et al. Prognostic Value of Right Ventricular Longitudinal Strain in Patients with COVID-19. *JACC: Cardiovasc. Imaging*. 2020; 13 (11): 2287–99. DOI: 10.1016/j.jcmg.2020.04.014
 34. Noordegraaf A.V., Westerhof B.E., Westerhof N. The relationship between the right ventricle and its load in pulmonary hypertension. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2017; 69: 236–43. DOI: 10.1016/j.jacc.2016.10.047
 35. Mamalyga M.L. Application of innovative technologies for a comprehensive assessment of hemodynamics in the study of interdependent physiological processes in the brain and heart [Electronic resource]: scientific and educational recommendations. Moscow; 2015 (in Russ.).
 36. Kjærgaard J. Assessment of right ventricular systolic function by tissue Doppler echocardiography. *Dan. Med. J.* 2012; 59 (3): B4409.
 37. Haddad F., Hunt S.A., Rosenthal D.N., Murphy D.J. Right ventricular function in cardiovascular disease, part I: Anatomy, physiology, aging, and functional assessment of the right ventricle. *Circulation* 2008; 117 (11): 1436–48. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.107.653576
 38. Jamal F., Bergerot C., Argaud L., Loufouat J., Ovize M. Longitudinal strain quantitates regional right ventricular contractile function. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2003; 285 (6): H2842–7. DOI: 10.1152/ajpheart.00218.2003
 39. Naito H., Arisawa J., Harada K., Yamagami H., Kozuka T., Tamura S. Assessment of right ventricular regional contraction and comparison with the left ventricle in normal humans: a cine magnetic resonance study with presaturation myocardial tagging. *Br. Heart J.* 1995; 74 (2): 186–91. DOI: 10.1136/hrt.74.2.186