

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1461>

Комплексная оценка функции правого желудочка при острой тромбоэмболии легочной артерии

© Кондрашова К.В.^{1*}, Рыбакова М.К.², Митькова М.Д.², Митьков В.В.²

¹ ГБУЗ Калужской области "Калужская областная клиническая больница"; 248007 Калуга, ул. Вишневого, д. 1, Российская Федерация

² ФГБОУ ДПО "Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования" Минздрава России; 125993 Москва, ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1, Российская Федерация

Цель исследования: оценка значения показателей систолической функции правого желудочка (ПЖ) и правожелудочково-артериального сопряжения (ПЖАС) при трансторакальной эхокардиографии (ЭхоКГ) у пациентов с острой субмассивной/массивной тромбоэмболией легочной артерии (ТЭЛА).

Материал и методы. Обследовано 34 пациента (16 (47,1%) женщин, 18 (52,9%) мужчин) с острой субмассивной/массивной ТЭЛА. Диагноз поставлен на основании КТ-ангиопульмонографии с болюсным внутривенным контрастированием. Средний возраст пациентов составил 61 ± 13 лет ($M \pm SD$). В качестве контрольной группы обследовано 30 здоровых лиц: 16 (53,3%) женщин, 14 (46,7%) мужчин. Средний возраст здоровых лиц составил 39 ± 10 лет. Трансторакальная ЭхоКГ проводилась на аппарате Vivid E95 (GE HealthCare, США) с постобработкой данных на рабочей станции EchoPac. Изучали стандартные показатели систолической функции ПЖ, а также глобальную продольную систолическую деформацию (ГПСД) ПЖ и продольную систолическую деформацию свободной стенки (ПСД СС) ПЖ с помощью двухмерной спекл-трекинг-ЭхоКГ. Кроме того, определяли различные показатели ПЖАС, такие как отношения TAPSE, ФИП ПЖ, ГПСД и ПСД СС к систолическому давлению в легочной артерии (СДЛА).

Результаты. У пациентов с острой субмассивной/массивной ТЭЛА все показатели систолической функции ПЖ достоверно отличались от контрольной группы (p от 0,0011 до $<0,0001$). При этом показатели продольной деформации демонстрировали лучшую информативность по сравнению со стандартными показателями систолической функции ПЖ ($AUC = 0,898-0,912$ против $0,738-0,849$). Отмечено также достоверное снижение ($p < 0,0001$) всех параметров ПЖАС (TAPSE/СДЛА, ФИП ПЖ/СДЛА, ГПСД ПЖ/СДЛА, ПСД СС ПЖ/СДЛА) у пациентов с ТЭЛА по сравнению с контрольной группой. Информативность показателей ПЖАС ($AUC = 0,991-0,997$) была выше всех показателей систолической функции. Наибольшую информативность среди показателей ПЖАС продемонстрировал ГПСД ПЖ/СДЛА $<0,66$ %/мм рт.ст. (чувствительность – 94,1%, специфичность – 100,0%, $AUC = 0,997$).

Выводы. Включение параметров продольной деформации и ПЖАС в исследование функции ПЖ повышает выявляемость его дисфункции при острой субмассивной/массивной ТЭЛА.

Ключевые слова: спекл-трекинг-эхокардиография; функция правого желудочка; тромбоэмболия легочной артерии; правожелудочково-артериальное сопряжение

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Кондрашова К.В., Рыбакова М.К., Митькова М.Д., Митьков В.В. Комплексная оценка функции правого желудочка при острой тромбоэмболии легочной артерии. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (3): 89–98. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1461>

Поступила в редакцию: 02.03.2024.

Принята к печати: 13.08.2024.

Опубликована online: 12.09.2024.



Comprehensive evaluation of right ventricular function in acute pulmonary embolism

© Ksenia V. Kondrashova^{1*}, Marina K. Rybakova², Mina D. Mitkova², Vladimir V. Mitkov²

¹ Kaluga Regional Clinical Hospital; 1, Vishnevsky str., Kaluga 248007, Russian Federation

² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 2/1-1, Barrikadnaya str., Moscow 125993, Russian Federation

Objective. Assessment of right ventricle (RV) systolic function and right ventricular-arterial coupling (RVAC) parameters during transthoracic echocardiography in patients with acute submassive/massive pulmonary embolism.

Material and methods. 34 patients with acute submassive/massive pulmonary embolism were examined. The diagnosis was made on the basis of CT pulmonary angiography. The mean age of the patients was 61 ± 13 years ($M \pm SD$). Of these, 16 (47.1%) were women, 18 (52.9%) were men. 30 healthy adults were examined as a control group: 16 (53.3%) women, 14 (46.7%) men. The average age of healthy individuals was 39 ± 10 years. Transthoracic echocardiography was performed on the Vivid E95 ultrasound system (GE HealthCare, USA) with data post-processing on the EchoPak workstation. We studied standard parameters of RV systolic function, as well as RV global longitudinal systolic strain (RVGLS) and RV longitudinal systolic free wall strain (RVFWLS) using two-dimensional speckle tracking echocardiography. In addition, various parameters of RVAC were determined, such as the ratios of TAPSE (tricuspid annular plane systolic excursion), RVFAC (fractional area change), RVGLS, and RVFWLS to pulmonary artery systolic pressure (PASP).

Results. In patients with acute submassive/massive pulmonary embolism, all measures of RV systolic function were significantly different from the control group (p 0.0011 to < 0.0001). At the same time, longitudinal strain parameters demonstrated better diagnostic accuracy compared to standard parameters of RV systolic function (AUC – 0.898–0.912 versus 0.738–0.849). There was also a significant decrease ($p < 0.0001$) in all RVAC parameters (TAPSE/PASP, RVFAC/PASP, RVGLS/PASP, RVFWLS/PASP) in patients with pulmonary embolism compared to the control group. The diagnostic accuracy of RVAC parameters (AUC – 0.991–0.997) was higher than all parameters of systolic function. The most diagnostic accuracy among RVAC parameters was demonstrated by RVGLS/PASP < 0.66 %/mmHg (sensitivity – 94.1%, specificity – 100.0%, AUC – 0.997).

Conclusions. Application of longitudinal strain and RVAC parameters in the RV function assessment increases the detection of its dysfunction in acute submassive/massive pulmonary embolism.

Keywords: speckle-tracking echocardiography; right ventricular function; pulmonary embolism; right ventricular-arterial coupling

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Kondrashova K.V., Rybakova M.K., Mitkova M.D., Mitkov V.V. Comprehensive evaluation of right ventricular function in acute pulmonary embolism. *Medical Visualization*. 2024; 28 (3): 89–98. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1461>

Received: 02.03.2024.

Accepted for publication: 13.08.2024.

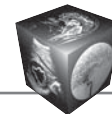
Published online: 12.09.2024.

Введение

В современной кардиологии большое внимание уделяется оценке функции правого желудочка (ПЖ). Особенно это важно у больных с нарушением функции ПЖ на фоне ургентной патологии, такой как субмассивная/массивная острая тромбоэмболия легочной артерии (ТЭЛА). Современные технологии в эхокардиографии (ЭхоКГ) позволяют быстро провести расчеты параметров функции ПЖ и правожелудочково-артериального сопряжения (ПЖАС) у этой категории больных, что играет существенную роль в тактике их ведения. Каждое новое исследование в этом направлении может представлять интерес.

Роль ПЖ заключается в упорядочивании различных объемов венозного возврата в относительно постоянный ударный объем, который выбрасывается в легочную циркуляцию [1]. В сокращение ПЖ важный вклад вносит сокращение левого желудочка (ЛЖ), от 20 до 40% ударного объема ПЖ и легочного потока происходят за счет ЛЖ. Нормальная функция ПЖ зависит от системного венозного возврата, нагрузки на правое предсердие (постнагрузки ПЖ), податливости перикарда, собственной сократимости свободной стенки ПЖ и сократимости межжелудочковой перегородки [2].

Постнагрузка является основным фактором, определяющим нормальную функцию ПЖ, а фрак-



ция выброса (ФВ) ПЖ обратно пропорциональна давлению в легочной артерии (ЛА). Резкое увеличение постнагрузки на ПЖ, например при острой ТЭЛА, может быстро уменьшить ударный объем ПЖ с минимальным компенсаторным увеличением систолического давления в ПЖ, что приводит к гемодинамическому коллапсу [3]. В ПЖ действуют два механизма регуляции: гетерометрический и гомеометрический. Гетерометрическая регуляция основана на механизме Франка–Старлинга и предполагает увеличение ударного объема в ответ на увеличение конечного систолического объема [3]. Гомеометрическая авторегуляция предполагает, что за счет усиления сократимости ПЖ адаптируется к нагрузке, что позволяет поддерживать сердечный выброс [4].

Острая ТЭЛА – типичный пример перегрузки ПЖ давлением, и влияние перегрузки на регионарную и глобальную функцию ПЖ является предметом изучения [5]. На начальных этапах легочной гипертензии ПЖ адаптируется к увеличению постнагрузки путем увеличения сократительной способности и незначительного расширения полости, а при прогрессировании процесса способность его к адаптации снижается, вследствие чего сократимость снижается, и дилатация полости прогрессирует [6]. При ТЭЛА систолическое давление в ЛА (СДЛА) повышается только при окклюзии 30–50% [6, 7]. Дисфункция ПЖ, определяемая как быстро прогрессирующий синдром с системным застоем в результате нарушения наполнения ПЖ и/или снижения ударного объема ПЖ, является критическим фактором, определяющим клиническую тяжесть и исход при острой ТЭЛА [6].

Особое внимание исследователи уделяют комплексной оценке взаимосвязи ПЖ с малым кругом кровообращения [8–10]. Одним из первых описанных и наиболее валидированных способов оценки ПЖАС при трансторакальной ЭхоКГ является отношение величины амплитуды движения латеральной части фиброзного кольца трикуспидального клапана (tricuspid annular plane systolic excursion – TAPSE) к СДЛА [10]. Другие предложенные показатели ПЖАС были сформированы путем замены TAPSE различными ЭхоКГ-показателями сократимости ПЖ, в том числе показателями продольной деформации ПЖ [11].

ПЖАС позволяет определить, насколько адекватно компенсируется функция ПЖ при определенных условиях нагрузки. В стадии компенсации с увеличением постнагрузки сократительная функция ПЖ увеличивается для поддержания стабильности ПЖАС. При декомпенсации сократимость ПЖ не повышается относительно постнагрузки, что приводит к снижению сопряжения ПЖ

и системы ЛА. F. Ferrara и соавт. [9] отметили, что величина TAPSE с возрастом не меняется, но отношение TAPSE/СДЛА – достоверно снижается. У большой группы пациентов после транскатетерной пластики трикуспидального клапана ($n = 444$) соотношение TAPSE/СДЛА $>0,406$ мм/мм рт.ст. было связано со снижением риска смертности от всех причин (отношение риска (hazard ratio – HR) – 0,57, 95% доверительный интервал (ДИ) – 0,35–0,93, $p = 0,023$) [12].

Функцию ПЖ рутинно оценивают по следующим параметрам: индекс миокардиальной производительности (right-sided index of myocardial performance – RIMP), измеренный в режиме импульсноволновой доплерографии или режиме тканевой импульсноволновой доплерографии; TAPSE; фракционное изменение площади (ФИП) ПЖ; скорость движения латеральной части фиброзного кольца трикуспидального клапана в режиме тканевой импульсноволновой доплерографии (скорость пика s') и ФВ ПЖ [13]. Но оценка работы ПЖ с помощью стандартной ЭхоКГ является сложной задачей. Например, основные ограничения TAPSE заключаются в том, что этот показатель зависит от угла наклона и измеряет смещение лишь одного сегмента свободной стенки ПЖ. Кроме того, TAPSE не учитывает радиальное и переднезаднее сокращение и, следовательно, не отражает глобальную систолическую функцию ПЖ. ФИП ПЖ отражает как продольное, так и радиальное укорочение ПЖ, но при этом пренебрегает сокращением выводного тракта, а RIMP ненадежен у пациентов с повышенным давлением в правом предсердии и не корректен при нарушениях ритма [14].

Оценка продольной деформации позволяет повысить точность функционального анализа ПЖ и выявить его дисфункцию на стадии, предшествующей снижению ФВ [15]. Спекл-трекинг-ЭхоКГ для ПЖ используется для стратификации прогноза и решения вопросов ведения пациентов с легочной артериальной гипертензией, ТЭЛА, острыми коронарными синдромами, левожелудочковой недостаточностью, аритмогенной кардиомиопатией и врожденными пороками сердца [16]. Роль ЭхоКГ при острой ТЭЛА остается не до конца определенной. Существует ряд новых методов лечения ТЭЛА, включая тромболизис, эндоваскулярные методы и хирургическое вмешательство, поэтому ранняя и точная диагностика ТЭЛА имеет решающее значение [17, 18]. ЭхоКГ не рекомендована для рутинного применения при стабильном состоянии пациента, так как не может диагностировать острую ТЭЛА и не предсказывает лучший прогноз у пациентов с острой ТЭЛА низкого



риска, у которых отсутствуют другие клинические признаки дисфункции ПЖ. Однако ЭхоКГ может дать дополнительную прогностическую информацию у пациентов с более высоким риском [19].

Цель исследования: оценка значения показателей систолической функции ПЖ и ПЖАС у пациентов с острой субмассивной/массивной ТЭЛА.

Материал и методы

Обследовано 34 пациента (16 (47,1%) женщин, 18 (52,9%) мужчин) с острой субмассивной/массивной ТЭЛА, подтвержденной данными КТ-ангиопульмонографии с болюсным внутривенным контрастированием, которые получали лечение в условиях Регионального сосудистого центра ГБУЗ КО «Калужская областная клиническая больница» с декабря 2022 г. по декабрь 2023 г. Критерии включения пациентов в группу с острой субмассивной/массивной ТЭЛА (группа ТЭЛА): 1) возраст старше 18 лет, 2) верификация субмассивной/массивной ТЭЛА по данным КТ-ангиопульмонографии с болюсным внутривенным контрастированием, 3) информированное согласие на участие в исследовании. Критериями исключения из группы ТЭЛА являлись: острый инфаркт миокарда; ТЭЛА мелких ветвей; поражение трикуспидального клапана вследствие инфекционного эндокардита; протезирование трикуспидального клапана в анамнезе; сочетание хронической сердечной недостаточности и ТЭЛА; тяжелая сопутствующая патология (хроническая болезнь почек, стадия V; острое повреждение почек, стадия III), неудовлетворительное качество изображения, затрудняющее проведение и трактовку результатов ЭхоКГ. Средний возраст пациентов – 61 ± 13 лет ($M \pm SD$) (минимальное–максимальное значения (min–max) – 40–83 года). У 20 (58,8%) пациентов источником ТЭЛА являлись тромбозы глубоких вен нижних конечностей и подвздошных вен, выявленные при ультразвуковом исследовании. Среди пациентов с тромбозом глубоких вен у 2 (5,9%) пациентов при трансторакальной ЭхоКГ выявлены флотирующие образования в полости ПЖ, расцененные как тромбы. У 14 (41,2%) пациентов источник ТЭЛА не был выявлен.

В качестве контрольной группы обследовано 30 здоровых лиц (16 (53,3%) женщин, 14 (46,7%) мужчин). Критериями включения в контрольную группу являлись: 1) возраст старше 18 лет, 2) отсутствие анамнестических данных о болезнях системы кровообращения, 3) отсутствие жалоб со стороны сердечно-сосудистой системы, 4) нормальные данные ЭКГ покоя, 5) нормальный уровень артериального давления покоя. Средний возраст лиц контрольной группы 39 ± 10 (18–55) лет.

Трансторакальную ЭхоКГ выполняли на ультразвуковой системе экспертного класса Vivid E95 (GE Healthcare, США) с последующей обработкой полученных изображений на программном комплексе EchoPack. Все измерения проводились в соответствии с действующими рекомендациями [13, 19]. Систолическая функция ЛЖ оценивалась путем расчета ФВ ЛЖ биплановым способом [13]. Снижение сократительной способности ЛЖ отмечается при ФВ ЛЖ менее 52% у мужчин и менее 54% у женщин [13]. Для количественной оценки систолической функции ПЖ также использованы следующие абсолютные показатели: RIMP (в режиме тканевой импульсно-волновой доплерографии), TAPSE, ФИП ПЖ, скорость пика s' . Снижение систолической функции ПЖ характеризуется увеличением RIMP $>0,54$ [13], снижением TAPSE <17 мм [13], снижением ФИП ПЖ $<35\%$ [13], снижением скорости пика $s' <9,5$ см/с [19].

Для оценки продольной деформации ПЖ в режиме спекл-трекинг-ЭхоКГ использовали апикальный четырехкамерный доступ с ориентацией на ПЖ, оценивали глобальную продольную систолическую деформацию (ГПСД) ПЖ и продольную систолическую деформацию свободной стенки (ПСД СС) ПЖ (см. рисунок). Для анализа были использованы модули абсолютных значений (при описании статистических характеристик и проведении сравнений и ROC-анализа). Пороговое значение для ПСД СС ПЖ составляет $<20\%$ [13]; для ГПСД ПЖ значения $<15,5\%$ считаются ненормальными, значения от 15,5 до 17,3% – пограничными, значения $>17,4\%$ – нормальными [20].

ПЖАС при стандартной ЭхоКГ определяли как отношения TAPSE к СДЛА и ФИП ПЖ к СДЛА. СДЛА оценивали с помощью непрерывноволновой доплерографии потока трикуспидальной регургитации по модифицированному уравнению Бернулли: $СДЛА = 4V^2 + RA \text{ pressure}$, где V – пиковая скорость трикуспидальной регургитации, RA pressure – давление в ПП. Давление в правом предсердии (ПП) рассчитано путем измерения диаметра нижней полой вены и его изменения в зависимости от фаз дыхания [19]. Нормативные значения TAPSE/СДЛА находятся в пределах 0,8–1,8 мм/мм рт.ст. [8, 9]. Также ПЖАС оценивали при спекл-трекинг-ЭхоКГ, используя отношения ГПСД ПЖ к СДЛА и ПСД СС ПЖ к СДЛА.

Статистическую обработку проводили с использованием пакета программ MedCalc (версия 22.005-64bit) (MedCalc Software Ltd., Бельгия). После проверки количественных данных на нормальность распределения ввиду разнородности полученных результатов (например, одни и те же показатели в контрольной группе и группе ТЭЛА

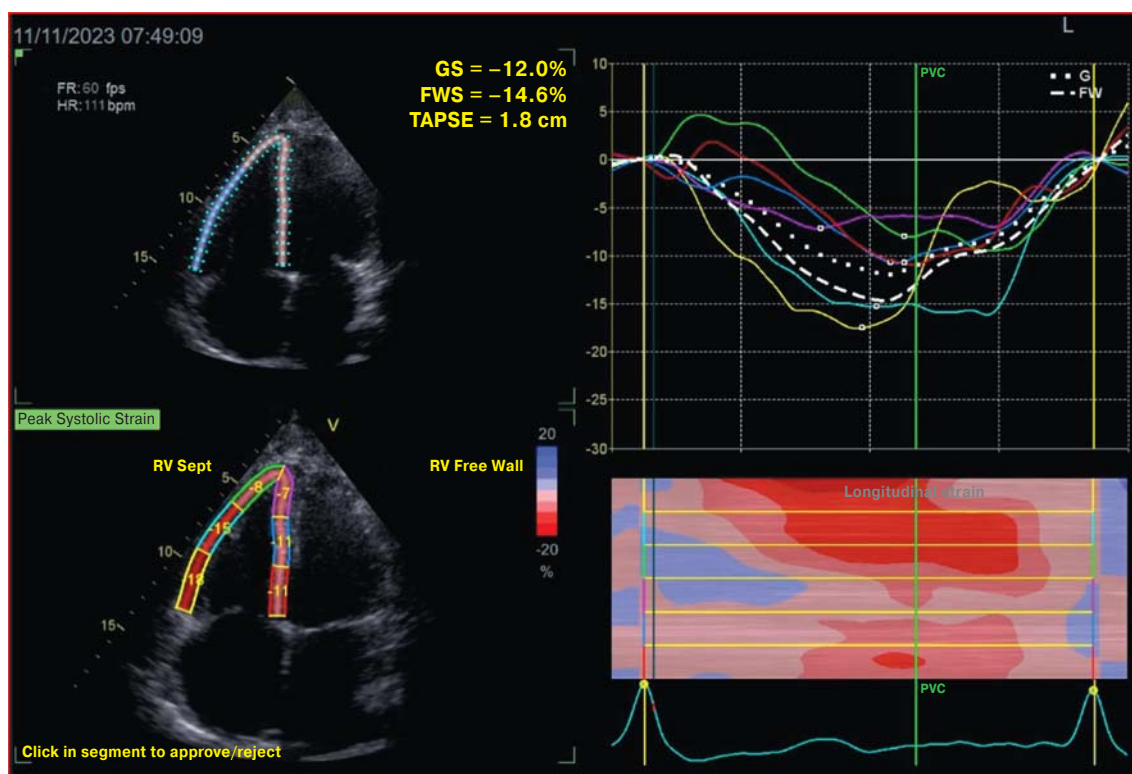
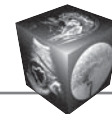


Рисунок. Оценка продольной деформации ПЖ.
Figure. Assessment of right ventricle strain.

характеризовались различным распределением) было принято решение представлять все количественные параметры в виде медианы, 25–75-го перцентилей (интерквартильный размах), среднего значения и стандартного отклонения ($M \pm SD$), а также min–max. Достоверность различий между группами оценивали с помощью непараметрического критерия Манна–Уитни. Различия считали достоверными при $p < 0,05$. Также в процессе работы использовали ROC-анализ с представлением пороговых значений, чувствительности и специфичности предлагаемых тестов, а также площади под кривой (area under the curve – AUC) с 95% ДИ.

Результаты

В контрольной группе показатели систолической функции ЛЖ были в пределах нормативных значений. В группе пациентов ТЭЛА снижение ФВ ЛЖ (47%) отмечено только у одного пациента с хронической фибрилляцией предсердий. Несмотря на это, при сравнении значений ФВ ЛЖ в контрольной группе и группе ТЭЛА определялись статистически достоверные различия (табл. 1).

Результаты оценки систолической функции ПЖ у исследуемых пациентов представлены в табл. 2. При сравнении всех параметров в двух группах

определялись статистически достоверные различия. Более детальный анализ показал, что в контрольной группе значения TAPSE, ФИП ПЖ, скорости пика s' , ГПСД ПЖ и ПСД СС ПЖ соответствовали опубликованным нормативным [14, 20]. Однако у 12 лиц контрольной группы (40,0%) значения RIMP оказались $>0,54$.

У пациентов в группе ТЭЛА значения ФИП ПЖ $<35\%$ отмечены только у 10 (29,4%) пациентов, скорости пика $s' <9,5$ см/с – у 8 (23,5%), TAPSE <17 мм – у 10 (29,4%), RIMP $>0,54$ – у 24 (70,6%) пациентов. Нарушение продольной деформации наблюдалось у большей части пациентов с острой ТЭЛА: снижение ПСД СС ПЖ $<20\%$ – у 17 (50,0%) пациентов, ГПСД ПЖ $<17,4\%$ – у 18 (52,9%) пациентов.

Результаты количественной оценки ПЖАС в исследуемых группах представлены в табл. 3. При сравнении всех параметров в двух группах определялись статистически достоверные различия. В контрольной группе значения TAPSE/СДЛА $<0,8$ мм/мм рт.ст. были у 5 (14,7%) пациентов, в группе ТЭЛА – у 100,0%.

Результаты ROC-анализа представлены в табл. 4. Наиболее информативными признаками в оценке систолической дисфункции ПЖ у пациен-

**Таблица 1.** ФВ ЛЖ в контрольной группе и группе ТЭЛА**Table 1.** Left ventricular ejection fraction in controls and patients with acute submassive/massive pulmonary embolism

Показатель Parameter	Контрольная группа Controls (n = 30)	Группа ТЭЛА Pulmonary embolism (n = 34)	p
ФВ ЛЖ, %	65.5	60.5	0.0028
LVEF, %	64.0–68.0	58.0–65.0	
	65.1 ± 4.3	60.9 ± 5.5	
	55.0–72.0	47.0–70.0	

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3: количественные данные представлены в виде медианы (1-я строка ячейки), интерквартильного размаха (2-я строка ячейки), $M \pm SD$ (3-я строка ячейки) и min–max (4-я строка ячейки).

Note. Here and in tables 2, 3: values represent median (1st row), 25–75th percentiles (2nd row), mean $\pm$ SD (3rd row), and range (min–max) (4th row). LVEF, left ventricular ejection fraction.

Таблица 2. Показатели систолической функции ПЖ в контрольной группе и группе ТЭЛА**Table 2.** RV systolic function parameters in controls and patients with acute submassive/massive pulmonary embolism

Показатель Parameter	Контроль- ная группа Controls (n = 30)	Группа ТЭЛА Pulmonary embolism (n = 34)	p
RIMP	0.52 0.47–0.57 0.53 ± 0.11 0.37–0.91	0.64 0.53–1.05 0.80 ± 0.39 0.36–1.73	0.0011
TAPSE, мм TAPSE, mm	23.0 22.0–25.0 23.3 ± 2.4 19.0–30.0	19.5 16.0–21.0 18.6 ± 4.1 10.0–26.0	<0.0001
ФИП ПЖ, % RVFAC, %	50.0 45.0–54.0 50.1 ± 6.9 38.0–67.0	38.5 33.0–48.0 39.3 ± 10.3 17.0–55.0	<0.0001
Скорость пика s', см/с Pulsed tissue Doppler s wave, cm/sec	15.0 14.0–16.0 14.9 ± 2.3 10.0–22.0	13.0 10.0–14.0 12.0 ± 3.2 6.0–17.0	0.0004
ГПСД ПЖ, % RVGLS, %	23.5 21.9–26.4 24.0 ± 3.4 18.6–32.0	17.2 11.2–20.6 16.6 ± 4.7 8.3–23.7	<0.0001
ПСД СС ПЖ, % RVFWLS, %	25.1 22.6–30.2 26.5 ± 4.7 21.2–38.0	19.5 12.6–21.9 17.8 ± 5.8 8.6–29.7	<0.0001

Таблица 3. Показатели ПЖАС в контрольной группе и группе ТЭЛА**Table 3.** Right ventricular-arterial coupling parameters in controls and patients with acute submassive/massive pulmonary embolism

Показатель Parameter	Контроль- ная группа Controls (n = 30)	Группа ТЭЛА Pulmonary embolism (n = 34)	p
TAPSE/СДЛА, мм/мм рт.ст. TAPSE/PASP, mm/mm Hg	1.06 0.89–1.29 1.10 ± 0.29 0.63–1.65	0.35 0.27–0.54 0.40 ± 0.17 0.11–0.73	<0.0001
ФИП ПЖ/СДЛА, %/мм рт.ст. RVFAC/PASP, %/mm Hg	2.17 1.88–2.70 2.38 ± 0.74 1.32–4.42	0.74 0.50–1.22 0.86 ± 0.42 0.18–1.58	<0.0001
ГПСД ПЖ/СДЛА, %/мм рт.ст. RVGLS/PASP, %/mm Hg	1.03 0.87–1.32 1.14 ± 0.35 0.67–1.94	0.38 0.20–0.48 0.36 ± 0.18 0.08–0.78	<0.0001
ПСД СС ПЖ/СДЛА, %/мм рт.ст. RVFWLS/PASP, %/mm Hg	1.16 0.90–1.50 1.26 ± 0.40 0.71–2.21	0.40 0.20–0.50 0.39 ± 0.20 0.10–0.91	<0.0001



Таблица 4. Результаты ROC-анализа показателей систолической функции ПЖ и ПЖАС в оценке дисфункции ПЖ у пациентов с острой субмассивной/массивной ТЭЛА

Table 4. Receiver operating characteristic curve analysis of RV systolic function and right ventricular-arterial coupling parameters for RV dysfunction assessment in patients with acute submassive/massive pulmonary embolism

Показатели Parameters	Чувствительность, % Sensitivity, %	Специфичность, % Specificity, %	Пороговое значение Cut-off	AUC (95% ДИ) (95% CI)
RIMP	64.7	80.0	>0.57	0.738
	70.6	60.0	>0.54 [13]	(0.613–0.840)
TAPSE, мм	79.4	80.0	<21.0	0.849
TAPSE, mm	29.4	100.0	<17 [13]	(0.738–0.926)
ФИП ПЖ, %	52.9	96.7	<39.0	0.799
RVFAC, %	29.4	100	<35 [13]	(0.680–0.888)
Скорость пика s', см/с	61.8	76.7	<13.0	0.757
Pulsed tissue Doppler s wave, cm/sec	23.5	100.0	<9.5 [19]	(0.634–0.856)
ГПСД ПЖ, %	88.2	76.7	≤21.6	0.912
RVGLS, %	38.2	100.0	<15.5 [20]	(0.815–0.968)
	52.9	100.0	<17.4 [20]	
ПСД СС ПЖ, %	67.6	100.0	≤21.1	0.898
RVFWLS, %	50.0	100.0	<20.0 [13]	(0.796–0.959)
TAPSE/СДЛА, мм/мм рт.ст.	97.1	96.7	<0.71	0.995
TAPSE/PASP, mm/mm Hg	100.0	85.3	<0.8 [8. 9]	(0.934–1.000)
ФИП ПЖ/СДЛА, %/мм рт.ст.	97.1	96.7	<1.40	0.994
RVFAC/PASP, %/mm Hg				(0.932–1.000)
ГПСД ПЖ/СДЛА, %/мм рт.ст.	97.1	100.0	<0.66	0.997
RVGLS/PASP, %/mm Hg				(0.938–1.000)
ПСД СС ПЖ/СДЛА, %/мм рт.ст.	94.1	100.0	<0.65	0.991
RVFWLS/PASP, %/mm Hg				(0.928–1.000)

Примечание. Жирным шрифтом выделены наиболее информативные показатели.

Note. Bold data indicates parameters with the most diagnostic accuracy. RV – right ventricle; AUC – area under the curve; CI – confidence interval; RIMP – RV index of myocardial performance; TAPSE – tricuspid annular plane systolic excursion; RVFAC – RV fractional area change; RVGLS – RV global longitudinal strain; RVFWLS – RV free wall longitudinal strain; RASP – pulmonary artery systolic pressure.

тов с острой ТЭЛА оказались все изучаемые параметры ПЖАС (ГПСД ПЖ/СДЛА, TAPSE/СДЛА, ФИП ПЖ/СДЛА, ПСД СС ПЖ/СДЛА). Практически сопоставимы с ними по информативности параметры продольной деформации (ГПСД ПЖ, ПСД СС ПЖ).

Обсуждение

Трансторакальная ЭхоКГ является наиболее доступным и воспроизводимым методом оценки функции ПЖ. Несмотря на то что ЭхоКГ не является прямым методом визуализации ТЭЛА, она позволяет неинвазивно оценить функцию ПЖ. При нормальном сопряжении между ПЖ и ЛА сократимость ПЖ и величина сосудистого сопротивления

в малом круге кровообращения согласованы друг с другом [8]. В нашем исследовании показано, что расширение спектра показателей систолической функции ПЖ при помощи спекл-трекинг-ЭхоКГ и показателей ПЖАС может способствовать своевременному выявлению дисфункции ПЖ у пациентов с острой ТЭЛА, что важно при выборе стратегии лечения и последующем мониторинге этой группы пациентов.

Полученные нами значения ГПСД ПЖ и ПСД СС ПЖ у здоровых лиц были сопоставимы с данными предыдущих исследований [13, 20]. У пациентов с ТЭЛА отмечено достоверное снижение этих показателей ($p < 0,0001$) (см. табл. 2). Но достовер-



ные различия между изучаемыми группами были получены и для стандартных показателей систолической функции ПЖ. Однако проведенный далее ROC-анализ выявил большую информативность тестов спекл-трекинг-ЭхоКГ по сравнению со стандартными тестами (см. табл. 4).

Наиболее часто применяющимся и изученным показателем ПЖАС является TAPSE/СДЛА. Мы сравнили данные метаанализа (здоровые лица), проведенного F. Ferrara и соавт. [9], с полученными нами значениями показателя TAPSE/СДЛА в контрольной группе. В нашем исследовании среднее значение TAPSE/СДЛА у здоровых лиц составило $1,10 \pm 0,29$ мм/мм рт.ст. ($0,63$ – $1,65$ мм/мм рт.ст.), в исследовании [9] – $1,2 \pm 0,4$ мм/мм рт.ст. ($0,5$ – $3,3$ мм/мм рт.ст.). Средний возраст лиц контрольной группы в нашем исследовании был 39 ± 10 (18–55) лет, в работе [9] – $45,4 \pm 15,6$ (16–92) года. Интересно, что в возрастных подгруппах значения TAPSE/СДЛА достоверно различаются ($p < 0,0001$) [9]: средние значения в группе лиц 16–29 лет – $1,28 \pm 0,4$ мм/мм рт.ст., в группе 30–39 лет – $1,30 \pm 0,5$ мм/мм рт.ст., в группе 40–49 лет – $1,26 \pm 0,5$ мм/мм рт.ст., в группе 50–59 лет – $1,24 \pm 0,5$ мм/мм рт.ст., в группе 60–92 года – $1,11 \pm 0,3$ мм/мм рт.ст. Также в метаанализе [9] были получены и достоверные различия значений TAPSE/СДЛА ($p < 0,0001$) между лицами мужского и женского пола: $1,3 \pm 0,51$ и $1,1 \pm 0,3$ мм/мм рт.ст. соответственно.

Помимо TAPSE/СДЛА, в изучаемых группах нами определялись и другие показатели ПЖАС, такие как ФИП ПЖ/СДЛА, ГПСД/СДЛА и ПСД СС ПЖ/СДЛА (см. табл. 3). При сравнении значений показателей ПЖАС в контрольной группе и группе ТЭЛА были получены достоверные различия ($p < 0,0001$) по всем четырем показателям (см. табл. 3). По данным ROC-анализа тесты, связанные с показателями ПЖАС, оказались наиболее информативными (AUC выше не только при сравнении с тестами, связанными со стандартными показателями, но и показателями спекл-трекинг-ЭхоКГ) (см. табл. 4).

В проведенном исследовании показано, что применение показателей продольной деформации ПЖ и показателей ПЖАС повышает точность диагностики дисфункции ПЖ при острой субмассивной/массивной ТЭЛА. Среди наиболее информативных тестов, помимо TAPSE/СДЛА, есть менее принятые в практике показатели ПЖАС, такие как ГПСД ПЖ/СДЛА, ФИП ПЖ/СДЛА и ПСД ПЖ/СДЛА. Учитывая небольшую выборку пациентов, целесообразно продолжить исследование в этом направлении.

Выводы

1. У пациентов контрольной группы и пациентов с острой субмассивной/массивной ТЭЛА все показатели, характеризующие систолическую функцию и ПЖАС, достоверно различаются (p от $0,0011$ до $<0,0001$).

2. Наибольшую информативность продемонстрировали показатели ПЖАС (AUC – $0,991$ – $0,997$), наименьшую – стандартные показатели систолической функции (AUC – $0,738$ – $0,849$). Показатели спекл-трекинг-ЭхоКГ по информативности следуют за показателями ПЖАС (AUC – $0,898$ – $0,912$).

3. Наиболее информативный тест для диагностики систолической дисфункции ПЖ при острой субмассивной/массивной ТЭЛА – ГПСД ПЖ/СДЛА $<0,66\%$ /мм рт.ст. (чувствительность – $94,1\%$, специфичность – $100,0\%$, AUC – $0,997$).

4. Показатели продольной деформации ПЖ и ПЖАС повышают выявляемость дисфункции ПЖ при острой субмассивной/массивной ТЭЛА.

Участие авторов

Кондрашова К.В. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, участие в научном дизайне, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи.

Рыбакова М.К. – концепция и дизайн исследования, обзор публикаций по теме статьи, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Митькова М.Д. – сбор и обработка данных, статистическая обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Митьков В.В. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Kondrashova K.V. – concept and design of the study, conducting research, collection and analysis of data, review of publications, analysis and interpretation of the obtained



data, написание текста, participation in scientific design, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Rybakova M.K. – concept and design of the study, review of publications, analysis and interpretation of the obtained data, text preparation and editing, participation in scientific design, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Mitkova M.D. – collection and analysis of data, review of publications, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, text preparation and editing, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Mitkov V.V. – concept and design of the study, collection and analysis of data, review of publications, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, text preparation and editing, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. Sanz J., Sánchez-Quintana D., Bossone E. et al. Anatomy, function, and dysfunction of the right ventricle: JACC state-of-the-art review. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2019; 73 (12): 1463–1482. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.12.076>
2. Lahm T., Douglas I.S., Archer S.L. et al.; American Thoracic Society Assembly on Pulmonary Circulation. Assessment of right ventricular function in the research setting: knowledge gaps and pathways forward. An Official American Thoracic Society Research Statement. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2018; 198 (4): e15–e43. <https://doi.org/10.1164/rccm.201806-1160st>
3. Thandavarayan R.A., Chitturi K.R., Guha A. Pathophysiology of acute and chronic right heart failure. *Cardiol. Clin.* 2020; 38 (2): 149–160. <https://doi.org/10.1016/j.ccl.2020.01.009>
4. Bellofiore A., Chesler N.C. Methods for measuring right ventricular function and hemodynamic coupling with the pulmonary vasculature. *Ann. Biomed. Eng.* 2013; 41 (7): 1384–1398. <https://doi.org/10.1007/s10439-013-0752-3>
5. Sugiura E., Dohi K., Onishi K. et al. Reversible right ventricular regional non-uniformity quantified by speckle-tracking strain imaging in patients with acute pulmonary thromboembolism. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2009; 22 (12): 1353–1359. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2009.09.005>
6. Konstantinides S.V., Meyer G., Becattini C. et al.; ESC Scientific Document Group. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of acute pulmonary embolism developed in collaboration with the European Respiratory Society (ERS). *Eur. Heart J.* 2020; 41 (4): 543–603. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz405>
7. Kasper W., Konstantinides S., Geibel A. et al. Prognostic significance of right ventricular afterload stress detected by echocardiography in patients with clinically suspected pulmonary embolism. *Heart.* 1997; 77 (4): 346–349. <https://doi.org/10.1136/hrt.77.4.346>
8. Нетьлько Ю.Э., Тетерина М.А., Писарюк А.С., Горева Л.А., Лукина О.И., Сафарова А.Ф., Мерай И., Кобалава Ж.Д. Прогностическое значение эхокардиографических параметров у пациентов с тромбоэмболией легочной артерии. *Клиническая фармакология и терапия.* 2021; 30 (3): 52–56. <https://doi.org/10.32756/0869-5490-2021-3-52-56>
9. Netylko J.E., Teterina M.A., Pisaryuk A.S. et al. Prognostic value of echocardiographic parameters in patients with pulmonary embolism. *Klinicheskaya farmakologiya i terapiya = Clin. Pharmacol. Ther.* 2021; 30 (3): 52–56. <https://doi.org/10.32756/0869-5490-2021-3-52-56> (In Russian)
10. Guazzi M., Bandera F., Pelissero G. et al. Tricuspid annular plane systolic excursion and pulmonary arterial systolic pressure relationship in heart failure: an index of right ventricular contractile function and prognosis. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2013; 305 (9): H1373–H1381. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00157.2013>
11. Ünlü S., Bézy S., Cvijic M. et al. Right ventricular strain related to pulmonary artery pressure predicts clinical outcome in patients with pulmonary arterial hypertension. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2023; 24 (5): 635–642. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeac136>
12. Brenner M.I., Lurz P., Hausleiter J. et al. Right ventricular-pulmonary arterial coupling and afterload reserve in patients undergoing transcatheter tricuspid valve repair. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2022; 79 (5): 448–461. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2021.11.031>
13. Lang R.M., Badano L.P., 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. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2015; 28 (1): 1–39. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2014.10.003>
14. Vijai A., Onciul S., Guzu C. et al. Forgotten no more – the role of right ventricular dysfunction in heart failure with reduced ejection fraction: an echocardiographic perspective. *Diagnostics (Basel).* 2021; 11 (3): 548. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11030548>
15. Grau C.R.P.C. The challenge of echocardiography in the accurate assessment of the right ventricle and pulmonary insufficiency. *Arq. Bras. Cardiol.* 2021; 117 (4): 699–700. <https://doi.org/10.36660/abc.20210744>
16. Badano L.P., Kolas T.J., Muraru D. et al.; Industry representatives; Reviewers: This document was reviewed by members of the 2016–2018 EACVI Scientific Documents Committee. Standardization of left atrial, right ventricular, and right atrial deformation imaging using two-dimensional speckle tracking echocardiography: a consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2018; 19 (6): 591–600. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeu042>
17. Trivedi S.J., Terluk A.D., Kritharides L. et al. Right ventricular speckle tracking strain echocardiography in patients with acute pulmonary embolism. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2020; 36 (5): 865–872. <https://doi.org/10.1007/s10554-020-01779-8>



18. Чазова И.Е., Мартынюк Т.В., Валиева З.С., Азизов В.А., Акчурин Р.С., Аншелес А.А., Васильцева О.Я., Веселова Т.Н., Галявич А.С., Горбачевский С.В., Данилов Н.М., Едемский А.Г., Зелвеян П.А., Лазарева И.В., Матчин Ю.Г., Мершин К.В., Мукаров М.А., Наконечников С.Н., Саидова М.А., Сарыбаев А.Ш., Сергиенко В.Б., Стукалова О.В., Филиппов Е.В., Чернявский А.М., Чернявский М.А., Шалаев С.В., Шмальц А.А. Евразийские рекомендации по диагностике и лечению хронической тромбоэмболической легочной гипертензии (2020). *Евразийский кардиологический журнал*. 2021; 1: 6–43. <https://doi.org/10.38109/2225-1685-2021-1-6-43>
Chazova I.E., Martynyuk T.V., Valieva Z.S. et al. Eurasian Guidelines for the diagnosis and treatment of chronic thromboembolic pulmonary hypertension (2020). *Eurasian Heart Journal*. 2021; 1: 6–43. <https://doi.org/10.38109/2225-1685-2021-1-6-43> (In Russian)
19. Rudski L.G., Lai W.W., Afilalo J. et al. Guidelines for the echocardiographic assessment of the right heart in adults: a report from the American Society of Echocardiography endorsed by the European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2010; 23 (7): 685–713. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2010.05.010>
20. Wang T.K.M., Grimm R.A., Rodriguez L.L. et al. Defining the reference range for right ventricular systolic strain by echocardiography in healthy subjects: a meta-analysis. *PLoS One*. 2021; 16 (8): e0256547. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256547>

Для корреспонденции*: Кондрашова Ксения Владимировна – e-mail: xenijasv@yandex.ru

Кондрашова Ксения Владимировна – врач ультразвуковой диагностики, заведующая отделением ультразвуковой диагностики регионального сосудистого центра ГБУЗ КО “Калужская областная клиническая больница”, Калуга. <https://orcid.org/0009-0000-4672-2779>

Рыбакова Марина Константиновна – доктор мед. наук, профессор кафедры ультразвуковой диагностики ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России, Москва.

Миткова Мина Даутовна – канд. мед. наук, доцент, доцент кафедры ультразвуковой диагностики ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-3870-6522>

Митков Владимир Вячеславович – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой ультразвуковой диагностики ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-1959-9618>

Contact*: Ksenia V. Kondrashova – e-mail: xenijasv@yandex.ru

Ksenia V. Kondrashova – MD, Head of Ultrasound Diagnostics Department, Regional Vascular Center, Kaluga Regional Clinical Hospital, Kaluga. <https://orcid.org/0009-0000-4672-2779>

Marina K. Rybakova – MD, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Diagnostic Ultrasound Division, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow.

Mina D. Mitkova – M.D., Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Diagnostic Ultrasound Division, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-3870-6522>

Vladimir V. Mitkov – MD, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Director, Diagnostic Ultrasound Division, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1959-9618>