

ЭХОКАРДИОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ТРИКУСПИДАЛЬНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ В ОПРЕДЕЛЕНИИ ТЯЖЕСТИ ТРОМБОЭМБОЛИИ ЛЕГОЧНОЙ АРТЕРИИ

Пронин А.Г.*, Сивохина Н.Ю., Гончаров М.А.
ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр
им. Н.И. Пирогова», Москва

DOI: 10.25881/20728255_2023_18_1_58

Резюме. Обоснование: необходимость разработки новых неинвазивных критериев перегрузки правых отделов сердца у больных тромбоэмболией легочной артерии.

Цель: разработать новые методы оценки регургитации крови на трикуспидальном клапане во время систолы правого желудочка, и оценить их возможности как критериев тяжести и прогнозов заболевания.

Методы: в исследование были включены 428 больных тромбоэмболией легочной артерии: 42 пациента со смертельным исходом, 244 пациента с наличием и 142 с отсутствием признаков перегрузки правых отделов сердца. Всем больным определена степень трикуспидальной регургитации и проведен анализ ее распространенности в сравниваемых группах, а также ее взаимосвязь с расширением нижней полой вены более 2 см и отсутствием ее коллабирования на вдохе на 50%. У каждого пациента определен объем трикуспидальной регургитации, и его соотношение с объемом правого предсердия и ударным объемом сердца, а также рассчитана работа сердца на трикуспидальном клапане, с установлением пороговых значений и их значимости.

Результаты: установлено, что использование степени трикуспидальной регургитации существенно менее информативно и наглядно, чем ее объема, расчет которых, предлагаемым способом, полностью сопоставим с патофизиологическими литературными данными. Значимыми пороговыми значениями, превышение которых ассоциировалось с проявлением гемодинамически значимой тромбоэмболии легочной артерии для отношения объема трикуспидальной регургитации к объему правого предсердия и к ударному объему сердца, а также для работы правого желудочка на трикуспидальном клапане являлись 0,6, 1 и 0,5, соответственно, эти же значения свидетельствовали и о возможном развитии неблагоприятного исхода заболевания.

Заключение: разработанные методы оценки более информативно и наглядно отражают выраженность перегрузки правых отделов сердца и ее компенсацию.

Ключевые слова: тромбоэмболия легочной артерии, перегрузка правых отделов сердца, эхокардиография, степень и объем трикуспидальной регургитации.

Обоснование

Трикуспидальный клапан является самым большим из клапанов сердца, на котором во время систолы у 90% людей общей популяции регистрируется обратный ток крови, как правило, не превышающий первую степень [1; 2]. Увеличение степени выраженности трикуспидальной регургитации у больных тромбоэмболией легочной артерии (ТЭЛА) в основном носит функциональный характер, обусловленный расширением правого желудочка вследствие его перегрузки давлением и объемом [3–5]. С возрастанием давления в правом желудочке и выраженности его расширения происходит увеличение объема регургитации в правое предсердие с последующим повышением нагрузки давлением и объемом полых вен [6; 7]. Вторая и более степень трикуспидальной регургитации, расширение полых вен и их коллабирование на вдохе на 50% и более, оцениваемые при эхокардиографии (ЭхоКГ),

ECHOCARDIOGRAPHIC ASSESSMENT OF THE DEGREE OF TRICUSPID INSUFFICIENCY IN DETERMINING THE SEVERITY OF PULMONARY EMBOLISM

Prinin A.G.*, Sivokhina N.Yu., Goncharov M.A.
Pirogov National Medical and Surgical Center, Moscow

Abstract. The need to develop new non-invasive criteria for overload of the right heart in patients with pulmonary embolism.

Aims: to develop new methods for assessing blood regurgitation on the tricuspid valve during systole of the right ventricle, and to evaluate their capabilities as criteria for the severity and prognosis of the disease.

Materials and methods: the study included 428 patients with pulmonary embolism: 42 patients with fatal outcome, 244 patients with presence and 142 with absence of signs of overload of the right heart. The degree of tricuspid regurgitation was determined in all patients and its prevalence in the compared groups was analyzed, as well as its relationship with the expansion of the inferior vena cava more than 2 cm and the absence of its collapse on inspiration by 50%. The volume of tricuspid regurgitation and its ratio to the volume of the right atrium and the volume of blood ejection per systole, as well as the calculation of the heart's work on the tricuspid valve, with the establishment of threshold values and their significance, are determined in each patient.

Results: It was found that the use of the degree of tricuspid regurgitation is significantly less informative and visual than its volume, the calculation of which, by the proposed method, is completely comparable with pathophysiological data. Significant threshold values, the excess of which was associated with the manifestation of hemodynamically significant pulmonary embolism for the ratio of tricuspid regurgitation volume to the volume of the right atrium and to the heart stroke volume, as well as for the work of the right ventricle on the tricuspid valve were 0.6, 1 and 0.5, respectively, the same values indicated the possible development of an unfavorable outcome of the disease.

Conclusions: the developed assessment methods more informatively and clearly reflect the severity of overload of the right parts of the heart and its compensation.

Keywords: pulmonary embolism, overload of the right heart, echocardiography, degree and volume of tricuspid regurgitation.

являются одними из показателей выраженности дисфункции правых отделов сердца [8–10]. К характерным признакам трикуспидальной регургитации относятся не полное смыкание створок трикуспидального клапана в систолу, реверсивный кровоток в полость правого предсердия, увеличение правого предсердия и желудочка. Степень регургитации оценивается по площади регургитирующей струи [11; 12].

Несмотря на то, что в последнее время с развитием визуализирующей техники все больше информативными становятся оценка трикуспидальной регургитации и создание на этом фоне новых диагностических и прогностических подходов, эта тема остается актуальной [13; 14].

Цель исследования

Разработать новые методы оценки регургитации крови на трикуспидальном клапане во время систолы

правого желудочка и оценить их возможности как критериев тяжести и прогнозов заболевания.

Материалы и методы

Проанализировано течение ТЭЛА у 428 пациентов, находившихся на стационарном лечении с 2010 по 2022 гг. В зависимости от исходов заболевания и выраженности клинической симптоматики, а также признаков перегрузки правых отделов сердца по данным ЭхоКГ, пациенты были распределены в три группы.

В первую группу вошли 42 пациента, у которых, несмотря на проводимую терапию, исходом заболевания стала смерть (ТЭЛА со смертельным исходом). Мужчин было 18 человек, женщин — 24. Возраст пациентов колебался от 34 до 92 лет, средний возраст составил $66,5 \pm 12,0$ лет. Распределение по проксимальному уровню наличия тромботических масс в ветвях легочных артерий было следующим: главные легочные артерии — 16,7%, доле- вые — 54,8%, сегментарные артерии — 28,5%.

Вторая группа представлена 244 больными, поступившими в стационар с признаками перегрузки правых отделов сердца и клиническими симптомами заболевания разной степени выраженности (ТЭЛА выраженная), которые на фоне терапии имела тенденцию к регрессированию. Возраст этих пациентов колебался в диапазоне от 23 до 95 лет, средний возраст составил $63,3 \pm 14,2$ лет. Мужчин было 131 человек, женщин — 113. Распределение по проксимальному уровню наличия тромботических масс в ветвях легочных артерий было следующим: главные легочные артерии — 19,7%, доле- вые — 53,7%, сегментарные артерии — 26,6%.

Третью группу составляли 142 пациента, в возрасте от 28 до 80 лет, в среднем $55,5 \pm 16,2$ лет, с мало- или асимптомным клиническим и лабораторно-инструментальным течением ТЭЛА (ТЭЛА асимптомная). У всех больных данной группы заболевание завершилось выздоровлением. Мужчин было 70 человек, женщин — 72. Распределение по проксимальному уровню наличия тромботических масс в ветвях легочных артерий было следующим: главные легочные артерии — 6,3%, доле- вые — 16,2%, сегментарные артерии — 77,5%.

Группы были сопоставимы по давности развития ТЭЛА и сопутствующим заболеваниям. Лечение больных осуществлялась согласно стратификации риска ранней смерти от ТЭЛА Европейского общества кардиологов.

Критериями включения пациентов в исследование были: возраст 18 лет и старше; наличие достоверно подтвержденной при помощи КТ- ангиопульмонографии ТЭЛА; выполнение в первые сутки при госпитализации общеклинических и биохимических исследований крови, с определением уровня плазменной концентрации тропонина и Д-димера, ЭКГ, ЭхоКГ, ультразвукового ангиосканирования вен нижних конечностей.

Критериями исключения пациентов из исследования были: смерть или выписка больного из стационара до проведения всех необходимых исследований в полном объеме.

На основании законов элементарной физики и физиологии был разработан метод расчета объема трикуспидальной регургитации ($V_{тр}$), при помощи формулы (1) объема жидкости протекающий через отверстие определенного диаметра под градиентом давления на разных его сторонах. Путем преобразования и приведения, используемых при расчетах величин, в единую систему СИ формула имела упрощенный вид (2) [15–17].

$$V_{тр} = \mu x S_{стк} \sqrt{\frac{2x \Delta P_{тк}}{\rho}} \quad (1);$$

$$V_{тр} = 0,48x dtk^2 \sqrt{(0,27x \Delta P_{тк})} \quad (2).$$

где: $V_{тр}$ — объем крови протекающий через отверстие трикуспидального клапана в систолу правого желудочка за одно его сокращение, в мл; μ — коэффициент сжатия струи, равный для малых отверстий 0,62; $\Delta P_{тк}$ — градиент давления на трикуспидальном клапане, определяемый при ЭхоКГ в мм рт. ст.; ρ — плотность крови, равная 1060 кг/м^3 ; S — площадь сечения потока крови через отверстие трикуспидального клапана в систолу правого желудочка.

Учитывая сложный геометрический вид трикуспидального клапана, определение площади потока далеко не всегда представляется возможным [18–20]. Однако, учитывая, что после прохождения отверстия сложной формы поток жидкости стремится приобрести цилиндрический вид, площадь его поперечного сечения определялась по формуле площади круга: $S_{стк} = 3,14x dtk^2/4$, где dtk — диаметр ширины сечения потока крови через отверстие трикуспидального клапана в систолу правого желудочка полученный при ЭхоКГ в мм (Рис. 1).

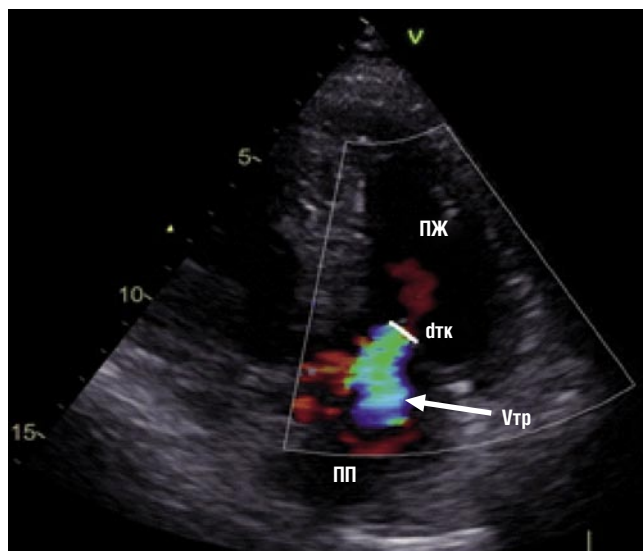


Рис. 1. Пример определения при ЭхоКГ диаметра тока крови через трикуспидальный клапан во время систолы желудочка с последующим расчетом объема трикуспидальной регургитации. ПЖ — правый желудочек, ПП — правое предсердие, dtk — диаметр ширины сечения потока крови через трикуспидальный клапан, $V_{тр}$ — объем трикуспидальной регургитации.

Проведена оценка полученных результатов расчета объема трикуспидальной регургитации, а так же его соотношение с объемом правого предсердия ($V_{тр}/V_{пп}$) и ударным объемом сердца ($V_{тр}/УО$) с установлением пороговых значений и их значимости при помощи методов описательной статистики с определением средних значений исследуемых показателей и корреляционного анализа.

Дополнительно проведен такой же анализ при определении работы сердца на трикуспидальном клапане по преодолению током крови его отверстия, которая согласно законам физики, после перевода в единые измерения системы СИ, а именно мм рт. ст. в Па и $см^3$ в $м^3$ определялась по формуле:

$$Атк = 133,3 \times V_{тр} \times 10^{-6} \times \Delta P_{тк}$$

где: Атк — работа на клапане легочной артерии, измеряемая в Джоулях (Дж); $V_{тр}$ — объем трикуспидальной регургитации, рассчитываемый по ранее приведенной формуле в мл; $\Delta P_{тк}$ — градиент давления на трикуспидальном клапане, определяемый при ЭхоКГ в мм рт. ст.;

Статистическая обработка результатов проводилась с использованием компьютерной программы «Statistica 10».

Результаты и обсуждение

Проведя анализ информативности используемой в настоящее время методики определения степени трикуспидальной регургитации, установлено, что ее повышение более чем второй степени слабо отражает тяжесть течения заболевания и умеренно ($r = 0,31$) коррелирует с наступлением смертельного исхода.

В нашем исследовании не установлено статистически достоверного превалирования какой-либо из степеней трикуспидальной регургитации у пациентов первой и второй групп (табл. 1). У больных третьей группы сравнение не проводилось так, как у этих пациентов согласно критериям распределения по группам нулевая степень трикуспидальной регургитации была у 73,2% пациентов, а у остальных 26,8% — первой.

Проведя сравнение распространенности и зависимости степени трикуспидальной регургитации с наличием расширения нижней полой вены более 2 см и отсутствием коллабирования ее на вдохе на 50% и более, было законо-

Табл. 1. Распространенность степени трикуспидальной регургитации в группах ТЭЛА с выраженной клинической картиной и смертельным исходом

Степень трикуспидальной регургитации	Группа больных		p
	ТЭЛА со смертельным исходом n = 42	ТЭЛА выраженная n = 244	
0 степень	21,4%	26,6%	0,48
1 степень	21,4%	30,3%	0,25
2 степень	38,1%	27,9%	0,18
3 степень	19,1%	15,2%	0,52

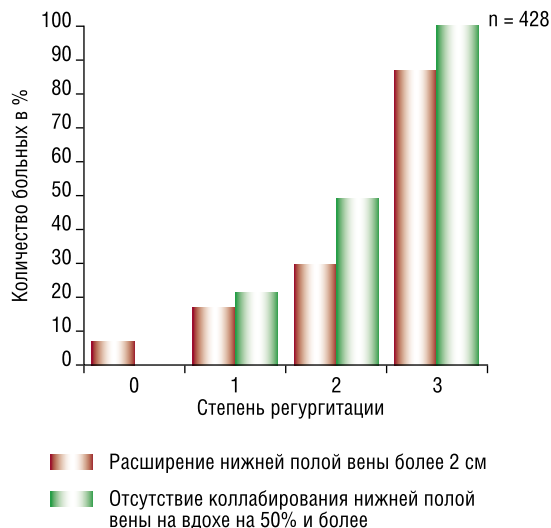


Рис. 2. Распространенность расширения нижней полой вены более 2 см и отсутствия ее коллабирования на вдохе на 50% и более у больных тромбоэмболией легочной артерии.

мерно установлено, что чем выше степень регургитации, тем более часто встречаются изменения в полых венах (Рис. 2). Однако не всегда эта взаимосвязь была значимой ($r = 0,46$), так же как и не всегда отсутствие коллабирования нижней полой вены на вдохе на 50% и более наблюдалось при расширении нижней полой вены более 2 см.

На фоне адекватной, по таким показателям как уменьшение объема тромботического поражения легочного русла, снижение легочной гипертензии, терапии степень трикуспидальной регургитации не редко оставалась неизменной, что затрудняет использование данного критерия для динамической оценки тяжести состояния.

Из всего этого можно сделать вывод, что определение именно степени не в полной мере отражает тяжесть состояния пациента и его динамику.

При сопоставлении ЭхоКГ результатов определения ширины поперечного сечения потока крови через отверстие трикуспидального клапана и степени трикуспидальной регургитации, закономерно установлена их взаимосвязь. Так при 0 степени трикуспидальной регургитации $d_{тк}$ был не более 4 мм, при 1 степени он колебался в диапазоне от 4 до 6 мм, при 2 — от 6 до 9 мм, а при 3 — превышал 9 мм. Закономерно, так же и то, что чем больше расширение диаметра поперечного сечения потока крови через отверстие трикуспидального клапана и выше давление в правом желудочке, тем больше объем трикуспидальной регургитации. Данный показатель у пациентов третьей группы, у которых не было легочной гипертензии, был не более 21 мл и в среднем составлял $19,64 \pm 1,82$ мл, что статистически значимо меньше ($p < 0,01$), чем в остальных группах сравнения. У больных второй группы он колебался от 24 до 210 мл, в среднем $64,7 \pm 39,7$ мл, первой — от 22 до 68 мл, в среднем $38,7 \pm 19,9$ мл (Рис. 3).

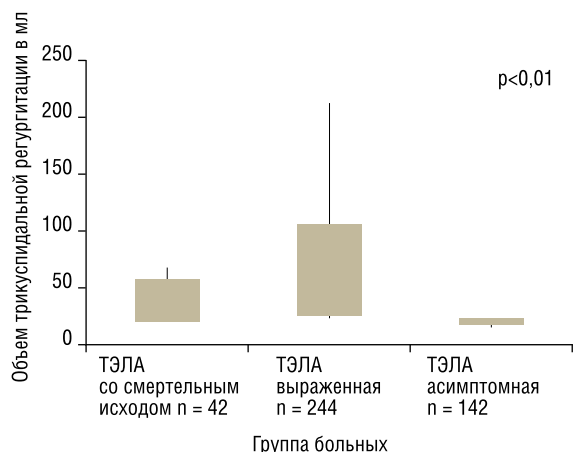


Рис. 3. Объем трикуспидальной регургитации у больных ТЭЛА в сравнимых группах.

Чем было больше полученное значение объема трикуспидальной регургитации, тем была более выражена правожелудочковая сердечная недостаточность. Так, при значениях объема трикуспидальной регургитации менее 30 мл, расширение нижней полой вены более 2 см и отсутствие ее коллабироваия на вдохе на 50% и более было у 12,6% и у 2,6% пациентов, соответственно. Наиболее значимым повышением объема трикуспидальной регургитации стали значения более 60 мл, при которых изменения при перегрузке объемом и давлением в полых венах регистрировались у 86,4% и 68,3% больных. При значениях от 30 до 60 мл данные показатели были у 29,4% и 19,6%, соответственно. Полученные результаты полностью совпадают с патофизиологическими общепринятыми данными.

При сравнении с другими клиническими, лабораторными и инструментальными характеристиками тяжести течения ТЭЛА значимой взаимосвязи установлено не было, что закономерно, так как данный параметр, так же как и определение степени трикуспидальной регургитации является косвенным. Однако, в отличие от степени, объем трикуспидальной регургитации — это числовая характеристика, при помощи которой можно более наглядно оценивать тяжесть правожелудочковой недостаточности, а так же ее динамику на фоне проводимого лечения.

Для увеличения информативности использования объема трикуспидальной регургитации был проведен анализ его отношения к объему правого предсердия. Установлено, что $V_{тр}/V_{пп}$ в первой группе колебался в диапазоне от 0,4 до 0,94, во второй от 0,39 до 2,9, а в третьей от 0,27 до 0,36. Как видно диапазон колебаний отличался только у больных третьей группы, где он был статистически значимо ниже ($p < 0,01$). Что подтверждается и сравнением средних значений данного показателя в группах сравнения, которые составляли $0,57 \pm 0,2$, $0,8 \pm 0,45$ и $0,36 \pm 0,07$, соответственно.

Таким образом, для соотношения объема трикуспидальной регургитации и объема правого предсердия в отсутствии патологических изменений являются значения не превышающее 0,36. При определении пороговых значимых значений установлено, что расширение нижней полой вены более 2 см и отсутствие коллабироваия ее на вдохе на 50% и более статистически достоверно начинает регистрироваться при $V_{тр}/V_{пп}$ более 0,55–0,6, в 77,1% и 63,9% случаев, соответственно. При значениях менее установленного порогового — у 13,8% и 2,9% пациентов, соответственно. Это подтверждено и корреляционным анализом, при котором установлена высокая зависимость исследуемого параметра с наличием расширения нижней полой вены более 2 см ($r = 0,76$) и коллабироваием ее на вдохе менее чем на 50% ($r = 0,70$). Так же установлено, что появление $V_{тр}/V_{пп}$ более 0,6 значимо ($r = 0,52$) коррелировало с повышением уровня плазменной концентрации тропонина и умеренно ($r = 0,44$) с появлением пре- и синкопальных состояний.

При оценке прогностической значимости отношения объемов трикуспидальной регургитации и правого предсердия, была установлена высокая корреляционная зависимость с развитием хронической тромбоэмболической легочной гипертензии, которая повышалась пропорционально повышению значений соотношения. Так при значениях 0,6 коэффициент корреляции был 0,68, а при значениях более 1 — 0,82.

Несмотря на то, что расчет $V_{тр}/V_{пп}$ является практически определением степени регургитации, которая основана на отношении площадей регургитирующей струи и правого предсердия, он более информативно отражает тяжесть заболевания.

Для определения нарушений нормальной внутрисердечной гемодинамики правого желудочка было определено приоритетное направление тока крови, в легочный ствол или правое предсердие, путем установления отношения объема трикуспидальной регургитации с ударным объемом сердца. У больных третьей группы, у которых внутрисердечная гемодинамика не была нарушена, этот показатель колебался в диапазоне от 0,24 до 0,47, а в среднем составлял $0,32 \pm 0,06$, что статистически достоверно меньше, чем у больных первой и второй группы ($p < 0,01$), у которых он был в одном диапазоне от 0,4 до 3,4, но в среднем составлял $1,5 \pm 0,08$ и $1,31 \pm 0,24$, соответственно ($p < 0,01$). При значениях данного показателя более 1 клиническая картина приобретала более яркий характер: у 100% при данном результате $V_{тр}/УО$ были дилатация правого предсердия, у 84,3% отсутствие коллабироваия нижней полой вены на вдохе на 50% и более, у 62,1% появлялся феномен SIQIII на ЭКГ, у 53,9% пре- и синкопальные состояния и тахикардия с частотой сокращения желудочков более 120 ударов в минуту. Это подтверждено при корреляционном анализе данного значения $V_{тр}/УО$ с теми же симптомами, при котором установлены следующие коэффициенты корреляции: $r = 0,94$, $r = 0,71$, $r = 0,51$, $r = 0,34$, $r = 0,32$. Также установле-

на корреляционная зависимость повышения отношения объема трикуспидальной регургитации с ударным объемом сердца более 1 с наличием высокого риска ранней смерти от ТЭЛА согласно критериям Европейского общества кардиологов ($r = 0,56$) и развитием хронической тромбоэмболической легочной гипертензии ($r = 0,62$).

Более выраженные распространенность клинических критериев тяжести заболевания при значениях V_{tr}/VO более 1,4. У этих больных у всех было отсутствие коллабироваия нижней полой вены на вдохе на 50% и более, а летальность составляла 64,2%.

Проведя анализ работы правого желудочка на трикуспидальном клапане, было установлено, что минимальной она была в контрольной группе где находилась в диапазоне от 0,05 Дж до 0,08 Дж, а в среднем составляла $0,06 \pm 0,01$ Дж ($p < 0,01$), во второй группе закономерно регистрировалась значительная вариабельность данного показателя, от 0,08 Дж до 2,3 Дж, в среднем $0,4 \pm 0,46$ Дж. В первой группе отмечались повышенные значения по сравнению с контрольной группой, от 0,18 Дж до 0,54 Дж, в среднем $0,23 \pm 0,1$ Дж. Установлено, что при значениях менее 0,12 Дж нет признаков перегрузки правого предсердия, что может свидетельствовать о компенсации деятельности правого желудочка.

При проведении анализа распространенности расширения нижней полой вены более 2 см в зависимости от уровня работы правого желудочка на трикуспидальном клапане было установлено, что этот признак максимально появляется при значениях более 0,3 Дж, в 85,2% случаев. Что подтверждается высокой корреляционной зависимостью ($r = 0,78$). При значениях работы правого желудочка на трикуспидальном клапане от 0,12 Дж до 0,3 Дж расширения нижней полой вены более 2 см встречается не более чем в 28,6%.

Значимой зависимости отсутствия коллабироваия нижней полой вены на вдохе на 50% и более от уровня работы правого желудочка на трикуспидальном клапане не было установлено.

Значимая корреляционная зависимость ($r = 0,53$) регистрировалась между значениями A_{tr} более 0,5 и развитием хронической тромбоэмболической легочной гипертензии.

Однако следует заметить, что в большей степени развитие хронической тромбоэмболической легочной гипертензии зависело от скорости и выраженности регрессирования проявлений правожелудочковой недостаточности, чем от исходной тяжести заболевания, в том числе определяемой при помощи всех предлагаемых параметров.

Выводы

В отличие от степени трикуспидальной регургитации, ее объем является числовым показателем, позволяющим более информативно и наглядно оценивать тяжесть и динамику правожелудочковой недостаточности. В норме объем трикуспидальной регургитации не был

больше 21 мл, а его значимым повышением являлось увеличение более 60 мл.

Аналогом степени трикуспидальной регургитации может служить отношения объема трикуспидальной регургитации к объему правого предсердия. В отсутствии патологических изменений оно было не выше 0,36. Увеличение значений более 0,6 коррелировало с появлением у больных повышения уровня плазменной концентрации тропонина, пре- и синкопальных состояний, а более 1 с развитием хронической тромбоэмболической легочной гипертензии.

При значениях работы правого желудочка на трикуспидальном клапане менее 0,12 Дж не было признаков перегрузки правого предсердия. Значимым являлось повышение более 0,3 Дж, а более 0,5 Дж — ассоциировалось с развитием хронической тромбоэмболической легочной гипертензией.

Нарушение внутрисердечной гемодинамики в правом желудочке возможно определять при помощи отношения объема трикуспидальной регургитации к ударному объему сердца, которое в норме не превышало 0,47. При значениях более 1 — коррелировало с клиническими и лабораторно-инструментальными критериями тяжести тромбоэмболии легочной артерии, а так же с вероятностью наступления смерти и развития хронической тромбоэмболической легочной гипертензии, которые еще больше увеличивались при значениях более 1,4.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов (The authors declare no conflict of interest).

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Комлев А.Е., Саидова М.А., Имаев Т.Э. Акчурин Р.С. Диагностика и транскатетерные методы лечения трикуспидальной регургитации // Кардиологический вестник. — 2022. — Т.17. — №2. — С.5-15. [Komlev AE, Saidova MA, Imaev TE, Akchurin RS. Diagnosis and transcatheter treatment of tricuspid regurgitation. Russian Cardiology Bulletin. 2022; 17(2): 5-15. (In Russ.)] doi: 10.17116/Cardiobulletin2022170215.
2. Hahn RT, Weckbach LT, Noack T, et al. Proposal for a standard echocardiographic tricuspid valve nomenclature. JACC: Cardiovascular Imaging. 2021; 14: 1299-1305. doi:10.1016/j.jcmg.2021.01.012.
3. Chorin E, Rozenbaum Z, Topilsky Y, et al. Tricuspid regurgitation and long-term outcomes. European Heart Journal: Cardiovascular Imaging. 2020; 21: 157-165. doi: 10.1093/ehjci/jez216.
4. Anvardeen K, Rao R, Hazra S, et al. Prevalence and significance of tricuspid regurgitation postendocardial lead placement. JACC: Cardiovascular Imaging. 2019; 12: 562-564. doi: 10.1016/j.jcmg.2018.07.009.
5. Praz F, Muraru D, Kreidel F, et al. Transcatheter treatment for tricuspid valve disease. Eurointervention. 2021; 17: 791-808. doi: 10.4244/EIJ-D-21-00695.
6. Кочмарева Е.А., Кокорин В.А., Волкова А.Л. и др. Предикторы краткосрочных осложнений тромбоэмболии легочной артерии высокого и промежуточного риска // Российский кардиологический журнал. — 2017. — №9. — С.7-12. [Kochmareva EA, Kokorin VA, Volkova AL, et al. Predictors of short term outcomes in high and moderate risk pulmonary thromboembolism. Russian Journal of Cardiology. 2017; 9: 7-12. (In Russ.)] doi: 10.15829/1560-4071-2017-9-7-12.
7. Баутин А.Е., Осовских В.В. Острая правожелудочковая недостаточность // Вестник анестезиологии и реаниматологии. — 2018. — Т.15. — №5. — С.74-86. [Bautin AE, Osovskikh VV. Acute right ventricular failure. Messenger of Anesthesiology and Resuscitation. 2018; 15 (5): 74-86. (In Russ.)] doi: 10.21292/2078-5658-2018-15-5-74-86.

8. Панченко Е.П., Балахонова Т.В., Данилов Н.М. и др. Диагностика и лечение тромбоза легочной артерии: клинические рекомендации Евразийской ассоциации кардиологов для практических врачей (2021) // Евразийский кардиологический журнал. — 2021. — №1 — С.44-77. [Panchenko EP, Balahonova TV, Danilov NM, et al. Diagnosis and Management of pulmonary embolism: Eurasian Association of Cardiology (EAC) Clinical Practice Guidelines (2021). Eurasian heart journal. 2021; 1: 44-77 (In Russ.)] doi:10.38109/2225-1685-2021-1-44-77.
9. Burgos LM, Scatularo CE, Cigalini IM, et al. The addition of echocardiographic parameters to PESI risk score improves mortality prediction in patients with acute pulmonary embolism: PESI-Echo score. Eur Heart J Acute Cardiovasc Care. 2021; 10(3): 250-257. doi: 10.1093/ehjacc/zaaa007.
10. Lahham S, Fox JC, Thompson M, et al. Tricuspid annular plane of systolic excursion to prognosticate acute pulmonary symptomatic embolism (TA-PSEAPSE study). J Ultrasound Med. 2019; 38(3): 695-702. doi:10.5811/westjem.2019.11.44968.
11. Kebed KY, Addetia K, Henry M, et al. Refining severe tricuspid regurgitation definition by echocardiography with a new outcomes-based «massive» grade. // Journal of the American Society of Echocardiography. 2020; 33: 1087-1094. doi:10.1016/j.echo.2020.05.007.
12. Peri Y, Sadeh B, Sherez C, et al. Quantitative assessment of effective regurgitant orifice: impact on risk stratification, and cut-off for severe and torrential tricuspid regurgitation grade. European Heart Journal: Cardiovascular Imaging. 2020; 21: 768-776. doi:10.1093/ehjci/jez267.
13. Fortuni F, Dietz MF, Prihadi EA, et al. Prognostic Implications of a novel algorithm to grade secondary tricuspid regurgitation. JACC: Cardiovascular Imaging. 2021; 14: 1085-1095. doi:10.1016/j.jcmg.2020.12.011.
14. Эрлих А.Д., Барбараш О.Л., Бернс С.А. и др. Шкала SIRENA для оценки риска госпитальной смерти у пациентов с острой лёгочной эмболией // Российский кардиологический журнал. — 2020 — Т.25. — №4S. — С.4231. [Erlikh AD, Barbarash OL, Berns SA, et al. SIRENA score for in-hospital mortality risk assessment in patients with acute pulmonary embolism. Russian Journal of Cardiology. 2020; 25(4S): 4231. (In Russ.)] doi: 10.15829/1560-4071-2020-4231.
15. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Том I. Механика. Учебное пособие для вузов. — М.: Физматлит, 2020. — 560 с. [Sivukhin DV. General course of physics. Volume I. Mechanics. Textbook for universities. Moscow: Fizmatlit, 2020. 560 p. (In Russ.)]
16. Шейпак А.А. Гидравлика и гидропневмопривод. Основы механики жидкости и газа — 6-е изд. — М.: ИНФРА-М, 2017. — 271 с. [Shapak AA. Hydraulics and hydraulic pneumatic drive. Fundamentals of fluid and Gas Mechanics. 6th ed. Moscow: INFRA-M; 2017. 271 p. (In Russ.)]
17. Евлахов В.И., Пуговкин А.П., Рудакова Т.Л., Шалковская Л.Н. Введение в физиологию сердца. — Санкт-Петербург: СпецЛит, 2019. — 311 с. [Yevlakhov VI, Pugovkin AP, Rudakova TL, Shalkovskaya LN. Introduction to the physiology of the heart. St. Petersburg: SpetsLit, 2019. 311 p. (In Russ.)]
18. Нетылько Ю.Э., Тетерина М.А., Писарюк А.С. и др. Прогностическое значение эхокардиографических параметров у пациентов с тромбозом легочной артерии // Клиническая фармакология и терапия. — 2021. — Т.30. — №3. — С.52-56. [Netylko J, Teterina M, Pisaryuk A, et al. Prognostic value of echocardiographic parameters in patients with pulmonary embolism. Klinicheskaya farmakologiya i terapiya. 2021; 30(3): 52-56. (In Russ.)] doi: 10.32756/0869-5490-2021-3-52-56.
19. Dahou A, Ong G, Hamid N, et al. Quantifying tricuspid regurgitation severity: a comparison of proximal isovelocity surface area and novel quantitative doppler methods. JACC: Cardiovascular Imaging. 2019; 12: 560-562. doi: 10.1016/j.echo.2020.05.007.
20. Lyhne MD, Kabrhel C, Giordano N, et al. The echocardiographic ratio tricuspid annular plane systolic excursion/pulmonary arterial systolic pressure predicts short-term adverse outcomes in acute pulmonary embolism. Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2021; 22(3): 285-294. doi: 10.1093/ehjci/jeaa243.