

НОВЫЕ ЭХОКАРДИОГРАФИЧЕСКИЕ ПРЕДИКТОРЫ СМЕРТЕЛЬНОГО ИСХОДА ТРОМБОЭМБОЛИИ ЛЕГОЧНОЙ АРТЕРИИ

Пронин А.Г.*, Сивохина Н.Ю., Жирова Л.Г.

ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр им. Н.И. Пирогова», Москва

DOI: 10.25881/20728255_2023_18_3_95

Резюме. Обоснование: Необходимость разработки новых более точных прогностических неинвазивных критериев тяжести и исходов тромбоза легочной артерии.

Цель: Установить прогностическую значимость в наступлении смертельного исхода у больных тромбозом легочной артерии для расчетных давления в легочной артерии, градиента давления и работы правого желудочка на клапане легочной артерии.

Методы: В исследование были включены 428 больных с тромбозом легочной артерии. У 42 пациентов, несмотря на проводимое лечение, наступила смерть. Остальные 386 больных были выписаны из стационара с улучшением состояния. У 244 из них тромбоз легочной артерии протекал с признаками перегрузки правых отделов сердца при эхокардиографии, а у 142 пациентов не было ни клинических, ни инструментальных проявлений. Проведен анализ распространенности и значимости разработанных расчетных прогностических критериев среди пациентов этих групп.

Результаты: Установлено, что чем ниже градиент давления на клапане легочной артерии, тем более выражено протекает заболевание, так как уменьшается объем выбрасываемой в легочный ствол крови. У больных со смертельным исходом данный показатель не превышал 10 мм рт. ст., а у больных с асимптомным течением тромбоза легочной артерии был более 20 мм рт. ст.

Определены референсные значения расчетного давления в легочной артерии — от 0 до 12 мм рт. ст. Повышение данного показателя, коррелировало с появлением симптомов заболевания, а при значениях более 45 мм рт. ст. было сопряжено со смертельным исходом.

Работа правого желудочка на клапане легочной артерии при асимптомном течении заболевания колебалась в диапазоне от 0,2 Дж до 0,3 Дж, а при ее снижении меньше 0,05 Дж отмечался смертельный исход у 100% пациентов.

Заключение: разработанные расчетные прогностические критерии информативно и наглядно отражают течение заболевания и вероятность наступления смертельного исхода.

Ключевые слова: тромбоз легочной артерии, давление в легочной артерии, эхокардиография, работа правого желудочка.

Обоснование

Эхокардиография (ЭхоКГ) является самым доступным и распространенным неинвазивным методом оценки наличия изменений морфологии и дисфункции правого желудочка у пациентов с тромбозом легочной артерии (ТЭЛА) [1; 2].

К ЭхоКГ критериям перегрузки объемом или давлением, дисфункции правого желудочка относятся: увеличение отношения конечно диастолического размера правого и левого желудочков в четырехкамерной позиции более 0,6, а для гемодинамически значимой ТЭЛА — более 0,9; дискинезия свободной стенки правого желудочка при сохраненной подвижности верхушки (признак McConell); систолическая экскурсия кольца трикуспидального клапана (TAPSE) менее 16 мм; наличие трикуспидальной регургитации 2 степени и больше; сочетание времени ускорения кровотока в выносящем тракте правого желудочка менее 60 мс с максимальным систолическим градиентом на трикуспидальном клапане менее 60 мм рт. ст. (признак “60/60”); расширение нижней полой вены более 20 мм со снижением ее коллабироваия при дыхании; повышение систолического давления в легочной артерии более 30 мм рт. ст. [3–7]. Наличие этих критериев у больных ТЭЛА сопряжено с 2–3 кратным увеличением вероятности неблагоприятных исходов, таких как наступление смерти и развитие хронической тромбозоэмболической легочной гипертензии [8; 9]. Поэтому эти параметры во многих шкалах, включенных в клинические рекомендации разных медицинских обществ, рассматриваются как предикторы неблагоприятных исходов у пациентов с ТЭЛА, [2; 10–12].

NEW ECHOCARDIOGRAPHIC PREDICTORS OF THE FATAL OUTCOME OF PULMONARY EMBOLISM

Prinin A.G.*, Sivokhina N.Y., Zhirova L.G.

Piragov National Medical and Surgical Center, Moscow

Abstract. The need to develop new more accurate prognostic non-invasive criteria for the severity and outcome of pulmonary embolism.

Aims: To establish the prognostic significance in the onset of death in patients with pulmonary embolism for the calculated pressure in the pulmonary artery, the pressure gradient and the work of the right ventricle on the pulmonary artery valve.

Materials and methods: The study included 428 patients with pulmonary embolism. 42, despite the treatment, died. The remaining 386 patients were discharged from the hospital with improvement. 244 of them had pulmonary embolism with signs of overload of the right heart during echocardiography, and 142 patients had neither clinical nor instrumental manifestations. Analysis of the prevalence and significance of the developed calculated prognostic criteria among patients of these groups was carried out.

Results: It was found that the lower the pressure gradient on the pulmonary artery valve, the more pronounced the disease is, since the volume of blood ejected into the pulmonary trunk decreases. In patients with fatal outcome, this indicator did not exceed 10 mm Hg, and in patients with asymptomatic pulmonary embolism was more than 20 mm Hg.

Reference values of the design pressure in the pulmonary artery were determined — from 0 to 12 mm Hg. An increase in this indicator correlated with the appearance of symptoms of the disease, and at values of more than 45 mm Hg, it was associated with a fatal outcome.

The work of the right ventricle on the pulmonary artery valve in the asymptomatic course of the disease ranged from 0,2 J to 0,3 J, and with its decrease less than 0,05 J, a fatal outcome was noted in 100% of patients.

Conclusions: The developed calculated prognostic criteria informatively and clearly reflect the course of the disease and the likelihood of a fatal outcome.

Keywords: Pulmonary embolism, pulmonary artery pressure, echocardiography, right ventricular function.

* e-mail: lek32@yandex.ru

Однако ЭхоКГ продолжает относиться к косвенным методам оценки тяжести и прогноза исхода заболевания из-за не высоких специфичности и чувствительности для большинства параметров, что обуславливает сохраняющийся интерес многих исследователей в поиске новых более значимых ЭхоКГ критериев [13–15]. В первую очередь это касается измерения давления в легочной артерии, так как существующий метод, основанный на определении скорости трикуспидальной регургитации с последующим, при помощи упрощенной формулы Бернули, расчетом «систолического давления в легочной артерии», путем прибавления к полученному результату условного давления в правом предсердии. На самом деле по данной формуле рассчитывается давление в правом желудочке, а не в легочной артерии, которое способно только косвенно отражать тяжесть течения ТЭЛА [16–19].

Установление более точного метода определения давления в легочной артерии может способствовать установлению более значимых предикторов тяжести и исхода ТЭЛА.

Цель исследования

Установить прогностическую значимость для наступления смертельного исхода у больных тромбозом легочной артерии расчетных давления в легочной артерии, градиента давления и работы правого желудочка на клапане легочной артерии.

Материалы и методы

Проанализировано течение заболеваний у 428 пациентов с ТЭЛА, находившихся на стационарном лечении с 2010 по 2022 г. 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 (42,9 %) человек, женщин — 24 (57,1 %). 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 легочной артерии было следующим: главные легочные артерии — 16,7%, долевые — 54,8%, сегментарные артерии — 28,5%.

Вторая группа представлена 244 больными, которые поступили в стационар с признаками перегрузки правых отделов сердца и клиническими симптомами разной степени выраженности (ТЭЛА выраженная). На фоне терапии у всех больных было отмечено клиническое и лабораторное улучшение состояния. По завершению лечения в стационаре все они были выписаны для дальнейшего амбулаторного лечения. Возраст 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 легочной артерии было следующим: главные легочные артерии — 19,7%, долевые — 53,7%, сегментарные артерии — 26,6%.

Третью группу составляли 142 пациента, у которых не было лабораторно-инструментальных критериев ТЭЛА, симптоматика была крайне скудная или вовсе отсутствовала, а заболевание было установлено как «диагностическая находка» (ТЭЛА асимптомная). У всех пациентов данной группы ТЭЛА не носила жизнеугрожающего характера, и не влияла на положительный исход лечения. Эта группа являлась контрольной для проверки гипотез. Возраст больных в данной группе был от 28 до 80 лет, средний возраст составил $55,5 \pm 16,2$ лет. Мужчин было 70 человек, женщин — 72. Распределение по проксимальному уровню наличия тромботических масс в ветвях легочной артерии было следующим: главные легочные артерии — 6,3%, долевые — 16,2%, сегментарные артерии — 77,5%.

Группы были сопоставимы по давности развития ТЭЛА, объему поражения легочного русла, сопутствующим заболеваниям, длительности терапии.

Всем больным в первые сутки госпитализации выполняли общеклинические и биохимические исследования крови, в том числе определение плазменных концентраций тропонина и Д-димера, электрокардиографию, ЭхоКГ, ультразвуковую доплерографию вен нижних конечностей. Окончательный диагноз ТЭЛА и объем поражения легочного русла устанавливался по результатам КТ-ангиопульмонографии. Перед выпиской из стационара эти же исследования выполнялись повторно.

Лечение этих пациентов осуществляли 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, тромбозом легочной артерии; выполнение всех вышеперечисленных, необходимых для верификации и оценки тяжести состояния лабораторных и инструментальных исследований.

Критериями исключения пациентов из исследования были: неполный объем лабораторных и инструментальных исследований, смерть или выписка пациента из стационара до проведения всех необходимых исследований в полном объеме.

На основании законов элементарной физики и физиологии были разработаны методы определения давления в легочной артерии, градиента давления и работы правого желудочка на клапане легочной артерии [17; 18; 20].

Определение градиента давления ($\Delta P_{\text{рл}}$) вычислялось согласно формуле объема жидкости протекающей через отверстие определенного диаметра под градиентом давления на разных сторонах отверстия:

$$V = \mu \times S \sqrt{\frac{2 \times \Delta P}{\rho}}$$

Где: V — объем крови вытекающий через отверстие за единицу времени, учитывая что по законам физиологии объем крови за одну систолу в аорту и легочный ствол одинаковы, то в данном случае использовался ударный объем сердца ($УО$); μ — коэффициент сжатия струи, равный для малых отверстий 0,62; S — площадь отверстия, через которое течет кровь, в данном случае площадь отверстия клапана легочной артерии; ΔP — градиент давления на клапане, в данном случае легочной артерии ($\Delta P_{\text{Ла}}$); ρ — плотность крови, равная 1060 кг/м^3 .

Учитывая что площадь отверстия равна $S = 3,14r^2$, где r — радиус потока крови через клапан легочной артерии и после приведения используемых при расчетах величин в единую систему СИ, а именно мл и мм в метры, а Паскали в мм рт. ст. — $\Delta P_{\text{Ла}}$ рассчитывалась как:

$$\Delta P_{\text{Ла}} = (УО^2 \times 10^3) / (7,6 \times r^4)$$

Где: $\Delta P_{\text{Ла}}$ — разность давления в правом желудочке и легочной артерии в мм рт. ст.; $УО$ — ударный объем сердца за одну систолу, значения вносились, полученные при ЭхоКГ в мл; r — радиус ширены потока крови на клапане легочной артерии, учитывался в полученных при ЭхоКГ значениях в мм.

Для расчета истинного давления в легочной артерии ($P_{\text{Ла}}$) использовалась формула:

$$P_{\text{Ла}} = P_{\text{Пж}} - \Delta P_{\text{Ла}},$$

Где: $P_{\text{Ла}}$ — расчетное давление в легочной артерии измеряемое в мм рт. ст.; $P_{\text{Пж}}$ — давление в правом желудочке, которое в настоящее время рассчитывается как «систолическое давление в легочной артерии» при ЭхоКГ в мм рт. ст.; $\Delta P_{\text{Ла}}$ — разность давления в правом желудочке и легочной артерии, который рассчитывался по установленной ранее формуле в мм рт. ст.;

Проведен расчет работы сердца на клапане легочной артерии, по преодолению током крови отверстия клапана легочной артерии, 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:

$$A_{\text{Ла}} = 133,3 \times УО \times 10^{-6} \times \Delta P_{\text{Ла}}$$

Где: $A_{\text{Ла}}$ — работа на клапане легочной артерии, измеряемая в Джоулях (Дж); $УО$ — ударный объем сердца, значения вносились, полученные при ЭхоКГ в миллилитрах; $\Delta P_{\text{Ла}}$ — расчетный градиент давления на клапане легочной артерии, который рассчитывался по установленной ранее формуле в мм рт. ст.

При помощи методов описательной статистики были определены средние значения исследуемых показателей, проведено их сравнение. При помощи корреляционного анализа, анализа отношения шансов, определения диагностических характеристик с построением ROC-кривых были установлены их прогностические значения для

исходов ТЭЛА. Проведено сравнение полученных результатов с широко используемыми ЭхоКГ критериями дисфункции правого желудочка. Статистическая обработка результатов проводилась с использованием компьютерной программы «Statistica 10».

Результаты и обсуждение

Произведя расчеты, было установлено, что $\Delta P_{\text{Ла}}$ в группе больных ТЭЛА со смертельным исходом колебалась в диапазоне от 4 до 8 мм рт. ст., в среднем $5,7 \pm 1,3$ мм рт. ст., что значительно ниже ($p < 0,01$) чем во второй и третьей группах, где этот показатель был от 12 до 40 мм рт. ст. и от 22 до 27 мм рт. ст., в среднем $22,3 \pm 11,2$ мм рт. ст. и $24,1 \pm 2,8$ мм рт. ст. соответственно (Рис. 1).

Из всех сравниваемых групп обращает на себя внимание наиболее широкий диапазон колебания уровня $\Delta P_{\text{Ла}}$ у пациентов второй группы, что сопряжено с высокой вариабельностью у этих пациентов клинических проявлений, лабораторных и инструментальных симптомов от едва значимых до тяжелых проявлений заболевания. Но ни у одного из этих пациентов, даже с нестабильной гемодинамикой не зарегистрировано снижение $\Delta P_{\text{Ла}}$ менее 12 мм рт. ст., что всегда наблюдалось у больных ТЭЛА со смертельным исходом заболевания. В подтверждение последнего установлена сильная корреляционная зависимость ($r = 0,91$) между снижением $\Delta P_{\text{Ла}}$ и гемодинамической не стабильностью пациента, а также смертельным исходом. Исходя из полученных данных можно утверждать, что чем ниже уровень установленного расчетного градиента давления на клапане легочной артерии, тем выше сопротивление току крови из правого желудочка, следовательно меньше выбрасывается крови в легочную артерию, а значит хуже прогноз выживаемости пациента.

Полученные расчетные значения давления в легочной артерии также свидетельствуют об этом. Установлено, что у пациентов в группе с асимптомной ТЭЛА $P_{\text{Ла}}$ колебался в диапазоне от 2 до 9 мм рт. ст., что соответствует физиологической норме давления в легочной артерии в момент начала систолы. Установлено, что степень его повышения коррелирует с выраженностью нестабильности состояния пациента (Рис. 2).

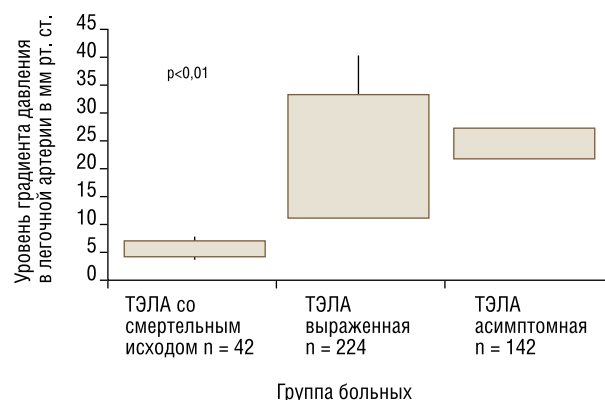


Рис. 1. Уровень расчетного градиента давления в легочной артерии у больных ТЭЛА в сравниваемых группах.

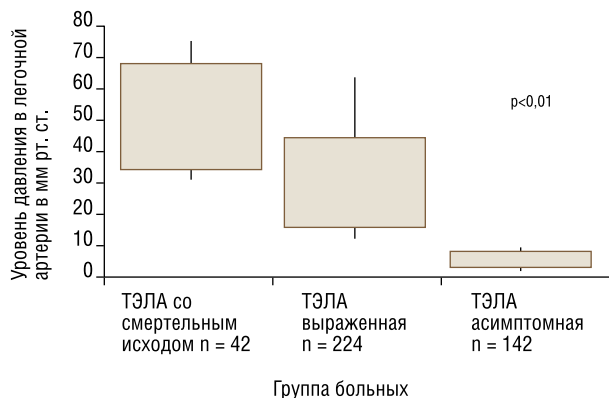


Рис. 2. Уровень расчетного давления в легочной артерии у больных ТЭЛА в сравниваемых группах.

Установлено, что у 63,2% пациентов при повышении расчетного давления в легочной артерии более от 25 мм рт. ст. было повышение уровня плазменной концентрации тропонина, у 84,4% больных при повышении данного показателя более 35 мм рт. ст. ТЭЛА была гемодинамически значимой, у 92,2% пациентов повышение расчетного давления в легочной артерии более 45 мм рт. ст. ассоциировалось со смертельным исходом. Эти суждения подтверждаются результатами корреляционного анализа, коэффициенты которого были $r = 0,75$, $r = 0,81$, $r = 0,90$ соответственно.

Проведя анализ работы правого желудочка не было установлено достоверных различий по данному показателю среди сравниваемых групп ($p > 0,05$). Но, рассчитав работу правого желудочка на клапане легочной артерии, было установлено, что у больных в группе со смертельным исходом она не превышала 0,04 Дж, а в 71% случаев была менее 0,02 Дж. что достоверно ниже ($p < 0,01$), чем в остальных группах сравнения (Рис. 3).

Что подтверждается и при помощи корреляционного анализа, при котором установлена сильная зависимость между снижением работы правого желудочка на клапане легочной артерии менее 0,05 Дж и смертельным исходом ($r = 0,96$).

Были оценены диагностические характеристики исследуемых расчетных показателей. Наиболее высокие они были для градиента давления на клапане легочной артерии и работы правого желудочка на клапане легочной артерии. Диагностическая чувствительность и специфичность этих критериев составила 100%, 98,7% и 97,6%, 98,7% соответственно (Табл. 1).

На основании полученных результатов построены ROC кривые для расчетного давления в легочной артерии, градиента давления и работы правого желудочка на клапане легочной артерии (Рис. 4).

При помощи анализа отношения шансов было установлено, что наиболее значимо повышает вероятность летального исхода снижение градиента давления на клапане легочной артерии менее 10 мм рт. ст. (ОШ 79,1; 95% ДИ 17,4–99,7; $p < 0,01$) и уменьшение работы правого

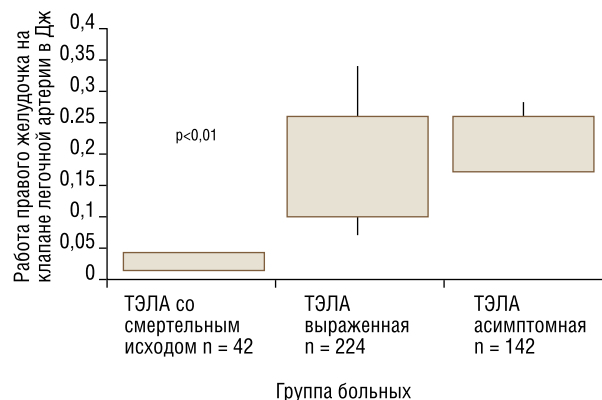


Рис. 3. Работа правого желудочка на клапане легочной артерии у больных ТЭЛА в сравниваемых группах.

Табл. 1. Диагностические характеристики исследуемых параметров

Параметр	Диагностическая характеристика	
	Чувствительность	Специфичность
Градиент давления на клапане легочной артерии	100%	98,7%
Расчетное давление в легочной артерии	66,7%	78,3%
Работа правого желудочка на клапане легочной артерии	97,6%	98,7%

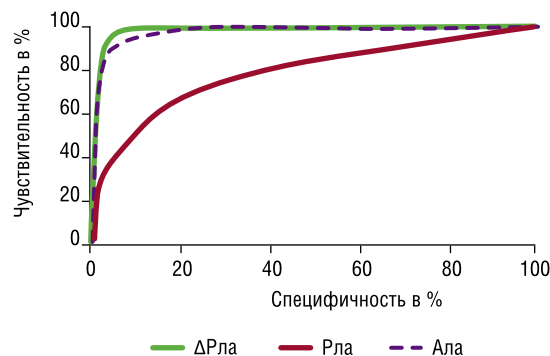


Рис. 4. ROC кривые для расчетного давления в легочной артерии, градиента давления и работы правого желудочка на клапане легочной артерии.

желудочка на клапане легочной артерии значительно менее 0,05 Дж (ОШ 71,4; 95% ДИ 10,6–78,7; $p < 0,01$), а также, в меньшей степени, повышение расчетного давления в легочной артерии (ОШ 29,6; 95% ДИ 12,1–48,7; $p = 0,03$)

Проведено сравнение исследуемых расчетных показателей и общепринятых, наиболее значимых, критериев ЭхоКГ по результатам корреляционного анализа и диагностическим характеристиками. Установлено, что по корреляционному анализу расчетные показатели разработанные нами превосходят общепринятые, где для наступления смертельного исхода наибольшие значения отмечались для увеличения отношения конечно диастолического размера правого и левого желудочков в четырехкамерной позиции более 0,9 ($r = 0,54$), уплощения и парадоксального

сокращения межжелудочковой перегородки ($r = 0,62$), дискинезии свободной стенки правого желудочка при сохраненной подвижности верхушки ($r = 0,72$), TAPSE менее 16 мм ($r = 0,72$). По диагностическим характеристикам так же установлено преимущество предлагаемых методов, по сравнению с широко распространенными, где наибольшие чувствительность и специфичность были у признака McConell, 72,1% и 70,3%, соответственно.

Выводы.

1. Чем ниже градиент давления на клапане легочной артерии, тем, закономерно, меньше разница давления на разных концах клапана легочной артерии, соответственно более тяжелое состояние пациента, так как уменьшается объем выбрасываемой в легочный ствол крови;
2. Установлены расчетные значения давления непосредственно в легочной артерии, которые сопоставимы с данными получаемыми при инвазивном определении;
3. Разработан новый, высоко информативный расчетный показатель перегрузки правого желудочка — работа правого желудочка на клапане легочной артерии.
4. Все представленные расчетные показатели обладают прогностической значимостью с высокими чувствительностью и специфичностью.

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

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Нетьлько Ю.Э, Тетерина М.А., Писарюк А.С. и др. Прогностическое значение эхокардиографических параметров у пациентов с тромбоэмболией 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.
2. Konstantinides SV, et al. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of acute pulmonary embolism developed in collaboration with the European Respiratory Society (ERS). The Task Force for the diagnosis and management of acute pulmonary embolism of the European Society of Cardiology (ESC). *European Heart Journal*. 2020; 41: 543-603. doi: 10.1093/eurheartj/ehz405.
3. Vecattini C, Agnelli G. Acute treatment of venous thromboembolism. *Blood*. 2020; 5: 305-316. doi: 10.1182/blood.2019001881.
4. Barco S, Mahmudpur SH, Plunketka B, et al. Prognostic value of right ventricular dysfunction or elevated cardiac biomarkers in patients with low-risk pulmonary embolism: a systematic review and meta-analysis. *Eur Heart J*. 2019; 11: 902-910. doi: 10.1093/eurheartj/ehy873.
5. Неклюдова Г.В., Науменко Ж.К. Диагностические возможности ультразвуковых методов исследования в пульмонологической практике // Пульмонология. — 2017. — Т.27. — №2. — С.283-290. [Neklyudova GV, Naumenko ZhK. Ultrasound diagnostic opportunities in pulmonology. *Russian Pulmonology*. 2017; 27(2): 283-290. (In Russ.)] doi: 10.18093/0869-0189-2017-27-2-283-290.
6. Панченко Е.П., Балахонова Т.В., Данилов Н.М. и др. Диагностика и лечение тромбоэмболии 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.
7. Джиоева О.Н., Орлов Д.О., Никитин И.Г. Эхокардиография в неотложной кардиологии. Часть 2. Ультразвуковое исследование сердца и легких // Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. — 2020. — Т.9. — №3. — С.49-58. [Dzhioeva ON, Orlov DO, Nikitin IG. Echocardiography in acute cardiovascular care. Part 2. Cardiac and lung ultrasound examination. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2020; 9(3): 49-58. (In Russ.)] doi: 10.17802/2306-1278-2020-9-3-49-58.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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. — 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.
12. Lahham S, Fox JC, Thompson M, et al. Tricuspid annular plane of systolic excursion to prognosticate acute pulmonary symptomatic embolism (TAP-SEPAPSE study) // *J Ultrasound Med*. 2019; 38(3): 695-702. doi:10.5811/westjem.2019.11.44968.
13. Шлякто Е.В. Кардиология. Национальное руководство. Краткое издание. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2019. — С.816. [Shlyakhto EV. *Cardiology. National leadership. Short edition*. Moscow: GEOTAR-Media. 2019: 816. (In Russ.)]
14. Джорджжия П.К., Вагизов И.И., Стекольщикова Н.Ю. и др. Актуальные вопросы диагностики и лечения острой тромбоэмболии легочной артерии // Медицинский Альманах. — 2015. — Т.38 — №3. — С.37-39. [Dzhordzhikiya RK, Vagizov II, Stekol'shchikova NYu, et al. Topical issues of diagnosis and treatment of acute pulmonary embolism. *Medicinskij Al'manah*. 2015; 38(3): 37-39. (In Russ.)]
15. Кочмарева Е.А., Кокорин В.А., Волкова А.Л. и др. Современные возможности прогнозирования клинического течения и исхода тромбоэмболии легочной артерии // Медицинский вестник Северного Кавказа. — 2017. — №4. — С.476-483. [Kochmareva EA, Kokorin VA, Volkova AL, et al. Modern possibilities of prediction of clinical course and outcome of pulmonary embolism. *Medical news of north Caucasus*. 2017; 9: 476-483. (In Russ.)] doi: 10.14300/mnnc.2017.12133.
16. Неклюдова Г.В., Науменко Ж.К. Функциональные методы исследования Эхокардиография при диагностике легочной гипертензии. // Практическая пульмонология. — 2015. — 2. — С.48-56. [Neklyudova GV, Naumenko ZhK. Functional research methods Echocardiography in the diagnosis of pulmonary hypertension. *Pulmonology*. 2015; 2: 48-56 (In Russ.)]
17. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.1. Механика. Учебное пособие для вузов. — М.: Физматлит, 2020. — 560 с. [Sivukhin DV. *General course of physics. V.I. Mechanics*. Textbook for universities. Moscow: Fizmatlit, 2020. 560 p. (In Russ.)]
18. Шейпак А.А. Гидравлика и гидropневмопривод. 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.)]
19. 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.
20. Евлахов В.И., Пуговкин А.П., Рудакова Т.Л., Шалковская Л.Н. Введение в физиологию сердца. — СПб.: СпецЛит, 2019 — 311 с. [Yevlakhov VI, Pugovkin AP, Rudakova TL, Shal'kovskaya LN. *Introduction to the physiology of the heart*. SPb.: SpetsLit, 2019. 311 p. (In Russ.)]