<https://russjcardiol.elpub.ru>
doi:10.15829/1560-4071-2020-1-3666

ISSN 1560-4071 (print)
ISSN 2618-7620 (online)

Статус и перспективы использования ультразвукового исследования легких в оптимизации ведения пациентов с хронической сердечной недостаточностью

Кобалава Ж. Д.¹, Сафарова А. Ф.^{1,2}, Кохан Е. В.¹, Исламова М. Р.^{1,2}

В обзоре обсуждается роль ультразвукового исследования легких в определении прогноза и оптимизации терапии пациентов с сердечной недостаточностью.

Ключевые слова: ультразвуковое исследование легких, В-линии, застой, сердечная недостаточность, одышка.

Отношения и деятельность: нет.

¹ФГАОУ ВО Российский университет дружбы народов (РУДН), Москва; ²ГБУЗ Городская клиническая больница им. В. В. Виноградова, Москва, Россия.

Кобалава Ж. Д. — д.м.н., профессор, зав. кафедрой внутренних болезней с курсом кардиологии и функциональной диагностики им. акад. В. С. Моисеева, ORCID: 0000-0003-1126-4282, eLibrary SPIN: 9828-5409, Сафарова А. Ф. — д.м.н., профессор кафедры внутренних болезней с курсом кардиологии и функциональной диагностики им. акад. В. С. Моисеева, врач отделения функциональной диагностики, ORCID: 0000-0003-2412-5986, eLibrary SPIN: 2661-6501, Кохан Е. В. — клинический ординатор кафедры внутренних болезней с курсом кардиологии и функциональной диагностики им. акад. В. С. Моисеева, ORCID: 0000-0002-5556-7106, eLibrary SPIN: 1307-6750, Исламова

М. Р. — аспирант кафедры внутренних болезней с курсом кардиологии и функциональной диагностики им. акад. В. С. Моисеева, врач отделения функциональной диагностики, ORCID: 0000-0002-1951-0890.

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author):
zkobalava@mail.ru

ДЗЛА — давление заклинивания легочной артерии, УЗИ — ультразвуковое исследование, ХСН — хроническая сердечная недостаточность, NYHA — Нью-Йоркская Ассоциация сердца, NTproBNP — N-концевой фрагмент предшественника мозгового натрийуретического пептида.

Рукопись получена 18.12.2019

Рецензия получена 31.12.2019

Принята к публикации 04.01.2020

Для цитирования: Кобалава Ж. Д., Сафарова А. Ф., Кохан Е. В., Исламова М. Р. Статус и перспективы использования ультразвукового исследования легких в оптимизации ведения пациентов с хронической сердечной недостаточностью. *Российский кардиологический журнал*. 2020;25(1):3666
doi:10.15829/1560-4071-2020-1-3666

Lung ultrasound in optimizing management of patients with heart failure: current status and future prospects

Kobalava Zh. D.¹, Safarova A. F.^{1,2}, Kokhan E. V.¹, Islamova M. R.^{1,2}

The review discusses the prognostic value and contribution to therapy optimization of lung ultrasound for heart failure patients.

Key words: lung ultrasound, B-lines, congestion, heart failure, dyspnea.

Relationships and Activities: not.

¹Peoples' Friendship University of Russia, Moscow; ²V.V. Vinogradov City Clinical Hospital, Moscow, Russia.

Kobalava Zh. D. ORCID: 0000-0003-1126-4282, eLibrary SPIN: 9828-5409, Safarova A. F. ORCID: 0000-0003-2412-5986, eLibrary SPIN: 2661-6501, Kokhan E. V.

ORCID: 0000-0002-5556-7106, eLibrary SPIN: 1307-6750, Islamova M. R. ORCID: 0000-0002-1951-0890.

Received: 18.12.2019 **Revision Received:** 31.12.2019 **Accepted:** 04.01.2020

For citation: Kobalava Zh. D., Safarova A. F., Kokhan E. V., Islamova M. R. Lung ultrasound in optimizing management of patients with heart failure: current status and future prospects. *Russian Journal of Cardiology*. 2020;25(1):3666
doi:10.15829/1560-4071-2020-1-3666

Несмотря на совершенствование фармакологических и нефармакологических методов профилактики и терапии хронической сердечной недостаточности (ХСН), ее распространенность, а также частота госпитализаций/обращений в отделения неотложной помощи по поводу декомпенсации непрерывно увеличивается [1-3]. При этом одним из основных клинических симптомов пациентов с декомпенсацией

ХСН, определяющих их обращения за медицинской помощью, является одышка [4]. Выраженность последней, кроме того, прямо связана со снижением качества жизни и стабильных больных ХСН [5]. Вместе с тем появление одышки — лишь заключительный этап гемодинамического каскада легочного застоя при ХСН (рис. 1) [6]. Потому важным и перспективным представляется раннее выявление застойных

явлений до их клинического проявления (субклинический застой). Есть основания полагать, что такой подход может позволить оптимизировать терапию как уже госпитализированных пациентов с ХСН с лучшим достижением эулемии, так и амбулаторных больных, предотвращая прогрессирование субклинического застоя в клинический. Проблему выявления субклинических признаков застоя актуализирует и неуспешность подавляющего большинства исследований у пациентов с острой сердечной недостаточностью, которая все чаще рассматривается не как отдельное заболевание, а лишь как заключительное событие, следующее за бессимптомным прогрессированием ХСН [7].

Методом, позволяющим верифицировать субклинический застой на стадии накопления жидкости в интерстициальном пространстве легких, а значит, ещё до его клинических проявлений, является ульт-

развуковое исследование (УЗИ) легких с определением В-линий. И если на первых этапах УЗИ легких рассматривалось лишь как быстрое исследование при острых состояниях с целью определения причины одышки в отделениях интенсивной терапии, то сегодня все больше сведений о перспективности использования данного метода у пациентов с ХСН [6]. В данном обзоре обсуждается методика выполнения УЗИ легких пациентам с ХСН, а также его значение в терапии, определении прогноза таких больных и некоторые перспективы модификации метода, в том числе, его использование во время стресс-теста.

Методы оценки гемодинамического застоя у пациентов с ХСН

Точность обсуждаемых ниже методик определяет их применимость как у пациентов с возможными клиническими признаками и/или симптомами

Рис. 1. Каскад формирования застоя жидкости в легких [с изменениями из 6].

Таблица 1

Чувствительность и специфичность различных методов в выявлении застойных явлений

Методика	Чувствительность, %	Специфичность, %	С чем выполнено сравнение
ЦВД >8 см	48	78	Давление в ПП >7 мм рт.ст.
Гепатоюгулярный рефлюкс	50	75	Давление в ПП >7 мм рт.ст.
Гепатомегалия	51	62	Давление в ПП >7 мм рт.ст.
Двусторонние отеки ног	94	10	Давление в ПП >7 мм рт.ст.
Одышка в покое	50	73	ДЗЛА >18 мм рт.ст.
Одышка при нагрузке	66	52	ДЗЛА >18 мм рт.ст.
Ортопноэ	66	47	ДЗЛА >18 мм рт.ст.
Третий тон	73	42	ДЗЛА >18 мм рт.ст.
Хрипы	13	90	ДЗЛА >18 мм рт.ст.
Коллабирование НПВ <50%	12	27	Давление в ПП >7 мм рт.ст.
В-линии при УЗИ легких	86	40	ДЗЛА >18 мм рт.ст.

Примечание: ЦВД — центральное венозное давление, НПВ — нижняя полая вена, УЗИ — ультразвуковое исследование, ПП — правое предсердие, ДЗЛА — давление заклинивания легочной артерии.

застоя, так и в их отсутствии. При этом если у первых использование упомянутых методов целесообразно с точки зрения определения кардиального генеза признаков/симптомов, ввиду их невысокой чувствительности и специфичности (табл. 1) [8], то у последних — для установления факта наличия субклинического застоя.

Инвазивным и наиболее объективным методом оценки гемодинамического застоя является катетеризация правых отделов сердца с помощью катетера Сван-Ганца и определение давления заклинивания легочной артерии (ДЗЛА), которое является косвенным показателем конечно-диастолического давления левого желудочка и давления в полости левого предсердия [9]. Однако процедура является технически сложной, что делает ее малодоступной и, хотя и является малоинвазивной, все же сопряжена с определенными рисками. Все эти факторы определяют невозможность ее применения в рутинной клинической практике, особенно, в амбулаторных условиях.

Аналогична ситуация и с беспроводными имплантируемыми устройствами для мониторингирования гемодинамики (W-IHM — wireless implantable haemodynamic monitoring system), которые напрямую оценивают давление в системе легочной артерии [10].

Более доступной методикой является неинвазивное определение легочного импеданса, патофизиологическим принципом которого является изменение сопротивления легочной ткани при накоплении жидкости во внесосудистом пространстве легких. В исследовании IMPEDANCE-HF терапия 256 амбулаторных пациентов с ХСН, основанная на периодической оценке легочного импеданса и коррекции в соответствии с его изменениями терапии, привела к уменьшению количества госпитализаций по поводу ХСН в течение года наблюдения (52 vs 12%; $p < 0,001$) [11]. Однако пока метод не получил широкого применения, что может быть связано с некоторой инертностью врачей, а также низкой доступностью аппаратов, необходимых для оценки легочного импеданса, в реальной клинической практике.

Сегодня одним из основных и нередко единственным инструментальным методом диагностики застоя жидкости в легких является рентгенологическое исследование органов грудной полости. Однако в исследованиях продемонстрирована недостаточная чувствительность и специфичность метода: запаздывание рентгенологической картины, ее несоответствие даже клиническим признакам застоя и, следовательно, отсутствие возможности диагностики субклинической стадии внесосудистого накопления жидкости в легких [12, 13].

Таким образом, несовершенство перечисленных методик определяет интерес к УЗИ легких как к простому, доступному и достаточно точному методу,

использование которого возможно для диагностики субклинического и клинического застоя у пациентов с ХСН.

Ультразвуковое исследование легких у пациентов с ХСН

История метода и его физические основы. Традиционно считалось, что из-за большого содержания воздуха в альвеолах УЗИ не подходит для оценки состояния легочной паренхимы ввиду выраженного рассеивания ультразвука в воздушной среде. Такое утверждение справедливо для нормального легкого, однако при различных заболеваниях (интерстициальные синдромы, отек легких) сопротивление легочной ткани меняется, что приводит к изменению УЗИ-картины.

В 1982г впервые были описаны артефакты хвостов кометы (аналогичные артефакты появляются при легочном застое) при УЗИ у пациента с дробовым ранением живота [14]. Предположено, что это артефакты реверберации, возникающие в результате большой разницы сопротивления между объектом и окружающей средой. Далее, в 1997г впервые описаны различные ультразвуковые паттерны у пациентов с острым респираторным дистресс-синдромом, интерстициальным фиброзом и отеком легких [15]. Сегодня именно эти паттерны составляют основу протокола BLUE, использующегося для диагностики генеза острой респираторной недостаточности у пациентов в отделениях интенсивной терапии [16]. И, наконец, в 2004г УЗИ легких в комбинации с трансторакальной эхокардиографией впервые используется для обнаружения легочного застоя у пациентов с ХСН [17]. Таким образом, несмотря на анатомическую близость, несложную технику выполнения, разрыв между методиками эхокардиографии и УЗИ легких составляет почти 50 лет.

Сегодня установлено, что УЗИ легких демонстрирует более высокую чувствительность в диагностике застоя в сравнении с рентгенографическим исследованием органов грудной полости. Так, в проспективном когортном исследовании Wooten WM, et al. чувствительность УЗИ легких в выявлении легочного застоя по сравнению с рентгенологическим исследованием была значимо выше (96 vs 65%; $p < 0,001$) [18]. А в метаанализе Martindale JL, et al., включившем 17893 пациента с подозрением на острую сердечную недостаточность, наличие В-линий определяло кардиогенное происхождение одышки с чувствительностью 85% и специфичностью 93%, что превышало значения аналогичных показателей для одышки, повышения давления в яремных венах, отеков нижних конечностей, плеврального выпота, рестриктивного типа диастолической дисфункции, сниженной фракции выброса и увеличения конечного диастолического размера левого желудочка [19].

Рис. 2. Ультразвуковые паттерны и возможные механизмы их возникновения в норме и при легочном застое [с изменениями из 17].

Интересно, что несмотря на относительно широкую распространенность УЗИ легких сегодня, до сих пор не существует единого физического объяснения выявляемых паттернов. Считается, что большинство из них являются различными артефактами.

Следует отметить, что в случае нормального состояния легочной паренхимы ультразвуковой луч, проходя через плевру и междольковые перегородки образует так называемый А-профиль, состоящий из артефактов “кольца”. Однако в случае наличия жидкости во внесосудистом (интерстициальном) пространстве легких междольковые перегородки утолщаются, что приводит к многократному отражению ультразвуковых лучей (реверберации) и появлению В-линий (В-профиль) или артефактов хвоста кометы, которые и являются ультразвуковым признаком застоя (рис. 2) [6, 17].

Методика выполнения. Одним из главных преимуществ УЗИ легких является его доступность, простота и быстрота выполнения. Так, методика не требует длительного обучения (считается, что среднее время обучения УЗИ легких для выявления В-линий составляет 30 мин), ее выполнение возможно на любом, в том числе портативном, ультразвуковом аппарате, а продолжительность исследования не превышает 5 мин и как правило ограничивается 2 мин [6, 20]. При этом для кардиологических пациентов особенно привлекательным представляется последовательное выполнение УЗИ легких и эхокардиографии, что с большей точностью и пониманием позволяет предположить происхождение внесосудистой жидкости легких в случае ее обнаружения, а также оценить степень компенсации кардиальной патологии при ее наличии.

Изначально при проведении УЗИ легких сканирование и получение изображения В-линий производилось в 28 зонах. Однако данная методика представляется достаточно трудоемкой и относительно времязатратной (хотя здесь следует отметить, что продолжительность даже такого исследования ограничена 5-10 мин). Сегодня же в описании методики УЗИ легких все чаще можно увидеть рекомендацию проведения исследования со сканированием 8 и 4 зон [21-23] (рис. 3), что обусловлено высокой корреляцией результатов при сканировании 28 и меньшего (8 или 4) количества зон [24]. Стоит отметить, что для 8 или 4 зон сканирования выбраны точки с наибольшей вероятностью наличия В-линий, так называемые “мокрые точки”.

Несмотря на все большее количество публикаций, посвященных использованию УЗИ легких у пациентов с ХСН, точные количественные критерии тяжести застоя до сих пор не установлены, что главным образом обусловлено некоторой сложностью подсчета В-линий при их постоянном движении, а также большим вниманием к самому факту их наличия. Так, считается, что выявление пяти и более В-линий в передних и латеральных зонах всегда указывает на отклонение от нормы. А суммация числа В-линий может использоваться для определения количества внесосудистой жидкости в легких (табл. 2) [21]. По данным литературы, вариабельность результатов оценки В-линий при УЗИ легких составляет при выполнении исследования одним исследователем 5%, а разными — 7% [17].

Возможной перспективой модификации метода может стать его использование при нагрузке. Так, уже сегодня в объединенных рекомендациях Европейского общества по сердечно-сосудистой визуализа-

Таблица 2

**Соотношение числа В-линий
и количества внесосудистой жидкости в легких**

Число В-линий при сканировании 28 зон	Количество жидкости во внесосудистом пространстве легких
≤5	Отсутствует
6-15	Небольшое (легкий застой)
16-30	Умеренное (умеренный застой)
≥30	Значительное (тяжелый застой)

Рис. 4. Протокол LUS-SE — выполнение УЗИ легких до и после стресс-теста [с изменениями из 24].

ции (EACVI) и Американского общества эхокардиографии (ASE), упомянута высокая диагностическая ценность появления В-линий при УЗИ легких после нагрузочного теста в определении связи одышки с легочным застоем [25]. В предложенном Scali MC, et al. протоколе выполнения УЗИ легких при нагрузке (LUS-SE) рекомендовано использовать методику сканирования 4 зон, а также совмещать исследование со стресс-эхокардиографией, однако в отличие от нее выполнять его до начала нагрузочной пробы и в период восстановления (рис. 4) [24]. Предполагается, что выполнение УЗИ легких при нагрузке может позволить выявить скрытый в покое гемодинамический застой. Picano E, et al. выделили 3 фенотипических класса гемодинамического легочного застоя, определяющих риск декомпенсации ХСН (табл. 3) [26]. Ожидается, что более точные данные относительно роли стресс УЗИ легких для пациентов с заболеваниями сердца будут получены после завершения широкомасштабной международной программы Stress Echo 2020, в которой помимо прочего будет оценено прогностическое значение В-линий при стресс-УЗИ легких у пациентов с сердечной недоста-

Таблица 3

Три стадии легочного застоя при хронической сердечной недостаточности

	“Сухое” легкое	“Мокрое” при нагрузке легкое	“Мокрое” в покое легкое
Легкое в покое	“сухое”	“сухое”	“мокрое”
Легкое при нагрузке	“сухое”	“мокрое”	очень “мокрое”
В-линии в покое	нет	нет	есть
В-линии при нагрузке (стресс В-линии)	нет	есть	есть
Риск декомпенсации СН	низкий	промежуточный	высокий

А

Б

В

Рис. 3 (А, Б, В). Сканирование 28 (А), 8 (Б) и 4 (В) зон при проведении УЗИ легких для выявления интерстициального синдрома [с изменениями из 22, 23].

Рис. 5. Кривые выживаемости Каплана-Майера без смерти от всех причин в зависимости от наличия и выраженности легочного застоя по данным УЗИ при выписке.

Рис. 6. Кривые выживаемости Каплана-Майера без повторных госпитализаций по поводу сердечной недостаточности в зависимости от наличия и выраженности легочного застоя по данным УЗИ при выписке.

точностью (в том числе с сохраненной фракцией выброса), гипертрофической кардиомиопатией и митральной регургитацией после хирургической коррекции пороков [27].

Использование метода в определении прогноза и коррекции терапии больных ХСН. Прогностическое значение УЗИ легких в сравнении с традиционными маркерами неблагоприятных исходов больных ХСН

оценивалось в различных исследованиях. Так, в одном из них было показано, что у пациентов, госпитализированных по поводу декомпенсации ХСН, количество В-линий ≥ 30 (28 зон сканирования) при выписке представляло более ценную прогностическую информацию в отношении повторной госпитализации по поводу ХСН или смерти от всех причин в течение 3 мес., чем оценка выраженности ХСН по NYHA и BNP (integrated discrimination index = 15%; $p=0,02$) [28].

В исследовании, выполненном в нашем центре, включившем 162 пациента с декомпенсацией ХСН [среднее значение фракции выброса левого желудочка $40 \pm 14\%$, медиана N-концевого фрагмента предшественника мозгового натрийуретического пептида (NTproBNP) 4246 (1741; 6837) пг/мл] УЗИ легких проводилось при поступлении и выписке. Сумму В-линий ≤ 5 считали нормальной, 6-15, 16-30 и >30 — как легкий, умеренный и тяжелый легочный застой, соответственно (8 зон сканирования). Было установлено, что при поступлении тяжелая степень легочного застоя отмечалась в 67% случаев, умеренная — в 32%, легкая — в 1%; при выписке аналогичные частоты составили 33, 15 и 4%, соответственно. Количество В-линий >5 при выписке было независимо связано с более высокой вероятностью смерти от всех причин в течение года после выписки (отношение рисков (ОР) 2,86, 95% доверительный интервал (ДИ) 1,1-7,13, $p=0,024$); а сумма В-линий >15 — с более высокой вероятностью повторной госпитализации по поводу ХСН (ОР 2,83, 95% ДИ 1,41-5,67, $p<0,003$) (рис. 5, 6) [29].

Помимо прогностической ценности, УЗИ легких с оценкой профиля В-линий представляется перспективным методом мониторингирования динамики легочного застоя в ответ на лечение и оптимизации терапии как у госпитальных, так и у амбулаторных больных с ХСН. Ключевым вопросом в настоящее время является возможность использования количественной оценки В-линий в качестве суррогатной конечной точки для коррекции диуретической терапии у пациентов с ХСН.

Mozzini C, et al. показали, что продолжительность госпитализации пациентов с декомпенсацией ХСН, диуретическая терапия которых проводилась под контролем УЗИ легких (выполнялось при поступлении, через 24, 48 и 72 ч после поступления, а также при выписке), была короче ($p<0,001$), по сравнению с пациентами, которым выполнялось только рентгенологическое исследование органов грудной полости [30]. Кроме этого, у пациентов, рандомизированных в группу УЗИ легких, чаще проводилась титрация

дозы диуретика. Интересно, что уменьшение количества В-линий не было связано с динамикой уровня NTproBNP, что, по мнению авторов, свидетельствует о нецелесообразности использования уровня NTproBNP для оценки степени регресса легочного застоя.

И, наконец, наиболее значимой на сегодняшний день работой, демонстрирующей перспективность использования стратегии оптимизации диуретической терапии пациентов с ХСН под контролем УЗИ легких, является рандомизированное исследование LUS-HF [31, 32]. В исследование были включены 123 пациента, поступившие в стационар с декомпенсацией ХСН. Пациенты рандомизировались в две группы — стандартной терапии и УЗИ легких (выполнялось при поступлении, а также через 2, 4, 12 и 24 нед. после выписки). Спустя 6 мес. наблюдения было установлено, что частота наступления первичной конечной точки, включившей обращение в отделение неотложной помощи, госпитализацию по поводу ухудшения ХСН, а также смерть от любой причины, в группе стандартной терапии составила 40%, а в группе УЗИ легких — 23% (ОР 0,518; 95% ДИ 0,268-0,998; $p=0,049$). При этом уровни NTproBNP на момент окончания исследования также значимо не отличались между двумя группами, тогда как средняя доза фуросемида и пройденная дистанция при тесте 6-минутной ходьбы оказывались статистически значимо больше в группе УЗИ легких. Таким образом, УЗИ легких представляет быстрый, недорогой и доступный метод улучшения качества терапии пациентов с ХСН.

Заключение

Подводя итог вышесказанному, можно заключить, что УЗИ легких — простой, легко выполнимый и диагностически точный метод объективизации застойных явлений, в том числе субклинических, у пациентов с ХСН.

Установлена прогностическая ценность метода, обозначена, а в ранних исследованиях уже продемонстрирована, перспектива его применения в оптимизации ведения пациентов с ХСН.

Обучение методике не требует больших временных затрат, в связи с чем перспективным представляется овладение ею не только врачей отделений интенсивной терапии, но и врачей-кардиологов, работающих как в стационаре, так и в амбулаторных условиях.

Отношения и деятельность: все авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Литература/References

1. Van Riet EE, Hoes AW, Wagenaar KP et al. Epidemiology of heart failure: the prevalence of heart failure and ventricular dysfunction in older adults over time. A systematic review. *Eur J Heart Fail* 2016;18:242-52. doi:10.1002/ehfj.483.
2. Roger VL. Heart Failure Epidemic: It's Complicated... *Circulation*. 2018;138(1):25-8. doi:10.1161/circulationaha.118.028478.
3. Fomin IV. Chronic Heart Failure in Russian Federation: what do we do. *Russian Journal of Cardiology*. 2016;(8):7-13. (In Russ.) Фомин И.В. Хроническая сердечная недостаточность в Российской Федерации: что сегодня мы знаем и что должны делать. *Российский кардиологический журнал*. 2016;(8):7-13. doi:10.15829/1560-4071-2016-8-7-13.
4. Ezekowitz JA, Hernandez AF, O'Connor CM, et al. Assessment of dyspnea in acute decompensated heart failure: Insights from ASCEND-HF (Acute Study of Clinical Effectiveness of Nesiritide in Decompensated Heart Failure) on the contributions of peak expiratory flow. *J Am Coll Cardiol*. 2012;59(16):1441-8. doi:10.1016/j.jacc.2011.11.061.
5. Kupper N, Bonhof C, Westerhuis B, et al. Determinants of Dyspnea in Chronic Heart Failure. *J Card Fail*. 2016;22(3):201-9. doi:10.1016/j.cardfail.2015.09.016.
6. Picano E, Scali MC, Ciampi Q, Lichtenstein D. Lung Ultrasound for the Cardiologist. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2018;1692-705. doi:10.1016/j.jcmg.2018.06.023.
7. Packer M. Acute Heart Failure Is an Event Rather Than a Disease: Plea for a Radical Change in Thinking and in Therapeutic Drug Development. *JACC Hear Fail*. 2018;73-5. doi:10.1016/j.jchf.2017.05.008.
8. Mullens W, Damman K, Harjola VP, et al. The use of diuretics in heart failure with congestion — a position statement from the Heart Failure Association of the European Society of Cardiology. *Eur J Heart Fail*. 2019;21(2):137-55. doi:10.1002/ehfj.1369.
9. Kałużna-Oleksey M, Araszkiewicz A, Migaj J et al. "From right to left": The role of right heart catheterization in the diagnosis and management of left heart diseases. *Adv Clin Exp Med*. 2017;26(1):135-41. doi:10.17219/acem/61908.
10. Abraham WT, Adamson PB, Bourge RC, et al. Wireless pulmonary artery haemodynamic monitoring in chronic heart failure: a randomised controlled trial. *Lancet*. 2011; 19:658-66. doi:10.1016/S0140-6736(11)60101-3.
11. Shochat M, Shotan A, Blondheim DS, et al. Derivation of baseline lung impedance in chronic heart failure patients: use for monitoring pulmonary congestion and predicting admissions for decompensation. *J Clin Monit Comput*. 2015;29(3):341-9. doi:10.1007/s10877-014-9610-6.
12. Cardinale L, Priola AM, Moretti F, et al. Effectiveness of chest radiography, lung ultrasound, and thoracic computed tomography in the diagnosis of congestive heart failure. *World J Radiol* 2014;6:230-7. doi:10.4329/wjr.v6.i6.230.
13. Collins SP, Lindsell CJ, Storrow AB, et al. ADHERE Scientific Advisory Committee, Investigators and Study Group. Prevalence of Negative Chest Radiography results in the Emergency Department patient with Decompensated Heart Failure. *Annals of Emergency Medicine*. 2006 Jan;47(1):13-8. doi:10.1016/j.annemergmed.2005.04.003.
14. Ziskin MC, Thickman DI, Goldenberg NJ, et al. The comet tail artifact. *J Ultrasound Med* 1982;1(1):1-7. doi:10.7863/jum.1982.1.1.
15. Lichtenstein D, Mézière G, Biderman P, et al. The comet-tail artifact: An ultrasound sign of alveolar-interstitial syndrome. *Am J Respir Crit Care Med*. 1997;156(5):1640-6. doi:10.1164/ajrccm.156.5.96-07096.
16. Lichtenstein DA. BLUE-Protocol and FALLS-Protocol: Two applications of lung ultrasound in the critically ill. *Chest*. 2015;147(6):1659-70. doi:10.1378/chest.14-1313.
17. Jambrik Z, Monti S, Coppola V, et al. Usefulness of ultrasound lung comets as a nonradiologic sign of extravascular lung water. *Am J Cardiol*. 2004;93(10):1265-70. doi:10.1016/j.amjcard.2004.02.012.
18. Wooten WM, Shaffer LE, Hamilton LA. Bedside Ultrasound Versus Chest Radiography for Detection of Pulmonary Edema: A Prospective Cohort Study. *J Ultrasound Med*. 2019;38(4):967-73. doi:10.1002/jum.14781.
19. Martindale JL, Wakai A, Collins SP, et al. Diagnosing acute heart failure in the emergency department: a systematic review and meta-analysis. *Acad Emerg Med*. 2016;23:223-42. doi:10.1111/acem.12878.
20. Martindale JL, Secko M, Kilpatrick JF, et al. Serial Sonographic Assessment of Pulmonary Edema in Patients With Hypertensive Acute Heart Failure. *J Ultrasound Med*. 2018;37(2):337-45. doi:10.1002/jum.14336.
21. Picano E, Pellikka PA. Ultrasound of extravascular lung water: A new standard for pulmonary congestion. *Eur Heart J*. 2016;2097-104. doi:10.1093/eurheartj/ehw164.
22. Platz E, Merz AA, Jhund PS, et al. Dynamic changes and prognostic value of pulmonary congestion by lung ultrasound in acute and chronic heart failure: a systematic review. *Eur J Heart Fail*. 2017;19(9):1154-63. doi:10.1002/ehfj.839.
23. Platz E, Campbell RT, Claggett B, et al. Lung Ultrasound in Acute Heart Failure: Prevalence of Pulmonary Congestion and Short- and Long-Term Outcomes. *JACC Hear Fail*. 2019;7(10):849-58. doi:10.1016/j.jchf.2019.07.008.
24. Scali MC, Zagatina A, Simova I, et al. B-lines with Lung Ultrasound: The Optimal Scan Technique at Rest and During Stress. *Ultrasound Med Biol*. 2017;43(11):2558-66. doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2017.07.007.
25. Lancellotti P, Pellikka PA, Budts W, et al. The clinical use of stress echocardiography in non-ischaemic heart disease: recommendations from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2016;1191-229. doi:10.1093/ehjci/jew190.
26. Picano E, Scali MC. The lung water cascade in heart failure. *Echocardiography*. 2017;1503-7. doi:10.1111/echo.13657.
27. Picano E, Ciampi Q, Citro R, et al. Stress echo 2020: the international stress echo study in ischemic and non-ischemic heart disease. *Cardiovasc Ultrasound*. 2017;15(1):3. doi:10.1186/s12947-016-0092-1.
28. Coiro S, Rossignol P, Ambrosio G, et al. Prognostic value of residual pulmonary congestion at discharge assessed by lung ultrasound imaging in heart failure. *Eur J Heart Fail*. 2015;17:1172-81. doi:10.1002/ehfj.344.
29. Kobalava ZD, Safarova AF, Soloveva AE, et al. Pulmonary congestion by lung ultrasound in decompensated heart failure: associations, in-hospital changes, prognostic value. *Kardiologiya*. 2019;59(8):5-14. (In Russ.) Кобалава Ж.Д., Сафарова А.Ф., Соловьева А.Е., и др. Легочный застой по данным ультразвукового исследования у пациентов с декомпенсацией сердечной недостаточности. *Кардиология*. 2019;59(8):5-14. doi:10.18087/cardio.2019.8.n534.
30. Mozzini C, Cominacini L, Casadei A, et al. Ultrasonography in Heart Failure: A Story that Matters *Curr Probl Cardiol*. 2019;44(4):116-36. doi:10.1016/j.cpcardiol.2018.05.003.
31. Rivas-Lasarte M, Fernández-Martínez J, Maestro-Benedicto A, et al. Lung Ultrasound May Reduce Heart Failure Hospitalizations: Preliminary Results from the LUS-HF Trial. *The Journal of Heart and Lung Transplantation*. 2019;38(4):S141. doi:10.1016/j.healun.2019.01.336.
32. Rivas-Lasarte M, Álvarez-García J, Fernández-Martínez J, et al. Lung ultrasound-guided treatment in ambulatory patients with heart failure: a randomized controlled clinical trial (LUS-HF study). *Eur J Heart Fail*. 2019;38:1-9. doi:10.1002/ehfj.1604.