



Оригинальная статья

# Прогностическое значение ультразвукового контроля легких после кардиохирургических вмешательств в условиях искусственного кровообращения

Фот Е.В.<sup>1</sup> • Изотова Н.Н.<sup>1</sup> • Виноградов М.В.<sup>1</sup> • Кузьков В.В.<sup>1</sup> • Киров М.Ю.<sup>1</sup>

**Фот Евгения Владимировна** – канд. мед. наук, доцент кафедры анестезиологии и реаниматологии<sup>1</sup>; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0052-8086>

✉ 163000, г. Архангельск, Троицкий проспект, 51, Российская Федерация. Тел.: +7 (921) 295 06 85. E-mail: [ev\\_fot@mail.ru](mailto:ev_fot@mail.ru)

**Изотова Наталья Николаевна** – аспирант, кафедра анестезиологии и реаниматологии<sup>1</sup>

**Виноградов Михаил Валерьевич** – клинический ординатор, кафедра анестезиологии и реаниматологии<sup>1</sup>

**Кузьков Всеволод Владимирович** – д-р мед. наук, доцент, профессор кафедры анестезиологии и реаниматологии<sup>1</sup>; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8191-1185>

**Киров Михаил Юрьевич** – д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой анестезиологии и реаниматологии<sup>1</sup>; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4375-3374>

**Актуальность.** Наряду с обзорной прикроватной рентгенографией органов грудной клетки для выявления послеоперационных дыхательных осложнений все чаще используется ультразвуковой контроль состояния легких. Целью нашего исследования была оценка эффективности ультразвукового контроля легких в выявлении послеоперационных дыхательных осложнений у пациентов после кардиохирургических вмешательств, выполненных в условиях искусственного кровообращения.

**Материал и методы.** В исследование было включено 39 пациентов, перенесших плановые кардиохирургические вмешательства в условиях искусственного кровообращения. При поступлении в отделение интенсивной терапии (ОИТ), а также через 6 и 24 часа после оперативного вмешательства всем пациентам выполнялась оценка показателей гемодинамики и газообмена. Кроме того, проводили ультразвуковой контроль, включающий подсчет количества В-линий в 12 квадрантах легких через 6 и 24 часа после операции, а также рентгенологическое исследование органов грудной клетки через 24 часа после вмешательства. Учитывали длительность искусственной вентиляции легких, время пребывания в ОИТ и стационаре. **Результаты.** Ухудшение газообмена было ассоциировано с большим числом В-линий: 9 (5–15) спустя 24 часа после оперативного вмешательства; при этом у пациентов с  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$  более 300 мм рт. ст. количество В-линий через 24 часа после операции составило 4 (2–8) ( $p=0,04$ ). Изменения на обзорной рентгенограмме органов грудной клетки были зарегистрированы через 24 часа после оперативного вмешательства

у 69% пациентов. Наиболее часто отмечали наличие дисковидных ателектазов ( $n=13$ ). Проведение ROC-анализа выявило, что увеличение количества В-линий более 10 спустя 6 часов после завершения оперативного вмешательства позволяло предсказать развитие рентгенологических изменений через 24 часа после операции (AUC 0,82,  $p=0,02$ , чувствительность 86%, специфичность 76%). Через 6 часов после вмешательства количество В-линий при ультразвуковом исследовании было больше у пациентов, которым в дальнейшем потребовалось проведение продленной вентиляции легких: 15 (14–27) по сравнению с 10 (3–13) у больных с экстубацией трахеи в течение первых 24 часов после операции ( $p=0,02$ ). **Заключение.** Ультразвуковой контроль легких ускоряет диагностику дыхательных нарушений после кардиохирургических вмешательств и своевременно выявляет пациентов с более длительной потребностью в респираторной поддержке и пребывании в ОИТ.

**Ключевые слова:** послеоперационная дыхательная недостаточность, ультразвук легких, кардиохирургические вмешательства

**Для цитирования:** Фот ЕВ, Изотова НН, Виноградов МВ, Кузьков ВВ, Киров МЮ. Прогностическое значение ультразвукового контроля легких после кардиохирургических вмешательств в условиях искусственного кровообращения. Альманах клинической медицины. 2019;47(7):654–61. doi: 10.18786/2072-0505-2019-47-053.

Поступила 03.12.2018; принята к публикации 08.10.2019; опубликована онлайн 11.10.2019

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Минздрава России; 163000, г. Архангельск, Троицкий проспект, 51, Российская Федерация



**К**ардиохирургические вмешательства часто сопровождаются развитием послеоперационных дыхательных осложнений (ПДО) [1–3], что ведет к увеличению продолжительности послеоперационной искусственной вентиляции легких (ИВЛ), пребывания в отделении интенсивной терапии (ОИТ) и стационаре, а также повышает нагрузку на медицинский персонал и стоимость терапии [4–6]. Раннее выявление ПДО наряду с активной реализацией комплекса лечебных мероприятий может способствовать улучшению исходов лечения этой категории пациентов. Наиболее частым вариантом ПДО при кардиохирургических вмешательствах является ателектазирование, в которое может вовлекаться до 50% объема легочной ткани, особенно в юкстадиафрагмальных и юкстакардиальных участках [7, 8]. Послеоперационные изменения в легких достаточно часто включают интерстициальный синдром и развитие отека легких, а они нуждаются в комплексной диагностике с использованием различных инструментальных методик [9–11].

Традиционным методом контроля состояния легочной ткани в ОИТ остается обзорная прикроватная рентгенография органов грудной клетки. Вместе с тем известно, что рентгенологическая картина обладает низкой диагностической точностью в выявлении типичных ПДО – ателектазирования, интерстициального синдрома и плеврита. Кроме того, рентгенологические изменения, как правило, отстают от клинической манифестации ПДО и нарушений газообмена [6, 12]. Немаловажно, что обзорная рентгенография и золотой стандарт исследования легочной ткани – рентгеновская компьютерная томография – сопряжены

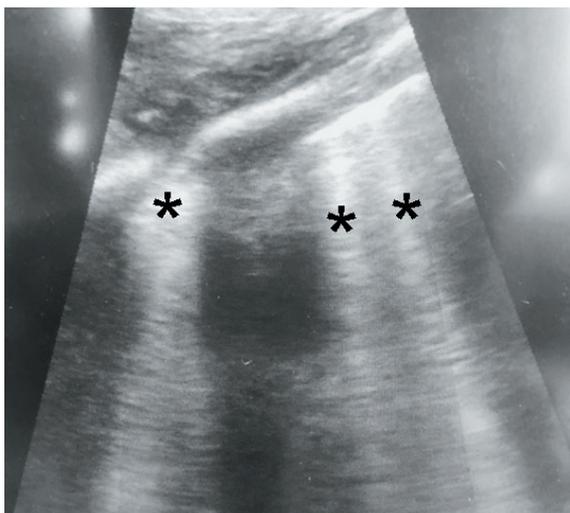


Рис. 1. Ультразвуковая картина В-линий; \* В-линии

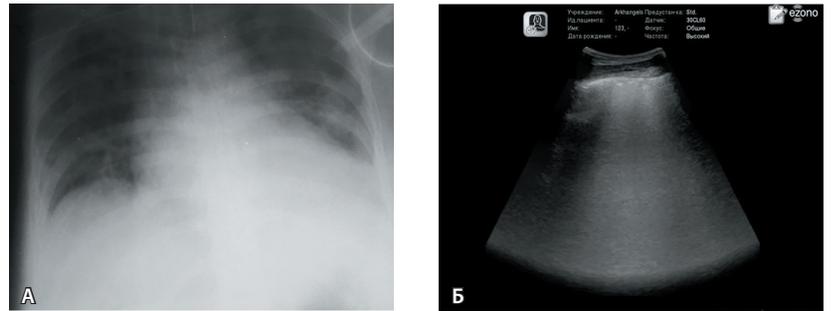


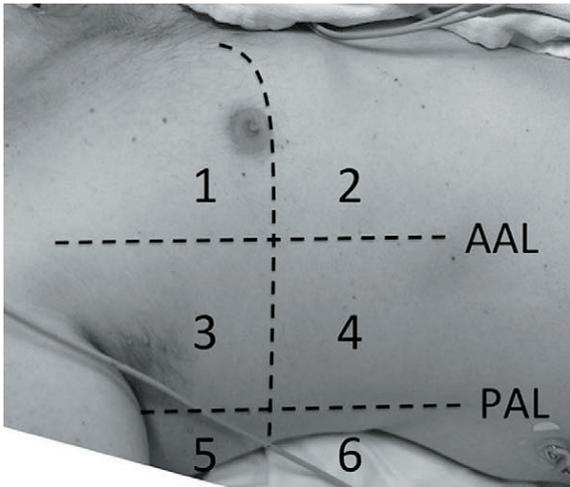
Рис. 2. Ультразвуковая и рентгенологическая картина отека легких. А – рентгенологическая картина интерстициального отека легких; Б – множественные сливные В-линии во всех квадрантах указывают на наличие отека легких

с повышенной лучевой нагрузкой и увеличением финансовых затрат.

В настоящее время в практике врача-реаниматолога все активнее используется быстрая прикроватная ультразвуковая оценка состояния паренхимы легких. Так, для выявления причины гипоксемии рекомендован протокол BLUE (Bedside Lung Ultrasonography in Emergency). Он позволяет определить наиболее частые причины гипоксемии и дыхательной недостаточности – консолидацию, плевральный выпот, пневмоторакс и интерстициальный синдром (отек). Возможна как комплексная, так и изолированная оценка ультрасонографических артефактов, указывающих на паренхиматозные изменения в легких, в частности, изолированная оценка В-линий в нескольких зонах легких с выведением усредненного значения [13, 14]. Увеличение количества В-линий, представляющих собой вертикальные артефакты реверберации ультразвука в результате его многократного отражения от утолщенных межальвеолярных перегородок («хвост кометы» или «легочные ракеты» (рис. 1), служит характерным признаком интерстициального синдрома или отека легких (рис. 2) [15, 16].

Ряд исследований уже подтвердил высокую диагностическую и прогностическую ценность ультразвукового контроля в раннем выявлении ПДО у некардиохирургических пациентов [6, 17]. Однако ценность ультразвука после кардиохирургических вмешательств неоднозначна [12]. Например, не ясны возможности ультразвука по обнаружению дыхательных осложнений на более раннем этапе по сравнению с обзорной прикроватной рентгенографией органов грудной клетки.

Целью нашего исследования была оценка эффективности ультразвукового контроля легких в выявлении ПДО у пациентов после кардиохирургических вмешательств в условиях искусственного кровообращения.



**Рис. 3.** Схема ультразвуковой оценки легких [19]. Грудная клетка делилась на 12 квадрантов. В каждом квадранте выполнялся подсчет количества В-линий. В дальнейшем показатели суммировались. AAL – передняя подмышечная линия, PAL – задняя подмышечная линия

## Материал и методы

В проспективное наблюдательное исследование включено 39 взрослых пациентов (21 мужчина, 18 женщин). Протокол исследования и информированное согласие пациентов были одобрены этическим комитетом ФГБОУ ВО «СГМУ» МЗ РФ (г. Архангельск). Критерием включения в исследование было выполнение планового кардиохирургического вмешательства в условиях искусственного кровообращения с последующей госпитализацией в кардиохирургическое ОИТ. Критерием исключения служило морбидное ожирение, затрудняющее ультразвуковую оценку легочной ткани. Анестезия, а также периоперационная инфузионная терапия и респираторная поддержка осуществлялись согласно локальному протоколу [18]. При поступлении в ОИТ пациентам обеспечивалась мультимодальная анальгезия в виде продленной инфузии фентанила, а также дробного введения парацетамола. Решение о прекращении респираторной поддержки принималось, опираясь на стандартные критерии прохождения теста на переносимость спонтанного дыхания. При прекращении респираторной поддержки использовались следующие критерии: способность в течение 30 минут осуществлять адекватное спонтанное дыхание на фоне поддержки давлением 6–8 см вод. ст.,  $PaO_2/FiO_2 > 250$  мм рт. ст., спонтанный минутный объем вентиляции менее 10 л/мин и частота дыхания  $< 30$ /мин, а также нормальная температура тела, отсутствие явного кровотечения или

анемии, гемодинамическая стабильность и адекватная анальгезия.

У всех пациентов регистрировали показатели гемодинамики, вентиляции и газообмена, ряд лабораторных показателей при поступлении в ОИТ, а также через 6 и 24 часа после оперативного вмешательства. Непрерывно мониторировали инвазивное артериальное давление (лучевая артерия), центральное венозное давление,  $SpO_2$ . В послеоперационном периоде регистрировали параметры вентиляции, газовый состав артериальной крови, концентрацию лактата в артериальной крови и концентрацию альбумина. Регистрировали длительность послеоперационной ИВЛ, сроки пребывания в ОИТ и стационаре, частоту летальных исходов к 28-м суткам после вмешательства. Всем пациентам выполняли обзорную рентгенографию легких через 24 часа после вмешательства. Оценка результатов рентгенологического исследования выполнялась специалистом соответствующего профиля. Рентгенологическими изменениями считали любые структурные изменения легочной ткани: инфильтрацию, гиповентиляцию или ателектазирование. Под гипоксемией подразумевали значение  $PaO_2/FiO_2$  менее 300 мм рт. ст.

Ультразвуковое исследование легких (eZono 3, Германия) выполняли всем пациентам через 6 и 24 часа после окончания вмешательства. Динамическая оценка осуществлялась одним и тем же исследователем. Настройка глубины исследования при оценке легочной паренхимы составила 13–14 см при стандартизованных установках фокусировки (дальний фокус), контрастности и яркости изображения. Ультразвуковая оценка проводилась в положении пациента на спине с приподнятым на  $45^\circ$  головным концом кровати с обеих сторон в шести точках (рис. 3) [19]. Для унификации оценки до и после вмешательства выполняли разметку зоны постановки датчика маркером. Оценка проводилась путем подсчета количества В-линий в каждом квадранте легких с их дальнейшей суммацией.

Для анализа данных использована программа SPSS (версия 17, IBM, США). Распределение данных оценивали с помощью критерия Шапиро – Уилка. Данные представлены в виде медианы (25–75-й перцентили). Оценка корреляционных связей осуществлялась с помощью теста Спирмена с расчетом значения *rho*. Внутригрупповые различия оценивали при помощи критерия Вилкоксона, межгрупповые – U-критерия Манна – Уитни. Для выявления прогностической значимости ультразвукового исследования выполняли ROC-анализ. Статистически значимым считали значение *p* менее 0,05.



## Результаты

Характеристика пациентов, включая структуру заболеваемости, дана в табл. 1. Послеоперационный период характеризовался стабильными показате-

**Таблица 1.** Общая характеристика пациентов

Показатель	Значение
Возраст, годы	63 (53–69)
Пол (мужчины/женщины)	21/18
Индекс массы тела, кг/м <sup>2</sup>	28 (24–32)
EuroScore, балл	2,6 (1,2–4,1)
Структура заболеваемости:	
поражение одного клапана	21
поражение двух и более клапанов	13
аневризма восходящего отдела аорты	3
дефект межпредсердной перегородки	1
дефект межжелудочковой перегородки	1
Летальность, абс. (%)	0
Продолжительность вмешательства, мин	213 (188–266)
Продолжительность искусственного кровообращения, мин	122 (99–139)
Длительность пребывания в отделении интенсивной терапии, сут	3 (1–5)
Длительность госпитализации, сут	20 (16–22)

**Таблица 2.** Послеоперационные показатели состояния системы дыхания и кровообращения

Показатель	В ОИТ	Через 6 часов	Через 24 часа
PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> , мм рт. ст.	329 (230–430)	377 (290–439)	376 (324–400)
PaCO <sub>2</sub> , мм рт. ст.	41 (38–46)	40 (38–43)	38 (36–42)
Лактат, ммоль/л	1,9 (1,5–2,7)	2,1 (1,7–2,7)	2,0 (1,5–2,8)
АД среднее, мм рт. ст.	73 (66–83)	76 (68–84)	73 (68–82)
ЧСС, уд/мин	80 (72–80)	78 (68–82)	72 (64–80)
ЦВД, см вод. ст.	15 (13–17)	8 (4–12)	6 (3–9)
Гидробаланс, мл	1100 (800–1780)	–	130 (–217... +450)
Альбумин, г/л	35 (32–38)	34 (30–38)	34 (32–38)
Число В-линий	–	11 (4–14)	7 (3–10)*

PaCO<sub>2</sub> – парциальное напряжение углекислого газа в артериальной крови, PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> – отношение парциального напряжения кислорода в артериальной крови к фракции вдыхаемого кислорода, АД – артериальное давление, ОИТ – отделение интенсивной терапии, ЦВД – центральное венозное давление, ЧСС – частота сердечных сокращений

Данные представлены в виде медианы (25–75-й перцентили)

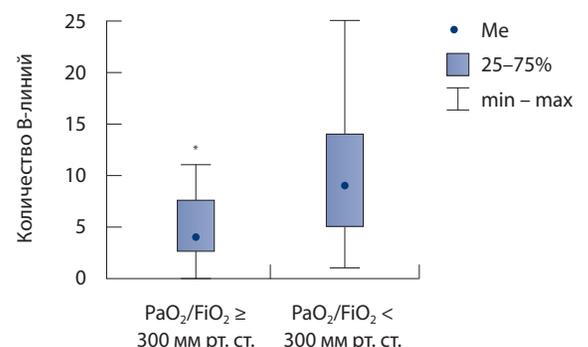
\*p < 0,05 при проведении внутригрупповых сравнений

лями гемодинамики и газообмена (табл. 2). Спустя 24 часа после вмешательства наблюдалось достоверное снижение количества В-линий по сравнению со значениями этого показателя через 6 часов после вмешательства (p = 0,02, см. табл. 2).

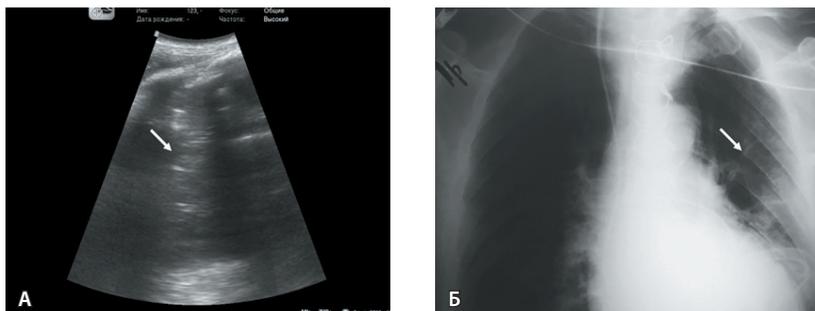
Нами не было обнаружено взаимосвязи между показателями оксигенации и количеством В-линий через 6 часов после операции. Спустя 24 часа показатель PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> < 300 мм рт. ст. ассоциировался с большим количеством В-линий – 9 (5–15); у пациентов без признаков гипоксемии количество В-линий через 24 часа после операции составило 4 (2–8) (p = 0,04, рис. 4). Снижение концентрации альбумина через 24 часа после операции сопровождалось большим количеством В-линий через 6 и 24 часа (rho = -0,53 и -0,56 соответственно, p < 0,05).

Через 24 часа после вмешательства изменения на обзорной рентгенограмме органов грудной клетки были зафиксированы у 69% пациентов, при этом наиболее часто отмечали наличие дисковидных ателектазов (n = 13; 33%, рис. 5), также достаточно часто встречались зоны гиповентиляции (n = 10; 26%) и инфильтрация легочной ткани (n = 4; 10%); кроме того, у 18 пациентов (46%) было зафиксировано наличие плеврального выпота (малый гидроторакс). Проведение ROC-анализа выявило, что увеличение количества В-линий более 10 через 6 часов после вмешательства позволяло предсказать развитие рентгенологических изменений спустя 24 часа после операции с AUC 0,82 (p = 0,02, чувствительность 86%, специфичность 76%) (рис. 6).

В течение первых 12 часов после оперативного вмешательства успешная экстубация трахеи была проведена у 36 (92,7%) пациентов. Три пациента (7,7%) потребовали продленной респираторной поддержки более 48 часов в связи с явлениями послеоперационной дыхательной недостаточности.

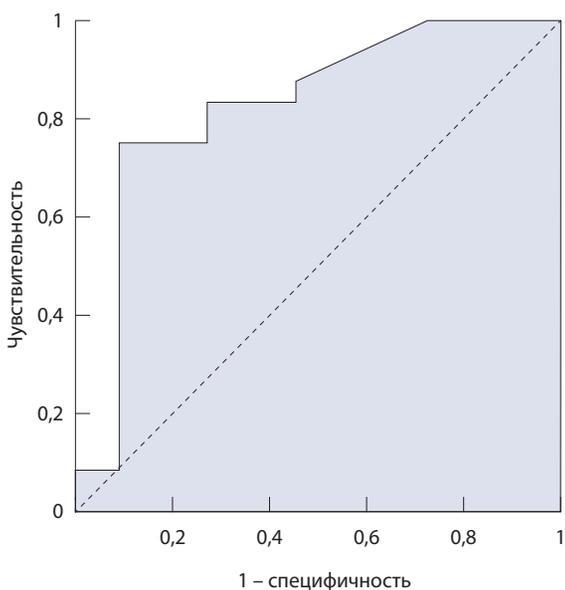


**Рис. 4.** Изменение количества В-линий в зависимости от PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> через 24 часа после операции; \*p = 0,04



**Рис. 5.** Ультразвуковая и рентгенологическая картина ателектазирования легочной ткани. На наличие дисковидных ателектазов легочной ткани могут указывать характерные ультразвуковые (А) и рентгенологические (Б) изменения

Через 6 часов после вмешательства количество В-линий при ультразвуковом исследовании было больше у пациентов, которым в дальнейшем потребовалось проведение продленной ИВЛ: 15 (14–27) по сравнению с 10 (3–13) у больных с экстубацией трахеи в течение первых 12 часов после операции ( $p=0,02$ ). Подобная динамика сохранялась и спустя 24 часа: было выявлено 25 (15–27) В-линий у пациентов, нуждавшихся в продленной ИВЛ, по сравнению с 6 (3–9) у больных с успешной экстубацией трахеи в первые 12 часов ( $p=0,001$ ). В ходе ROC-анализа было показано: число В-линий менее 6, оцененное через 6 часов после



**Рис. 6.** ROC-анализ ультразвукового исследования легких через 6 часов после операции и рентгенологических изменений на обзорной рентгенограмме органов грудной клетки через 24 часа после операции. AUC – 0,82,  $p=0,02$ , ассоциативный критерий  $\geq 10$ , чувствительность 86%, специфичность 76%. AUC – площадь под кривой

вмешательства, позволяет предсказать успешную раннюю экстубацию трахеи с отсутствием потребности в продленной ИВЛ (AUC 0,89,  $p=0,03$ , чувствительность 100%, специфичность 60%), при этом прогностическая значимость ультразвуковой картины сохранялась и спустя 24 часа при количестве В-линий менее 5 (AUC 0,98,  $p=0,01$ , чувствительность 100%, специфичность 60%). У пациентов, которым потребовалось проведение продленной ИВЛ, при рентгенографическом исследовании была заподозрена пневмония (в 1 случае) и наличие множественных дисковидных ателектазов (2 случая). Примечательно также, что у пациентов, нуждавшихся в более длительном пребывании в ОИТ, через 24 часа после операции было выявлено большее число В-линий: 8 (5–13) по сравнению с 3 (1–7) у пациентов, переведенных из ОИТ в первые 24 часа. Никому из пациентов не потребовалось повторного перевода на ИВЛ. Летальных исходов к 28-му дню исследования зафиксировано не было.

### Обсуждение

Имеющиеся в литературе данные о наличии взаимосвязи между послеоперационной оксигенацией и ультразвуковой оценкой интерстициального синдрома и консолидации весьма противоречивы [6, 20]. Так, у пациентов после обширных абдоминальных вмешательств подобной взаимосвязи установлено не было [6]. В этой же работе была показана удовлетворительная предиктивная способность ультразвуковой оценки степени консолидации легочной ткани в отношении отсроченной гипоксемии. Вместе с тем у пациентов с отеком легких на фоне развития острого повреждения почек взаимосвязь между количеством В-линий и гипоксемией прослеживалась весьма отчетливо [20]. Возможность ультразвука оценивать количество В-линий использовалась рядом авторов как маркер начинающейся гипергидратации и рекомендована для протоколов целенаправленной инфузионной терапии [21]. Некоторые авторы также валидировали количество В-линий с уровнем внесосудистой воды легких [22–24].

В нашей работе основными изменениями при рентгенологическом исследовании были наличие плеврального выпота и ателектазирование легочной ткани, что частично может объяснить отсутствие взаимосвязи между количеством В-линий и оксигенацией. При этом через 24 часа после операции снижение  $PaO_2/FiO_2$  менее 300 мм рт. ст. ассоциировалось с большим количеством В-линий, чем у пациентов без гипоксемии. Подчеркнем, что увеличение количества В-линий может указывать



не только на двусторонний отек легких, характерный для острого респираторного дистресс-синдрома или сердечной недостаточности, но и на развитие очаговых изменений в легких, характерных для пневмонии и ателектазирования [25–27]. В частности, на развитие пневмонии или ателектазирования может указывать одностороннее или ограниченное несколькими квадрантами повышение количества В-линий [28, 29].

Значительное количество рентгенологических изменений в первые сутки послеоперационного периода, отмеченное в нашей работе, согласуется с данными других авторов, согласно которым у 5–75% пациентов кардиохирургического профиля диагностируется наличие ателектазов и/или плеврального выпота [1–3]. Способность ультразвукового контроля легких предсказывать последующие изменения на рентгенограмме, обнаруженная в нашем исследовании, подтверждает недавние результаты Н.Р. Touw и соавт. [12]. Кроме того, ряд работ указывает на большую точность и раннее выявление ателектазов, а также плеврального выпота при ультразвуковом исследовании легких по сравнению с обзорной рентгенографией [12, 29–31]. Представляется важным, что во всех этих работах использовался протокол BLUE, нацеленный не только на расчет количества В-линий, но и на выявление инфильтративных изменений, а также плеврального выпота. Интересным в этой связи выглядит исследование G. Volpicelli и соавт., которые показали, что наличие множественных В-линий в одном квадранте не всегда указывает на развитие интерстициального отека, а может окружать зону инфильтрации легочной ткани [29].

В ходе нашего исследования нельзя сделать однозначных выводов о взаимосвязи между увеличением количества В-линий и потребностью в продленной ИВЛ. В настоящее время существует несколько работ по оценке эффективности ультразвука легких в выявлении пациентов, нуждающихся в респираторной поддержке [32, 33], а также больных с высоким риском повторного перевода на ИВЛ [34]. Так, в исследовании Р. Мауо и соавт. повышение количества В-линий, основного

компонента шкалы LUS, в ходе теста на переносимость спонтанного дыхания сопровождалось увеличением частоты неудачной экзубации трахеи. При этом количество баллов по шкале LUS > 17 соответствовало высокому риску срыва отлучения от ИВЛ [34]. Авторы данной работы объясняли появление множественных В-линий в ходе теста на переносимость спонтанного дыхания выраженной деаэрацией легочной ткани.

Наши результаты подтверждают, что ультразвуковая оценка легких может играть ключевую роль в выборе времени для проведения теста на переносимость спонтанного дыхания, а также служить эффективным маркером ответа на проводимую респираторную терапию [34]. Следует отметить, что несмотря на связь количества В-линий с отсроченными рентгенологическими изменениями, продленной ИВЛ и пребыванием в ОИТ, отрицательной стороной протокола, использованного в нашей работе, является невозможность убедительно определить причину дыхательных осложнений, в отличие от протокола BLUE, который позволяет провести дифференциальную диагностику причин ПДО. Тем не менее важным преимуществом данной методики представляется простота и скорость выполнения оценки В-линий. Так, в работе Z. Jambrik и соавт. подсчет количества В-линий в нескольких квадрантах легких занимал в среднем 3 минуты [24]. В другом исследовании было показано, что клинические ординаторы и врачи с небольшим опытом работы гораздо эффективнее выявляли наличие отека легких по данным ультразвукового исследования, чем по результатам рентгенографии органов грудной клетки [11].

## Заключение

После кардиохирургических вмешательств ультразвуковой контроль легких ускоряет диагностику дыхательных нарушений и своевременно выявляет пациентов с более длительной потребностью в респираторной поддержке и пребывании в ОИТ. Необходима дальнейшая валидация различных протоколов ультразвуковой оценки в выявлении послеоперационных дыхательных осложнений. ☺

## Дополнительная информация

### Финансирование

Исследование выполнено при поддержке гранта Президента Российской Федерации для ведущих научных школ НШ-3927.2018.7.

### Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

### Участие авторов

Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

### Благодарности

Авторы благодарят персонал кардиохирургической реанимации ГБУЗ АО «Первая городская клиническая больница имени Е.Е. Волосевич» за оказанную помощь.



## Литература / References

- Weissman C. Pulmonary complications after cardiac surgery. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth*. 2004;8(3):185–211. doi: 10.1177/108925320400800303.
- Rubinowitz AN, Siegel MD, Tocino I. Thoracic imaging in the ICU. *Crit Care Clin*. 2007;23(3):539–73. doi: 10.1016/j.ccc.2007.06.001.
- Jain U, Rao TL, Kumar P, Kleinman BS, Belusko RJ, Kanuri DP, Blakeman BM, Bakhos M, Wallis DE. Radiographic pulmonary abnormalities after different types of cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 1991;5(6):592–5. doi: 10.1016/1053-0770(91)90013-j.
- Ball L, Costantino F, Pelosi P. Postoperative complications of patients undergoing cardiac surgery. *Curr Opin Crit Care*. 2016;22(4):386–92. doi: 10.1097/MCC.0000000000000319.
- Chiumello D, Chevillard G, Gregoret G. Non-invasive ventilation in postoperative patients: a systematic review. *Intensive Care Med*. 2011;37(6):918–29. doi: 10.1007/s00134-011-2210-8.
- Kuzkov VV, Rodionova LN, Ilyina YY, Ushakov AA, Sokolova MM, Fot EV, Duberman BL, Kirov MY. Protective ventilation improves gas exchange, reduces incidence of atelectases, and affects metabolic response in major pancreaticoduodenal surgery. *Front Med (Lausanne)*. 2016;3:66. doi: 10.3389/fmed.2016.00066.
- Magnusson L, Spahn DR. New concepts of atelectasis during general anaesthesia. *Br J Anaesth*. 2003;91(1):61–72. doi: 10.1093/bja/aeg085.
- Pieczkoski SM, Margarites AGF, Sbruzzi G. Noninvasive ventilation during immediate postoperative period in cardiac surgery patients: systematic review and meta-analysis. *Braz J Cardiovasc Surg*. 2017;32(4):301–11. doi: 10.21470/1678-9741-2017-0032.
- Al Deeb M, Barbic S, Featherstone R, Dankoff J, Barbic D. Point-of-care ultrasonography for the diagnosis of acute cardiogenic pulmonary edema in patients presenting with acute dyspnea: a systematic review and meta-analysis. *Acad Emerg Med*. 2014;21(8):843–52. doi: 10.1111/acem.12435.
- Wooten WM, Shaffer LET, Hamilton LA. Bed-side 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.
- Martindale JL, Noble VE, Liteplo A. Diagnosing pulmonary edema: lung ultrasound versus chest radiography. *Eur J Emerg Med*. 2013;20(5):356–60. doi: 10.1097/MEJ.0b013e32835c2b88.
- Touw HR, Parlevliet KL, Beerepoot M, Schober P, Vonk A, Twisk JW, Elbers PW, Boer C, Tuinman PR. Lung ultrasound compared with chest X-ray in diagnosing postoperative pulmonary complications following cardiothoracic surgery: a prospective observational study. *Anaesthesia*. 2018;73(8):946–54. doi: 10.1111/anae.14243.
- Gutierrez M, Salaffi F, Carotti M, Tardella M, Pineda C, Bertolazzi C, Bichisecci E, Filippucci E, Grassi W. Utility of a simplified ultrasound assessment to assess interstitial pulmonary fibrosis in connective tissue disorders – preliminary results. *Arthritis Res Ther*. 2011;13(4):R134. doi: 10.1186/ar3446.
- Tardella M, Di Carlo M, Carotti M, Filippucci E, Grassi W, Salaffi F. Ultrasound B-lines in the evaluation of interstitial lung disease in patients with systemic sclerosis: Cut-off point definition for the presence of significant pulmonary fibrosis. *Medicine (Baltimore)*. 2018;97(18):e0566. doi: 10.1097/MD.00000000000010566.
- Lichtenstein DA. Lung ultrasound in the critically ill. *Ann Intensive Care*. 2014;4:1. doi: 10.1186/2110-5820-4-1.
- Ляхин РЕ, Щеголев АВ, Жирнова ЕА, Емельянов АА, Грачев ИН. Характеристика ультразвуковых признаков в диагностике объема и характера поражения легких. *Вестник интенсивной терапии*. 2016;(4):5–11. [Lahin RE, Shhegolev AV, Zhirnova EA, Emeljanov AA, Grachev IN. Features of ultrasonic signs in the diagnosis of volume and nature of lung disease. *Intensive Care Herald*. 2016;(4):5–11. Russian.]
- Lichtenstein DA, Lascols N, Prin S, Mezière G. The "lung pulse": an early ultrasound sign of complete atelectasis. *Intensive Care Med*. 2003;29(12):2187–92. doi: 10.1007/s00134-003-1930-9.
- Ленькин ПИ, Смёткин АА, Хусейн АФ, Ленькин АИ, Паромов КВ, Ушаков АА, Крыгина МА, Киров МЮ. Непрерывный мониторинг лактата и глюкозы при комплексной хирургической коррекции приобретенных комбинированных пороков сердца и ишемической болезни сердца. *Вестник анестезиологии и реаниматологии*. 2015;12(6):4–15. doi: 10.21292/2078-5658-2015-12-6-4-15. [Len'kin PI, Smyotkin AA, Khusseyan A, Len'kin AI, Paromov KV, Ushakov AA, Krygina MA, Kirov MY. Continuous monitoring of lactate and glucose during the integral surgical management of acquired combined heart valvular diseases and ischemic heart disease. *Messenger of Anesthesiology and Resuscitation*. 2015;12(6):4–15. Russian. doi: 10.21292/2078-5658-2015-12-6-4-15.]
- Monastesse A, Girard F, Massicotte N, Chartrand-Lefebvre C, Girard M. Lung ultrasonography for the assessment of perioperative atelectasis: a pilot feasibility study. *Anesth Analg*. 2017;124(2):494–504. doi: 10.1213/ANE.0000000000001603.
- Ciumanghel A, Siropol I, Blaj M, Siropol D, Gavrilovici C, Covic A. B-lines score on lung ultrasound as a direct measure of respiratory dysfunction in ICU patients with acute kidney injury. *Int Urol Nephrol*. 2018;50(1):113–9. doi: 10.1007/s11255-017-1730-8.
- Lichtenstein D. FALLS-protocol: lung ultrasound in hemodynamic assessment of shock. *Heart Lung Vessel*. 2013;5(3):142–7.
- Picano E, Frassi F, Agricola E, Gligorova S, Gargani L, Mottola G. Ultrasound lung comets: a clinically useful sign of extravascular lung water. *J Am Soc Echocardiogr*. 2006;19(3):356–63. doi: 10.1016/j.echo.2005.05.019.
- Picano E, Pellikka PA. Ultrasound of extravascular lung water: a new standard for pulmonary congestion. *Eur Heart J*. 2016;37(27):2097–104. doi: 10.1093/eurheartj/ehw164.
- Jambrik Z, Monti S, Coppola V, Agricola E, Mottola G, Miniati M, Picano E. 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.
- Hasan AA, Makhlouf HA. B-lines: Transthoracic chest ultrasound signs useful in assessment of interstitial lung diseases. *Ann Thorac Med*. 2014;9(2):99–103. doi: 10.4103/1817-1737.128856.
- Bataille B, Rao G, Cocquet P, Mora M, Masson B, Ginot J, Silva S, Moussot PE. Accuracy of ultrasound B-lines score and E/Ea ratio to estimate extravascular lung water and its variations in patients with acute respiratory distress syndrome. *J Clin Monit Comput*. 2015;29(1):169–76. doi: 10.1007/s10877-014-9582-6.
- Wang G, Ji X, Xu Y, Xiang X. Lung ultrasound: a promising tool to monitor ventilator-associated pneumonia in critically ill patients. *Crit Care*. 2016;20(1):320. doi: 10.1186/s13054-016-1487-y.
- Le Neindre A, Mongodi S, Philippart F, Bouhemad B. Thoracic ultrasound: Potential new tool for physiotherapists in respiratory management. A narrative review. *J Crit Care*. 2016;31(1):101–9. doi: 10.1016/j.jccr.2015.10.014.
- Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M, Lichtenstein DA, Mathis G, Kirkpatrick AW, Melniker L, Gargani L, Noble VE, Via G, Dean A, Tsung JW, Soldati G, Copetti R, Bouhemad B, Reissig A, Agricola E, Rouby JJ, Arbelot C, Liteplo A, Sargsyan A, Silva F, Hoppmann R, Breitkreutz R, Seibel A, Neri L, Storti E, Petrovic T; International Liaison Committee on Lung Ultrasound (ILC-LUS) for International Consensus Conference on Lung Ultrasound (ICC-LUS). International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med*. 2012;38(4):577–91. doi: 10.1007/s00134-012-2513-4.



30. Ashton-Cleary DT. Is thoracic ultrasound a viable alternative to conventional imaging in the critical care setting? *Br J Anaesth.* 2013;111(2): 152–60. doi: 10.1093/bja/aet076.
31. Lichtenstein D, Goldstein I, Mourgeon E, Cluzel P, Grenier P, Rouby JJ. Comparative diagnostic performances of auscultation, chest radiography, and lung ultrasonography in acute respiratory distress syndrome. *Anesthesiology.* 2004;100(1):9–15. doi: 10.1097/0000542-200401000-00006.
32. Oropello J, Rahmanian M. Can chest sonography predict and facilitate successful ventilator weaning? *Crit Care Med.* 2013;41(8):2065–7. doi: 10.1097/CCM.0b013e3182963e91.
33. Yang KL, Tobin MJ. A prospective study of indexes predicting the outcome of trials of weaning from mechanical ventilation. *N Engl J Med.* 1991;324(21):1445–50. doi: 10.1056/NEJM199105233242101.
34. Mayo P, Volpicelli G, Lerolle N, Schreiber A, Doelken P, Vieillard-Baron A. Ultrasonography evaluation during the weaning process: the heart, the diaphragm, the pleura and the lung. *Intensive Care Med.* 2016;42(7):1107–17. doi: 10.1007/s00134-016-4245-3.

## Prognostic value of lung ultrasonography after on-pump cardiac surgery

E.V. Fot<sup>1</sup> • N.N. Izotova<sup>1</sup> • M.V. Vinogradov<sup>1</sup> • V.V. Kuzkov<sup>1</sup> • M.Y. Kirov<sup>1</sup>

**Rationale:** Along with bedside plain chest radiography, lung ultrasonography is being increasingly used for detection of postoperative respiratory complications. **Aim:** Our study was aimed at the evaluation of lung ultrasonography efficacy for the diagnosis of postoperative respiratory complications in patients after the on-pump cardiac surgery. **Materials and methods:** The study included 39 patients who had undergone elective cardiac on-pump surgery. Assessment of hemodynamic parameters and blood gases was done at admittance to the intensive care unit (ICU), as well as at 6 and 24 hours after surgery. Lung ultrasonography was also performed including counting of B-lines in 12 lung quadrants at 6 and 24 hours after surgery, as well as chest radiography at 24 hours. Duration of mechanical ventilation, time in ICU and in-hospital stay were also evaluated. **Results:** Gas exchange deterioration was associated with increased numbers of B-lines: 9 (5 to 15) at 24 hours after surgery. In the patients with PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> above 300 mm Hg the number of B-lines at 24 hours after surgery was 4 (2 to 8) (p=0.04). Plain chest radiography at 24 hours after surgery revealed abnormalities in 69% of the patients. Discoid atelectases were the most common findings (n=13).

The ROC analysis showed that increased numbers of B-lines above 10 at 6 hours after completion of the surgery was predictive of the development of X-ray abnormalities at 24 hours (AUC 0.82, p=0.02, sensitivity 86%, specificity 76%). At 6 hours after the intervention the patients who subsequently required prolonged mechanical ventilation had increased numbers of B-lines (15 [14–27]) compared to those who could be extubated within the first 24 hours after surgery (10 [3–13], p=0.02). **Conclusion:** Lung ultrasonography monitoring accelerates the diagnosis of respiratory problems after cardiac surgery and allows timely identification of the patients requiring prolonged respiratory support and ICU stay.

**Key words:** postoperative respiratory insufficiency, lung ultrasonography, cardiac surgery

**For citation:** Fot EV, Izotova NN, Vinogradov MV, Kuzkov VV, Kirov MY. Prognostic value of lung ultrasonography after on-pump cardiac surgery. *Almanac of Clinical Medicine.* 2019;47(7):654–61. doi: 10.18786/2072-0505-2019-47-053.

Received 3 December 2018; accepted 8 October 2019; published online 11 October 2019

### Funding

The study was performed under the grant by RF President for leading research institutions NSH-3927.2018.7.

### Conflict of interests

The authors declare that they have no conflict of interests.

### Authors' contributions

All the authors have contributed significantly to the study conduct and preparation of the paper, have read and approved its final version before the publication.

### Acknowledgments

The authors acknowledge the staff of the Department of Cardiosurgical Resuscitation, E.E. Volosevich First Clinical City Hospital (Arkhangelsk, Russia) for their assistance.

**Evgenia V. Fot** – MD, PhD, Associate Professor, Department of Anesthesiology and Intensive Care Therapy<sup>1</sup>; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0052-8086>

✉ 51 Troitsky prospect, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation. Tel.: +7 (921) 295 06 85. E-mail: [ev\\_fot@mail.ru](mailto:ev_fot@mail.ru)

**Natalia N. Izotova** – MD, Postgraduate Student, Department of Anesthesiology and Intensive Care Therapy<sup>1</sup>

**Mikhail V. Vinogradov** – MD, Resident, Department of Anesthesiology and Intensive Care Therapy<sup>1</sup>

**Vsevolod V. Kuzkov** – MD, PhD, Professor, Department of Anesthesiology and Intensive Care Therapy<sup>1</sup>; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8191-1185>

**Mikhail Y. Kirov** – MD, PhD, Professor, Head of Department of Anesthesiology and Intensive Care Therapy<sup>1</sup>; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4375-3374>

<sup>1</sup>Northern State Medical University; 51 Troitsky prospect, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation