

Возможности ультразвукового метода исследования в диагностике отека легких у пациентов в критическом состоянии, обусловленном печеночной недостаточностью

Д.Н. Марцинкевич^{✉1}, П.С. Прилуцкий¹, А.М. Дзядзько¹, Т.А. Севрук¹, С.А. Точило²

¹ ГУ «МНПЦ хирургии, трансплантологии и гематологии»,
200087, Беларусь, Минск, ул. Семашко, д. 8;

² УЗ «Могилевская областная клиническая больница»,
212026, Беларусь, Могилев, ул. Бялыницкого-Бирули, д. 12

✉ Автор, ответственный за переписку: Денис Николаевич Марцинкевич, врач-анестезиолог-реаниматолог отделения анестезиологии и реанимации № 2 (для пациентов хирургического профиля) МНПЦ хирургии, трансплантологии и гематологии, mar-denis94@mail.ru

Аннотация

Актуальность. Отек легких является частым осложнением у пациентов в критическом состоянии. Либеральная тактика инфузионной терапии критического состояния и патологическое накопление внесосудистой легочной жидкости увеличивают риски смертности. Своевременная и неинвазивная диагностика отека легких является одной из главных целей при интенсивной терапии пациента в отделении реанимации. Для диагностики отека легких мы предпочитаем использовать ультразвуковое исследование легких с регистрацией В-линий. Однако в нашей стране из-за отсутствия достаточного количества исследований и необходимой регламентирующей базы данный метод не валидирован.

Цель. Оценить возможность применения ультразвуковой диагностики отека легких у пациентов в критическом состоянии.

Материал и методы. Проведено ретроспективное исследование 27 пациентов, среди которых было 15 мужчин и 12 женщин в возрасте от 43 до 67 лет, средний возраст $45,05 \pm 17,2$ года. Все пациенты находились в критическом состоянии, обусловленном острой печеночной, либо острой на фоне хронической печеночной недостаточностью, либо ранней дисфункцией трансплантата печени, либо пострезекционной печеночной недостаточностью. У части пациентов имел место синдром системного воспалительного ответа с развитием полиорганной недостаточности и клиники перераспределительного шока. Всем пациентам выполняли ультразвуковое исследование легких, а также проводили измерение показателей гемодинамики методом транспульмональной термодилуции. Данные, полученные двумя методами, сравнивали между собой.

Результаты. Определена статистически значимая взаимосвязь ($p < 0,05$) между показателем индекса внесосудистой легочной жидкости и наличием отека легких. Также мы выявили значимую взаимосвязь ($p < 0,05$) между количеством В-линий и наличием отека легких. Проведен корреляционный анализ взаимосвязи показателя «внесосудистой легочной жидкости» и показателя "В-линия", по результатам которого была установлена прямая связь высокой степени. Площадь под ROC-кривой составила $0,9 \pm 0,06$ с 95% ДИ [0,77–1,00]. Полученная модель была статистически значимой ($p = 0,004$).

Выводы. Данные ультразвукового исследования при диагностике отека легких имеют значимую степень корреляции с уровнем внесосудистой легочной жидкости. Ультразвуковое исследование легких является точным, неинвазивным, безопасным методом оценки внелегочной жидкости и может быть использовано для быстрой, прикроватной диагностики отека легких.

Ключевые слова: отек легких, ультразвуковая диагностика, внесосудистая легочная жидкость

Конфликт интересов Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Финансирование Исследование проводилось без спонсорской поддержки

Для цитирования: Марцинкевич Д.Н., Прилуцкий П.С., Дзядзько А.М., Севрук Т.А., Точило С.А. Возможности ультразвукового метода исследования в диагностике отека легких у пациентов в критическом состоянии, обусловленном печеночной недостаточностью. *Трансплантология*. 2024;16(2):186–196. <https://doi.org/10.23873/2074-0506-2024-16-2-186-196>

The potential of the ultrasound method in diagnosing pulmonary edema in critically ill patients with liver failure

D.N. Martsinkevich^{✉1}, P.S. Prilutskiy¹, A.M. Dzyadzko¹, T.A. Sevruc¹, S.A. Tochilo²

¹ Minsk Scientific and Practical Center for Surgery, Transplantology and Hematology,
8 Semashko St., Minsk 200087 Belarus;

² Mogilev Regional Clinical Hospital,
12 Byalynitskiy-Biruli St., Mogilev 212026 Belarus

✉Corresponding author: Denis N. Martsinkevich, Anesthesiologist-Intensivist of the Department of Anesthesiology and Intensive Care Unit No. 2 (for surgical patients), Minsk Scientific and Practical Center for Surgery, Transplantology and Hematology, mar-denis94@mail.ru

Abstract

Background. Pulmonary edema is a common complication in critically ill patients. The liberal tactics of fluid therapy and pathological accumulation of extravascular lung water increase the risks of mortality in Intensive Care Unit patients. Timely and non-invasive diagnosis of pulmonary edema is a primary goal in the intensive care of patients in the Critical Care Unit. We prefer to use lung ultrasound with the registration of B-lines to diagnose lung edema. However, in our country, this method is not validated due to the lack of a sufficient number of clinical studies and necessary regulatory framework.

Objective. To assess the potential of diagnostic ultrasonography for pulmonary edema in critically ill patients.

Material and methods. A retrospective study was conducted on 27 patients, including 15 males and 12 females aged from 43 to 67 years old (mean age 45.05 ± 17.2 years). All patients were in critical condition due either to acute liver failure, or acute-on-chronic liver failure, or early post-transplant liver graft failure, or posthepatectomy liver failure. Some patients had a systemic inflammatory response syndrome with the development of multiple organ failure and clinical signs of redistribution shock. All patients underwent ultrasound examination of the lungs, and had hemodynamic parameters measured using the transpulmonary thermodilution technique. The data obtained by the two diagnostic modalities were compared.

Results. A significant correlation ($p < 0.05$) was found between the extravascular lung water index and the presence of lung edema. We identified a significant correlation ($p < 0.05$) between the number of B-lines and the presence of pulmonary edema. In assessing the relationship between the "B-line" parameter and the "EVLWI" parameter, a strong positive correlation was identified. The area under the ROC curve (AUC) was 0.9 ± 0.06 with a 95% CI [0.77–1.00].

Conclusions. Ultrasound data in diagnosing pulmonary edema have a significant correlation with the level of extravascular pulmonary water. Lung ultrasound is an accurate, non-invasive method for assessing extravascular lung water. It can be used for the rapid and accurate diagnosis of pulmonary edema.

Keywords: pulmonary edema, diagnostic ultrasound, extravascular lung water

CONFLICT OF INTERESTS Authors declare no conflict of interest

FINANCING The study was performed without external funding

For citation: Martsinkevich DN, Prilutskiy PS, Dzyadzko AM, Sevruc TA, Tochilo SA. The potential of the ultrasound method in diagnosing pulmonary edema in critically ill patients with liver failure. *Transplantologiya. The Russian Journal of Transplantation.* 2024;16(2):186–196. (In Russ.). <https://doi.org/10.23873/2074-0506-2024-16-2-186-196>

ВЛЖ – внесосудистая легочная жидкость
ИГКДО – индекс глобального конечно-диастолического объема
ИМТ – индекс массы тела
ОПН – острая печеночная недостаточность
ОХПН – острая хроническая печеночная недостаточность
ПДКВ – положительное давление в конце выдоха
ПРПН – пострезекционная печеночная недостаточность

РДТП – ранняя дисфункция трансплантата печени
СИ – сердечный индекс
ССВО – синдром системного воспалительного ответа
ТПТД – транспульмональная термодилуция
УЗИ – ультразвуковое исследование
ЦВД – центральное венозное давление
ЦВК – центральный венозный катетер

Введение

Отек легких является частым осложнением у пациентов в критическом состоянии [1–3]. Чаще всего это связано с перегрузкой жидкостью, повышенной проницаемостью легочных

капилляров или острой левожелудочковой сердечной недостаточностью [4]. Либеральная тактика инфузионной терапии критического состояния и патологическое накопление внесосудистой легочной жидкости увеличивают риски смертности пациентов в отделении интенсивной

терапии [5]. Объем жидкости, накопленной в альвеолярных, интерстициальных и внутриклеточных компартментах легких обозначается общим термином «внесосудистая легочная жидкость» (ВЛЖ) и может быть измерено путем определения индекса внесосудистой легочной жидкости (ИВЛЖ) методом транспульмональной термодилуции (ТПТД), который во всем мире является «золотым стандартом» в количественной оценке отека легких. Однако данный метод является инвазивным, травматичным, дорогостоящим, требует соответствующей подготовки персонала и наличия специального оборудования, при его использовании велик риск развития жизнеугрожающих осложнений [6].

Своевременная и неинвазивная диагностика отека легких является важной задачей при интенсивной терапии пациента в отделении реанимации [7]. В терапии критических состояний для диагностики отека легких мы предпочитаем использовать ультразвуковое исследование (УЗИ) легких с регистрацией В-линий вместо ИВЛЖ. Поскольку ультразвуковой метод диагностики является безопасным, информативным, доступным, простым, дешевым, его применение практически не зависит от состояния пациента [8]. Метод УЗИ стал очень популярным в практике интенсивной терапии по всему миру [9, 10]. Однако в нашей стране, как и в странах ближнего зарубежья, из-за отсутствия достаточного количества клинических исследований, необходимой регламентирующей базы, данный метод не валидирован, ввиду этого в Республике Беларусь использование УЗИ для прикроватной диагностики патологических состояний легких пока не распространено.

Цель. Оценить возможность применения ультразвуковой диагностики отека легких путем сравнения корреляций между В-линиями и параметром индекса внесосудистой легочной жидкости у пациентов с печеночной недостаточностью.

Материал и методы

Проведено ретроспективное исследование у 27 пациентов. Все пациенты находились в критическом состоянии, обусловленном острой печеночной недостаточностью (ОПН), либо острой на фоне хронической печеночной недостаточностью (ОХПН), либо ранней дисфункцией трансплантата печени (РДТП), либо пострезекционной печеночной недостаточностью (ПРПН). Часть пациентов имела синдром системного воспалительного

ответа (ССВО) с развитием полиорганной недостаточности и клиники перераспределительного шока по шкале SOFA и MELD, соотношения представлены в табл. 1.

Таблица 1. Антропометрические и клинические характеристики пациентов

Table 1. Anthropometric and clinical characteristics of patients

Критерий	Значение
Пол (соотношение муж/жен, %)	15/12 (55,5%/44,4%)
Возраст, лет, Ме (Q1;Q3)	55 (19;67)
Вес, кг, Ме (Q1;Q3)	75 (51;94)
Рост, см, Ме (Q1;Q3)	171 (162;186)
Диагноз, n (%)	ОПН 10 (37,0%) ОХПН 7 (25,9%) РДТП 2 (7,4%) ПРПН 8 (29,6%) Из них ССВО у 19 (70%)
Режим искусственной вентиляции легких, n (%)	BiLevel 26 (96,3%) SIMV (VC) 1 (3,7%)
FiO ₂ %, Ме (Q1;Q3)	47 (35;60)
ПДКВ, см водн.ст., Ме (Q1;Q3)	9,5 (5;14)
SOFA, n (%)	II – 4 (14,8%) III – 7 (25,9%) IV – 16 (59,2%)
MELD, n (%) (имели терминальную стадию ОПН, ОХПН, РДТП, всего 19 пациентов)	< 9 – 1 (5,26%) 10–19 – 3 (15,7%) 20–29 – 7 (36,8%) 30–39 – 5 (26,3%) >40 – 3 (15,7%)

Исследование выполнено на базе отделения анестезиологии и реанимации № 2 ГУ «Минский научно-практический центр хирургии, трансплантологии и гематологии» г. Минск, Республика Беларусь, за период с 27.09.21 по 04.01.24, по согласованию с этическим комитетом клиники.

Критериями включения пациентов в исследование являлись:

1. Все пациенты, находящиеся в тяжелом состоянии с клиникой перераспределительного шока на фоне острой печеночной недостаточности и синдрома системного воспалительного ответа.

2. Пациенты, у которых для оценки показателей гемодинамики использовали методику транспульмональной термодилуции.

Критериями исключения из исследования были следующие:

1. Пациенты с сопутствующими патологиями, такими как: гидроторакс объемом более 400 мл, пневмоторакс, пневмония, кардиогенный шок,

пациенты онкологического профиля с распространенными метастазами, напряженный асцит.

2. Пациенты с конституционными особенностями, затрудняющими визуализацию при УЗИ, такие как индекс массы тела (ИМТ) более 30, с толщиной подкожно-жировой клетчатки более 10 см, ввиду поглощения и затухания УЗ-волн, что ограничивало возможности достоверно оценить пораженные участки легких.

3. Наличие нарушения целостности кожного покрова в областях исследования, что препятствовало визуализации необходимых областей легких.

Интерпретация результатов УЗИ по количеству В-линий проводилась по следующей шкале:

1. Паренхима легкого с нормальным количеством В-линий – до 4 линий в межреберном промежутке (расценивали как норму).

2. Паренхима легкого с повышенным объемом жидкости и количеством В-линий от 5 до 8 линий в межреберном промежутке (расценивали как умеренный отек легочной ткани).

3. Паренхима легкого с избыточным объемом жидкости и количеством В-линий от 9 и более линий в межреберном промежутке (интерпретировали как выраженный отек паренхимы легкого).

Всем пациентам, соответствующим критериям отбора, выполняли УЗИ легких методом 4-точечного исследования (4-s BL, англ. 4-sector B-Lines – В-линии) (рис. 1), а также проводили измерение показателей гемодинамики с регистрацией ИВЛЖ методом транспульмональной термодиллюции (табл. 2).

УЗ-диагностику выполнял один исследователь на приборе GE Logiq (General Electric, США), ТПТД проводили на модульном мониторе пациента Philips Intellivue MX 550 (Philips, США) с возможностью расширенного гемодинамического мониторинга.

Для оценки изменений ткани легкого и регистрации В-линий использовали линейный датчик с частотой 7–10 МГц. Исследование проводили в положении пациентов лежа на спине. УЗИ легких выполнялось согласно модифицированной методике Bedside Lung Ultrasound in Emergency, по 4-точечной схеме, предназначенной для быстрой диагностики ургентных состояний [11]. В-линии определяли как гиперэхогенные вертикальные линии, берущие начало от линии плевры и распространяющиеся вниз в паренхиму легкого (рис. 2).

УЗИ протокол исследования легких (4 точки)

Пациент _____
 № истории болезни _____ Отделение _____
 Тип УЗ-датчика _____
 Исследование в положении: лежа на спине

Дата/ время	Т, С	FiO ₂ / SpO ₂ %	ЧД	1П	2П	3Л	4Л

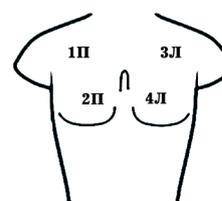


Рис. 1. Представлен образец протокола четырехточечного (4-s BL) ультразвукового исследования

Fig. 1. A sample of 4-sector B-line (4-s BL) protocol of ultrasound examination is presented

Таблица 2. Показатели центральной гемодинамики, измеренные методом транспульмональной термодиллюции

Table 2. Central hemodynamics parameters measured by transpulmonary thermodilution

Гемодинамические расчеты				
Рост	175 см	ППТ	2,10 м ²	Время расчета 1 Мар 1:29
Масса	95,0 кг			
СВ	3,45 л/мин			СИ 1,64 л/мин/м ²
ЧСС	78 уд./мин	УО	44,2 мл	УИ 21,1 мл/м ²
АД _{сис}	*119 мм рт.ст.	ССС	1669 дин·с/см ⁵	ИССС 3504 DSm ² /см ⁵
АД _{ср}	*67 мм рт.ст.	РЛЖ	4,0 кг·м	ИРЛЖ 1,9 кг·м/м ²
АД _{дп}	*85 мм рт.ст.	УРЛЖ	51,1 г·м	ИУРЛЖ 24,3 г·м/м ²
ЦВД _п	13 мм рт.ст.			
ОФВ	18 %	ВЛЖ	264 мл	ИВЛЖ 4,0 мл/кг
ВУО	11 %	ВГОК	1320 мл	ИВГОК 733 мл/м ²
ИПД	%	ОКДО	1056 мл	ИОКДО 587 мл/м ²
dP _{max}	574	ИФС	3,2	ИПЛС 1,0

Примечания: ВГОК – внутригрудной объем крови, ВЛЖ – внесосудистая легочная жидкость, ВУО – вариабельность ударного объема, ИВГОК – индекс ВГОК, ИВЛЖ – индекс ВЛЖ, ИОКДО – индекс ОКДО, ИПД – индекс пульсового давления, ИПЛС – индекс проницаемости легочных сосудов, ИРЛЖ – индекс РЛЖ, ИССС – индекс ССС, ИУРЛЖ – индекс УРЛЖ, ИФС – индекс функции сердца, ОКДО – общий конечнодиастолический объем, ОФВ – общая фракция выброса, ППТ – площадь поверхности тела, РЛЖ – работа левого желудочка, СВ – сердечный выброс, СИ – сердечный индекс, ССС – системное сосудистое сопротивление, УИ – ударный индекс, УО – ударный объем, УРЛЖ – ударная РЛЖ

Для регистрации ИВЛЖ использовали ТПТД методику. Для этого всем пациентам был установлен артериальный термодиллюционный PiCCO катетер 5F в одну из aa. femoralis с подключени-

ем его к системе измерений и регистрации кривой термодилуции – монитор Philips Intellivue MX 550, далее выполнялись болюсные введения холодного индикатора через термодатчик на центральном венозном катетере (ЦВК), стоящем в v. cava superior. Измерения проводились 3 раза, усреднялись и автоматически индексировались для получения показателей индекса внесосудистой легочной жидкости, индекса глобально-конечно-диастолического объема (ИГКДО) и сердечного индекса (СИ). Центральное венозное давление (ЦВД) измеряли через ЦВК в конце выдоха.

Данные, полученные двумя методами (УЗИ и ТПТД), сравнивали между собой по количеству В-линий и по величине ИВЛЖ.

Статистический анализ данных проводили при помощи программного обеспечения StatTech v. 3.1.8 (Российская Федерация). Если значение p было меньше 0,05, то данные считались статистически значимыми. Количественные данные описывали с помощью медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q1;Q3). Сравнение двух групп по количественному показателю, распределение которого отличалось от нормального, выполняли с помощью U-критерия Манна–Уитни. Направление и тесноту корреляционной связи между двумя количественными показателями оценивали с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена (r). Для оценки диагностической значимости количественных признаков при прогнозировании определенного исхода применяли метод анализа ROC-кривых. Разделяющее значение количественного признака в точке cut-off определялось по наивысшему значению индекса Юдена.

Интерпретацию результатов ТПТД измерений проводили по следующей шкале:

1. ИВЛЖ меньше 7 расценивался как нормальный диапазон, без повышенной внелегочной жидкости (расценивали как норму).

2. ИВЛЖ от 8 до 11 расценивали как развивающийся или умеренный отек легких (расценивали как умеренный отек легочной ткани).

3. ИВЛЖ в диапазоне от 12 и выше расценивали как тяжелый отек легких с избыточным количеством внесосудистой жидкости в паренхиме легких (интерпретировали как выраженный отек паренхимы легкого) (рис. 2).

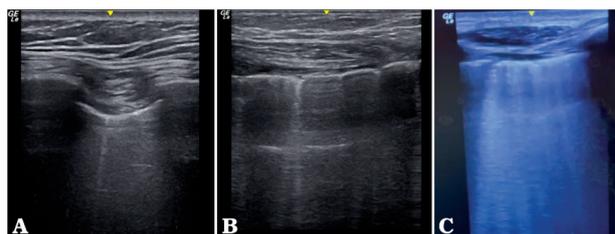


Рис. 2. Пример ультразвукового скрина при визуализации В-линий: (А) Нормальная паренхима легкого с количеством В-линий до 4 в межреберном промежутке; (В) Паренхима легкого с избыточным количеством внелегочной жидкости и количеством В-линий от 4 до 8; (С) Избыточное количество В-линий (выше 8), свидетельствующее о критически высоком количестве жидкости в паренхиме легкого

Fig. 2. Example of an ultrasound screen when visualizing B-lines: (A) Normal lung parenchyma with up to 4 B-lines in the intercostal space; (B) Lung parenchyma with excess extrapulmonary water and the number of B-lines from 4 to 8; (C) Excessive number of B-lines (above 8), indicating a critically high amount of water in the lung parenchyma

Результаты исследования

Определена статистически значимая взаимосвязь ($p < 0,05$) между показателем индекса внесосудистой легочной жидкости и наличием отека легких (табл. 3, рис. 3).

Таблица 3. Взаимосвязь «ИВЛЖ» и пациентов с отеком легких

Table 3. Relationship between "EVLWI" and patients with pulmonary edema

Отек легких	ИВЛЖ			p
	Me	Qн;Qв	n	
нет	5	2;7	10	<0,001*
есть	10	9;12	17	

* – различия показателей статистически значимы ($p < 0,05$)

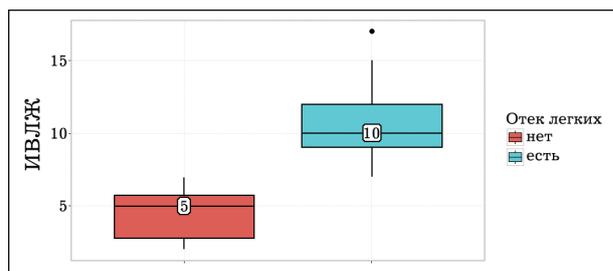


Рис. 3. Анализ показателя «ИВЛЖ» в зависимости от показателя «Отек легких»

Fig. 3. Analysis of the "EVLWI" parameter in relation to the "Pulmonary edema" parameter

Также мы выявили значимую взаимосвязь ($p < 0,05$) между количеством В-линий и наличием отека легких (табл. 4, рис. 4).

Таблица 4. Анализ показателя «В-линия» в зависимости от показателя «Отек легких»

Table 4. Analysis of the "B-line" parameter in relation to the "Pulmonary edema" parameter

Отек легких	В-линия			p
	Me	Qн;Qв	n	
нет	4	2;5	10	<0,004*
есть	8	6;10	17	

* – различия показателей статистически значимы (p<0,05)

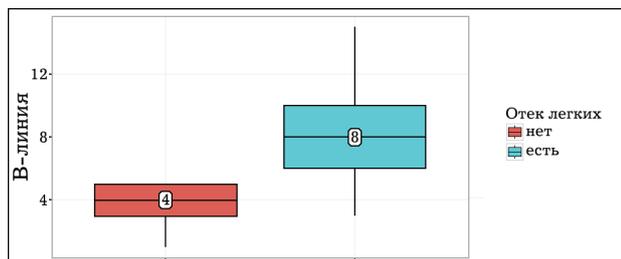


Рис. 4. Анализ показателя «В-линия» в зависимости от показателя «Отек легких»

Fig. 4. Analysis of the "B-line" parameter in relation to the "Pulmonary edema" parameter

Согласно представленной таблице при сравнении показателя "В-линия" в зависимости от показателя "Отек легких" были установлены статистически значимые различия (p=0,004).

Мы провели корреляционный анализ взаимосвязи показателя "ИВЛЖ" при ТПГД и показателя "В-линия", определенных при помощи ультразвукового метода исследования (табл. 5, рис. 5).

Таблица 5. Результаты корреляционного анализа взаимосвязи показателя «ИВЛЖ» и показателя «В-линия»

Table 5. Results of the analysis for correlation relationship between the "EVLWI" parameter and the "B-line" parameter

Показатель	Характеристика корреляционной связи		
	r_{xy}	Теснота связи по шкале Чеддока	p
ИВЛЖ – В-линия	0,742	Высокая	< 0,001*

* – различия показателей статистически значимы (p<0,05)

При оценке связи показателя "В-линия" и показателя "ИВЛЖ" была установлена прямая связь высокой степени.

При оценке зависимости вероятности наличия отека легких от показателя "В-линия" с помощью ROC-анализа была получена следующая кривая (рис. 6).

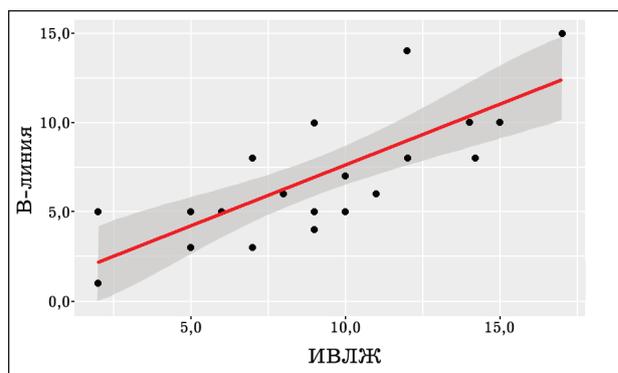


Рис. 5. График регрессионной функции, характеризующий зависимость показателя «В-линия» от показателя «ИВЛЖ»

Fig. 5. The regression function graph characterizing the relationship of the "B-line" parameter to the "EVLWI" parameter

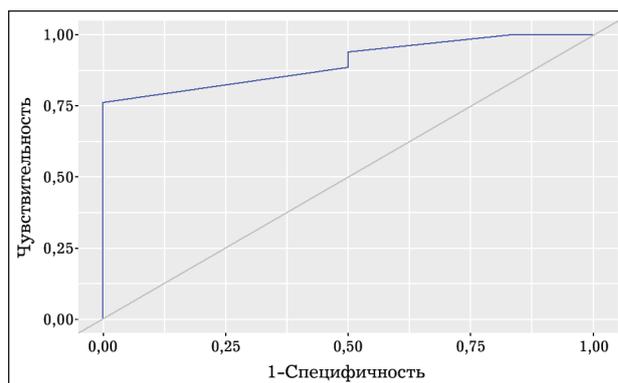


Рис. 6. ROC-кривая, характеризующая зависимость вероятности показателя «Отек легких» от показателя «В-линия»

Fig. 6. The ROC curve characterizing the relationship probability of the "Pulmonary edema" parameter from the "B-line" parameter

Площадь под ROC-кривой (AUC) составила $0,9 \pm 0,06$ с 95% ДИ [0,77–1,00]. Полученная модель была статистически значимой (p=0,004). Пороговое значение показателя "В-линия" в точке cut-off 6,000. Наличие отека легких прогнозировалось при значении показателя "В-линия" выше данной величины или равной ей. Чувствительность и специфичность модели составили 76,5% и 96,4% соответственно. Анализируя полученные результаты, видим, что итоговые значения AUC не выходят за пределы отрезка [0,5–1,0] для вышеописанной модели, а значит, обладают достаточной диагностической ценностью.

Анализ дополнительных респираторных показателей пациентов позволил нам выявить и дру-

гие немаловажные закономерности. Мы также обнаружили статистически значимые корреляции между уровнем ПДКВ (положительное давление в конце выдоха) и ИВЛЖ ($r=0,82$, $R^2=0,58$, $p<0,001$) (рис. 7А), между уровнем ПДКВ и количеством В-линий ($r=0,88$, $R^2=0,76$, $p<0,001$) (рис. 7В), а также статистически значимые корреляции между количеством В-линий и FiO_2 (процент содержания кислорода во вдыхаемой смеси) ($r=0,79$, $R^2=0,65$, $p<0,001$) (рис. 7С), а также значимую корреляцию между ИВЛЖ и FiO_2 ($r=0,82$, $R^2=0,70$, $p<0,001$) (рис. 7D).

Обсуждение

Проведенное нами исследование показывает, что сонографический метод диагностики отека легких у пациентов в критическом состоянии имеет большие диагностические возможности. Следует отметить, что мы обнаружили значимую корреляцию между показателями В-линий и ИВЛЖ, а также определили значимую точность

и специфичность УЗИ легких при диагностике отека легких. При построении графика отношений видна прямая взаимосвязь между показателями В-линий и ИВЛЖ (рис. 8).



Рис. 8. Взаимосвязь между показателями «ИВЛЖ» и «В-линий»

Fig. 8. Relationship between the "EVLWI" and "B-line" parameters

На рис. 8 на декартовой плоскости обозначены точки координат, соответствующие результатам наших измерений, полученных двумя вышеописанными методами. Видно, что данные измерения двух независимых методов исследования имеют четкую взаимосвязь, что подтверждает наличие корреляции между ними.

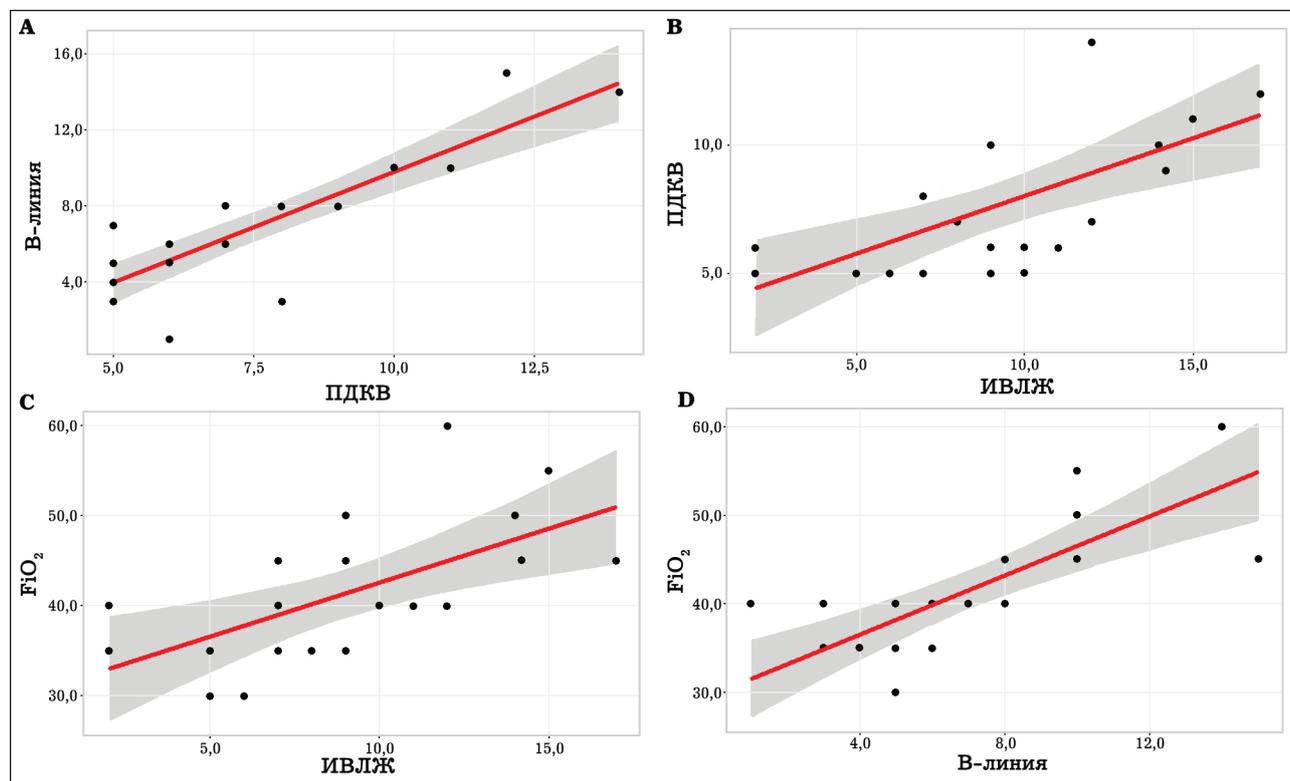


Рис. 7. Графики рассеяния, показывающие значимую корреляцию респираторных ультразвуковых исследований и транспульмональных термодилуций показателей пациентов: А – ПДКВ и В-линия; В – ПДКВ и ИВЛЖ; С – ИВЛЖ и FiO_2 ; D – В-линия и FiO_2

Fig. 7. Scatterplots showing a significant correlation between respiratory ultrasound examinations and transpulmonary thermodilution parameters in patients: A. PEEP and B-line; B. PEEP and EVLWI; C. EVLWI and FiO_2 ; D. B line and FiO_2

Общеизвестно, что ТПТД является одним из точных методов количественного определения внесосудистой легочной жидкости, данная методика незаменима для мониторинга показателей центральной гемодинамики у пациентов в критическом состоянии, однако она является инвазивной, травматичной (необходима дополнительная катетеризация центральной артерии и вены), дорогостоящей, а также требует наличия специального оборудования и опыта персонала, ввиду этого, для оценки отека легочной паренхимы УЗИ представляет собой разумную альтернативу, к тому же является неинвазивным, доступным, простым, быстрым, недорогим методом исследования. Результаты нашей работы соответствуют результатам других авторов [12, 13]. Более того, ряд авторов считает, что ультразвуковой метод исследования может быть использован для диагностики острого респираторного дистресс-синдрома [14].

В дополнение мы выявили значимые закономерности между ИВЛЖ, количеством В-линий и другими респираторными показателями пациентов. Таким образом мы определили высокую корреляцию между такими показателями, как ПДКВ и ИВЛЖ, В-линии и FiO_2 , FiO_2 и ИВЛЖ, что еще раз подтверждает возможность диагностики отека легких ультразвуковым методом исследования.

Проведение дальнейших исследований на эту тему позволит более точно определить место УЗИ в прикроватной диагностике отека легких у пациентов отделений интенсивной терапии.

Несмотря на свои преимущества, следует отметить и недостатки данного метода. Поскольку каждый специалист интерпретирует изображение УЗИ согласно своим знаниям и практическому опыту, результаты исследования могут быть субъективны и отличаться при проведении исследования разными специалистами. В случае диагностики отека легких при помощи ультразвука недостатком метода также является невозможность количественного определения внесосудистой легочной жидкости, возможна лишь визуальная оценка паренхимы легкого. Кроме того, УЗИ легких возможно выполнить только в случае отсутствия воздуха в плевраль-

ной полости, однако, в этом случае хоть и невозможно визуализация паренхимы легкого, тем не менее, возможна диагностика пневмоторакса [15]. Ограничениями проведенного нами исследования являются малый объем выборки пациентов, а также субъективность исследователя при выполнении УЗ-диагностики легких.

Заключение

Диагностика отека легких у пациентов с печеночной недостаточностью, находящихся в критическом состоянии, требует наличия быстрого, простого и неинвазивного метода обследования. В проведенном исследовании определена чувствительность и специфичность ультразвука для выявления внесосудистой легочной жидкости. Сравнение показателей ультразвука с методом транспульмональной термодилуции показало возможность использования УЗИ для выявления отека легких у пациентов с печеночной недостаточностью. Необходима популяризация метода в диагностике критических состояний.

Выводы

1. Данные УЗИ при диагностике отека легких (количество В-линий) имеют значимую степень корреляции ($r=0,742$, $p<0,001$) с показателями транспульмональной термодилуции (уровнем внесосудистой легочной жидкости), а так же с показателями положительного давления в конце выдоха ($r=0,88$, $p<0,001$) и FiO_2 ($r=0,79$, $p<0,001$) у пациентов, находящихся на искусственной вентиляции легких.

2. УЗИ легких является точным ($\text{AUC}=0,9\pm 0,06$ с 95% ДИ [0,77–1,0]; $p<0,004$), неинвазивным, безопасным и доступным методом оценки внелегочной жидкости, который может быть использован для быстрой и точной диагностики отека легких у пациентов, находящихся в критическом состоянии.

3. Использование ультразвукового исследования может изменить рутинные подходы инструментальной оценки отека легких в отделениях реанимации. Необходимо внедрение метода в широкую клиническую практику.

Список литературы/References

1. Martin GS, Eaton S, Mealer M, Moss M. Extravascular lung water in patients with severe sepsis: a prospective cohort study. *Crit Care*. 2005;9(2):R74–82. PMID: 15774053 <https://doi.org/10.1186/cc3025>
2. Ashbaugh DG, Bigelow DB, Petty TL, Levine BE. Acute respiratory distress in adults. *Lancet*. 1967;2(7511):319–23. PMID: 4143721 [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(67\)90168-7](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(67)90168-7)
3. Ray P, Birolleau S, Lefort Y, Becquemin MH, Beigelman C, Isnard R, et al. Acute respiratory failure in the elderly: etiology, emergency diagnosis and prognosis. *Crit Care*. 2006;10(3):82. PMID: 16723034 <https://doi.org/10.1186/cc4926>
4. Phillips CR, Chesnutt MS, Smith SM. Extravascular lung water in sepsis-associated acute respiratory distress syndrome: indexing with predicted body weight improves correlation with severity of illness and survival. *Crit Care Med*. 2008;36(1):69–73. PMID: 18090369 <https://doi.org/10.1097/01.CCM.0000295314.01232.BE>
5. Ware LB, Matthay MA. Clinical practice. Acute pulmonary edema. *Engl J Med*. 2005;353(26):2788–96. PMID: 16382065 <https://doi.org/10.1056/NEJMcp052699>
6. Litton E, Morgan M. The PiCCO monitor: a review. *Anaesth Intensive Care*. 2012;40(3):393–409. PMID: 22577904 <https://doi.org/10.1177/0310057X1204000304>
7. Lichtenstein DA. BLUE-protocol and FALLS-protocol: two applications of lung ultrasound in the critically ill. *Chest*. 2015;147(6):1659–1670. PMID: 26033127 <https://doi.org/10.1378/chest.14-1313>
8. Singh Y, Tissot C, Fraga MV, Yousef N, Cortes RG, Lopez J, et al. International evidence-based guidelines on point of care ultrasound (POCUS) for critically ill neonates and children issued by the POCUS Working Group of the European Society of Paediatric and Neonatal Intensive Care (ESPNIC). *Crit Care*. 2020;24(1):65. PMID: 32093763 <https://doi.org/10.1186/s13054-020-2787-9>
9. Mayo PH, Copetti R, Feller-Kopman D, Mathis G, Maury E, Mongodi S, et al. Thoracic ultrasonography: a narrative review. *Intensive Care Med*. 2019;45(9):1200–1211. PMID: 31418060 <https://doi.org/10.1007/s00134-019-05725-8>
10. Ultrasound guidelines: emergency, point-of-care and clinical ultrasound guidelines in medicine. *Ann Emerg Med*. 2017;69(5):e27–e54. PMID: 28442101 <https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2016.08.457>
11. Lichtenstein DA, Meziere GA. Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure: the BLUE protocol. *Chest*. 2008;134(1):117–25. PMID: 18403664 <https://doi.org/10.1378/chest.07-2800>
12. Pirompanich P, Karakitsos D, Alharthy A, Gillman LM, Blaivas M, Buchanan BM, et al. Evaluating extravascular lung water in sepsis: three lung-ultrasound techniques compared against transpulmonary thermodilution. *Indian J Crit Care Med*. 2018;22(9):650–655. PMID: 30294131 https://doi.org/10.4103/ijccm.IJCCM_256_18
13. Mayr U, Lukas M, Habenicht L, Wiessner J, Heilmaier M, Ulrich J, et al. B-lines scores derived from lung ultrasound provide accurate prediction of extravascular lung water index: an observational study in critically ill patients. *J Intensive Care Med*. 2022;37(1):21–31. PMID: 33148110 <https://doi.org/10.1177/0885066620967655>
14. Matthay MA, Arabi Y, Arroliga AC, Bernard G, Bersten AD, Brochard LJ, et al. A new global definition of acute respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med*. 2024;209(1):37–47. PMID: 37487152 <https://doi.org/10.1164/rccm.202303-0558WS>
15. Galstyan GM, Novikov VA, Troitskaya VV, Baryakh EA, Makhinya SA, Parovichnikova EN, et al. Lung ultrasonography for the diagnosis of pneumonia in pregnant women with blood system tumors. *Ter Arkh*. 2015;87(1):79–87. PMID: 25823274 <https://doi.org/10.17116/terarkh2015871779-87>

Информация об авторах

**Денис Николаевич
Марцинкевич**

врач-анестезиолог-реаниматолог отделения анестезиологии и реанимации № 2 (для пациентов хирургического профиля) ГУ «МНПЦ хирургии, трансплантологии и гематологии», <https://orcid.org/0009-0005-6214-7790>, mar-denis94@mail.ru
40% – выполнение манипуляций, сбор материала и анализ, статистическая обработка, написание статьи

**Павел Сергеевич
Прилуцкий**

заведующий отделением анестезиологии и реанимации № 2 (для пациентов хирургического профиля) ГУ «МНПЦ хирургии, трансплантологии и гематологии», <https://orcid.org/0000-0002-5274-2714>
10% – концепция и дизайн исследования, редактирование

**Александр Михайлович
Дзядзько**

проф., д-р мед. наук, заведующий отделом анестезиологии и реанимации ГУ «МНПЦ хирургии, трансплантологии и гематологии», <https://orcid.org/0000-0003-1965-1850>
30% – планирование, редактирование, проверка критически важного интеллектуального содержания, окончательное утверждение рукописи для публикации

**Татьяна Александровна
Севрук**

врач-анестезиолог-реаниматолог отделения анестезиологии и реанимации № 5 (для пациентов кардиохирургического профиля), ГУ «МНПЦ хирургии, трансплантологии и гематологии», <https://orcid.org/0009-0005-1904-1966>,
10% – концепция и дизайн исследования, редактирование

**Сергей Анатольевич
Точило**

доц., канд. мед. наук, врач-анестезиолог-реаниматолог отделения анестезиологии и реанимации УЗ «Могилевская областная клиническая больница», <https://orcid.org/0000-0003-1659-5902>,
10% – концепция и дизайн исследования, редактирование

Information about the authors

Denis N. Martsinkevich

Anesthesiologist-Intensivist of the Department of Anesthesiology and Intensive Care Unit No. 2 (for surgical patients), Minsk Scientific and Practical Center for Surgery, Transplantology and Hematology, <https://orcid.org/0009-0005-6214-7790>, mar-denis94@mail.ru

40%, performing manipulations, data collection and analysis, statistical processing, writing the article

Pavel S. Prilutskiy

Chief of the Department of Anesthesiology and Intensive Care Unit No. 2 (for surgical patients), Minsk Scientific and Practical Center for Surgery, Transplantology and Hematology, <https://orcid.org/0000-0002-5274-2714>

10%, concept and design of the study, text editing

Aleksandr M. Dzyadzko

Prof., Dr. Sci. (Med.), Head of the Department of Anesthesiology and Intensive Care, Minsk Scientific and Practical Center for Surgery, Transplantology and Hematology, <https://orcid.org/0000-0003-1965-1850>

30%, study planning, text editing, review of essential intellectual content, final approval of the manuscript for publication

Tatyana A. Sevruk

Anesthesiologist-Intensivist of the Department of Anesthesiology and Intensive Care Unit No. 5 (for cardiac surgery patients), Minsk Scientific and Practical Center for Surgery, Transplantology and Hematology, <https://orcid.org/0009-0005-1904-1966>

10%, study concept and design, text editing

Sergey A. Tochilo

Assoc. Prof., Dr. Sci. (Med.), Anesthesiologist-Intensivist of the Department of Anesthesiology and Intensive Care Unit, Mogilev Regional Clinical Hospital, <https://orcid.org/0000-0003-1659-5902>,

10%, study concept and design, text editing

Статья поступила в редакцию 06.03.2024;
одобрена после рецензирования 19.03.2024;
принята к публикации 27.03.2024

The article was received on March 6, 2024;
approved after reviewing March 19, 2024;
accepted for publication March 27, 2024