

# Важливість використання мобільних ультразвукових апаратів для покращення якості та безпеки надання невідкладної допомоги, знеболювання та інтенсивної терапії

А. А. Кріштафор<sup>id</sup>\*<sup>A,B,C,D,E</sup>, Д. А. Кріштафор<sup>id</sup><sup>B,C,D,E</sup>, О. В. Кравець<sup>id</sup><sup>C,D,F</sup>, О. В. Пилипенко<sup>id</sup><sup>B,C,D</sup>

Дніпровський державний медичний університет, Україна

А – концепція та дизайн дослідження; В – збір даних; С – аналіз та інтерпретація даних; D – написання статті; Е – редагування статті; F – остаточне затвердження статті

## Ключові слова:

ультразвукове дослідження, анестезіологія, знеболювання, інтенсивна терапія, інвазивні маніпуляції, невідкладні стани.

## Keywords:

ultrasonography, anesthesiology, analgesia, intensive care, invasive manipulations, emergency conditions.

Надійшла до редакції /  
Received: 16.12.2024

Після доопрацювання /  
Revised: 22.01.2025

Схвалено до друку /  
Accepted: 27.01.2025

**Конфлікт інтересів:**  
відсутній.

**Conflicts of interest:**  
authors have no conflict  
of interest to declare.

**\*E-mail:**  
a.krishtafor@dmu.edu.ua

© The Author(s) 2025  
This is an open access  
article under the  
[Creative Commons  
CC BY-NC 4.0 license](#)

**Мета роботи** – визначення ролі ультразвукового методу візуалізації в поліпшенні безпеки та якості знеболювання, інтенсивної терапії та невідкладної медичної допомоги.

Розглянуто роль ультразвукової візуалізації у покращенні якості та безпеки діагностики, знеболювання та інтенсивної терапії, зокрема при невідкладних станах. Наголошено на важливості застосування мобільних ультразвукових апаратів, що забезпечують достатню точність обстежень і дають змогу виконувати процедури безпосередньо біля ліжка пацієнта або в позагоспітальних умовах. Вивчено протоколи ультразвукових досліджень (УЗД), що стандартизують діагностику й інвазивні маніпуляції. Так, протоколи POCUS, FAST, eFAST, LUCI та інші довели свою ефективність під час діагностики шокових станів, пневмотораксу, травм внутрішніх органів і критичних ускладнень. Ультразвук також широко застосовують для підвищення безпеки інвазивних процедур: катетеризації центральних вен, регіонарних блоkad та епідуральної анестезії. У дітей УЗД допомагає зменшити кількість ускладнень під час маніпуляцій завдяки високій точності візуалізації. УЗД – важливий інструмент для моніторингу стану пацієнтів із дихальною та серцевою недостатністю, що дає змогу оперативно виявляти патологічні зміни у легенях і серці. Застосування УЗД суттєво зменшує радіаційне навантаження порівняно з рентгенографією та комп'ютерною томографією.

Незважаючи на значний прогрес, методика має певні обмеження, пов'язані з анатомічними особливостями пацієнтів, складністю пошуку акустичних вікон і необхідністю спеціалізованої підготовки лікарів. Перспективи розвитку полягають у подальшій стандартизації протоколів, удосконаленні технічних можливостей апаратів УЗД та розробці міжнародних програм навчання.

**Висновки.** Ультразвукова візуалізація покращує якість діагностики, знеболювання та інтенсивної терапії, значно підвищує точність і безпеку інвазивних процедур. Використання ультразвукових методів візуалізації може мати обмеження у випадках, коли складно знайти акустичне вікно. Поширення використання концепції POCUS та інтеграція УЗД в алгоритми підтримки життя пов'язані з розробленням доступних компактних, високочутливих апаратів УЗД, придатних для догоспітальної діагностики.

**Сучасні медичні технології. 2025. Т. 17, № 1(64). С. 60-66**

## The importance of using mobile ultrasound devices in improving the quality and safety of emergency care, anesthesia and intensive care

A. A. Krishtafor, D. A. Krishtafor, O. V. Kravets, O. V. Pylypenko

**The aim** of this review is to determine the role of ultrasound visualization in improving the safety and quality of anesthesia, intensive care and emergency medical care.

The article explores the role of ultrasound imaging in improving the quality and safety of diagnostics, analgesia, and intensive care, particularly in emergency conditions. The authors emphasize the importance of using portable ultrasound devices that enhance diagnostic accuracy and enable bedside or prehospital procedures. The study highlights the significance of ultrasound protocols, such as POCUS, FAST, eFAST, LUCI, and others which standardize diagnostics and invasive interventions. These protocols have proven to be effective in diagnosing shock states, pneumothorax, internal organ injuries, and critical complications. Ultrasound is also widely used to improve the safety of invasive procedures like central venous catheterization, regional nerve blocks, and epidural anesthesia. In children, ultrasound helps to reduce the number of complications during procedures due to its high accuracy of visualization. The authors point out that ultrasound is an important tool for monitoring the condition of patients with respiratory and heart failure, allowing for the prompt detection of pathological changes in the lungs and heart. In addition, the use of ultrasound examination significantly reduces the radiation exposure compared to X-rays and computerized tomography scans.

Despite significant progress, there are limitations related to the anatomical features of patients, the difficulty of finding acoustic windows, and the need for specialized training of doctors. Future developments include further standardization of protocols, improvement of ultrasound device capabilities, and the creation of international training programs.

**Conclusions.** Ultrasound visualization improves the quality of diagnosis, anesthesia and intensive care, significantly increases the accuracy and safety of invasive procedures. Using ultrasonic visualization methods can be problematic in cases where it is difficult to find an acoustic window. Further expansion of the use of the POCUS concept and integration of ultrasound into life support algorithms are related to the development of available compact, highly sensitive ultrasound devices suitable for prehospital diagnostics.

**Modern medical technology. 2025;17(1):60-66**

У 1950–60-х роках здійснено перші дослідження з обстеження організму людини за допомогою ультразвуку. На початку 1970-х років в експерименті доведено можливість виявлення вільної рідини в черевній порожнині, а в 1976 році за допомогою ультразвуку діагностовано велике пошкодження селезінки [1].

Історія клінічного використання ультразвукового методу візуалізації в анестезіології, інтенсивній терапії та медицині невідкладних станів бере початок у 1980-х роках, коли ультразвукові апарати стали більш портативними, дали змогу отримувати картинку в реальному часі та коли з'явилися багаточастотні датчики і кольоровий доплер. З кінця 1980-х і до середини 1990-х років з використанням ультразвуку здійснювали обстеження пацієнтів з травмами для виявлення гемоперитонеуму та гемоперикарда.

Результатом цього досвіду стало створення протоколу FAST (Focused Assessment with Sonography for Trauma) – цілеспрямованого дослідження пацієнтів із травмою за допомогою ультразвуку. Впровадження цього протоколу обстеження при травмах у багатьох центрах надання допомоги в США, Європі та Японії вже на початку 2000-х років дало змогу відмовитися від рутинної практики діагностичних перитонеальних лаважів і сліпих перикардіоцентезів [1].

Візуалізація за допомогою ультразвуку окремих структур: нервових стовбурів, артерій і вен – дала поштовх до вивчення можливості використання цього методу при виконанні інвазивних процедур, зокрема катетеризації центральних вен і блокади нервових стовбурів для знеболювання під час оперативних втручань.

Протягом наступних 20 років завдяки прогресу електроніки з'явилися технічні можливості розвитку методу ультразвукової візуалізації при знеболюванні, інтенсивній терапії та під час надання допомоги при невідкладних станах. Нині ультразвукові дослідження (УЗД) мають певний набір умов, що забезпечують їхню клінічну корисність, практичність і продуктивність в екстрених випадках. Зокрема, йдеться про такі умови:

1) ультразвукову візуалізацію слід використовувати тільки в разі таких невідкладних станів, коли вона може покращити якість діагностики та виконання інвазивних маніпуляцій;

2) екстрене ультразвукове дослідження обмежене в часі, тому має бути зосередженим на конкретній меті;

3) екстрена ультразвукова візуалізація має бути орієнтована на одну – дві структури в ділянці тіла, які легко розпізнати;

4) методика екстреної ультразвукової візуалізації має бути такою, якій легко навчитися;

5) екстрена ультразвукова візуалізація має бути такою, яку можна швидко виконати;

6) результати екстреної ультразвукової візуалізації мають безпосередньо впливати на ухвалення клінічних рішень і виконання маніпуляцій;

7) екстрена ультразвукова візуалізація має бути такою, щоб її можна було виконати безпосередньо біля ліжка хворого або в позагоспітальних умовах [1].

Дотримання цих умов характеризує всі сучасні методики і протоколи виконання ультразвукових досліджень в анестезіології, інтенсивній терапії та медицині невідкладних станів.

## Мета роботи

Визначення ролі ультразвукового методу візуалізації в поліпшенні безпеки та якості знеболювання, інтенсивної терапії та невідкладної медичної допомоги.

## Матеріали і методи дослідження

Здійснено пошук наукових статей в електронних базах медичних публікацій, а саме в PubMed, Elsevier, Scopus, MedLine, Google Scholar, eLibrary тощо. Для аналізу обрали статті, у яких наведено результати рандомізованих досліджень ефективності ультразвукових методів візуалізації порівняно з іншими варіантами діагностичних та інвазивних процедур.

## Результати

Розрізняють діагностичні й супровідні методи ультразвукової візуалізації. Діагностичні методи використовують для визначення патологічних анатомічних змін, зокрема для виявлення патологічного вмісту в плевральній і черевній порожнинах, у порожнині перикарда, у нирках або сечовому міхурі; оцінювання стану внутрішньосерцевої та системної судинної гемодинаміки; для оцінювання стану і перистальтики кишківника; визначення прохідності вен нижніх кінцівок і наявності тромбів у них. Супровідні методи ультразвукової візуалізації дають змогу в реальному часі отримувати чітке уявлення щодо анатомічних співвідношень між структурами тканин у зоні, де виконують ту чи іншу інвазивну маніпуляцію. Це може бути катетеризація центральної або периферичної вени / артерії, блокада нервових стовбурів і сплетінь, спинномозкова чи епідуральна анестезія.

Порівняно з багатьма приліжковими інструментами для обстеження, УЗД має переваги, що стосуються догляду за

**Таблиця 1.** Протоколи ультразвукового дослідження, які використовують в анестезіології та інтенсивній терапії

Протокол	Назва протоколу
FAST	Focused Assessment with Sonography for Trauma – прицільне ультразвукове дослідження хворих із травмою
eFAST	Extended FAST – розширений протокол прицільного ультразвукового дослідження постраждалих із травмою
BLUE	Bedside Lung Ultrasound in Emergency – приліжкове ультразвукове дослідження легень при невідкладних станах
LUCI	Lung Ultrasound in the Critically Ill – УЗД легень у критично хворого пацієнта
LUCI-FLR	LUCI favouring limitation of radiation – УЗД легень у критично хворого пацієнта з травмою для зменшення радіаційного навантаження
FALLS	Fluid Administration Limited by Lung Sonography – ультразвукове дослідження легень для контролю інфузійної терапії
FATE	Focused Assessed Transthoracic Echocardiography – прицільна трансторакальна ехокардіографія
FoCUS	Focused Cardiac UltraSound examination – прицільне ехокардіографічне обстеження
SESAME	Sequential Emergency Scanning Assessing MEchanism or origin of shock of indistinct Cause – послідовне ультразвукове сканування при невідкладних станах для оцінювання механізму або етіології шоку невизначеної причини
GUCCI	Global Ultrasound Check for the Critically Ill – повне ультразвукове дослідження критично хворого пацієнта, що поєднує кілька наведених протоколів і спрямоване на виявлення ознак гострої дихальної недостатності, шоку та зупинки кровообігу
PAUSE	Prehospital Assessment with UltraSound for Emergency – ультразвукове обстеження при невідкладних станах на догоспітальному етапі
RUSH	Rapid Ultrasound in SHock – швидке ультразвукове обстеження при шоку

За даними [3,4,5,6,7,8].

тяжкохворими пацієнтами у відділенні інтенсивної терапії, особливо в найскладніших випадках, за виняткових обставин [2].

За роки, що минули з початку впровадження УЗД у практику знеболювання та інтенсивної терапії, розроблено низку протоколів, що дають змогу стандартизувати методики дослідження і застосовувати у кожному конкретному випадку ту, що дасть найшвидший і найточніший результат (табл. 1). Ці протоколи об'єднує одна ідея, яка реалізує концепцію використання УЗД у медицині критичних станів, – POCUS (Point-Of-Care UltraSound), тобто ультразвукове дослідження на місці, безпосередньо біля ліжка хворого або на місці виклику, у разі застосування лікарем невідкладної медичної допомоги.

Останнім часом збільшується частота застосування концепції POCUS для ведення критично хворих пацієнтів, що здійснюють реаніматологи або лікарі невідкладної допомоги. Результати оцінювання потреб лікарів медицини критичних станів дали підстави виокремити базові ультразвукові дослідження серця, легенів і черевної порожнини [9], що є найпоширенішими методами POCUS у відділенні інтенсивної терапії.

Базова ехокардіографія у хворих у критичному стані зазвичай передбачає чотири ехокардіографічних проєкції: парастернальну по довгій осі, парастернальну по короткій осі, апікальну чотирикамерну та субкостальну. Вони дають змогу біля ліжка хворого оцінити терміново необхідні показники скоротливості міокарда, наповнення лівого шлуночка, дилатації правого шлуночка або визначити інші очевидні аномалії (наприклад, великий перикардіальний випіт).

Перевагою УЗД легень порівняно з рентгенографією грудної клітки та комп'ютерною томографією є те, що клінічно стан

пацієнта можна зручно контролювати протягом тривалого часу без збільшення радіаційного навантаження. Показано, що УЗД легень зменшує частоту використання рентгенограм грудної клітки та комп'ютерної томографії у критично хворих пацієнтів на 26 % і 47 % відповідно [10]. Поєднання УЗД легень із базовою ехокардіографією суттєво підвищує рівень діагностичної точності УЗД при кардіогенному набряку легень (94 % порівняно з 65 % у разі використання тільки УЗД легень,  $p = 0,03$ ) і пневмонії (83 % порівняно з 66 % у разі застосування тільки УЗД легень,  $p = 0,016$ ) [11].

Нещодавно концепцію POCUS почали застосовувати в алгоритмі розширеної підтримки життя дорослих у разі зупинки кровообігу (Advanced Cardiac Life Support, ACLS). Якщо це не заважає виконанню основного алгоритму ACLS, його доцільно застосовувати для виявлення потенційно оборотних причин зупинки серця або відновлення спонтанного кровообігу [12].

УЗД має чимало переваг під час візуалізації дихальних шляхів, оскільки це дослідження безпечне, швидке, повторюване, портативне, широко доступне та дає динамічні зображення в режимі реального часу. Так, наприклад, УЗД можна використовувати для прямого визначення положення ендотрахеальної трубки – у трахеї чи стравоході [13].

Опанування базових навичок використання УЗД не є занадто складним. Так, за даними E. J. Chin et al., навіть парамедики на догоспітальному етапі за допомогою ультразвукового дослідження за протоколом PAUSE можуть швидко діагностувати у пацієнта пневмоторакс, перикардіальний випіт або зупинку серця – стани, що потребують негайного втручання [3]. Дослідження здійснили за участю 20 парамедиків, які не мали досвіду використання УЗД. Вже після двогодинного курсу навчання, який склався з

Таблиця 2. Специфічність і чутливість УЗД при різних видах шоку

Вид шоку	Чутливість	Специфічність
Гіповолевмічний	0,90 (95 % ДІ 0,84–0,94)	0,92 (95 % ДІ 0,88–0,95)
Кардіогенний	0,78 (95 % ДІ 0,56–0,91)	0,96 (95 % ДІ 0,92–0,98)
Дистрибутивний	0,79 (95 % ДІ 0,71–0,85)	0,96 (95 % ДІ 0,91–0,98)
Обструктивний	0,82 (95 % ДІ 0,68–0,91)	0,98 (95 % ДІ 0,92–0,99)

За результатами метааналізу T. Yoshida et al. [15].

лекції і практичного опанування навичок, курсанти давали в середньому 91 % (86–96 %) правильних відповідей при розпізнаванні тестових зображень. Xaver H. N. et al. вважають, що УЗД може бути корисним під час медичного сортування у разі надання допомоги великій кількості постраждалих [14].

Ультразвукові методи дослідження довели свою ефективність під час діагностики шоккових станів різного походження (табл. 2).

УЗД виявилось чутливішим щодо випоту в плевральній порожнині, ніж комп'ютерна томографія (КТ). Так, за допомогою ультразвукового сканування можна виявити випіт об'ємом від 5 мл, а за допомогою КТ – від 150 мл [16,17].

Крім того, УЗД має переваги під час діагностики вентилятор-асоційованої пневмонії (ВАП) порівняно з рентгенографією грудної клітки, й зокрема в аспекті ранньої діагностики. Виявилось, що у пацієнтів, які перебувають на штучній вентиляції легень з повною втратою повітряності, насамперед у задніх полях, наявність консолідації є дуже специфічною для вентилятор-асоційованої пневмонії. Підтверджено, що динамічна лінійна / деревовидна повітряна бронхограма всередині консолідації є дуже специфічною для ВАП [18,19,20].

У клінічному дослідженні S. Gaber et al. показано, що УЗД легень має високу чутливість (91,67 %) і специфічність (100 %) під час діагностики ВАП, є достовірно кращим методом, ніж рентгенографія грудної клітки ( $p < 0,01$ ) [21]. Крім ранньої діагностики ВАП, за допомогою УЗД можна визначити причину гіпоксемії в пацієнта, чи є в нього потреба у застосуванні прон-позиції або режиму з позитивним тиском наприкінці видиху, чи можливий розвиток дихальної недостатності у хворого після екстубації трахеї [22].

У нейрохірургії та нейрореаніматології ще у 1980-х роках широко використовували метод лінійного ультразвукового сканування для визначення зміщення серединних структур мозку при об'ємних процесах, зокрема внутрішньочерепних крововиливах і пухлинах. Доволі давно лікарі використовують транскраніальний доплер для оцінювання церебрального кровотоку. Останніми роками показано, що УЗД головного мозку є доцільним інструментом для швидкого оцінювання церебральної гемодинаміки та структурної патології біля ліжка хворого. Транскраніальний доплер і дуплексний транскраніальний доплер із кольоровим кодуванням як елементи POCUS використовують нині для обстеження головного мозку. Вони дають змогу оцінити церебральну гемодинаміку (наприклад, церебральну ішемію, зокрема повну зупинку мозкового кровообігу), непрямим методом визначити вну-

трішньочерепний тиск за діаметром зорового нерва, а також наявність внутрішньочерепних крововиливів.

Проте розрізняють певні обмеження щодо застосування ультразвукових методів під час обстеження голови, що пов'язано з труднощами пошуку акустичного вікна. Так, треба пам'ятати, що вимірювання швидкості церебрального кровотоку є певною мірою надійним тільки в середній мозковій артерії [23]. Саме тому найпоширенішим методом УЗД-обстеження на голові є вимірювання внутрішньочерепного тиску за діаметром зорового нерва, оскільки для цього не треба сканувати структури порожнини черепа [24]. Цю методику можна застосовувати під час обстеження за допомогою портативних апаратів, її можна швидко опанувати й використовувати за будь-яких умов і в пацієнтів будь-якого віку [23,24,25,26].

Сучасна доступність пристроїв УЗД, які можна використовувати біля ліжка хворого, дає змогу динамічно суттєво впливати на діагностичний процес і лікування хворих [27,28]. Разом із тим є певні обмеження застосування УЗД в інтенсивній терапії. Так, наприклад, дослідження може бути обмежене наявністю пов'язок, дренажів або підшкірної емфіземи саме в тих точках, що використовують під час обстеження [29], або товстим жировим прошарком при високому ступені ожиріння [30].

Використання портативних ультразвукових апаратів і мобільних пристроїв корисне не тільки в діагностичному процесі, але й під час виконання різних інвазивних процедур, наприклад, регіонарних блокад. Під час таких маніпуляцій УЗД можуть виконувати протягом процедури, перед і після неї. Так, згідно з результатами систематичного огляду й метааналізу рандомізованих контрольованих досліджень, що здійснені L. Jiang et al., УЗД місця пункції епідурального простору збільшує частоту успішного виконання процедури з першого разу в пацієток із прогнозованими труднощами пункції, наприклад, складністю пальпаторної ідентифікації місця пункції [31]. Передпроцедурне УЗД зменшило кількість пункцій, а також зменшило частоту судинних проколів і болю в спині. Звісно, УЗД подовжило час ідентифікації епідурального простору, але не час виконання процедури.

Yu D. et al. дослідили вплив підоболонкової блокади сідничного нерва під ультразвуковим контролем порівняно з позаоболонковою блокадою сідничного нерва на біль післяопераційної рани після втручань на гомілці та стопі [32]. У результаті метааналізу 6 статей, відібраних із 1213 публікацій відповідно до визначених метою дослідження критеріїв, автори зробили висновок, що при виконанні підоболонкової блокади сідничного нерва з ультразвуковою візуалізацією частота розвитку повної сенсорної блокади протягом 30 хв була значно більшою, ніж у разі виконання традиційної по-



заоболонкової блокади (OR = 5,39, ДІ: 2,82–10,28,  $p = 0,01$ ). Втім, дослідники не виявили статистично достовірної різниці за тривалістю процедури та частотою ускладнень, що пов'язані з блокадою.

Ефективним виявилось виконання блокади плечового сплетіння з ультразвуковим контролем. Так, у дослідженні M. Zhu і W. Sun доведено, що методика виконання блокади підключичним доступом з ультразвуковим контролем має високий відсоток успіху, викликає швидкий початок анестезії і є безпечнішою, ніж традиційні методики [33]. Attia J. Z. et al., порівнявши надключичний і підключичний доступи під час виконання блокади плечового сплетіння з УЗ-контролем, визначили: при надключичному доступі голка краще візуалізується, тому тривалість виконання процедури значно скорочується порівняно з тривалістю при підключичному доступі і при виконанні блокади за класичною методикою без УЗ-контролю [34].

Використання ультразвукових методів візуалізації виявилось корисним і під час виконання маніпуляцій у дітей. Так, D. Jain et al. порівняли виконання каудальної епідуральної анестезії в дітей із використанням анатомічних орієнтирів та УЗД [35]. Встановлено, що успішність першої пункції вища при ультразвуковому контролі (коефіцієнт ризику = 1,31, 95 % ДІ [1,15–1,49],  $p = 0,0001$ ). Ускладнення, як-от пункція судин і неправильне розташування голки, рідші в групі УЗД.

Метааналіз, що здійснений J. Chen et al., дав підстави зробити висновок, що при виконанні у дітей блокади клубово-пахового і клубово-підчеревного нервів з ультразвуковим супроводом вираженість больового синдрому після оперативного втручання була меншою, відносний ризик (OR) ускладнень становив 0,49, а частота ускладнень була нижчою [36].

Ультразвукові методи візуалізації допомагають покращити результати застосування не тільки регіонарних методів знеболювання, але й інших інвазивних маніпуляцій, як-от катетеризації підключичної вени або пункції пахової вени для імплантації кардіостимулятора. У результаті метааналізу ефективності та безпечності катетеризації підключичної вени з ультразвуковою візуалізацією M. Zawadka et al. визначили, що постійний ультразвуковий контроль підвищував загальну частоту успіху катетеризації підключичної вени порівняно з традиційною технікою використання анатомічних орієнтирів і знижував частоту ускладнень [37]. Крім того, ультразвукове спостереження підвищило рівень успішності виконання катетеризації з першої спроби (відношення ризиків (RR) = 1,32, [95 % ДІ 1,14–1,54],  $p = 0,0003$ ), зменшило загальну кількість спроб і тривалість виконання процедури. Під час пункції пахової вени для імплантації кардіостимулятора використання ультразвукової візуалізації, за даними метааналізу S. D'Arrigo et al., дало змогу збільшити частоту успішного виконання процедури до 96,8 % [38]. При цьому частота таких ускладнень, як пневмоторакс, гематома або інфікування порівняно з групою, де процедуру виконали без УЗ-контролю, нижча: пневмоторакс – 0,19 % порівняно з 0,75 %, гематома – 0,8 % порівняно з 1,7 %, інфекція в ділянці пункції – 0,28 % порівняно з 1,05 %. Зауважимо, що автори задекларували низьку достовірність різниці.

Ультразвукова візуалізація при катетеризації підключичної вени у дітей дає змогу використовувати і надключичний, і підключичний доступи. У рандомізованому дослідженні H.-J. Yuon et al. показали, що тривалість процедури більша в разі виконання надключичного доступу, а частота успішності процедури з першої спроби більша при підключичному доступі [39]. Втім, автори зазначили, що обидві техніки мають високу ефективність і безпечність.

Катетеризація променевої артерії є одним із поширених методів інвазивного моніторингу артеріального тиску і газів артеріальної крові при критичних станах. Використання ультразвукової візуалізації під час цієї процедури підвищує частоту успішності катетеризації з першої спроби у дітей, пацієнтів з ожирінням та у хворих із нестабільною гемодинамікою. Крім того, анатомічні варіації променевої артерії не є рідкістю, і катетеризація під контролем ультразвуку зменшує частоту ускладнень, пов'язаних із введенням катетера: гематом, проколів задньої стінки, розсічень інтими та пошкоджень променевого нерва [40].

Ще одним зручним використанням ультразвукової візуалізації в анестезіології та інтенсивній терапії є прогнозування складності інтубації трахеї (так звані «складні дихальні шляхи»). Традиційно фізикальне обстеження дихальних шляхів передбачає оцінювання за модифікованою шкалою Маллампаті та тест на прикус верхньої губи. УЗД дихальних шляхів можна використовувати як додатковий інструмент до клінічного оцінювання для прогнозування складних дихальних шляхів [41,42]. Так, оцінивши за допомогою УЗД розмір трахеї, можна визначитися з розміром двопросвітної ендотрахеальної трубки, яку використовують для роздільної інтубації легень [43]. Під час черезшкірної трахеостомії ультразвукова візуалізація допомагає визначитися з місцем, де виконання маніпуляції буде безпечнішим в аспекті травмування судин [44].

## Висновки

1. Ультразвукова візуалізація покращує якість діагностики, знеболювання та інтенсивної терапії завдяки мобільності, доступності та можливості виконання безпосередньо біля ліжка пацієнта. Вона також значно підвищує точність і безпеку інвазивних процедур, як-от регіонарних блокад і катетеризації судин.
2. Використання ультразвукових методів візуалізації може бути обмеженим у випадках, коли складно знайти акустичне вікно (наприклад, у разі ожиріння, підшкірної емфіземи або наявності дренажів).
3. Розширення використання концепції POCUS для ведення критично хворих пацієнтів та інтеграція УЗД в алгоритми підтримки життя пов'язані з розробленням доступних навіть для країн зі слабкою економікою компактних, високочутливих апаратів УЗД, придатних для догоспітальної діагностики.

## Відомості про авторів:

Кріштафор А. А., д-р мед. наук, професор, доцент каф. анестезіології, інтенсивної терапії та медицини невідкладних станів факультету післядипломної освіти, Дніпровський державний медичний університет, Україна.

ORCID ID: 0000-0002-1717-4889

Кріштафор Д. А., канд. мед. наук, асистент каф. анестезіології, інтенсивної терапії та медицини невідкладних станів факультету післядипломної освіти, Дніпровський державний медичний університет, Україна.

ORCID ID: 0000-0003-0942-4099

Кравець О. В., д-р мед. наук, професор, зав. каф. анестезіології, інтенсивної терапії та медицини невідкладних станів факультету післядипломної освіти, Дніпровський державний медичний університет, Україна.

ORCID ID: 0000-0003-1340-3290

Пилипенко О. В., асистент каф. анестезіології, інтенсивної терапії та медицини невідкладних станів факультету післядипломної освіти, Дніпровський державний медичний університет, Україна.

ORCID ID: 0000-0001-9836-0968

#### Information about the authors:

Krishtafor A. A., MD, PhD, DSc, Professor, Associate Professor of the Department of Anesthesiology, Intensive Care and Emergency Medicine, Faculty of Postgraduate Education, Dnipro State Medical University, Ukraine.  
Krishtafor D. A., MD, PhD, Assistant of the Department of Anesthesiology, Intensive Care and Emergency Medicine, Faculty of Postgraduate Education, Dnipro State Medical University, Ukraine.

Kravets O. V., MD, PhD, DSc, Professor, Head of the Department of Anesthesiology, Intensive Care and Emergency Medicine, Faculty of Postgraduate Education, Dnipro State Medical University, Ukraine.

Pylypenko O. V., MD, Assistant of the Department of Anesthesiology, Intensive Care and Emergency Medicine, Faculty of Postgraduate Education, Dnipro State Medical University, Ukraine.

#### References

- Kendall JL, Hoffenberg SR, Smith RS. History of emergency and critical care ultrasound: The evolution of a new imaging paradigm. *Crit Care Med*. 2007;35(Suppl):S126-S130. doi: 10.1097/01.ccm.0000260623.38982
- Schmidt S, Dieks J-K, Quintel M, Moerer O. Clinical decision-making in practice with new critical care ultrasound methods for assessing respiratory function and haemodynamics in critically ill patients. *Clin Pract*. 2022;12(6):986-1000. doi: 10.3390/clinpract12060102
- Lau YH, See KC. Point-of-care ultrasound for critically ill patients: A mini-review of key diagnostic features and protocols. *World J Crit Care Med*. 2022;11(2):70-84. doi: 10.5492/wjccm.v11.i2.70
- Jensen MB, Sloth E, Larsen KM, Schmidt MB. Transthoracic echocardiography for cardiopulmonary monitoring in intensive care. *Eur J Anaesthesiol*. 2004;21(9):700-7. doi: 10.1017/s0265021504009068
- Spencer KT, Kimura BJ, Korcarz CE, Pellikka PA, Rahko PS, Siegel RJ. Focused cardiac ultrasound: Recommendations from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2013;26(6):567-81. doi: 10.1016/j.echo.2013.04.001
- Neskovic AN, Skinner H, Price S, Via G, De Hert S, Stankovic I, et al. Focused cardiac ultrasound core curriculum and core syllabus of the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2018;19(5):475-81. doi: 10.1093/ehjci/jeu006
- Chin EJ, Chan CH, Mortazavi R, Anderson CL, Kahn CA, Summers S, et al. A pilot study examining the viability of a prehospital assessment with ultrasound for emergencies (PAUSE) protocol. *J Emerg Med*. 2013;44(1):142-9. doi: 10.1016/j.jemermed.2012.03.033
- Seif D, Perera P, Mailhot T, Riley D, Mandavia D. Bedside ultrasound in resuscitation and the rapid ultrasound in shock protocol. *Crit Care Res Pract*. 2012;2012:503254. doi: 10.1155/2012/503254
- Lau YH, Loh CH, Fong WK, Siddiqui S, Tan CK, Tan JJ, et al. Point-of-care ultrasound training among intensivists in Singapore: A multicentre survey. *Ann Acad Med Singap*. 2020;49(9):630-42. doi: 10.47102/annals-acad-medsg.2020108
- Peris A, Tutino L, Zagli G, Batacchi S, Cianchi G, Spina R, et al. The use of point-of-care bedside lung ultrasound significantly reduces the number of radiographs and computed tomography scans in critically ill patients. *Anesth Analg*. 2010;111(3):687-92. doi: 10.1213/ANE.0b013e3181e7cc42
- Bataille B, Riu B, Ferre F, Moussot PE, Mari A, Brunel E, et al. Integrated use of bedside lung ultrasound and echocardiography in acute respiratory failure: A prospective observational study in ICU. *Chest*. 2014;146(6):1586-93. doi: 10.1378/chest.14-0443
- Long B, Alerhand S, Malieff K, Koyfman A. Echocardiography in cardiac arrest: An emergency medicine review. *Am J Emerg Med*. 2018;36(3):488-93. doi: 10.1016/j.ajem.2018.01.044
- Kristensen MS, Teoh WH, Graumann O, Laursen CB. Ultrasonography for clinical decision-making and intervention in airway management: From the mouth to the lungs and pleurae. *Insights Imaging*. 2014;5(2):253-79. doi: 10.1007/s13244-014-0309-5
- Hoyer HX, Vogl S, Schiemann U, Haug A, Stolpe E, Michalski T. Prehospital ultrasound in emergency medicine: Incidence, feasibility, indications and diagnoses. *Eur J Emerg Med*. 2010;17(5):254-9. doi: 10.1097/MEJ.0b013e-328336ae9e
- Yoshida T, Yoshida T, Noma H, Nomura T, Suzuki A, Mihara T. Diagnostic accuracy of point-of-care ultrasound for shock: A systematic review and meta-analysis. *Crit Care*. 2023;27(1):200. doi: 10.1186/s13054-023-04495-6
- Na MJ. Diagnostic tools of pleural effusion. *Tuberc Respir Dis*. 2014;76(5):199-210. doi: 10.4046/trd.2014.76.5.199
- Scarlata S, Venditti I, Fulco G, Finamore P, Giua R, Antonelli Incalzi R, et al. Estimation of pleural effusion volume through chest ultrasound: Validation of two multiplanar models. *Ultrasound Med Biol*. 2020;46(8):1960-7. doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2020.04.020
- Mongodi S, Via G, Girard M, Rouquette I, Misset B, Braschi A, et al. Lung ultrasound for early diagnosis of ventilator-associated pneumonia. *Chest*. 2016;149(4):969-80. doi: 10.1016/j.chest.2015.12.012
- Mongodi S, De Vita N, Salve G, Bonaiti S, Daverio F, Cavagnino M, et al. The role of lung ultrasound monitoring in early detection of ventilator-associated pneumonia in COVID-19 patients: A retrospective observational study. *J Clin Med*. 2022;11(11):3001. doi: 10.3390/jcm11113001
- Pradhan S, Shrestha PS, Shrestha GS, Marhatta MN. Clinical impact of lung ultrasound monitoring for diagnosis of ventilator-associated pneumonia: A diagnostic randomized controlled trial. *J Crit Care*. 2020;58:65-71. doi: 10.1016/j.jcrc.2020.04.008
- Millot G, Voisin B, Loiez C, Wallet F, Nseir S. Early detection of ventilator-associated pneumonia: Bedside tools. *Egypt J Crit Care Med*. 2020;7(22):74-9. doi: 10.1016/j.ejccm.2020.01.001
- Rocca E, Zanza C, Longhitano Y, Piccolella F, Romenskaya T, Racca F, et al. Lung ultrasound in critical care and emergency medicine: Clinical review. *Adv Respir Med*. 2023;91(3):203-23. doi: 10.3390/arm91030017
- Dinsmore M, Venkatraghavan L. Clinical applications of point-of-care ultrasound in brain injury: A narrative review. *Anaesthesia*. 2022;77 Suppl 1:69-77. doi: 10.1111/anae.15604
- Newman WD, Hollman AS, Dutton GN, Carachi R. Measurement of optic nerve sheath diameter by ultrasound: A means of detecting acute raised intracranial pressure in hydrocephalus. *Br J Ophthalmol*. 2002;86(10):1109-13. doi: 10.1136/bjo.86.10.1109
- Gauthey M, Tessaro MO, Breitbart S, Kulkarni AV, Davis AL. Reliability and feasibility of optic nerve point-of-care ultrasound in pediatric patients with ventricular shunts. *Childs Nerv Syst*. 2022;38(7):1289-95. doi: 10.1007/s00381-022-05532-x
- Dubourg J, Javouhey E, Geeraerts T, Messerer M, Kassai B. Ultrasonography of optic nerve sheath diameter for detection of raised intracranial pressure: A systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med*. 2011;37(7):1059-68. doi: 10.1007/s00134-011-2224-2
- Heldeweg ML, Vermue L, Kant M, Brouwer M, Girbes AR, Haaksma ME, et al. The impact of lung ultrasound on clinical-decision making across departments: A systematic review. *Ultrasound J*. 2014;14(1):5. doi: 10.1186/s13089-021-00253-3
- Choi W, Cho YS, Ha YR, Oh JH, Lee H, Kang BS, et al. Role of point-of-care ultrasound in critical care and emergency medicine: Update and future perspective. *Clin Exp Emerg Med*. 2023;10(4):363-81. doi: 10.15441/ceem.23.101
- Marbach JA, Almuehleh A, Di Santo P, Jung R, Simard T, McInnes M, et al. Comparative accuracy of focused cardiac ultrasonography and clinical examination for left ventricular dysfunction and valvular heart disease: A systematic review and meta-analysis. *Ann Intern Med*. 2019;171(4):264-72. doi: 10.7326/M19-0070
- Siadecki SD, Frasure SE, Lewis RE, Saul T. High body mass index is strongly correlated with decreased image quality in focused bedside echocardiography. *J Emerg Med*. 2016;50(2):295-301. doi: 10.1016/j.jemermed.2015.08.006
- Jiang L, Zhang F, Wei N, Lv J, Chen W, Dai Z. Could preprocedural ultrasound increase the first-pass success rate of neuraxial anesthesia in

- obstetrics? A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Anesth.* 2020;34(3):434-44. doi: [10.1007/s00540-020-02750-6](https://doi.org/10.1007/s00540-020-02750-6)
32. Yu D, Wang X, Jiang L, Wu Y, Han S, Li J. Evaluating the impact of ultrasound-guided subsheath versus extrasheath sciatic nerve block on postoperative wound pain in tibial and foot surgeries: A systematic review and meta-analysis. *Int Wound J.* 2024;21(4):e14640. doi: [10.1111/ijw.14640](https://doi.org/10.1111/ijw.14640)
  33. Zhu M, Sun W. Application and research progress of ultrasound-guided brachial plexus block through costoclavicular space approach in upper limb surgery. *Altern Ther Health Med.* 2024;30(1):24-30. Available from: <http://alternative-therapies.com/pdfarticles/9168.pdf>
  34. Attia JZ, Gaber RN, Mohamed SR. Ultrasound-guided retroclavicular approach versus costoclavicular approach of infraclavicular brachial plexus block for upper limb surgeries. *Pain Physician.* 2023;26(6):E651-E660. doi: <http://dx.doi.org/10.36076/ppj.2023.26.E651>
  35. Jain D, Hussain SY, Ayub A. Comparative evaluation of landmark technique and ultrasound-guided caudal epidural injection in pediatric population: A systematic review and meta-analysis. *Pediatr Anesth.* 2022;32(1):35-42. doi: [10.1111/pan.14332](https://doi.org/10.1111/pan.14332)
  36. Chen J, Song D, Zheng G, Luo Y. Systematic review and meta-analysis of the effect of nerve block under ultrasound in ilioinguinal/iliohypogastric in children. *Transl Pediatr.* 2022;11(10):1604-14. doi: [10.21037/tp-22-308](https://doi.org/10.21037/tp-22-308)
  37. Zawadka M, La Via L, Wong A, Olusanya O, Muscarà L, Continella C, et al. Real-time ultrasound guidance as compared with landmark technique for subclavian central venous cannulation: A systematic review and meta-analysis with trial sequential analysis. *Crit Care Med.* 2023;51(5):642-52. doi: [10.1097/CCM.00000000000005819](https://doi.org/10.1097/CCM.00000000000005819)
  38. D'Arrigo S, Perna F, Annetta MG, Pittiruti M. Ultrasound-guided access to the axillary vein for implantation of cardiac implantable electronic devices: A systematic review and meta-analysis. *J Vasc Access.* 2023;24(4):854-63. doi: [10.1177/11297298211054621](https://doi.org/10.1177/11297298211054621)
  39. Byon HJ, Lee GW, Lee JH, Park YH, Kim HS, Kim CS, et al. Comparison between ultrasound-guided supraclavicular and infraclavicular approaches for subclavian venous catheterization in children—a randomized trial. *Br J Anaesth.* 2013;111(5):788-92. doi: [10.1093/bja/aet202](https://doi.org/10.1093/bja/aet202)
  40. Imbriaco G, Monesi A, Spencer TR. Preventing radial arterial catheter failure in critical care: Factoring updated clinical strategies and techniques. *Anaesth Crit Care Pain Med.* 2022;41(4):101096. doi: [10.1016/j.accpm.2022.101096](https://doi.org/10.1016/j.accpm.2022.101096)
  41. Dhir A, Bhasin D, Bhasin-Chhabra B, Koratala A. Point-of-care ultrasound: A vital tool for anesthesiologists in the perioperative and critical care settings. *Cureus.* 2024;16(8):e66908. doi: [10.7759/cureus.66908](https://doi.org/10.7759/cureus.66908)
  42. Osman A, Sum KM. Role of upper airway ultrasound in airway management. *J Intensive Care.* 2016;4:52. doi: [10.1186/s40560-016-0174-z](https://doi.org/10.1186/s40560-016-0174-z)
  43. Sustić A, Miletić D, Protić A, Ivancić A, Cicvarić T. Can ultrasound be useful for predicting the size of a left double-lumen bronchial tube? Tracheal width as measured by ultrasonography versus computed tomography. *J Clin Anesth.* 2008;20(4):247-52. doi: [10.1016/j.jclinane.2007.11.002](https://doi.org/10.1016/j.jclinane.2007.11.002)
  44. Chacko J, Gagan B, Kumar U, Mundlapudi B. Real-time ultrasound-guided percutaneous dilatational tracheostomy with and without bronchoscopic control: An observational study. *Minerva Anesthesiol.* 2015;81(2):166-74. doi: [10.1186/cc10047](https://doi.org/10.1186/cc10047)