МІЖДИСЦИПЛІНАРНА МЕДИЦИНА ТА СУМІЖНІ ГАЛУЗІ НАУКИ

УДК 616.9:579.61:615.33.015.5
DOI https://doi.org/10.32782/2415-8127.2026.74.30

Грицко Роман Юліанович,
доктор наук з державного управління,
кандидат медичних наук,
доцент кафедри інфекційних хвороб,
ДНТ "Львівський національний медичний університет імені Короля Данила"
grytskoroman@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-7086-8399
м. Львів, Україна

Експрес-тестування чутливості до антимікробних препаратів при тяжких бактеріальних інфекціях: клінічна цінність, бар'єри реалізації та рекомендації для охорони здоров'я України

Актуальність. Тяжкі бактеріальні інфекції – включаючи сепсис, пневмонію, інфекції сечовивідних шляхів та інфекції місця хірургічного втручання (IMXB) – є провідними причинами смерті у стаціонарі та значних фінансових витрат систем охорони здоров'я. Кожна година відстрочки цільової антибіотикотерапії знижує виживаність на 7,6%. Стандартна гемокультура потребує 48–72 год, що унеможливлює своєчасну де-ескалацію. Технології Rapid AST / FAST-AST забезпечують фенотиповий результат за 4–8 год, принципово змінюючи тактику при сепсисі та інших тяжких бактеріальних інфекціях. **Мета.** Систематизувати доказову базу клінічної цінності Rapid AST при тяжких бактеріальних інфекціях (сепсис, BSI, пневмонія, IACXT, ускладнені ІСШ, ранові інфекції); оцінити бар'єри реалізації в Україні; розробити клінічні, управлінські та фінансові рекомендації. **Методи.** Систематичний огляд (PubMed, Scopus, WoS; 2020–2026; n=22; PRISMA-ScR); аналіз мета-аналізів (GRADE); дані МОЗ України, CDC/UPHC та ВООЗ. **Результати.** RDT+AMS знижує 30-денну смертність при сепсисі та BSI (OR 0,78; 95% ДІ 0,65–0,93), скорочує LOS на 4–7 днів при різних типах тяжких бактеріальних інфекцій, збільшує цільову терапію з 41% до 73% та забезпечує економію >650 000 USD/рік. В Україні виявлено 6 системних бар'єрів: лабораторний, кадровий, управлінський, фінансовий, військовий та цифровий. Бактеріологічна діагностика перед АВх – лише у 33% (МОЗ 2025); MDR у 84,6% ранових ізолятів – критична прогалина. **Висновки.** Впровадження Rapid AST є клінічно обґрунтованим і фінансово вигідним. Запропоновано 12 рекомендацій (КЛ, УПР, ФІН, ВІЙ) з цільовими показниками. Включення FAST-AST до тарифів НСЗУ є ключовим системним рішенням.

Ключові слова: тяжкі бактеріальні інфекції; сепсис; інфекції кровотоку; пневмонія; ранові інфекції; FAST-AST; Point-of-Care діагностика; антимікробний стюардшип; Україна; MDR; метагеномне секвенування.

Grytsko Roman Yulianovych, Doctor of Sciences in Public Administration, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor at the Department of Infectious Diseases, State nonprofit company "King Danylo Lviv national medical university", grytskoroman@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-7086-8399, Lviv, Ukraine

Rapid antimicrobial susceptibility testing in severe bacterial infections: clinical value, implementation barriers and recommendations for Ukraine's healthcare system

Background. Severe bacterial infections – including sepsis, pneumonia, bloodstream infections (BSI), surgical site infections (SSI), and complicated urinary tract infections – are leading causes of in-hospital mortality and healthcare expenditure. Each hour of delayed targeted therapy in septic shock reduces survival by 7.6%. Standard blood culture requires 48–72 hours. Rapid AST delivers phenotypic results within 4–8 hours, fundamentally altering management of severe bacterial infections. **Objective.** To systematise evidence on the clinical value of Rapid AST across severe bacterial infections (sepsis, BSI, pneumonia, SSI, wound infections, complicated UTI); assess implementation barriers in Ukraine; and develop specific clinical, managerial, and financial recommendations. **Methods.** Systematic review (PubMed, Scopus, WoS; 2020–2026; n=22; PRISMA-ScR); GRADE meta-analysis; MOH Ukraine, CDC/UPHC and WHO data. **Results.** RDT+AMS reduces 30-day mortality in sepsis/BSI (OR 0.78; 95% CI 0.65–0.93), shortens LOS by 4–7 days across infection types, increases targeted therapy from 41% to 73%, and provides savings exceeding USD 650,000/year. In Ukraine, six systemic barriers identified. Bacteriological testing prior to antibiotics occurs in only 33% of hospitalised patients (MOH 2025); MDR in 84.6% of wound isolates creates a critical diagnostic gap. **Conclusions.** Rapid AST implementation is clinically justified and financially viable. Twelve specific recommendations (clinical, managerial, financial, military-medical) with target indicators are proposed. Incorporating FAST-AST into NHSU tariffs is the key systemic decision.

Key words: severe bacterial infections; sepsis; bloodstream infection; pneumonia; wound infections; FAST-AST; Point-of-Care diagnostics; antimicrobial stewardship; Ukraine; MDR; metagenomic sequencing.

Вступ (Introduction). Тяжкі бактеріальні інфекції охоплюють широкий клінічний спектр: сепсис, інфекції кровотоку (BSI), пневмонію, інфекції місця хірургічного втручання (IACXT), ускладнені інфекції сечовивідних шляхів, ранові інфекції. Сепсис – найтяжча форма системної відповіді – визначається як небез-

печна для життя органна дисфункція внаслідок порушеної реакції організму на інфекцію (Sepsis-3) [1]. За даними Global Burden of Disease 2017, щороку реєструється близько 49 млн нових випадків сепсису, з яких 11 млн завершуються летально [2]. Показники смертності від BSI коливаються від 12% до 32%, IACXT подовжують LOS на 7–11 днів, а ускладнені ІСШ при MDR-збудниках мають летальність до 20% у літніх пацієнтів. Спільним для всіх цих нозологій є критична часова залежність від своєчасної цільової антибіотикотерапії [3].

Kumar et al. (2006) встановили: кожна додаткова година відстрочки адекватної антимікробної терапії при септичному шоку знижує виживаність на 7,6% [4]. Рекомендації Surviving Sepsis Campaign (2021) вимагають введення антибіотиків у межах 1 години при підтвердженому септичному шоку або лактаті ≥4 ммоль/л [6]. При цьому стандартна гемокультура потребує 48–72 год для отримання повного результату чутливості – що є принципово несумісним із цими часовими вимогами [3; 7].

Діагностично-терапевтичний парадокс сепсис-менеджменту полягає в наступному: для порятунку пацієнта необхідна негайна широкоспектральна антибіотикотерапія (без мікробіологічних даних), але тривале застосування такої терапії підвищує ризик побічних ефектів, формує стійкість і генерує надмірні витрати. В Україні цей парадокс набуває загрозливих масштабів: моніторинг МОЗ (2025) показав, що препарати резерву застосовуються у 17,8% стаціонарних призначень [18], тоді як бактеріологічна діагностика передує лікуванню лише у 33% госпіталізованих. Розв'язання цього протиріччя є саме завданням Rapid AST.

Мета дослідження – систематизувати доказову базу клінічної цінності Rapid AST; оцінити бар'єри реалізації в Україні; розробити конкретні клінічні, управлінські та фінансові рекомендації для системи охорони здоров'я.

Методологія та методи дослідження (Methods). Систематичний огляд виконано відповідно до PRISMA-ScR. Пошукова стратегія охоплювала бази даних PubMed, Scopus, Web of Science (ключові слова: «rapid antimicrobial susceptibility testing», «FAST-AST», «sepsis», «bloodstream infection», «clinical outcome», «Ukraine», «antimicrobial stewardship», «point-of-care diagnostics», «metagenomic sequencing»; 2020–2026; англійська, українська). Критерії включення: систематичні огляди, мета-аналізи, рандомізовані та обсерваційні дослідження з n≥50; дані міжнародних організацій. Рівень доказовості оцінено за GRADE. Додатково проаналізовано офіційні дані МОЗ України (квітень 2026) та CDC/UPHC (MMWR 2023).

Виклад основного матеріалу дослідження (Results and Discussion). Аналіз сучасних технологій прискореної мікробіологічної діагностики при тяжких бактеріальних інфекціях дозволяє виділити п'ять принципово різних підходів, що відрізняються за часом до результату, типом відповіді та клінічним сценарієм застосування (Таблиця 1). Ключовими класифікаційними осями є: (а) залежність від гемокультури vs. культур-незалежні методи; (б) генотиповий (виявлення генів резистентності) vs. фенотиповий (визначення МПК) результат.

Фенотипові FAST-AST платформи є клінічно найбільш значущими: надаючи МПК за 4–8 год після позитивної гемокультури, вони надають інформацію, безпосередньо придатну для терапевтичного рішення. Ключові технологічні підходи: часова мікроскопія (Alfred 60 AST, Accelerate PhenoTest BC), мікрофлюїдика (iDASH), ядерно-магнітний резонанс (T2MR) та мікробіологічне «розгалуження» (SPECIFIC REVEAL). Молекулярні платформи (BioFire FilmArray Blood Culture Identification, Verigene) забезпечують генотиповий результат (ідентифікація збудника + ключові гени резистентності) за 1–6 год після позитивності флакону, проте не дають кількісних МПК, що обмежує їхню самостійність без подальшого фенотипового тестування [7; 8].

Особливого розгляду заслуговує метагеномне секвенування нового покоління (mNGS). На відміну від усіх попередніх методів, mNGS не обмежується конкретною панеллю збудників і здатне виявляти будь-яку бактерію, вірус, гриб або паразита – включно з рідкісними і некультивованими – безпосередньо з клінічного матеріалу (кров, бронхоальвеолярний лаваж, ліквор). Додатково mNGS ідентифікує повний резистом пацієнта – всі гени резистентності в клінічному зразку – за 6–24 год [21]. Це відкриває можливості для точної діагностики в клінічно складних випадках: культур-негативний сепсис, сепсис у імуноскомпрометованих, незвичний спектр збудників у поранених.

Клінічна цінність Rapid AST при сепсисі та BSI: синтез доказів найвищого рівня. Систематичний огляд виявив п'ять ключових джерел доказів класу I–II (за GRADE), що сукупно формують переконливу доказову базу для впровадження Rapid AST.

Peri et al. (Clinical Infectious Diseases, 2024) – network meta-analysis 18 рандомізованих і обсерваційних досліджень із застосуванням байєсівської багатовузлової мережевої моделі – встановив: поєднання RDT + AMS знижує 30-денну смертність порівняно зі стандартною гемокультурою (OR 0,78; 95% CI 0,65–0,93; I^2=34%). Важливо, що ефект зберігається навіть у закладах, де вже функціонують ефективні AMS-програми, що свідчить про додаткову цінність RDT незалежно від якості стюардшипу [9]. Субгрупний аналіз показав найбільший ефект при грам-негативних BSI, де вибір «правильного» препарату є найбільш критичним через наявність карбапенемаз.

Kramme et al. (Frontiers in Cellular and Infection Microbiology, 2025) провели проспективне когортне дослідження у BIT з паралельним контролем: поєднання RDT + негайна консультація інфекціоніста збільшила частку пацієнтів на цільовій антибіотикотерапії з 41% до 73% (ΔR = +32%, p<0,001). Автори також задокументували скорочення часу до цільової терапії з 65,4 до 21,8 год (p<0,001) – що безпосередньо відповідає вимозі мінімізації «window of inappropriateness» [10]. Критично важливий висновок: без активної ID-консультації приріст цільової терапії становив лише +9% – що наочно демонструє, що технологія без клінічного ад'юванта реалізує менше чверті свого потенціалу.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика методів прискореної мікробіологічної діагностики

Метод	Час до результату	Тип результату	Приклади платформ	Коментар
Стандартна гемокультура	48–72 год	Зростання МПК / диск-дифузія	Золотий стандарт	Повільно; затримка цільової терапії
MALDI-TOF MS	15–30 хв після росту	Ідентифікація збудника (без АЧ)	FilmArray, VITEK MS	Не дає АЧ; потрібна додаткова AST
Молекулярна ПЛР / мультиплекс	1–6 год	Генотипові гени резистентності (mecA, blaKPC, blaNDM)	BioFire BC ID, Verigene	Висока вартість; панель обмежена
Rapid phenotypic AST (FAST)	4–8 год після BC+	МПК (часовий мікроскоп / iDASH / T2MR)	Alfred 60 AST, Pheno BC	Клінічно значущий результат у межах зміни
Culture-independent (T2 Biosystems)	3–5 год без культури	Пряме виявлення зі крові	T2Bacteria	Без росту; обмежена панель
Метагеномне секвенування (mNGS)	6–24 год	Повний геномний профіль збудника та резистому	Illumina, ONT MinION	Найширше охоплення; висока вартість; потребує біоінформатики

PHENOMENON study (Clinical Microbiology and Infection, 2020) – контрольоване інтервенційне дослідження 423 пацієнтів з позитивною гемокультурою у BIT (платформа Pheno BC, ID+AST за ~7 год) – є найбільш методологічно сильним дослідженням реального клінічного впливу FAST-AST. Ключові результати: медіана часу до результату AST скорочена з 83,0 до 31,9 год (–51,1 год; p<0,001); середня тривалість перебування у BIT знизилась з 28 до 21 дні; 30-денна смертність – з 40,5% до 32,5% (–8%, p=0,440, без статистичної значущості у зв'язку з розміром вибірки); загальна фінансова економія 257 100 € на 200 пацієнтів; позитивна медіана маржинального внеску: +3 074,80 € на випадок [11]. Тенденція до зниження смертності, що не досягла статистичної значущості через розмір вибірки, узгоджується з ефектами, задокументованими в метааналізі Peri et al. [9].

Pappas et al. (Antibiotics, 2022) – обсерваційне до/після-дослідження впливу ACC rapid AST при грамнегативних BSI – показало: медіана тривалості госпіталізації знизилась з 12,1 до 6,6 діб (–5,5 дні; p<0,01); прогнозована річна економія витрат на антибіотики: USD 184 120; прогнозована річна економія від скорочення LOS: USD 666 208; чиста річна економія (за вирахуванням вартості тестування): USD 482 088 [12]. Паралельно зафіксовано суттєве зниження призначень карбапенемів і фторхінолонів без негативного впливу на виживаність.

Banerjee & Humphries (Frontiers in Medicine, 2021) – перший систематичний огляд, що комплексно оцінив молекулярні RDT при BSI – встановив: молекулярні платформи є найбільш ефективними саме в контексті де-ескалації; виявлення генів резистентності (mecA → відмова від ванкоміцину при MSSA; відсутність KPC/NDM → можливість піперациліну-тазобактаму замість карбапенему) є конкретними алгоритмічними точками прийняття рішень. Огляд також підтвердив: ефективність RDT суттєво знижується за відсутності стандартизованих AMS-протоколів де-ескалації [3].

Аналіз літератури дозволяє диференціювати клінічний вплив Rapid AST залежно від нозологічної групи. При сепсисі та BSI ефект Rapid AST є найкраще задокументованим і найбільш значущим клінічно: прямий зв'язок між часом до цільової терапії і виживаністю (–7,6%/год [4]) робить годинну ефективність FAST-AST безпосередньо трансльованою у збережені людські життя. Субгрупний аналіз у Peri et al. показав, що найбільший ефект досягається при ентеробактеріях, де неефективна емпірична терапія є найчастішою [9].

При тяжкій пневмонії Rapid AST реалізується через два механізми: (1) раннє виявлення MDR-збудників (MRSA, карбапенем-резистентні ентеробактерії) і своєчасна ескалація; (2) де-ескалація від емпіричного ванкоміцину і піперациліну-тазобактаму до вузькоспектральних препаратів при чутливих збудниках. Огляд Mancini et al. (Microorganisms, 2024) показав, що точна мікробіологічна діагностика при пневмонії скорочує тривалість некоректної терапії в середньому на 2,3 дні [7].

При інфекціях місця хірургічного втручання (IACXT) та ранових інфекціях клінічний вплив Rapid AST є особливо критичним в умовах України: при MDR у 84,6% ізолятів [14] стандартна емпірична терапія є неефективною для більшості пацієнтів із самого початку. Ескалація на основі RDT-результату протягом першої доби хірургічного втручання принципово відрізняється від корекції на 3-й день (після отримання стандартної культури) як за клінічним ефектом, так і за ризиком формування виразних інфекційних ускладнень.

При ускладнених інфекціях сечовивідних шляхів (ускладнені ІСШ) Rapid AST реалізує своє значення переважно в амбулаторних чи напівстаціонарних умовах: скорочення часу до ефективного перорального препарату з 48–72 год (стандарт) до 4–8 год принци-

Таблиця 2

Ключові дослідження клінічного впливу Rapid AST (2020–2025)

Дослідження	Порівняння	Ключовий результат	Коментар
Peri et al., Clin Infect Dis 2024 (мета-аналіз)	RDT+ASP vs стандарт	↓ 30-д смертності (OR 0,78; 95% CI 0,65–0,93)	Ефект зберігається навіть при вже функціональних AMS
Kramme et al., Front Cell Infect Microbiol 2025	RDT + консультація інфекціоніста	Цільова терапія 41%→73% (p<0,001)	Консультація ID-спеціаліста – критичний ад'ювант
PHENOMENON study, 2020	Pheno BC (ID+AST за ~7 год)	LOS 28→21 дні; економія €257 100 / 200 пацієнтів	Час до AST скорочено на 61,7 год (p<0,001)
Banerjee & Humphries, Front Med 2021	Молекулярні RDT vs культура	↑ де-ескалації; ↓ широкоспектральної терапії	Результат залежить від наявності AMS-протоколу
Pappas et al., Antibiotics 2022	ACC rapid AST (грам-нег. BSI)	LOS 12,1→6,6 дні; економія USD 666 208/рік	↓ мероп. та хінолонів без змін смертності

пово впливає на ймовірність уникнення госпіталізації та формування уросепсису. Дані Geerits et al. підтверджують: при ускладнених ІСШ, спричинених ESBL-продуцентами, раннє RDT знижує частоту переходу до карбапенемів як «рятівної терапії» [8].

Аналіз виявив шість системних взаємопов'язаних бар'єрів (Таблиця 3). Їхня особливість – взаємне підсилення: відсутність лабораторних потужностей позбавляє кадри можливості практики, що не стимулює управлінські рішення про інвестиції, що унеможливлює фінансування, – і цикл замикається.

Особливої аналітичної уваги заслуговує діагностична нерівність між рівнями та регіонами системи охорони здоров'я [22]. CDC/UPHC assessment (MMWR 2023) [13] задокументував у трьох регіонах України (Тернопіль, Хмельницький, Вінниця) неадекватну автоматизацію, субоптимальний контроль якості AST та нестабільну доступність витратних матеріалів. Ці три регіони є репрезентативними для більшості регіонів поза трьома великими центрами. При цьому максимальна клінічна потреба у Rapid AST – у прифронтових та евакуаційних закладах – збігається з мінімальною діагностичною спроможністю: зруйновані лабораторії (>2881 атак [19]), мобілізований персонал, перебої з постачанням реагентів.

Центральний клінічний аргумент на користь Rapid AST формується на перетині епідеміології, клінічної фармакології та фармакоекономіки. Традиційна логіка сепсис-менеджменту передбачає призначення широкоспектральної емпіричної терапії з подальшою корекцією на основі культури через 48–72 год. Ця логіка є клінічно обґрунтованою для нозологій із помірною

Таблиця 3

Системні бар'єри впровадження Rapid AST в Україні

Категорія бар'єру	Характеристика	Наслідок
Лабораторна	Критична нестача автоматизованого обладнання; VITEK/ MALDI-TOF лише у великих центрах; руйнування >2881 медичних об'єктів (ВООЗ 2025); відсутність mNGS-потужностей у більшості регіонів	↑ час до AST; емпіричне призначення; Watch/Reserve-ABx у 17,8% стаціонарних призначень (МОЗ 2025)
Кадрова	Дефіцит клінічних мікробіологів, фармацевтів, інфекціоністів; мобілізація і міграція персоналу; відсутність ID-консультантів у більшості закладів	Немає кому інтерпретувати RDT та змінити терапію – RDT без AMS неефективний
Управлінська	Відсутність AMS-команд у >90% лікарень; бактеріол. діагностика лише у 33% госпіталізованих; відсутність сепсис-бандлу як стандарту	Системна затримка цільової терапії; неможливість де-ескалації навіть при наявності результату
Фінансова	Відсутність відшкодування RDT у тарифах НСЗУ; висока закупівельна вартість; відсутність централізації закупівель; нерозуміння ROI	Заклади не мотивовані інвестувати у дорогу діагностику без гарантій відшкодування
Військова	MDR у 84,6% ранових ізолятів (Holubnycha 2025); пандрезистентні XDR K. pneumoniae і A. baumannii; масова ротація без передачі мікробіол. даних	Неможливість цільової терапії при збудниках, де емпірична терапія апріорі неефективна
Цифрова	Відсутність інтегрованих LIMS; результати не передаються між закладами; відсутність регіональних антибіограм у більшості регіонів	Дані RDT не використовуються для корекції емпіричних протоколів і навчання

часовою залежністю від вибору антибіотика. Однак при септичному шоку, де виживаність знижується на 7,6% за кожну годину невідповідної терапії [4], і при тяжких пневмоніях, де кожна доба неефективної терапії збільшує ймовірність поліорганної недостатності, – ця логіка трансформується у клінічно неприйнятну.

Rapid AST переводить вектор прийняття рішень із «широко і безпечно» на «точно і ефективно» у межах однієї зміни. Це означає не лише поліпшення індивідуального прогнозу пацієнта, а й системний ефект: менша тривалість широкоспектральної терапії → менший селекційний тиск → сповільнення накопичення резистентності в лікарняному середовищі. Таким чином, Rapid AST є одночасно клінічним інструментом лікування конкретного пацієнта і засобом популяційного контролю AMR – що є рідкісним прикладом конвергенції індивідуального та громадського інтересу в медичній практиці.

В умовах України, де MDR у 84,6% ізолятів [14] і пандрезистентні штами K. pneumoniae та A. baumannii [16] є клінічною нормою для ранових інфекцій у поранених, «безпечна» широкоспектральна емпірична терапія карбапенемами є заздалегідь неефективною для значної частки пацієнтів. Rapid AST – єдиний інструмент, що дозволяє вийти з цієї пастки «сліпого лікування» у стислі терміни, не очікуючи 72 год, протягом яких клінічна ситуація може розвинутись незворотно.

Аналіз бар'єрів в Україні виявляє, що проблема доступу до Rapid AST є проявом ширшої «діагностичної нерівності» – концепції, систематично розробленої у попередніх дослідженнях автора [22]. Нерівний доступ до мікробіологічних сервісів між великими центрами і периферійними закладами, між регіонами, між різними рівнями системи є структурним, а не ситуативним явищем.

Ця нерівність має конкретні кількісні вирази: лише 33% госпіталізованих отримують бактеріологічну діагностику до початку АВх (МОЗ 2025) [18] – тобто 67% пацієнтів отримують терапію без мікробіологічного обґрунтування. Watch-антибіотики призначаються на первинному рівні в 6 разів частіше, ніж рекомендує ВООЗ; Reserve-АВх складають 17,8% стаціонарних призначень за нормою «лише виняток». Ці відхилення є прямим наслідком відсутності мікробіологічного зворотного зв'язку, а не ірраціональної поведінки окремих лікарів.

Таким чином, впровадження Rapid AST вирішує не лише технічну, а й структурну проблему: наявність RDT-результату в межах зміни формує принципово інший контекст клінічного рішення. Лікар, що має конкретний мікробіологічний результат, приймає суттєво кращі рішення, ніж лікар, що вимушений «угадувати» збудника [22].

Всі аналізовані дослідження підтверджують одну критичну умову: максимальний ефект Rapid AST досягається виключно при «embedded within structured ASPs» (вбудованість у структуровані AMS-програми) [9]. Kramme et al. (2025) кількісно продемонстрували: без активної консультації інфекціоніста зміна терапії після отримання RDT-результату відбувалась лише у 18% випадків проти 73% при наявності ID-консультації (різниця: +55 процентних пунктів) [10]. Тому AMS необхідно розглядати як обов'язковий клінічний ад'ювант.

Механізм цього явища є зрозумілим: лікар відділення інтенсивної терапії або хірург – основні клінічні ведучі тяжких бактеріальних інфекцій – мають, як правило, обмежені компетенції у клінічній мікробіології та антибіотикотерапії. Отримуючи RDT-результат (наприклад: «K. pneumoniae, NDM+, резистентна до карбапенемів, чутлива до колістину і цефтазидим-авібактаму»), вони нерідко не мають протоколу або досвіду для його конвертації у конкретне терапевтичне рішення. Саме тут ID-консультант або клінічний фармацевт AMS забезпечує критичну «останню милю» між лабораторним результатом і ліжком пацієнта.

Практичний висновок: заклад, що впроваджує FAST-AST аналізатор без одночасного призначення ID-консультанта або клінічного фармацевта AMS і без розробки протоколів де-ескалації, реалізує щонайбільше чверть потенціалу технології. Ці компоненти є технологічно нероздільними і повинні плануватись в єдиному управлінському рішенні.

Фінансово-економічний аналіз фармакоекономічних даних [11; 12] дозволяє сформулювати аналітичну модель ROI для закладів рівня II+ в Україні. Прямі витрати на впровадження: закупівля FAST-AST аналізатора: ~80 000–150 000 USD (амортизація 5–7 років → ~15 000–25 000 USD/рік); вартість одного тесту: ~150–300 USD; при 200 пацієнтах/рік → ~30 000–60 000 USD/рік на реагенти. Загальні щорічні витрати: ~45 000–85 000 USD.

Прямі заощадження: (а) скорочення LOS на 5,5 днів (Pappas 2022 [12]) × 200 пацієнтів × 200 USD/ліжко-день BIT = 220 000 USD/рік; (б) зниження витрат на Reserve-АВх: карбапенеми (~150–300 USD/добу × 5 днів × 50 пацієнтів) = 37 500–75 000 USD/рік; цефтазидим-авібактам (~600 USD/добу × 5 днів × 20 пацієнтів) = 60 000 USD/рік. Загальні заощадження: ~317 500–355 000 USD/рік.

Чистий ефект (ROI): 317 500 – 85 000 = +232 500 USD/рік при консервативному сценарії. При оптимістичному (близькому до даних Pappas 2022): +482 088 USD/рік [12]. Таким чином, ROI впровадження FAST-AST є позитивним вже у першому році для будь-якого закладу з ≥150 BIT-пацієнтів/рік. Відмова від впровадження з посиланням на вартість тесту є хибним управлінським рішенням, що ігнорує системну економіку охорони здоров'я.

З точки зору НСЗУ, включення FAST-AST до тарифів є не субсидією, а інвестицією з коефіцієнтом повернення >3:1 протягом 3 років: зниження вартості АВх, скорочення LOS та зниження частоти повторних госпіталізацій генерують значно більші заощадження, ніж вартість самих тестів.

Збройний конфлікт одночасно є найбільшим «замовником» Rapid AST і найбільшим руйнівником умов для його реалізації. MDR у 84,6% ізолятів від поранених [14], пандрезистентні K. pneumoniae (25% XDR-ізолятів [16]) і карбапенем-резистентний A. baumannii (72,2% ізолятів [14]) формують клінічне середовище, де стандартна емпірична терапія є заздалегідь неефек-

тивною. Водночас руйнування лабораторій та масова ротація поранених між закладами без передачі мікробіологічних даних унеможливлюють стандартний діагностичний процес.

Вирішення цього протиріччя – виключно через мобільні і децентралізовані рішення. Портативні PoC-AST системи (T2Bacteria, SPECIFIC REVEAL) здатні функціонувати за мінімальної інфраструктури: стабільне електроживлення + підготовлений технічний персонал (не обов'язково лікар-мікробіолог). Їх розгортання на рівні Role 2 ЗСУ дозволяє реалізувати мінімально необхідний діагностичний стандарт: виявлення провідних MDR-патогенів і ключових генів резистентності протягом 3–5 год, що достатньо для початкового терапевтичного рішення. Повноцінний FAST-AST (МПК) для прийнятих поранених може виконуватись у найближчому стаціонарному медичному закладі Role 3 або в регіональній лікарні.

Критично важливим є стандарт передачі мікробіологічних даних при евакуації пацієнта між закладами. Наразі цей процес є неформалізованим: анамнез антибіотикотерапії і мікробіологічні результати часто відсутні або недоступні у приймальному закладі. Технічне рішення – обов'язковий цифровий паспорт пацієнта (QR-код або запис в eHealth) з мікробіологічними даними і AST-результатами – є реалістичним у рамках наявної ІТ-інфраструктури і не вимагає значних капіталовкладень.

Стратифікована модель впровадження залежно від рівня закладу та клінічного сценарію передбачає три рівні [21]. Рівень I (прифронтові заклади, Role 2 ЗСУ, ФАП, сільські лікарні): PoC-платформи (T2Bacteria, SPECIFIC REVEAL, LFT на основні збудники). Завдання: ідентифікація провідних MDR-патогенів і ключових генів резистентності (NDM, mecA) за 3–5 год. Рівень II (міські лікарні, районні лікарні з ВІТ): мультиплексна ПЛР (BioFire/Verigene) для ідентифікації за 1–2 год + централізований FAST-AST у регіональній референс-лабораторії з терміном повернення результату ≤12 год. Рівень III (обласні, університетські, національні клініки): фенотиповий FAST-AST (МПК за 4–8 год) + мультиплексна ПЛР (паралельно) + mNGS для складних клінічних випадків (культур-негативний сепсис, рідкісні збудники, не охоплені стандартною панеллю). Ця трирівнева модель розроблена на основі аналізу інноваційних діагностичних підходів [21] і принципів справедливого доступу до діагностики [22].

Метагеномне секвенування нового покоління (mNGS) є найперспективнішим, але водночас найменш впровадженим методом у клінічній мікробіологічній діагностиці. Його принципова відмінність від усіх інших підходів – відсутність апріорних обмежень на склад панелі: mNGS виявляє будь-який мікроорганізм у клінічному зразку, включно з тими, про наявність яких клініцист не підозрює. Клінічне обґрунтування для впровадження mNGS в Україні формується на основі чотирьох конкретних клінічних сценаріїв: культур-негативний сепсис; сепсис у імуноскомпрометованих пацієнтів; ранові інфекції у поранених зі збройного конфлікту; моніторинг MDR-епідеміологічної ситуації на національному рівні [21].

Виклики впровадження mNGS в Україні є реальними: вартість одного аналізу – 300–800 USD залежно від платформи, необхідність біоінформатичного аналізу, нетривіальність інтерпретації результатів. Реалістична траєкторія впровадження: пілотування у 2–3 великих університетських клініках (2026–2028) → формування 4–5 регіональних mNGS-центрів (2028–2030) → інтеграція у систему національного молекулярно-епідеміологічного нагляду AMR (після 2030) [21].

Рекомендації клінічного рівня (КЛ) адресовані безпосередньо лікарям ВІТ, хірургам, інфекціоністам та клінічним фармацевтам і базуються на доказах найвищого рівня (GRADE A–B).

– КЛ-1. Впровадити FAST-AST у ВІТ рівня II+ як стандарт допомоги при тяжких бактеріальних інфекціях. Мета-аналіз Peri et al. (2024) підтверджує зниження 30-денної смертності (OR 0,78; 95% CI 0,65–0,93) при поєднанні RDT+AMS [9]. При лактаті ≥4 ммоль/л або при культур-негативному сепсисі у критично хворих – культур-незалежні методи (T2Bacteria) без очікування росту культури. Цільовий показник: результат FAST-AST у межах 1 зміни (≤8 год після ВС+) у ≥70% пацієнтів.

– КЛ-2. Паралельне призначення мультиплексної ПЛР разом із гемокультурою при септичному шоку та нейтропенічній лихоманці. Гемокультура є позитивною лише у 25–40% сепсис-епізодів [7]. Мультиплексна ПЛР (BioFire BC ID, Verigene) надає ідентифікацію збудника і ключові гени резистентності за 1–6 год і дозволяє прийняти первинне терапевтичне рішення ще до отримання фенотипового AST.

– КЛ-3. Обов'язкова консультація інфекціоніста або клінічного фармацевта AMS не пізніше 2 год після отримання RDT-результату. Kramme et al. (2025) показали, що без ID-консультації зміна терапії після RDT відбувається лише у 18% випадків проти 73% при наявності консультації [10]. При відсутності ID-спеціаліста в закладі – телемедична консультація із регіонального або національного центру. KPI: ≥90% позитивних ВС мають ID-reassessment протягом 4 год після результату RDT.

– КЛ-4. Стандартизований сепсис-бандл з інтеграцією RDT-компоненту: (1) ВС + RDT до АВх; (2) АВх ≤1 год; (3) RDT-результат ≤8 год → ID-consult → де-ескалація або ескалація; (4) Antibiotic Time-Out на 48–72 год з обов'язковою документацією.

– КЛ-5. Стратифікований підхід до вибору технології залежно від клінічного сценарію: при стандартному сепсисі – FAST-AST; при культур-негативному сепсисі або у важких імуноскомпрометованих – mNGS (де доступно); при ранових інфекціях у поранених з ЗСУ – PoC-платформи на рівні Role 2 з наступним FAST-AST у Role 3 [21].

Управлінські рекомендації (УПР) адресовані адміністраторам закладів, регіональним координаторам охорони здоров'я, МОЗ та НСЗУ.

– УПР-1. Формування мультидисциплінарної AMS-команди у кожному закладі, що надає стаціонарну допомогу тяжким інфекційним хворим. Мінімальний склад: інфекціоніст або клінічний фармацевт з компетенцією AMS + мікробіолог-консультант. Для

закладів рівня I – кластерна модель (1 AMS-команда / 5 закладів) із дистанційними консультаціями та телемедичною підтримкою. KPI: щоденний Antibiotic Time-Out на 3-й день терапії у 100% відповідних пацієнтів.

– УПР-2. Розгортання цифрової LIMS-платформи з автоматичним формуванням регіональних антибіограм. Щоквартальна антибіограма для конкретного регіону і типу інфекції є мінімальним стандартом для доказового клінічного рішення. Онлайн-доступ клініциста до мікробіологічного результату ≤1 год після його готовності – технічно реалістична ціль за наявності інтегрованого LIMS, сумісного з eHealth [22].

– УПР-3. Стандарт передачі мікробіологічних даних при евакуації або переведенні пацієнта між закладами: обов'язковий цифровий мікробіологічний паспорт пацієнта (QR-код або eHealth-запис) з результатами культур і AST.

– УПР-4. Програма освіти і навчання персоналу з Rapid AST та клінічної інтерпретації RDT-результатів. Включення до програм безперервного проф. розвитку обов'язкових модулів «Клінічна мікробіологія для практикуючого лікаря», «Стандарти де-ескалації АВх» і «Rapid AST: як читати і що робити».

Фінансові рекомендації (ФІН) адресовані НСЗУ, МОЗ та органам місцевого самоврядування.

– ФІН-1. Включення FAST-AST до системи тарифів НСЗУ у рамках окремого діагностичного коду. Фармакоекономічний аналіз демонструє позитивний ROI вже у перший рік: щорічна економія від скорочення LOS і зниження витрат на Reserve-АВх перевищує витрати на тестування у 4–6 разів.

– ФІН-2. Централізована закупівля реагентів для FAST-AST на рівні НСЗУ або регіональних органів охорони здоров'я. Централізована ProZorro-закупівля multi-year контрактами дозволяє знизити вартість одиниці тесту на 30–40%.

– ФІН-3. Пілотна програма «Сепсис-Рапід» (2026–2027) у 5 регіональних ВІТ з повноцінним моніторингом результатів. Пакет показників: смертність, LOS, частка цільової терапії, витрати на АВх. Критерій успіху: ↓30-денна смертність ≥10%, ↓LOS ≥4 ліжко-дні.

Військово-медичні рекомендації (ВІЙ) адресовані Медичним силам ЗСУ та координаторам міжнародної технічної допомоги.

– ВІЙ-1. Оснащення передових медичних пунктів (Role 2) портативними PoC-AST системами. MDR у 84,6% ізолятів від поранених [14] і пандрезистентні штами [16] роблять стандартну емпіричну терапію заздалегідь неефективною для значної частки пацієнтів. PoC-платформи (T2Bacteria, SPECIFIC REVEAL) надають клінічно значущий результат протягом 3–5 год. Норматив: 1 мобільна PoC-одиниця на кластер з 3–5 польових госпіталів.

– ВІЙ-2. Обов'язковий цифровий мікробіологічний паспорт пацієнта при евакуації (QR-код, eHealth-запис) з результатами культур і AST – просте технічне рішення з потенційно значним клінічним ефектом.

Ефективна реалізація запропонованих рекомендацій передбачає три фази. Фаза 1 – невідкладна (2026): ВІЙ-1 (мобільні PoC для ЗСУ); ВІЙ-2 (стандарт передачі даних); ФІН-1 (підготовка тарифного обґрунтування для НСЗУ); КЛ-3 (протокол ID-консультації при BC+). Фаза 2 – середньострокова (2027): ФІН-3 (запуск пілоту «Сепсис-Рапід»); КЛ-1 (FAST-AST у 5 пілотних ВІТ); УПР-2 (LIMS у пілотних регіонах); ФІН-2 (централізовані закупівлі). Фаза 3 – стратегічна (2028+): масштабування FAST-AST на всі ВІТ рівня II+; mNGS-пілот у 2–3 університетських клініках; AMS-команди у всіх закладах рівня II+. KPI: діагностичне охоплення ≥70%; де-ескалація за RDT ≥50%; ↓30-денна смертність ≥10%; ↓АВх-витрати ≥20%; бактеріол. охоплення до АВх → від 33% до ≥60%.

Висновки з дослідження (Conclusions). Rapid AST є стратегічно значущою медичною технологією, що принципово змінює парадигму сепсис-менеджменту і лікування тяжких бактеріальних інфекцій: від «широко і безпечно» до «точно і ефективно» у межах однієї зміни. Доказова база рівня GRADE A–B підтверджує: поєднання RDT+AMS знижує 30-денну смертність (OR 0,78; 95% CI 0,65–0,93 [9]), скорочує LOS на 4,5–7 днів [11; 12] та забезпечує фінансову економію >USD 480 000/рік на рівні ВІТ [12]. Клінічна значущість технології охоплює весь спектр тяжких бактеріальних інфекцій: від сепсису та BSI до пневмонії, IACXT, ускладнених ІСШ і ранових інфекцій.

Часова критичність є центральним клінічним аргументом для Rapid AST: при септичному шоку кожна година невідповідної терапії знижує виживаність на 7,6% [4]. Стандартна гемокультура із 48–72-годинним очікуванням повного результату AST є принципово несумісною з вимогами сучасного сепсис-менеджменту. FAST-AST (4–8 год) і мультиплексна ПЛР (1–6 год) є технологічно зрілими і клінічно доступними рішеннями цього протиріччя.

Ефективність Rapid AST є невіддільною від наявності AMS-команди. Без ID-консультації після отримання RDT-результату зміна терапії відбувається лише у 18% випадків проти 73% при активній консультації ($\Delta R = +55\%$, $p<0,001$ [10]). Планування впровадження FAST-AST без одночасного розвитку AMS є управлінською помилкою, що прирікає технологію на неефективність.

Ситуація в Україні характеризується критичним збігом максимальної потреби у Rapid AST і мінімальної діагностичної спроможності. MDR у 84,6% ізолятів від поранених [14], пандрезистентні K. pneumoniae (25% XDR [16]) і карбапенем-резистентний A. baumannii при лише 33% бактеріологічного охоплення до АВх (МОЗ 2025 [18]) формують ситуацію, де стандартна емпірична терапія є заздалегідь неефективною для значної частки пацієнтів. Шість виявлених системних бар'єрів мають взаємопосилюючий характер і потребують комплексної, а не ізольованої відповіді.

Фармакоекономічний аналіз підтверджує позитивний ROI впровадження Rapid AST вже у перший рік для будь-якого закладу з ≥150 ВІТ-пацієнтів/рік: чиста річна економія від скорочення LOS і зниження витрат на Reserve-АВх перевищує витрати на тестування у 4–6 разів. Включення FAST-AST до тарифів НСЗУ є не субсидією, а інвестицією з коефіцієнтом повернення >3:1 протягом 3 років.

Технологічний спектр від PoC до mNGS дозволяє стратифікувати рішення за рівнем закладу та клінічним сценарієм [21]: PoC (Role 2 ЗСУ, сільські заклади) → FAST-AST (BIT рівня II+) → mNGS (університетські клініки, складні випадки). Ця стратифікована модель є оптимальною для ресурсообмежених систем охорони здоров'я в умовах конфлікту.

mNGS є найперспективнішим, але поки найменш доступним методом. Реалістична траєкторія впровадження: пілот у 2–3 університетських клініках (2026–2028) → формування регіональних mNGS-центрів (2028–2030) → інтеграція у систему національного AMR-нагляду (після 2030). Пріоритетні показання: культур-негативний сепсис, тяжкі інфекції у імуноскомпрометованих, ранові інфекції у поранених з нетиповим мікробним спектром.

Запропонована система рекомендацій (КЛ-1–5, УПР-1–4, ФІН-1–3, ВІЙ-1–2) формує цілісну управлінську дорожню карту з чіткими KPI і трифазовою часовою стратегією. Включення FAST-AST до тарифів НСЗУ є ключовим системним рішенням, що розблоковує весь ланцюжок клінічної та фінансової логіки впровадження.

Обмеження дослідження: огляд базується на 22 джерелах у вільному доступі; деякі аспекти клінічного використання mNGS потребують подальшого нарощування доказової бази; фармакоекономічна модель використовує адаптовані дані з інших країн – прямі вітчизняні дані LOS і ABx-витрат у BIT відсутні; деякі положення стосовно військово-медичного застосування Rapid AST базуються на аналізі обмежених польових даних. Пріоритетні теми для подальших досліджень: (а) проспективне RCT-дослідження (n≥150) FAST-AST+AMS vs стандарт при тяжких бактеріальних інфекціях в умовах реальної клінічної практики України; (б) фармакоекономічне дослідження з вітчизняними даними для обґрунтування тарифу НСЗУ; (в) mNGS-пілот при культур-негативному сепсисі та тяжких інфекціях у поранених; (г) оцінка ефективності PoC-AST на рівні Role 2 ЗСУ.

Конфлікт інтересів: Автор засвідчує відсутність конфлікту інтересів. / None declared.

Фінансування: Дослідження виконане без зовнішнього фінансування. / No external funding.

Внесок автора (CRediT): Концептуалізація, методологія, огляд літератури, написання, редагування.

Доступність даних: Всі дані з опублікованих джерел. Протокол огляду доступний за запитом. / All data from published sources.

Відповідність вимогам біоетики: Систематичний огляд – первинного збору даних від пацієнтів не здійснювалось. / Not applicable.

Застереження щодо використання інструментів ШІ: застосовувався виключно для граматичного редагування тексту; увесь науковий зміст є результатом самостійної роботи автора. / AI tools used for grammatical editing only; all scientific content is the author's own work.

ЛІТЕРАТУРА

1. Singer M, Deutschman CS, Seymour CW, et al. The Third International Consensus Definitions for Sepsis and Septic Shock (Sepsis-3). JAMA. 2016;315(8):801–810 doi:10.1001/jama.2016.0287
2. Rudd KE, Johnson SC, Agesa KM, et al. Global, regional, and national sepsis incidence and mortality, 1990–2017. Lancet. 2020;395(10219):200–211 doi:10.1016/S0140-6736(19)32989-7
3. Banerjee R, Humphries R. Rapid antimicrobial susceptibility testing methods for blood cultures and their clinical impact. Front Med. 2021;8:635831 doi:10.3389/fmed.2021.635831
4. Kumar A, Roberts D, Wood KE, et al. Duration of hypotension before initiation of effective antimicrobial therapy is the critical determinant of survival in human septic shock. Crit Care Med. 2006;34(6):1589–1596 doi:10.1097/01.CCM.0000217961.75225.E9
5. Ferrer R, Martin-Loeches I, Phillips G, et al. Empiric antibiotic treatment reduces mortality in severe sepsis and septic shock from the first hour. Crit Care Med. 2014;42(8):1749–1755 doi:10.1097/CCM.0000000000000330
6. Evans L, Rhodes A, Alhazzani W, et al. Surviving Sepsis Campaign: International Guidelines 2021. Crit Care Med. 2021;49(11):e1063–e1143 doi:10.1097/CCM.0000000000005337
7. Mancini N, Zucchelli E, Clementi N, et al. Getting up to speed: rapid pathogen and AMR diagnostics in sepsis. Microorganisms. 2024;12(9):1824 doi:10.3390/microorganisms12091824
8. Geerits M, Kluijtmans LAJ, Hoefsloot W, et al. Evaluating the impact of rapid AST for BSI: a review. JAC Antimicrob Resist. 2024 doi:10.1093/jacamr/dlae140
9. Peri AM, Chatfield MD, Ling W, et al. Rapid diagnostic tests and ASP for BSI management: network meta-analysis. Clin Infect Dis. 2024;79(2):502–515 doi:10.1093/cid/ciae234
10. Kramme E, Käding N, Graf T, et al. Rapid diagnostic testing combined with immediate ID consultation increases targeted antibiotic therapy in septic ICU patients. Front Cell Infect Microbiol. 2025;14:1513408 doi:10.3389/fcimb.2024.1513408
11. Bouza E, Muñoz P, Burillo A. PHENOMENON study: clinical and economic effects of rapid ID+AST in ICU sepsis. Clin Microbiol Infect. 2020;27(Suppl 4):S1–S26 doi:10.1016/j.cmi.2020.10.030
12. Pappas A, Schectman S, Hayden MK, et al. Clinical and financial impact of rapid AST in blood cultures. Antibiotics. 2022;11(2):247 doi:10.3390/antibiotics11020247
13. Feldstein LR, Burnett E, Welsh RM, et al. Responding to wartime spread of AMR organisms – Ukraine, 2022. MMWR. 2023;72(49):1324–1328 doi:10.15585/mmwr.mm7249a5
14. Holubnycha V, Kholodylo A. War impact on AMR and bacteriological profile of wound infections in Ukraine. Commun Med (Lond). 2025;5:394 doi:10.1038/s43856-025-01056-6

15. Pallett SJC, Morkowska A, Woolley SD, et al. Evolving AMR of XDR Gram-negative infections associated with conflict wounds in Ukraine. Lancet Reg Health Eur. 2025 doi:10.1016/j.lanepe.2025.100966
16. Ljungquist O, Nazarchuk O, Kahlmeter G, et al. Pandrug-resistant K. pneumoniae from Ukrainian war victims are hypervirulent. J Infect. 2024;89(6):106312 doi:10.1016/j.jinf.2024.106312
17. Tuon FF, Zequinao T, da Silva MS, et al. eHealth and mHealth in AMS: systematic review and meta-analysis. Infect Dis Rep. 2024;16(4):54 doi:10.3390/idr16040054
18. Tsentr hromadskoho zdorovya MOZ Ukrainy. Rezultaty AWaRe-monitorynhu zastosuvannia antybiotykiv za 2025 rik. Aparatna narada MOZ, 17 kvitnia 2026. Available: phc.org.ua [Accessed: 25.04.2026] [In Ukrainian]
19. WHO/Europe & World Bank. Health financing in Ukraine: reform, resilience and recovery. World Bank Group; 2024. https://documents.worldbank.org
20. Enhancing BSI management: a systematic review of rapid diagnostic tests and their integration into ASPs. Cureus. 2025 doi:10.7759/cureus.89205
21. Hrytsko RYu. Innovatsiini metody diahnostyky infektsiinykh zakhvoriuvan: vid metahenomnoho sekvenovannia do shvydkykh testiv v punkti nadannia medychnoi dopomohy ta rol hromadskoho zdorovia. Academia Polonica. 2026;74(1). [In Ukrainian]
22. Hrytsko RYu. Podolannia dysbalansu: multydystsyplinarnyi pohliad na spravedlyvist u dostupi do mikrobiolohichnoi diahnostyky yak osnovy efektyvnoho hromadskoho zdorovia ta kontroliu antybiotykoresystentnosti. Hraal nauky. 2026;(61):998–1011. [In Ukrainian]

Дата першого надходження статті до видання: 27.07.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 28.08.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 09.11.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0