

Жайворонок М.М.¹, Динник О.Б.², Фейса С.В.³,
Дереш Н.В.⁴, Щербина О.В.¹, Кобиляк Н.М.⁵

**Вимірювання коефіцієнта
згасання у скринінгу метаболічно
асоційованої стеатотичної хвороби
печінки: між діагностичною
точністю та економічною
реальністю**

¹ Національний університет охорони здоров'я України
імені П. Л. Шупика, м. Київ, Україна

² Медичний центр ТОВ «Інститут еластографії»,
м. Київ, Україна

³ Державний вищий навчальний заклад
«Ужгородський національний університет»,
м. Ужгород, Україна

⁴ Клініка «Lifescan», м. Київ, Україна,

⁵ Національний медичний університет
імені О.О. Богомольця, м. Київ, Україна

Zhaivoronok M.M.¹, Dynnyk O.B.², Feysa S.V.³,
Deresh N.V.⁴, Shcherbina O.V.¹, Kobyliak N.M.⁵

**Attenuation coefficient measurement
in screening for metabolic dysfunction-
associated steatotic liver disease:
between diagnostic accuracy
and economic reality**

¹ Shupyk National Healthcare University of Ukraine,
Kyiv, Ukraine

² “Institute of Elastography” Medical Center LLC,
Kyiv, Ukraine

³ State University “Uzhhorod National University”,
Uzhhorod, Ukraine

⁴ “Lifescan clinic”, Kyiv, Ukraine,

⁵ Bogomolets National Medical University,
Kyiv, Ukraine

zhayvoronok.m@ukr.net

Вступ

Метаболічно-асоційована стеатотична хвороба печінки (МАСХП) вважається найбільш поширеним захворюванням та однією із провідних причин, що ведуть до необхідності трансплантації печінки у світі. За результатами систематичного огляду глобальна поширеність МАСХП становить близько 25–30% серед дорослого населення зі значним підвищенням у групах із метаболічним синдромом, ожирінням або цукровим діабетом (ЦД) 2 типу [1]. Актуальність проблеми МАСХП зумовлена не тільки високою розповсюдженістю, а й важкістю діагностики хвороби на її ранніх стадіях через безсимптомний перебіг та стерту клінічну картину. Без своєчасних медичних інтервенцій МАСХП може прогресувати до метаболічно-асоційованого стеатогепатиту (МАСГ), фіброзу, цирозу та, зрештою, до гепатоцелюлярної карциноми. Доведено, що МАСХП може призвести не тільки до ускладнень з боку печінки, а й до позапечінкових ускладнень, оскільки здебільшого стеатоз печінки (СП) поєднується із метаболічними розладами, спричиняючи метаболічний синдром та підвищуючи кардіоваскулярний ризик (КВР) таких пацієнтів. Саме тому раннє виявлення СП як головного маркера захворювання та своєчасне коригування факторів ризику (зниження маси тіла, контроль глікемії, лікування дисліпідемії) можуть суттєво вплинути на прогноз подій, пов'язаних із захворюванням печінки (liver related events) та знизити КВР,

що сприятиме збільшенню тривалості та покращенню якості життя пацієнтів із МАСХП. У зв'язку з цим рання діагностика МАСХП стає ключовим елементом стратегії громадського здоров'я. Але для ефективного впровадження скринінгових програм важливим є не лише висока діагностична точність, а й економічна доцільність вибраних методів скринінгу [2].

Стеатоз печінки, що є основним субстратом МАСХП, можна виявити як за допомогою інструментальної діагностики, так і з використанням неінвазивних розрахункових індексів (онлайн-калькуляторів), що базуються на антропометричних та лабораторних показниках пацієнта. Відомо, що оптимальним методом для скринінгу хвороби вважається такий, висока точність та чутливість якого поєднується із низькою вартістю, доступністю та простотою. З огляду на наведені вимоги щодо «ідеального» скринінгового тесту, нами зроблено порівняльний аналіз переваг та недоліків відомих методів виявлення СП за даними доступних літературних джерел.

«Золотим стандартом» для кількісної оцінки стеатозу печінки в радіології визнано магнітно-резонансну томографію з оцінкою фракції жиру за протонною щільністю (MPT-ФЗПЩ, в англійських джерелах – MRI-PDFF). Саме їй надано статус референтного неінвазивного методу, однак її рутинне застосування обмежується високою вартістю, залученням до діагностичного процесу високооплачуваних фахівців, утрудненою доступністю, наявністю широкого

переліку протипоказань до її проведення (як наприклад, металеві імпланти у тілі, клаустрофобія) та значною тривалістю процедури [3]. Клінічні настанови (EASL–EASD–EASO 2024; AASLD 2024) рекомендують використовувати МРТ-ФЖПЩ переважно у складних діагностичних ситуаціях, наукових дослідженнях та в якості референтного тесту. Для первинної ланки пропонують застосування алгоритмів на базі недорогих тестів (сироваткові маркери та ультразвукова (УЗ) візуалізація) [2; 4]. Економічні огляди щодо проблеми МАХП підкреслюють: основна перевага МРТ-технологій – це зменшення потреби виконання інвазивних біопсій печінки, без цього витрати на МРТ важко виправдати в масштабах скринінгових програм [5].

Ультразвуковий (УЗ) контрольований параметр згасання (КПЗ, Controlled Attenuation Parameter® – CAP) на базі віброеластографії із транзентною еластометрією (FibroScan®, Echosense, Франція) – більш доступний і дешевший інструмент порівняно із МРТ-ФЖПЩ, який дає швидку оцінку стеатозу на місці застосування (point of care US – POCUS). Водночас його аналітична точність помірна, а результати чутливі до індексу маси тіла (ІМТ), наявності ожиріння та технічних умов [6]. Мета-аналізи й порівняльні дослідження показують неоднорідну діагностичну ефективність, особливо у разі слабо вираженого стеатозу S1 та у певних підгрупах [7]. Згідно із результатами сучасних економічних моделей, покроковий підхід, який поєднує розрахунок індексу FIB-4 (Fibrosis-4 Index) як первинного неінвазивного розрахункового тесту та подальше застосування КПЗ лише у пацієнтів із проміжними або високими значеннями FIB-4,

забезпечує оптимальний баланс між діагностичною ефективністю та витратами [8; 9]. Застосування поетапного діагностичного підходу (FIB-4 → КПЗ) дає змогу оптимізувати використання ресурсів, мінімізуючи кількість високовартісних процедур без втрати діагностичної інформативності. На відміну від цього, рутинне залучення МРТ у межах скринінгових програм суттєво підвищує сукупні витрати у разі подібної ефективності, що ставить під сумнів вартісну доцільність такого підходу [10].

Серед доступних неінвазивних візуалізаційних методів оцінки стеатозу визначення коефіцієнта згасання (ВКЗ) ультразвуку вирізняється поєднанням технологічної простоти, низької вартості, високої відтворюваності, достатньої чутливості та специфічності за умови наявності слабо вираженого стеатозу S1 [11]. ВКЗ – запатентована УЗ-технологія, призначена для кількісної оцінки ступеня згасання УЗ-сигналу в тканинах, зокрема для неінвазивної діагностики СП (рис. 1).

На відміну від МРТ-ФЖПЩ, яке потребує складного обладнання та значних ресурсів, ВКЗ може бути інтегроване у стандартне УЗД печінки без додаткових матеріальних та часових витрат. Тривалість процедури ВКЗ у бюджеті В-режиму обстеження печінки з формуванням кінцевого стандартного протоколу, що автоматично формує статистичну звітність за трьома вимірами ВКЗ, становить до 5 хвилин [11].

У проведеному аналізі ВКЗ демонстрував достовірну кореляцію із показниками МРТ-стеатозу ($\rho = 0.74$, $p < 0.001$) і помірну кореляцію із гепаторенальним індексом (ГРІ) ($\rho = 0.65$, $p < 0.001$), що підтверджує його здатність кількісно відображати жирову

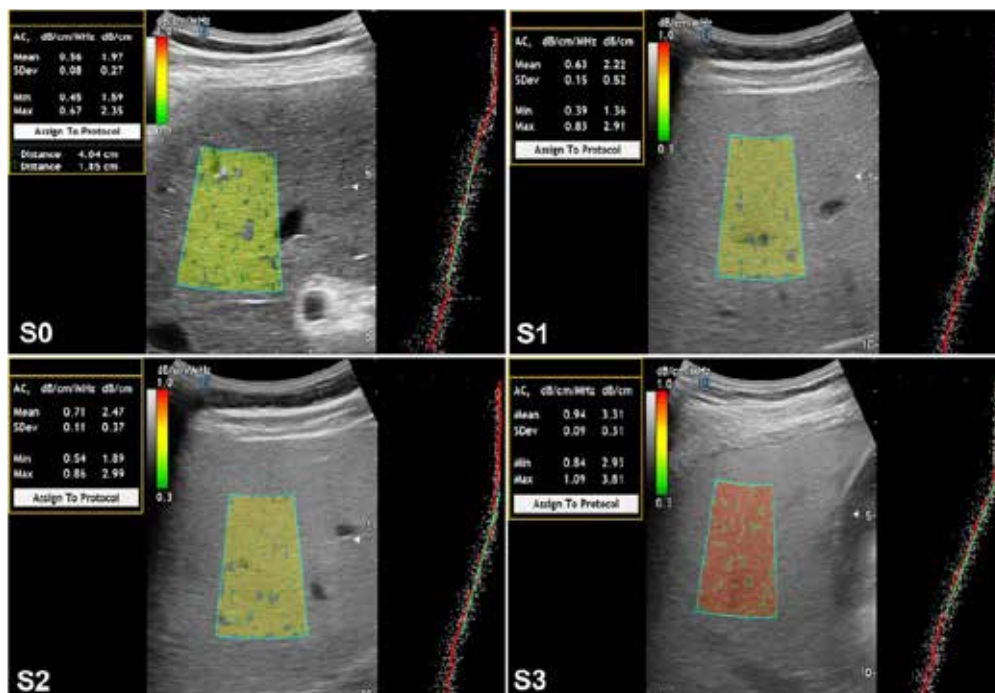


Рис. 1. Сканограми пацієнтів, що демонструють різні ступені стеатозу печінки. Вимірювання коефіцієнта згасання (ВКЗ) для відсутнього (S0), легкого (S1), помірного (S2) та тяжкого (S3) стеатозу

інфільтрацію печінки [12]. Ці результати узгоджуються із даними міжнародних досліджень, у яких площа під кривою (AUC, area under the curve) для технологій УЗ-стеатометрії на основі коефіцієнтів згасання становила 0,83–0,89 у разі виявлення стеатозу $S \geq 1$, що співставна з діагностичною ефективністю стеатометрії за показником КПЗ та наближається до діагностичної точності МРТ-ФЖПЩ [13].

Практична вартість ВКЗ зазвичай нижча, ніж окремого дослідження КПЗ, оскільки ВКЗ виконується в межах стандартного УЗД без потреби у виділеному спеціалізованому пристрої та окремому тарифі як послуги. Натомість виконання КПЗ потребує спеціалізованого апарату FibroScan із окремим записом пацієнтів на дослідження та окремою тарифікацією. Публічно доступні ціники клінік в Україні демонструють істотну варіабельність вартості КПЗ (приблизно 1500–2500 гривень за дослідження згідно з даними відкритих джерел), тоді як ВКЗ часто нараховується як мінімальна інкрементальна вартість до рутинного УЗД або входить у його пакет безкоштовно.

Порівняно з методом КПЗ ВКЗ має низку важливих клінічних і технічних переваг. Насамперед ВКЗ характеризується меншою залежністю від індексу маси тіла (ІМТ) та товщини підшкірної жирової клітковини, що забезпечує стабільні результати навіть у пацієнтів із надмірною масою тіла або ожирінням. Ключовою перевагою ВКЗ перед КПЗ є інтеграція методики у стандартні візуалізуючі УЗ прилади, що підвищує точність вимірів і зниження похибок, завдяки точній навігації області інтересу (ОІ) для вимірів ВКЗ. Спеціальним технологічним рішенням навігації є наявність візуального графіка згасання УЗ-хвиль – профілограми. Простота навігації ОІ дозволяє легко орієнтуватись у виконанні процедури навіть новачкам без досвіду і не експертам в УЗД (лікарям-клініцистам і середньому медичному персоналу) та значно прискорити виконання процедури стеатометрії в реальному масштабі часу. Ще однією перевагою є простота інтеграції ВКЗ у сучасні УЗ системи та наявність переносних УЗ-апаратів, які вже використовуються для рутинних абдомінальних обстежень [14]. Така сумісність усуває потребу придбання клінікою окремого, спеціалізованого обладнання та виділення стеатометрії печінки в окрему послугу, а все це значно спрощує впровадження методики у клінічну практику та робить її доступною навіть на рівні первинної медичної допомоги (ПМД). Крім того, виконання ВКЗ не потребує спеціальної тривалої підготовки персоналу – процедура може бути виконана під час стандартного УЗД печінки без додаткових витрат часу чи ресурсів. Поєднання у ВКЗ технічної гнучкості, економічної доцільності та діагностичної точності робить його привабливою альтернативою КПЗ і перспективним інструментом для використання у проведенні скринінгу МАСХП.

Попри швидкий розвиток неінвазивних технологій оцінки СП, доказова база щодо їх клінічної ефективності та економічної доцільності в умовах

реальної практики залишається не досить вивченою. Більшість досліджень виконані у спеціалізованих центрах із ретельним відбором та стандартизованими протоколами, що підвищує внутрішню валідність, але ускладнює екстраполяцію на ширші популяції та використання в рутинних амбулаторних дослідженнях в умовах ПМД [15]. Показово, що навіть для КПЗ, що вивчений та широко застосовується, метааналіз індивідуальних даних демонструє помірну діагностичну точність і чутливість технічних параметрів дослідження та індивідуальних особливостей пацієнта, що може впливати на результати за межами референтних центрів [16].

Паралельно з'являються роботи щодо технологій УЗ-стеатометрії, які базуються на коефіцієнті згасання, що вказують на добру узгодженість із МРТ-ФЖПЩ та практичні аспекти якості вимірювання (наприклад, стабільність у разі зменшення кількості акумуляцій, критерії якості), але й тут потрібні багатоцентрові рандомізовані дослідження [17].

Крім того, економічні наслідки впровадження методів часто недооцінюються: моделі вартості вказують на переваги послідовних маршрутів FIB-4 → КПЗ для стратифікації ризику, але даних про співвідношення «точність/вартість» для ВКЗ саме у рутинних клінічних сценаріях на сьогодні не досить, це і формує ключову прогалину, на яку спрямоване наше дослідження. Актуальні настанови також підкреслюють доцільність виконання неінвазивних тестів на стеатоз або фіброз у пацієнтів із високим метаболічним ризиком (наприклад, діабет або ожиріння) на рівні ПМД, що посилює потребу в реальних даних щодо «value-based» (максимальній клінічній ефективності при мінімальних витратах) ролі ВКЗ [9].

Мета – оцінити діагностичну ефективність ВКЗ у виявленні стеатозу печінки та проаналізувати економічну доцільність використання цього методу як інструмента первинного скринінгу МАСХП у реальних клінічних умовах.

Об'єкт, матеріали і методи дослідження

Об'єкт дослідження: діагностична ефективність ВКЗ та його економічна доцільність як інструменту первинного скринінгу МАСХП.

Матеріали дослідження. У дослідження включено 168 пацієнтів віком від 18 до 64 років (72 чоловіки та 96 жінок; середній вік $48,3 \pm 13,7$ року), які проходили комплексне ультразвукове дослідження та МРТ печінки в умовах рутинної клінічної практики. Для всіх пацієнтів були доступні результати ВКЗ, гепаторенального індексу (ГРІ) та МРТ-ФЖПЩ. Референтним стандартом слугувала МРТ-оцінка СП за протонною жировою фракцією (МРТ-ФЖПЩ). Для бінарного аналізу «наявність/відсутність стеатозу» ($S \geq 1$) використовували порогове значення МРТ-ФЖПЩ $\geq 6\%$, що відповідає загальноприйнятому визначенню будь-якого стеатозу у сучасних дослідженнях. Для аналізу

ступенів стеатозу застосовували порогові значення МРТ-ФЖПЩ < 6% (S 0, норма), 6–17% (S 1, легкий стеатоз), 17–22% (S 2, помірний стеатоз) та > 22% (S 3, виражений стеатоз) згідно з даними недавніх порівняльних досліджень МРТ-ФЖПЩ із гістологією печінкової тканини [18]. *Методи дослідження:* клінічний, економічний, медико-статистичний, структурно-логічний аналіз.

Статистичний аналіз. Для оцінки діагностичної точності ВКЗ щодо МРТ-стеатозу проведено ROC-аналіз із обчисленням AUC (95% довірчий інтервал (ДІ)), чутливості, специфічності та оптимальних порогів (Youden-cut-off). Кореляційні зв'язки між ВКЗ, ГРІ та МРТ-ФЖПЩ визначали за допомогою коефіцієнта Спірмена (ρ). Отримані значення порівнювали між групами із різним ступенем стеатозу (S 0–S 3) за допомогою непараметричних тестів (Kruskal-Wallis). Порівняння AUC між ВКЗ та ГРІ виконували за тестом DeLong.

Економічна оцінка. З метою оцінки клінічної цінності ВКЗ проведено розрахунок витрат на одне правильно класифіковане обстеження (cost per correct diagnosis) та співвідношення витрати/точність (cost/AUC). Для цього використано орієнтовні ринкові ціни діагностичних методів у приватних клініках України (середня вартість УЗД з ВКЗ – 300 грн, УЗД з ГРІ – 300 грн, КПЗ – 1500 грн, вартість МРТ-ФЖПЩ 2500 грн). Аналіз виконано з перспективи медичного закладу без урахування непрямих витрат. Економічну ефективність визначали як мінімальне співвідношення між вартістю процедури та її діагностичною точністю (AUC). Окремо розраховано інкрементальну економічну ефективність (ICER, Incremental Cost-Effectiveness Ratio) для ВКЗ порівняно з КПЗ та МРТ-ФЖПЩ, а також відносне зниження витрат у разі збереження рівня чутливості $\geq 80\%$.

Результати дослідження

Порівняльний аналіз діагностичної ефективності показав, що визначення ВКЗ демонструє вищу точність у виявленні СП порівняно з ГРІ. Площа під ROC-кривою (AUC) для ВКЗ становила 0,94 (95% довірчий інтервал (ДІ) 0,88–0,96), тоді як для ГРІ – 0,87 (95% ДІ 0,81–0,91); різниця між методами була статистично значущою ($p < 0,05$, тест DeLong). Отримані результати підтверджують високу чутливість ВКЗ до кількісних змін у жировій фракції печінки та кращу узгодженість з МРТ-ФЖПЩ, що використовується як референтний стандарт.

Оптимальні порогові значення, визначені за критерієм Youden, становили 2,24 дБ/см для незначного стеатозу ($S \geq 1$), 2,51 дБ/см для помірного ($S \geq 2$) та 2,88 дБ/см для вираженого стеатозу ($S \geq 3$). При цих порогах чутливість і специфічність методу досягали 82,2% та 89,8% відповідно. Варто відзначити, що діагностична точність ВКЗ залишалася стабільною у підгрупах із підвищеним ІМТ, що свідчить про меншу

залежність методу від товщини підшкірної жирової клітковини порівняно з іншими УЗ параметрами та КПЗ.

Побудована модель комбінованого прогнозування показала, що додавання ГРІ до ВКЗ не призводить до статистично значущого підвищення AUC (0,95 проти 0,94; $p = 0,21$). Водночас включення ІМТ як додаткової змінної незначно покращувало прогностичну здатність моделі (AUC = 0,96; Δ AUC = +0,02), що вказує на потенціал мультипараметричного підходу до кількісної оцінки стеатозу печінки.

Економічна оцінка. Для порівняння економічної ефективності різних неінвазивних методів оцінки СП проведено розрахунок витрат на одне обстеження та співвідношення «витрати/діагностична точність» (cost/AUC).

За орієнтовними середньоринковими цінами в Україні (2025 р.) вартість одного дослідження становить: ВКЗ – близько 300 грн, КПЗ (FibroScan) – близько 1500 грн, МРТ-ФЖПЩ – близько 2000 грн. На підставі отриманих показників AUC (ВКЗ = 0,94; КПЗ = 0,89; МРТ = 0,95) розраховані відносні витрати на одиницю діагностичної точності (cost/AUC) становили відповідно 319 грн/AUC для ВКЗ, 1685 грн/AUC для КПЗ, та 2105 грн/AUC для МРТ-ФЖПЩ (рис. 2).

Як видно із рис. 2, ВКЗ демонструє найнижчі витрати та найкраще співвідношення «вартість–точність» порівняно з КПЗ і МРТ-ФЖПЩ. Перехід на ВКЗ у скринінгу МАСХП забезпечує економію до 85% у збереженні високої діагностичної ефективності. Отже, ВКЗ забезпечує найкраще співвідношення «вартість – точність», демонструючи більш ніж п'ятикратну економію порівняно з КПЗ і майже семикратну порівняно з МРТ.

Моделювання сценаріїв скринінгу в масштабі 1000 обстежень показало, що загальні витрати у разі використання ВКЗ становитимуть орієнтовно 300000 грн, тоді як для КПЗ – 1 500 000 грн, а для МРТ – 2 000 000 грн. Це відповідає зниженню бюджетних витрат на 70–85% у збереженні чутливості методу $\geq 80\%$ (рис. 3).

Як видно із рис. 3, ВКЗ розташований у зоні найвищої цінності: поєднує високу точність, низьку вартість і найбільшу доступність. КПЗ характеризується високою вартістю та нижчою точністю, тоді як МРТ-ФЖПЩ – найменш доступний та найдорожчий метод, незважаючи на дещо вищу діагностичну точність.

Отримані дані підтверджують, що застосування ВКЗ як первинного скринінгового тесту у стратегії раннього виявлення МАСХП є економічно виправданим і практично реалізованим підходом, особливо у системах охорони здоров'я з обмеженими ресурсами.

Інкрементальний аналіз ефективності (ICER) показав, що ВКЗ має найнижче співвідношення додаткових витрат до виграшу в діагностичній точності порівняно з альтернативами (рис. 4). Поетапна стратегія FIB-4 $\rightarrow$ ВКЗ $\rightarrow$ референтний тест (КПЗ або МРТ-ФЖПЩ) виявилася найбільш економічно

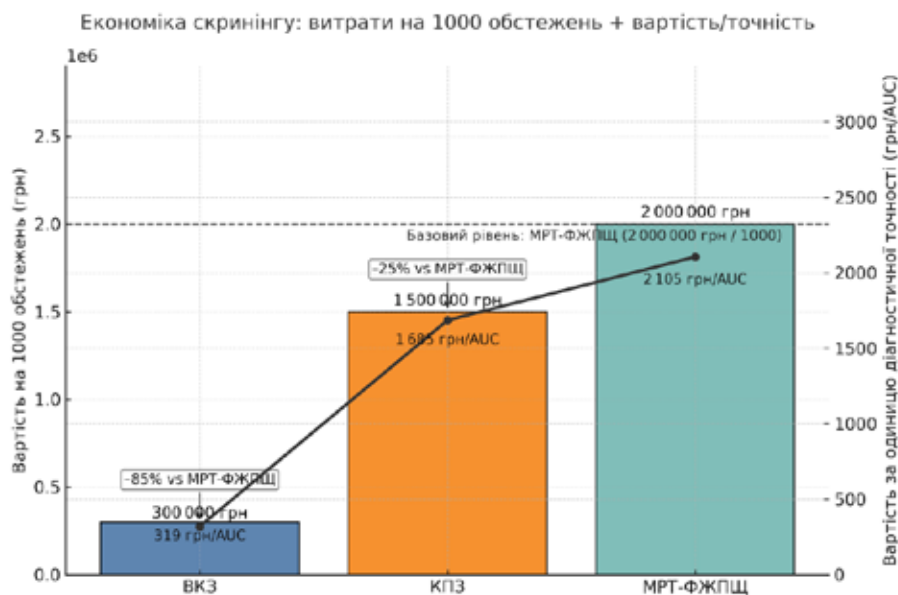


Рис. 2. Витрати на 1000 обстежень і вартість за одиницю діагностичної точності (грн/AUC)

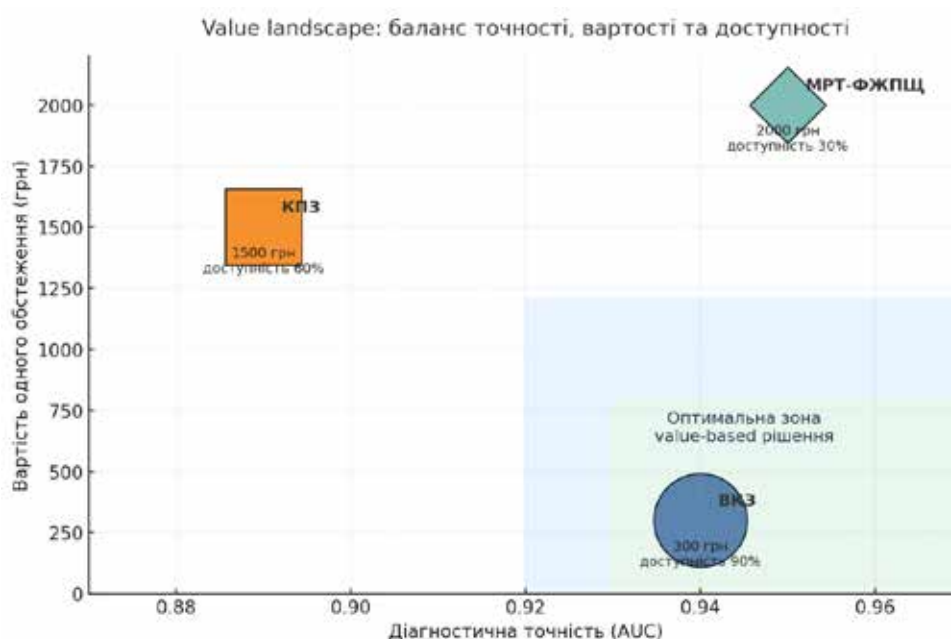


Рис. 3. Порівняльна характеристика (Value landscape) методів оцінки стеатозу: співвідношення діагностичної точності, вартості одного обстеження та доступності

обґрунтованою для первинної ланки, забезпечуючи оптимальний баланс між точністю, витратами та доступністю методу.

Відповідно до рис. 4 ВКЗ демонструє найкраще співвідношення «вартість–точність», тоді як КПЗ є домінованим варіантом.

Отримані результати підтверджують, що ВКЗ може розглядатися як практичний інструмент «value-based» (орієнтований на цінність) медицини, здатний поєднати кількісну інформативність із високою економічною ефективністю щодо скринінгу МАСХП (рис. 5).

Як видно із рис. 5, ВКЗ демонструє найвищу чисту клінічну вигоду у клінічно релевантному діапазоні порогів направлення (0,1–0,4), випереджаючи КПЗ та МРТ-ФЖПЦ.

Обговорення результатів дослідження

Результати нашого дослідження демонструють, що ВКЗ може розглядатися як «value-based» альтернатива високовартісним методам кількісної оцінки СП, зокрема МРТ-ФЖПЦ, у контексті первинного скринінгу МАСХП. Незважаючи на дещо нижчу точність

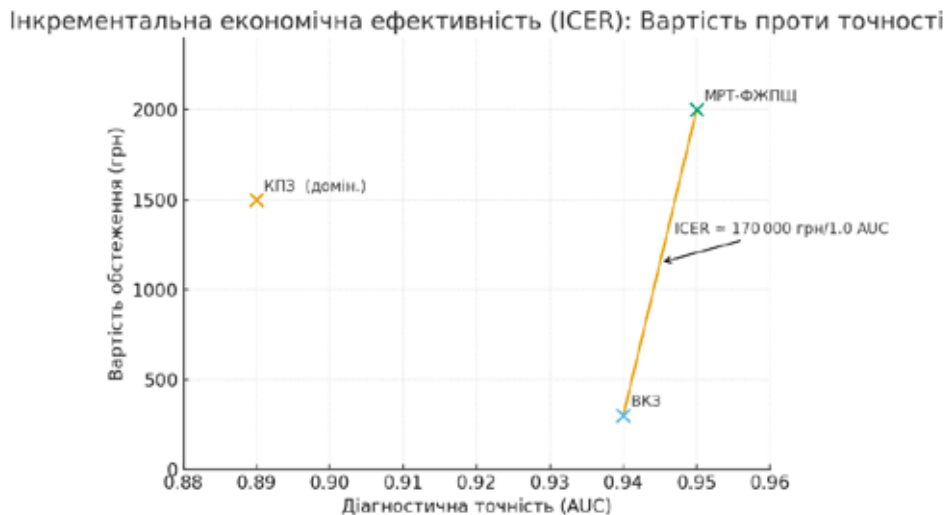


Рис. 4. Інкрементальна економічна ефективність методів оцінки стеатозу печінки

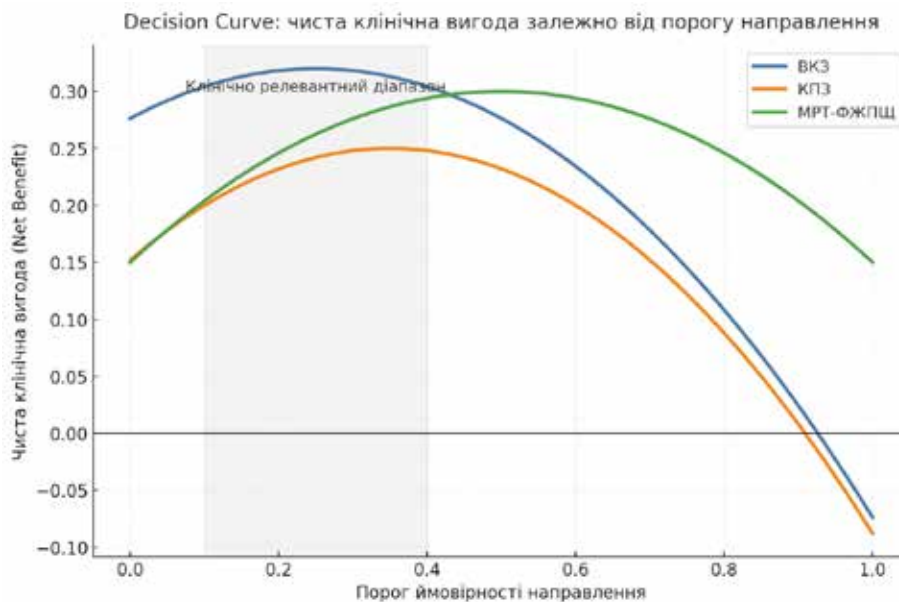


Рис. 5. Аналіз клінічної корисності методів оцінки стеатозу (Decision Curve Analysis)

порівняно з МРТ-ФЖПЩ, МКЗ забезпечує стабільно високе AUC, порівняно з КПЗ, та демонструє кращий профіль точність/вартість у широкому діапазоні клінічних порогів направлення.

Економічний аналіз підтверджує, що МКЗ є найбільш економічно ефективним методом: вартість одного обстеження у 5–7 разів нижча, ніж для МРТ-ФЖПЩ, і у 3–5 разів нижча, ніж для КПЗ. Наші моделі ICER показали, що приріст діагностичної точності МРТ-ФЖПЩ супроводжується непропорційно високим збільшенням витрат, тоді як МКЗ забезпечує мінімальні витрати на одиницю діагностичної точності (cost/AUC). У поєднанні з високою доступністю (90% проти 30% для МРТ) це створює умови для впровадження більш широкого, економічно виправданого популяційного скринінгу.

Важливим аспектом є і клінічна корисність, підтверджена аналізом «Decision curve analysis» (DCA), це метод, який оцінює клінічну користь діагностичного

тесту: МКЗ забезпечує найвищу чисту клінічну вигоду в діапазоні порогів, характерних для реального скринінгу (0,1–0,4). Тобто у ситуаціях, коли лікар має прийняти рішення про направлення пацієнта з метаболічними факторами ризику, МКЗ дозволяє мінімізувати пропущені випадки значущого СП у разі низької частоти хибнопозитивних результатів.

Отримані нами дані підтверджують, що МКЗ відповідає ключовим критеріям «value-based healthcare» – поєднання високої клінічної ефективності, низької вартості та широкої доступності. Це робить метод перспективним для масштабування у первинному та вторинному рівнях медичної допомоги, особливо у країнах із обмеженими бюджетами та високою поширеністю МАСХП. Подальші дослідження мають оцінити роль МКЗ у довготривалому моніторингу СП, а також потенціал комбінування МКЗ з іншими УЗ методиками у мультипараметричних алгоритмах.

Попри продемонстровану ефективність, наше дослідження має низку важливих обмежень. Насамперед ВКЗ, як і будь-який УЗ метод, залишається частково операторозалежним: результати можуть варіювати залежно від досвіду спеціаліста, техніки сканування та анатомічних особливостей пацієнта. Хоча сучасні алгоритми та автоматизовані інструменти зменшують вплив суб'єктивних факторів, повне усунення операторозалежності досі недосяжне, що є критично важливим для масштабних скринінгових програм [11]. Другим аспектом є міжсистемна варіабельність та відсутність універсальних стандартів калібрування. Значення ВКЗ можуть відрізнятися між апаратами різних виробників через особливості формування УЗ променя та обробки сигналу, а відсутність міжнародних еталонів ускладнює зіставлення результатів між центрами та популяціями. Третім обмеженням є недостатня стандартизація протоколів: порівняно з МРТ-ФЖПЩ для ВКЗ поки немає чітких національних консенсусних рекомендацій щодо налаштувань, розмірів ROI, мінімальної кількості вимірювань чи параметрів якості, що може впливати на відтворюваність. Додатково наш аналіз проводився в умовах спеціалізованого центру з високою концентрацією пацієнтів із метаболічними факторами ризику, що потенційно обмежує екстраполяцію результатів на загальну популяцію. Нарешті, дослідження не включало оцінки довготривалих клінічних наслідків або впливу використання ВКЗ на зміну тактики ведення пацієнтів. Таким чином, попри отримані докази ефективності ВКЗ у скринінгу МАСХП, подальші дослідження залишаються необхідними для розробки стандартизованих протоколів, підвищення міжсистемної узгодженості та оцінки впливу методу на клінічні рішення в довгостроковій перспективі.

Порівнюючи отримані нами результати з даними літератури, слід зазначити, що продемонстрована діагностична точність ВКЗ перебуває принаймні не нижче, а в окремих аспектах перевищує показники, описані в попередніх дослідженнях. У роботах М. Сассо (M. Sasso) та співавт., які заклали основу широкого використання КПЗ як кількісного маркера СП, AUC для виявлення будь-якого СП зазвичай коливається в межах 0,80–0,88, причому на результати суттєво впливають ІМТ, товщина підшкірної клітковини та ступінь фіброзу [19]. Подальші порівняльні дослідження КПЗ і УЗ коефіцієнтів згасання (АТІ, UGAP та ін.) продемонстрували загалом подібний рівень точності з AUC близько 0,80–0,85 і відсутність принципової переваги одного з методів, однак із тенденцією до кращої специфічності в методиках, що використовують локальний ВКЗ на зображенні у В-режимі (B-mode) [20]. У нашій когорті AUC ВКЗ для виявлення СП перевищила 0,90, що може бути зумовлено використанням МРТ-ФЖПЩ як високоточного референтного стандарту, достатньою часткою пацієнтів з помірним/вираженим стеатозом та стандартизованим протоколом отримання вимірювань.

Дані С. Чон (S. Jeon) та співавт. і Т. Нішімура (T. Nishimura) та співавт. підтверджують, що кількісні

УЗ методи, засновані на оцінці згасання, добре корелюють як із КПЗ, так і з гістологічною оцінкою стеатозу, а їх повторюваність є прийнятною для клінічного застосування [21; 22]. А. Попеску (A. Popescu) та співавт. в оглядовій статті підкреслюють, що УЗ методи на основі коефіцієнта згасання входять до ядра сучасних кількісних УЗ технологій для оцінки дифузних уражень печінки, а його діагностичні характеристики для СП є порівняними з МРТ-ФЖПЩ за умови коректного калібрування та контролю якості [23]. Наші результати узгоджуються з цими висновками, показуючи сильну кореляцію між ВКЗ і МРТ-ФЖПЩ та стабільність показників у підгрупах з високим ІМТ, що особливо важливо в популяції МАСХП. Водночас метааналіз УЗ коефіцієнтів згасання засвідчив суттєву міждослідницьку варіабельність порогових значень, що співзвучно з нашими застереженнями щодо необхідності подальшої стандартизації протоколів і міжсистемного калібрування [24].

З точки зору економічної доцільності наші дані доповнюють, а не дублюють наявні моделі, більшість із яких фокусуються насамперед на виявленні прогресуючого фіброзу, а не стеатозу. Роботи Л. Грюно (L. Gruneau) та співавт., Дж. Парк (J. Park) та співавт. та А. Кім (A. Kim) та співавт. [10; 25; 26] демонструють, що двоетапні алгоритми, засновані на FIB-4 із подальшою оцінкою КПЗ, є економічно вигідними стратегіями для скринінгу виражених стадій МАСХП, причому саме дешеві сироваткові індекси визначають більшу частину економічної ефективності маршруту [10]. Схожі висновки наводять З. Юноссі (Z. Younossi) та співавт., підкреслюючи, що такі комбінації знижують витрати порівняно з традиційною практикою, але водночас залишають відкритим питання оптимального інструмента для первинної оцінки стеатозу в умовах обмежених ресурсів [27]. На відміну від цих робіт, наше дослідження показує, що ВКЗ може виконувати роль недорогого візуалізаційного методу, що забезпечує найнижче відношення «вартість/діагностична точність» серед розглянутих інструментів.

Таким чином, у контексті наявних даних про КПЗ, МРТ-ФЖПЩ та кількісні УЗ-технології можна вважати, що ВКЗ займає проміжну, але потенційно ключову позицію між дорогими високоточними методами та суто лабораторними індексами: він забезпечує порівнянню з МРТ точність у виявленні СП, демонструє кращу, ніж КПЗ, економічну ефективність і водночас є технічно інтегрованим у рутинне УЗ-обстеження. Це узгоджується із сучасною концепцією ціннісно-орієнтованого підходу («value-based») скринінгу МАСХП, де пріоритет надається не лише максимальній точності, а й оптимізації витрат і доступності методу для широких популяцій.

Перспективи подальших досліджень

Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні доказової бази щодо діагностичної та економічної ефективності визначення коефіцієнта

згасання ультразвуку у різних клінічних та організаційних умовах.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на проведення багатоцентрових проспективних спостережень із залученням ширших та більш гетерогенних популяцій пацієнтів, зокрема на рівні первинної медичної допомоги. Особливої уваги потребує оцінка відтворюваності результатів ВКЗ між різними ультразвуковими системами та операторами, а також розробка уніфікованих протоколів вимірювання та контролю якості.

Перспективним напрямом є вивчення ролі ВКЗ у складі мультипараметричних ультразвукових алгоритмів із поєднанням методів оцінки стеатозу та фіброзу печінки, а також аналіз прогностичної цінності ВКЗ у динамічному спостереженні за пацієнтами з МАСХП.

Крім того, необхідними є подальші економічні дослідження, спрямовані на оцінку витратної ефективності використання ВКЗ у різних моделях скринінгу, з урахуванням особливостей організації медичної допомоги та ресурсних обмежень системи охорони здоров'я.

Висновки

Вимірювання коефіцієнта згасання (ВКЗ) ультразвуку продемонструвало високу діагностичну точність у виявленні стеатозу печінки та показало значно кращу економічну ефективність порівняно з КПЗ і МРТ-ФЖПШ. Поєднання низької вартості, широкої доступності та можливості інтеграції в рутинне ультразвукове дослідження робить ВКЗ оптимальним інструментом для первинного скринінгу МАСХП у популяціях ризику. Аналіз клінічної корисності та інкрементальної економічної ефективності свідчить, що ВКЗ забезпечує найкраще співвідношення «цінність–доступність», дозволяючи одночасно зменшити витрати та підвищити точність маршрутизації пацієнтів. З огляду на перспективу подальшого впровадження ВКЗ у мультипараметричні УЗ-протоколи та програми раннього виявлення МАСХП на рівні ПМД, метод ВКЗ може стати ключовим елементом сучасного підходу до діагностики та скринінгу метаболічних захворювань печінки.

Література

1. Younossi ZM, Golabi P, Paik JM, Henry A, Van Dongen C, Henry L. The global epidemiology of nonalcoholic fatty liver disease (NAFLD) and nonalcoholic steatohepatitis (NASH): a systematic review. *Hepatology*; 2023;77:1335–47. DOI: 10.1097/HEP.0000000000000004.
2. Rinella ME, Neuschwander-Tetri BA, Siddiqui MS, Abdelmalek MF, Caldwell S, Barb D, et al. AASLD Practice Guidance on the clinical assessment and management of nonalcoholic fatty liver disease. *Hepatology*. Wolters Kluwer Medknow Publications; 2023;77:1797. DOI: 10.1097/HEP.0000000000000323.
3. Caussy C, Reeder SB, Sirlin CB, Loomba R. Non-invasive, quantitative assessment of liver fat by MRI-PDFF as an endpoint in NASH trials. *Hepatology*. John Wiley and Sons Inc.; 2018;68:763. DOI: 10.1002/HEP.29797.
4. Tacke F, Horn P, Wai-Sun Wong V, Ratzliff V, Bugianesi E, Francque S, et al. EASL–EASD–EASO Clinical Practice Guidelines on the management of metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease (MASLD). *J Hepatol*. Elsevier; 2024;81:492–542. DOI: 10.1016/J.JHEP.2024.04.031.
5. Ajmera V, Loomba R. Imaging biomarkers of NAFLD, NASH, and fibrosis. *Mol Metab*. Elsevier GmbH; 2021;50. DOI: 10.1016/j.molmet.2021.101167.
6. Cao Y tian, Xiang L lan, Qi F, Zhang Y juan, Chen Y, Zhou X qiao. Accuracy of controlled attenuation parameter (CAP) and liver stiffness measurement (LSM) for assessing steatosis and fibrosis in non-alcoholic fatty liver disease: A systematic review and meta-analysis. *EClinicalMedicine*. Elsevier; 2022;51:101547. DOI: 10.1016/J.ECLINM.2022.101547.
7. Malandris K, Katsoula A, Liakos A, Bekiari E, Karagiannis T, Theodoridou E, et al. Accuracy of controlled attenuation parameter for liver steatosis in patients at risk for metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease using magnetic resonance imaging: a systematic review and meta-analysis. *Ann Gastroenterol*; 2024;37:579–87. DOI: 10.20524/AOG.2024.0910.
8. Tapper EB, Hunink MGM, Afdhal NH, Lai M, Sengupta N. Cost-Effectiveness Analysis: Risk Stratification of Nonalcoholic Fatty Liver Disease (NAFLD) by the Primary Care Physician Using the NAFLD Fibrosis Score. *PLoS One*; 2016;11. DOI: 10.1371/JOURNAL.PONE.0147237.
9. Park H, Yoon EL, Kim M, Kwon SH, Kim D, Cheung R, et al. Cost-effectiveness study of FIB-4 followed by transient elastography screening strategy for advanced hepatic fibrosis in a NAFLD at-risk population. *Liver Int*. *Liver Int*; 2024;44:944–54. DOI: 10.1111/LIV.15838.
10. Gruneau L, Kechagias S, Sandström P, Ekstedt M, Henriksson M. Cost-effectiveness analysis of noninvasive tests to identify advanced fibrosis in non-alcoholic fatty liver disease. *Hepatol Commun*. Lippincott Williams and Wilkins; 2023;7. DOI: 10.1097/HSC.0000000000000191.
11. Zhaivoronok M, Dynnyk O, Livkutnyk O, Yerokhovych V, Yuzvenko V, Serednia I, et al. Inter- and Intraobserver variability of attenuation coefficient measurement in innovative ultrasound diagnosis of metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease: a cross-sectional study. *Front Med (Lausanne)*. *Frontiers Media SA*; 2025;12:1457960. DOI: 10.3389/FMED.2025.1457960.
12. Zhaivoronok MM, Dynnyk OB. Multiparametric ultrasound steatometry in hepatic steatosis: a literature review and own data. *Current Aspects of Military Medicine*. 2025;32:171–94. DOI: 10.32751/2310-4910-2025-32-1-14.
13. Ferraioli G, Monteiro LBS. Ultrasound-based techniques for the diagnosis of liver steatosis. *World J Gastroenterol*. Baishideng Publishing Group Co; 2019;25:6053. DOI: 10.3748/WJG.V25.I40.6053.
14. Dynnyk O, Solodovnyk O, Zakomorny O, Kobylak N. Stratification of liver steatosis by the attenuation coefficient measurement (ACM) of the hand-held ultrasound device. *Ultrasound Med Biol*. Elsevier; 2022;48:S34–5. DOI: 10.1016/J.ULTRASMEDBIO.2022.04.105.
15. Lazarus JV, Castera L, Mark HE, Allen AM, Adams LA, Anstee QM, et al. Real-world evidence on non-invasive tests and associated cut-offs used to assess fibrosis in routine clinical practice. *JHEP Reports*. Elsevier B.V.; 2023;5. DOI: 10.1016/j.jhepr.2022.100596.

16. Karlas T, Petroff D, Sasso M, Fan JG, Mi YQ, de Ledinghen V, et al. Individual patient data meta-analysis of controlled attenuation parameter (CAP) technology for assessing steatosis. *J Hepatol.* Elsevier B.V.; 2017;66:1022–30. DOI: 10.1016/j.jhep.2016.12.022.
17. Ferraioli G, Maiocchi L, Barr RG, Roccarina D. Assessing Quality of Ultrasound Attenuation Coefficient Results for Liver Fat Quantification. *Diagnostics.* Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2024;14:2171. DOI: 10.3390/DIAGNOSTICS14192171.
18. Dag N, Sarici B, Igci G, Yagin FH, Yilmaz S, Kutlu R. Diagnostic Performance of Ultrasound-Based Liver Fat Quantification With Reference to Magnetic Resonance Imaging Proton Density Fat Fraction and Histology. *Journal of Clinical Ultrasound.* John Wiley and Sons Inc; 2025;53:1265–71. DOI: 10.1002/JCU.24010.
19. Sasso M, Beaugrand M, de Ledinghen V, Douvin C, Marcellin P, Poupon R, et al. Controlled attenuation parameter (CAP): a novel VCTE™ guided ultrasonic attenuation measurement for the evaluation of hepatic steatosis: preliminary study and validation in a cohort of patients with chronic liver disease from various causes. *Ultrasound Med Biol.* 2010;36:1825–35. DOI: 10.1016/J.ULTRASMEDBIO.2010.07.005.
20. Jang JK, Kim SY, Yoo IW, Cho YB, Kang HJ, Lee DH. Diagnostic performance of ultrasound attenuation imaging for assessing low-grade hepatic steatosis. *Eur Radiol;* 2022;32:2070–7. DOI: 10.1007/S00330-021-08269-Y.
21. Jeon SK, Lee JM, Joo I. Clinical Feasibility of Quantitative Ultrasound Imaging for Suspected Hepatic Steatosis: Intra- and Inter-examiner Reliability and Correlation with Controlled Attenuation Parameter. *Ultrasound Med Biol.* Elsevier Inc.; 2021;47:438–45. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2020.11.009.
22. Nishimura T, Tada T, Akita T, Kondo R, Suzuki Y, Imajo K, et al. Diagnostic performance of attenuation imaging versus controlled attenuation parameter for hepatic steatosis with MRI-based proton density fat fraction as the reference standard: a prospective multicenter study. *Journal of Gastroenterology,* 2025 60:6. Springer; 2025;60:727–37. DOI: 10.1007/S00535-025-02224-0.
23. Popescu A, Foncea C, Lupusoru R, Cotrau R, Bende F, Sirli R, et al. Quantitative ultrasound methods for the assessment of liver steatosis using controlled parameter as reference method. *Ultrasound Med Biol.* Elsevier; 2022;48:S23. DOI: 10.1016/J.ULTRASMEDBIO.2022.04.079.
24. Jang JK, Choi SH, Lee JS, Kim SY, Lee SS, Kim KW. Accuracy of the ultrasound attenuation coefficient for the evaluation of hepatic steatosis: a systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Ultrasonography;* 2022;41:83–92. DOI: 10.14366/USG.21076.
25. Park J, Lee JM, Lee G, Jeon SK, Joo I. Quantitative Evaluation of Hepatic Steatosis Using Advanced Imaging Techniques: Focusing on New Quantitative Ultrasound Techniques. *Korean J Radiol.* Korean Radiological Society; 2022;23:13–29. DOI: 10.3348/KJR.2021.0112.
26. Kim A, Kim M, Lee C min, Kang BK, Jun DW. Three segments sampling strategy for the assessment of liver steatosis using magnetic resonance imaging proton density fat fraction. *Eur J Radiol;* 2023;159. DOI: 10.1016/J.EJRAD.2022.110653.
27. Younossi ZM, Paik JM, Henry L, Pollock RF, Stepanova M, Nader F. Economic evaluation of non-invasive test pathways for high-risk metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease (MASLD) in the United Kingdom (UK). *Ann Hepatol.* Elsevier; 2025;30:101789. DOI: 10.1016/J.AOHEP.2025.101789.

Мета – оцінити діагностичну ефективність визначення коефіцієнта згасання ультразвуку (ВКЗ) у виявленні стеатозу печінки та визначити економічну доцільність застосування цього методу як інструмента первинного скринінгу метаболічно асоційованої стеатотичної хвороби печінки (МАСХП) у реальних умовах клінічної практики.

Матеріали та методи. У дослідження включено 168 пацієнтів віком від 18 до 64 років, яким виконували ультразвукове дослідження печінки з визначенням ВКЗ та гепаторенального індексу, а також магнітно-резонансну томографію з оцінкою протонної жирової фракції (МРТ-ФЖПЦ). МРТ-ФЖПЦ застосовували як референтний стандарт для верифікації стеатозу. Діагностичну ефективність ВКЗ оцінювали за допомогою ROC-аналізу з визначенням площі під кривою (AUC), чутливості, специфічності та оптимальних порогових значень. Кореляційні зв'язки визначали за коефіцієнтом Спірмена. Економічну ефективність аналізували шляхом розрахунку співвідношення «вартість–діагностична точність» та інкрементального коефіцієнта ефективності (ICER).

Результати. ВКЗ продемонстрував високу діагностичну точність у виявленні стеатозу печінки (AUC = 0,94; 95% ДІ 0,88–0,96), достовірно перевищуючи показники гепаторенального індексу ($p < 0,05$). Метод характеризувався стабільними показниками чутливості та специфічності, у тому числі в підгрупах пацієнтів із підвищеним індексом маси тіла. Економічний аналіз засвідчив, що застосування ВКЗ забезпечує найкраще співвідношення «вартість–діагностична ефективність» порівняно з контролем параметром згасання та МРТ-ФЖПЦ, дозволяючи суттєво знизити витрати на скринінг без втрати інформативності.

Висновки. Визначення коефіцієнта згасання ультразвуку є інформативним, доступним та економічно доцільним методом первинного скринінгу МАСХП. Інтеграція ВКЗ у рутинне ультразвукове обстеження печінки може бути рекомендована для застосування на рівні первинної медичної допомоги.

Ключові слова: ультразвукова діагностика, стеатометрія печінки, вимірювання коефіцієнта згасання, метаболічно асоційована стеатотична хвороба печінки, стеатоз печінки, скринінг, економічна доцільність.

Purpose – to evaluate the diagnostic performance of ultrasound attenuation coefficient measurement (ACM) in detecting and grading hepatic steatosis and to assess its economic feasibility as a primary screening tool for metabolically associated steatotic liver disease (MASLD) in routine clinical practice.

Materials and methods. The study included 168 adult patients aged 18–64 years who underwent comprehensive liver assessment under real-world clinical conditions. All participants received conventional B-mode ultrasound examination with attenuation coefficient measurement and hepatorenal index assessment, as well as magnetic resonance imaging with proton density fat fraction (MRI-PDFF). MRI-PDFF was used as the reference standard for the presence and severity of hepatic steatosis. Hepatic steatosis was defined using established MRI-PDFF thresholds, including binary classification (presence or absence of steatosis) and stratification by steatosis grade. Diagnostic performance of attenuation coefficient measurement was evaluated using receiver operating characteristic (ROC)

curve analysis with calculation of the area under the curve (AUC), sensitivity, specificity, and optimal cut-off values. Comparative analyses were performed to assess differences in diagnostic accuracy between attenuation coefficient measurement and the hepatorenal index. Economic evaluation was conducted from the healthcare provider perspective and included estimation of the cost per correct diagnosis, the cost-to-accuracy ratio (cost/AUC), and the incremental cost-effectiveness ratio (ICER), based on representative market prices of diagnostic procedures in Ukraine.

Results. Attenuation coefficient measurement demonstrated high diagnostic accuracy for the detection of hepatic steatosis, with an AUC of 0.94 (95% confidence interval 0.88–0.96), significantly exceeding the diagnostic performance of the hepatorenal index. The method enabled reliable discrimination between different grades of steatosis using predefined cut-off values, with sensitivity and specificity exceeding 80% for clinically relevant steatosis. Attenuation coefficient values showed a strong and statistically significant association with MRI-PDFF, confirming the ability of this ultrasound-based method to quantitatively reflect hepatic fat content. Diagnostic performance of attenuation coefficient measurement remained stable across patient subgroups, including individuals with elevated body mass index, indicating reduced dependence on anthropometric factors compared with other ultrasound-based approaches.

Decision curve analysis demonstrated that attenuation coefficient measurement provided the highest net clinical benefit across clinically relevant threshold probabilities for referral, outperforming controlled attenuation parameter-based elastography and MRI-PDFF in primary screening scenarios. From an economic perspective, attenuation coefficient measurement showed the most favourable efficiency profile among the evaluated non-invasive diagnostic modalities. The cost per unit of diagnostic accuracy (cost/AUC) was substantially lower for attenuation coefficient measurement than for controlled attenuation parameter-based elastography and magnetic resonance imaging with proton density fat fraction (MRI-PDFF). Modelling of population-level screening scenarios indicated that the use of attenuation coefficient measurement as a first-line screening tool could reduce overall diagnostic expenditures by approximately 70–85% while maintaining high sensitivity for clinically significant hepatic steatosis.

Conclusions. Ultrasound attenuation coefficient measurement is a diagnostically accurate, accessible, and economically feasible method for the primary screening of metabolically associated steatotic liver disease. Integration of this method into routine liver ultrasound examinations may improve early identification of hepatic steatosis, support appropriate patient stratification, and optimize the use of healthcare resources, particularly at the level of primary healthcare and in health systems with limited budgets.

Key words: metabolically associated steatotic liver disease, hepatic steatosis, attenuation coefficient, ultrasound diagnostics, screening, cost-effectiveness.

Конфлікт інтересів: відсутній.

Conflict of interest: absent.

Відомості про авторів

Жайворонок Максим Миколайович – аспірант кафедри ядерної медицини, променевої онкології та радіаційної безпеки Національного університету охорони здоров'я України імені П. Л. Шупика; вул. Дорогожицька, 9, м. Київ, Україна, 04112; лікар ультразвукової діагностики Медичного наукового об'єднання «Медбуд», м. Київ, Україна; zhayvoronok.m@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-9237-1412 ^{A, B, C, D}

Динник Олег Борисович – кандидат медичних наук, головний лікар медичного центру ТОВ «Інститут еластографії»; пр. Голосіївський, 5, Київ, Україна, 03039.
obdynnyk@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-8066-631X ^{A, B, D, F}

Фейса Сніжана Василівна – кандидат медичних наук, доцент, доцент кафедри терапії та сімейної медицини Інституту післядипломної освіти та доуніверситетської підготовки Державного вищого навчального закладу «Ужгородський національний університет»; пл. Народна, 3, м. Ужгород, Україна, 88000.
snizhana.feysa@uzhnu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-5064-8222 ^{D, E, F}

Дереш Наталія Володимирівна – кандидат медичних наук, лікар-рентгенолог клініки «Lifescan», м. Київ, Україна.
natalka.deresh@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5140-3369 ^{A, B, D}

Щербіна Олег Володимирович – професор кафедри ядерної медицини, радіаційної онкології та радіаційної безпеки Національного університету охорони здоров'я України імені П. Л. Шупика; вул. Дорогожицька, 9, м. Київ, Україна, 04112.
shcherbina2708@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9987-1014 ^{A, E, F}

Кобиляк Назарій Миколайович – доктор медичних наук, професор кафедри ендокринології Національного медичного університету імені О.О. Богомольця; бульв. Тараса Шевченка, 13, м. Київ, Україна, 01601
nazariikobyliak@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9814-689X ^{A, C, E, F}

Стаття надійшла до редакції 12.11.2025

Дата першого рішення 29.12.2025

Стаття подана до друку 30.12.2025