

©Анатолій Беденюк

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1649-7886>

©Ігор Кульбаба

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6249-5879>Creative Commons
Attribution 4.0
International License.

Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського МОЗ України, Тернопіль, Україна

Використання інтегрованої шкали ризику ампутації у пацієнтів із синдромом діабетичної стопи

Мета роботи: розробити та клінічно обґрунтувати інтегровану шкалу ризику ампутації при синдромі стопи діабетика.

Матеріали і методи. У дослідження включено 291 пацієнта із синдромом діабетичної стопи, які перебували на стаціонарному лікуванні. Серед них у 84 (28,9 %) випадках виконано ампутації нижніх кінцівок різного рівня, що було використано як кінцеву подію при побудові прогностичної моделі. Проведено комплексне клінічне, лабораторне та інструментальне обстеження пацієнтів із застосуванням сучасних статистичних методів аналізу, включаючи кореляційний, багатофакторний регресійний аналізи.

Результати. У результаті проведеного дослідження розроблено та науково обґрунтовано інтегровану шкалу ризику ампутації у пацієнтів із синдромом діабетичної стопи, яка базується на комплексному врахуванні судинних, нейропатичних, інфекційних, лабораторних, локальних та загальносоматичних факторів. Розробка інтегрованої шкали ризику ампутації дала нам можливість: здійснювати ранню стратифікацію пацієнтів за ступенем ризику; оптимізувати вибір лікувальної тактики; підвищити ефективність органозберігаючих втручань; знизити частоту високих ампутацій; певною мірою стандартизувати підходи до лікування пацієнтів із синдромом діабетичної стопи.

Висновки. На основі логістичної регресійної моделі сформовано бальну систему оцінки ризику ампутації, що дозволяє кількісно визначити внесок кожного фактора. Розроблена шкала продемонструвала високу прогностичну ефективність ($AUC=0,92$), добру калібрувальну здатність та стабільність при внутрішній валідації, що підтверджує її надійність і відтворюваність. Встановлено оптимальне порогове значення (≥ 10 балів), яке дозволяє з високою чутливістю та специфічністю ідентифікувати пацієнтів із високим ризиком ампутації. Запропонована стратифікація на групи низького, помірного та високого ризиків має важливе клінічне значення, оскільки сприяє оптимізації лікувальної тактики, своєчасному прийняттю хірургічних рішень та підвищенню ефективності органозберігаючих втручань.

Ключові слова: цукровий діабет; гнійно-некротичні ускладнення; синдром діабетичної стопи; ампутація; багатофакторний аналіз; прогностична модель; інтегрована шкала.

Постановка проблеми й аналіз останніх досліджень та публікацій. Синдром діабетичної стопи (СДС) є одним із найтяжчих ускладнень цукрового діабету (ЦД) 2 типу, що супроводжується високим ризиком розвитку гнійно-некротичних процесів, критичної ішемії та ампутації нижніх кінцівок. Незважаючи на значний прогрес у діагностиці та лікуванні даної патології, частота високих ампутацій залишається значною, а показники післяопераційної летальності та інвалідизації пацієнтів – стабільно високими. Сучасні підходи до оцінки тяжкості СДС базуються на використанні різних класифікаційних систем (Wagner, PEDIS, Texas та ін.), які враховують окремі клінічні аспекти патологічного процесу, зокрема глибину ураження тканин, наявність інфекції або ступінь ішемії. Однак жодна з існуючих класифікацій не забезпечує комплексної оцінки всіх ключових патогенетичних ланок розвитку СДС та не дозволяє здійснювати достовірну стратифікацію ризику ампутації.

Попри значний прогрес у лікуванні СДС, проблема прогнозування ампутацій нижніх кінцівок залишається однією з найскладніших і водночас найактуальніших у сучасній ендокринології, судинній хірургії та подології, адже даний тип операції асоціюються не лише з високим рівнем інвалідизації та суттєвим зниженням якості життя, але й із підвищенням смертності, значним економічним навантаженням на систему охорони здоров'я та тривалими соціальними наслідками [4, 11].

За даними міжнародних досліджень, СДС є провідною причиною нетравматичних ампутацій у світі, а ризик втрати кінцівки у пацієнтів із ЦД у десятки разів перевищує аналогічний показник в загальній популяції [9]. Незважаючи на впровадження мультидисциплінарних підходів до лікування, сучасних методів ревазуляризації, антибактеріальної терапії та контролю глікемії, частота ампутацій залишається високою, що свідчить про

недостатню ефективність існуючих підходів до ранньої стратифікації ризику.

Однією з ключових проблем у сучасній науці є відсутність універсальної та високоточної системи прогнозування ампутацій у пацієнтів із СДС. На сьогодні існує значна кількість досліджень, присвячених вивченню окремих факторів ризику, проте їх результати часто є неоднорідними, а інколи – суперечливими. Це пов'язано з різною структурою досліджуваних вибірок, неоднаковими критеріями включення, відмінностями у класифікації діабетичних уражень стопи та неоднорідністю клінічних підходів до лікування. У більшості випадків автори оцінюють лише окремі групи факторів – судинні [13], інфекційні [2], метаболічні [8] чи лабораторні – без створення інтегрованих моделей прогнозування, здатних комплексно оцінити ризик втрати кінцівки.

Патогенез СДС є багатокомпонентним і включає поєднання діабетичної нейропатії, макро- та мікроангіопатії, інфекційного процесу та імуні-метаболічних розладів [7]. У пацієнтів із критичною ішемією нижніх кінцівок та гнійно-некротичними ураженнями ризик розвитку високих ампутацій суттєво зростає, особливо за наявності супутньої серцево-судинної патології, хронічної ниркової недостатності та декомпенсації вуглеводного обміну [6]. Незважаючи на сучасні досягнення у судинній та гнійній хірургії, результати лікування цієї категорії хворих залишаються незадовільними через високий рівень післяопераційних ускладнень, інвалідизації та летальності [3].

Упродовж останніх десятиліть активно впроваджуються малоінвазивні та органозберігаючі підходи до лікування СДС, спрямовані на збереження опорної функції кінцівки, зменшення обсягу некректомії та профілактику високих ампутацій [1]. Водночас ефективність лікування значною мірою залежить від своєчасної оцінки ступеня ішемії, поширеності інфекційного процесу, вираження нейропатії та прогнозування ризику несприятливого перебігу захворювання [12]. Одним із найбільш дискусійних питань у сучасній хірургії СДС залишається вибір оптимальної тактики між органозберігаючими втручаннями та необхідністю виконання ампутації [10].

Наявні на сьогодні прогностичні системи оцінки ризику ампутації при СДС здебільшого базуються на окремих клінічних або лабораторних показниках та не враховують комплексного впливу судинних, інфекційно-запальних, метаболічних та локальних факторів патологічного процесу. Більшість існуючих моделей мають обмежену клініч-

ну адаптацію та недостатню точність прогнозування в умовах реальної клінічної практики [5].

Мета роботи: розробити та клінічно обґрунтувати інтегровану шкалу ризику ампутації при синдромі стопи діабетика.

Матеріали і методи. У дослідження включено 291 пацієнта із синдромом діабетичної стопи, які перебували на стаціонарному лікуванні. Серед них у 84 (28,9 %) випадках виконано ампутації нижніх кінцівок різного рівня, що було використано як кінцеву подію при побудові прогностичної моделі. Проведено комплексне клінічне, лабораторне та інструментальне обстеження пацієнтів із застосуванням сучасних статистичних методів аналізу, включаючи кореляційний, багатофакторний регресійний.

Включення розширеного спектра факторів зумовлене мультифакторною природою СДС, в основі якої лежить взаємодія порушень макро- та мікроциркуляції, нейропатії, інфекційного процесу та системних метаболічних змін. Такий підхід дозволяє не лише оцінити ізольований вплив окремих чинників, але й врахувати їх комбінований ефект на перебіг захворювання та ризик розвитку ампутації. Для визначення прогностичної значущості кожного із зазначених факторів було проведено покроковий багатофакторний регресійний аналіз. На попередньому етапі виконано оцінку кореляційних зв'язків між змінними (рис. 1).

У представлений кореляційній матриці більшість коефіцієнтів кореляції перебувала в межах від -0,15 до +0,17, що відповідає дуже слабким або слабким кореляційним зв'язкам між досліджуваними показниками. Отримані результати свідчать про відсутність вираженої мультиколінеарності між факторами, що має важливе статистичне значення для побудови багатофакторної моделі прогнозування. Низький рівень міжфакторних кореляцій підтверджує, що кожен із досліджуваних показників робить відносно незалежний внесок у прогнозування ризику несприятливого перебігу захворювання, а одночасне включення факторів X1–X26 до логістичної регресійної моделі не призводить до суттєвого дублювання інформації чи статистичного спотворення результатів. Це підтверджує коректність використання багатофакторного регресійного аналізу для оцінки прогностичного значення досліджуваних клініко-лабораторних параметрів.

Найвираженіші позитивні кореляційні зв'язки спостерігалися між тривалістю ЦД та критичною ішемією нижніх кінцівок, між остеомієлітом і тривалим перебігом ЦД, між полімікробною інфекцією та критичною ішемією, а також між ішемічними

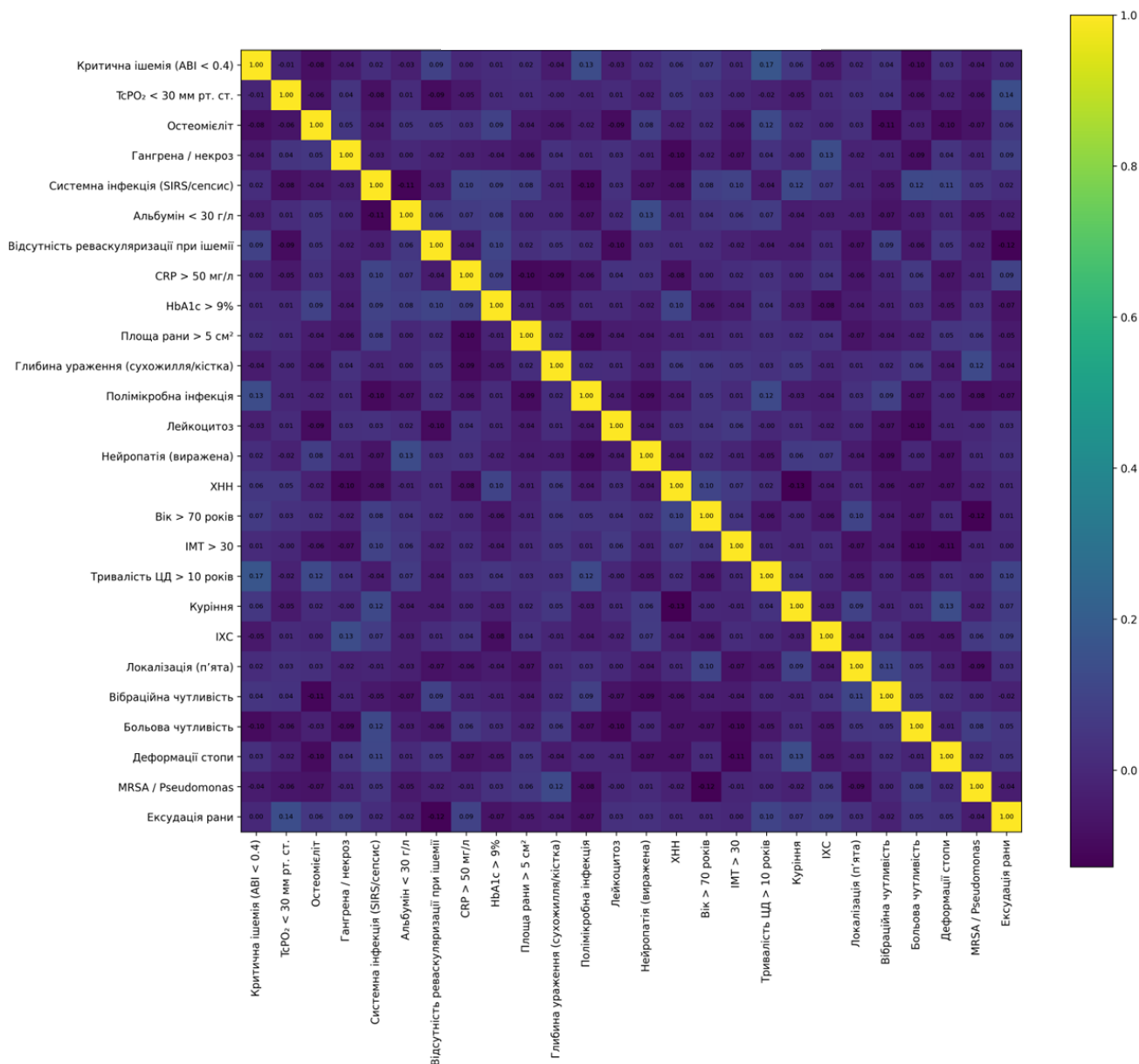


Рис. 1. Кореляційна матриця факторів X1–X26.

проявами та локальними ознаками інфекційного процесу. Однак навіть максимальні значення коефіцієнтів кореляції не перевищували приблизно $r=0,17$, що свідчить про слабку силу статистичної асоціації між окремими предикторами. Негативні кореляційні зв'язки також були слабкими та переважно не перевищували $r=-0,13$, у зв'язку з чим клінічно значущих взаємовиключних факторів виявлено не було. Загалом, отримані дані підтверджують мультифакторний характер розвитку тяжких ускладнень СДС, при якому кожен із досліджуваних чинників має самостійне прогностичне значення.

Дане дослідження проведено відповідно до принципів, викладених у Гельсінкській декларації, а також згідно з рекомендаціями, встановлени-

ми етичним комітетом Державної наукової установи «Центр інноваційних технологій охорони здоров'я» Державного управління справами, який схвалив протокол дослідження (протокол № 4 від 28.09.2025 р.). Відповідно до норм конфіденційності, усі дані були зібрані анонімно та оброблені з дотриманням чинного законодавства щодо захисту персональних даних, включаючи Загальний регламент захисту даних (GDPR), для забезпечення захисту особистої інформації. Уся інформація використовувалася виключно в рамках цього дослідження та була узагальнена для подальшого аналізу результатів.

У цій роботі штучний інтелект не використовувався для генерації тексту, аналізу даних або ство-

рення зображень. Увесь контент підготовлено авторами, які несуть повну відповідальність за точність, оригінальність та дотримання етичних стандартів.

Результати. Клінічну оцінку СДС проведено у 291 пацієнта, які перебували на стаціонарному лікуванні та відповідали критеріям включення у дослідження. Серед обстежених у 84 (28,9 %) хворих у процесі лікування було виконано ампутації нижньої кінцівки різного рівня, що розглядалося як кінцева подія (протягом 30 діб від госпіталізації) при побудові прогностичної моделі. Отримане співвідношення випадків із настанням події та без неї забезпечило можливість проведення коректного багатофакторного аналізу та оцінки внеску кожного предиктора у формування ризику ампутації.

Кількість випадків із настанням кінцевої події (n=84) відповідала сучасним рекомендаціям щодо побудови логістичних регресійних моделей (не менше 10 подій на один предиктор), що дозволило сформувати статистично стабільну фінальну модель з обмеженою кількістю незалежних змінних та мінімізувати ризик перенавчання.

Таким чином, усі відібрані предиктори були використані для побудови розширеної багатофакторної регресійної моделі прогнозування ризику

ампутації при СДС. Застосування такого підходу дозволило ранжувати фактори за ступенем їх впливу, виділити найбільш значущі предиктори та виключити змінні з низькою прогностичною цінністю, що стало основою для подальшої розробки інтегрованої шкали ризику ампутації. Ранжування прогностичних факторів ризику ампутації при СДС наведено в таблицях 1–4.

Для формування бальної системи інтегрованої шкали ризику ампутації при СДС було застосовано математично обґрунтований підхід, що базується на результатах багатофакторного логістичного регресійного аналізу. З метою кількісної оцінки внеску кожного предиктора у формування ризику ампутації використано відношення шансів (ВШ), отримані для статистично значущих факторів.

Оскільки значення ВШ мали мультиплікативний характер і не могли бути безпосередньо використані для побудови адитивної шкали, застосували їх логарифмічне перетворення. Зокрема, для кожного фактора було обчислено натуральний логарифм відношення шансів ($\ln(\text{ВШ})$), що дозволило перевести мультиплікативну модель у лінійну адитивну форму. Такий підхід є загальноприйнятим у побудові клінічних прогностичних шкал і

Таблиця 1. Сильні фактори ризику ампутації при синдромі діабетичної стопи (багатофакторний аналіз) (n=291)

Фактор	ВШ (95 % ДІ)	p	Категорія значення
Критична ішемія ($\text{ABI} < 0,4$)	4,8 (2,6–8,9)	<0,001	● сильний
$\text{TcPO}_2 < 30$ мм рт. ст.	4,2 (2,2–7,8)	<0,001	● сильний
Остеомієліт	3,9 (2,1–7,1)	<0,001	● сильний
Гангрена / некроз	3,7 (2,0–6,8)	<0,001	● сильний
Системна інфекція (SIRS / сепсис)	3,5 (1,9–6,4)	<0,001	● сильний
Альбумін < 30 г/л	3,2 (1,8–5,9)	0,002	● сильний
Відсутність реваскуляризації при ішемії	3,1 (1,7–5,6)	0,003	● сильний

Таблиця 2. Середньої сили фактори ризику ампутації при синдромі діабетичної стопи (багатофакторний аналіз) (n=291)

Фактор	ВШ (95 % ДІ)	p	Категорія значення
CRP > 50 мг/л	2,6 (1,5–4,6)	0,004	● середній
$\text{HbA1c} > 9$ %	2,3 (1,3–4,1)	0,006	● середній
Площа рани > 5 cm^2	2,2 (1,2–3,9)	0,01	● середній
Глибина ураження (сухожилля / кістка)	2,1 (1,2–3,7)	0,02	● середній
Полімікробна інфекція	1,9 (1,1–3,3)	0,03	● середній
Лейкоцитоз	1,8 (1,0–3,1)	0,04	● середній
Нейропатія (виражена)	1,7 (1,0–2,9)	0,04	● середній
Хронічна ниркова недостатність (ХНН)	1,6 (1,0–2,8)	0,05	● середній

Таблиця 3. Слабкі фактори ризику ампутації при синдромі діабетичної стопи (багатофакторний аналіз) (n=291)

Фактор	ВШ (95 % ДІ)	p	Категорія значення
Вік >70 років	1,4 (0,8–2,4)	0,12	● слабкий
Індекс маси тіла (ІМТ) >30	1,3 (0,7–2,2)	0,18	● слабкий
Тривалість ЦД >10 років	1,3 (0,8–2,1)	0,15	● слабкий
Куріння	1,2 (0,7–2,0)	0,20	● слабкий
Ішемічна хвороба серця (ІХС)	1,2 (0,7–2,1)	0,22	● слабкий
Локалізація (п'ята)	1,1 (0,6–1,9)	0,30	● слабкий

Таблиця 4. Незначущі фактори ризику ампутації при синдромі діабетичної стопи (багатофакторний аналіз) (n=291)

Фактор	ВШ (95 % ДІ)	p	Категорія значення
Вібраційна чутливість	1,1 (0,6–1,8)	0,35	□ незначний
Больова чутливість	1,0 (0,6–1,7)	0,40	□ незначний
Деформації стопи	1,0 (0,5–1,8)	0,50	□ незначний
MRSA / Pseudomonas	1,0 (0,6–1,9)	0,45	□ незначний
Ексудація рани	0,9 (0,5–1,6)	0,60	□ незначний
Попередня антибіотикотерапія	0,9 (0,5–1,5)	0,55	□ незначний

забезпечує коректне відображення відносного внеску кожного чинника.

Для підвищення зручності практичного використання шкали отримані значення ln (ВШ) були масштабовані шляхом множення на коефіцієнт k=2, що дозволило уникнути надмірно малих

дробових значень та забезпечити кращу диференціацію між факторами різної сили впливу. Після цього результати було округлено до найближчих цілих чисел, що забезпечило формування простої та інтуїтивно зрозумілої простому хірургу бальної системи (табл. 5).

Таблиця 5. Формування бальної прогностичної шкали ризику несприятливого перебігу синдрому діабетичної стопи на основі логістичної регресії (n=291)

Фактор	ВШ	ln (ВШ)	Бал
Критична ішемія (ABI<0,4)	4,8	1,57	3
TsPO ₂ <30	4,2	1,43	3
Остеомієліт	3,9	1,36	3
Некроз / гангрена	3,7	1,30	3
Сепсис	3,5	1,25	3
Альбумін <30 г/л	3,2	1,16	2
Відсутність реваскуляризації	3,1	1,13	2
CRP >50	2,6	0,96	2
HbA1c >9 %	2,3	0,83	2
Площа >5 см ²	2,2	0,79	2
Глибоке ураження	2,1	0,74	1
Полімікробна інфекція	1,9	0,64	1
Лейкоцитоз	1,8	0,59	1
Нейропатія	1,7	0,53	1
Хронічна ниркова недостатність (ХНН)	1,6	0,47	1

Застосування такого підходу дозволило трансформувати результати регресійного аналізу в клінічно придатну шкалу, в якій кожному фактору відповідає певна кількість балів, пропорційна його впливу на ризик ампутації (рис. 2). Це забезпечує збереження статистичної обґрунтованості моделі при одночасному підвищенні її практичної цінності та зручності використання у клінічній практиці як шкали для оцінки ризику ампутації.

3 бали	• $ABI < 0,4$ • $TcPO_2 < 30$ мм рт. ст. • Остеомієліт • Некроз / гангрена • Сепсис
2 бали	• Альбумін < 30 г/л • Відсутність реваскуляризації • $CRP > 50$ мг/л • $HbA1c > 9\%$ • Площа рани > 5 см²
1 бал	• Глибоке ураження • Полімікробна інфекція • Лейкоцитоз • Нейропатія • ХНН

Рис. 2. Інтегрована шкала ризику ампутацій при синдромі діабетичної стопи.

З метою підвищення практичної цінності запропонованої прогностичної моделі та забезпечення її зручного використання у клінічній практиці, поряд із визначенням порогового значення ≥ 10 балів доцільним є виділення градацій клінічного ризику. Стратифікація пацієнтів за рівнем ризику дозволяє не лише прогнозувати ймовірність несприятливого перебігу, але й оптимізувати тактику лікування, інтенсивність моніторингу та своєчасність хірургічного втручання.

На підставі аналізу сумарного бального показника прогностичної шкали всіх пацієнтів поділили на три клінічні категорії ризику розвитку ампутації.

Низький ризик (0–6 балів). До цієї групи віднесено пацієнтів із мінімально вираженими клініко-лабораторними порушеннями та відносно компенсованим перебігом патологічного процесу. Для них характерними були:

- обмежені локальні зміни тканин;

- відсутність системної запальної відповіді або її мінімальні прояви;
- задовільні показники периферійної перфузії;
- стабільний загальний соматичний стан.

У даній категорії ризику переважали пацієнти, в яких патологічний процес мав потенціал до зворотного розвитку за умови своєчасної консервативної та органозберігаючої хірургічної терапії. Таким чином, пацієнти із низьким ризиком потребують стандартного хірургічного спостереження з акцентом на локальне лікування та корекцію супутніх метаболічних порушень. Клінічне значення цієї групи полягає у можливості уникнення надмірно агресивної хірургічної тактики та раціонального використання ресурсів у стаціонарі.

Помірний ризик (7–9 балів). Пацієнти з сумарною оцінкою 7–9 балів формують групу нестабільного клінічного перебігу, яка характеризується значною варіабельністю результатів лікування. У них спостерігалось:

- поширення локального інфекційно-некротичного процесу;
- ознаки порушення мікроциркуляції;
- системні метаболічні зміни;
- підвищена частота супутньої патології;
- помірна системна запальна реакція.

Саме ця категорія є найбільш клінічно значущою, оскільки перебіг захворювання значною мірою залежить від своєчасності прийняття лікувальних рішень. Це свідчить про наявність критичного переходу від компенсованого до декомпенсованого стану. Для даних пацієнтів рекомендованими є: активна хірургічна санація осередку; рання оцінка судинного статусу; інтенсивний моніторинг клінічної динаміки; мультидисциплінарний підхід із залученням суміжних спеціалістів. Таким чином, група помірної ризику є ключовою точкою клінічного втручання, де правильна тактика здатна змінити прогноз захворювання.

Високий ризик (≥ 10 балів). Пацієнти з показником ≥ 10 балів характеризувалися тяжким перебігом патологічного процесу з вираженими локальними та системними змінами. Для цієї категорії були типовими:

- глибокі некротичні ураження тканин;
- критична ішемія або тяжкі порушення перфузії;
- системна запальна реакція;
- декомпенсація супутніх захворювань;
- високий рівень інтоксикації.

У більшості випадків органозберігаючі заходи мали обмежену ефективність через незворотність патологічних змін. Клінічно це означає необхід-

ність: раннього прийняття рішення щодо радикального хірургічного лікування; уникнення тривалих неефективних реконструктивних спроб; мінімізації ризику септичних ускладнень; скорочення термінів госпіталізації та зниження летальності. Таким чином, дана категорія повинна розглядатися як група пріоритетного інтенсивного лікування із високою ймовірністю втрати кінцівки.

Серед 291 пацієнта до групи низького ризику (0–6 балів) увійшли 164 хворих, що становить 56,4 %, до групи помірного ризику (7–9 балів) за запропонованою шкалою увійшов 81 пацієнт, що становить 27,8 % від загальної кількості обстежених. До групи високого ризику (≥ 10 балів) було віднесено 46 хворих, що становило 15,8 % усіх пацієнтів.

Обговорення. Пул факторів для побудови інтегрованої шкали ризику ампутації при синдромі стопи діабетика включав: судинні фактори, прояви нейропатії, інфекційні ураження, лабораторні ознаки запалення, локальні характеристики ранового процесу, загальносоматичний стан пацієнта, вид / тип попередньо проведеного лікування. Для створення багатофакторної регресійної моделі прогнозованого ризику ампутації у пацієнтів із СДС ми сформували розширений перелік із пулу окреслених потенційних факторів, що відображають основні патогенетичні механізми розвитку захворювання. На відміну від класичних підходів, які враховують обмежену кількість показників, у даному дослідженні застосовано комплексний підхід із включенням судинних, неврологічних, інфекційних, лабораторних, локальних та загальносоматичних факторів, а також характеристик проведеного лікування.

Розробка інтегрованої шкали ризику ампутації дала нам можливість: здійснювати ранню стратифікацію пацієнтів за ступенем ризику; оптимізувати вибір лікувальної тактики; підвищити ефективність органозберігаючих втручань; знизити частоту високих ампутацій; певною мірою стандартизувати підходи до лікування пацієнтів із СДС.

Висновки. 1. У результаті проведеного дослідження розроблено та науково обґрунтовано інтегровану шкалу ризику ампутації у пацієнтів із СДС, яка базується на комплексному врахуванні судинних, нейропатичних, інфекційних, лабораторних, локальних та загальносоматичних факторів. На основі логістичної регресійної моделі сформовано бальну систему оцінки ризику, що дозволяє кількісно визначити внесок кожного фактора.

2. Розроблена шкала продемонструвала високу прогностичну ефективність ($AUC=0,92$), добру калібрувальну здатність та стабільність при внутрішній валідації, що підтверджує її надійність і відтворюваність.

3. Встановлено оптимальне порогове значення (≥ 10 балів), яке дозволяє з високою чутливістю та специфічністю ідентифікувати пацієнтів із високим ризиком ампутації. Запропонована стратифікація на групи низького, помірного та високого ризиків має важливе клінічне значення, оскільки сприяє оптимізації лікувальної тактики, своєчасному прийняттю хірургічних рішень та підвищенню ефективності органозберігаючих втручань.

Конфлікт інтересів. Автори, які взяли участь у цьому дослідженні, заявили, що в них немає конфлікту інтересів.

Джерела фінансування. Власні кошти.

Внесок авторів. Беденюк Анатолій – ідея, концепція та дизайн дослідження. Кульбаба Ігор – збір матеріалу дослідження, аналіз отриманих результатів, написання та підготовка тексту статті, огляд літератури, оформлення ілюстрацій.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження доцільно спрямувати на використання розробленої інтегрованої шкали ризику ампутації як алгоритму ранньої стратифікації пацієнтів із синдромом стопи діабетика за ступенем ризику втрати кінцівки, що сприяє своєчасному вибору оптимальної лікувальної тактики та зниженню частоти високих ампутацій. Важливим є вивчення прогностичних факторів, що впливають на ризик розвитку рецидивів синдрому діабетичної стопи.

References

1. Biz C, Mori F, Ruggieri P. Minimally Invasive Surgery and Diabetes. *Foot and ankle clinics*. 2025; 30(3): 623-40. DOI: 10.1016/j.fcl.2024.11.010.
2. Chahrour MA, Habib JR, El Moheb MN, Cherfan P, Mahmoud D, El Rahyel A, Hoballah JJ. Incidence and predictors of surgical site infection complications in diabetic patients undergoing lower limb amputation. *Annals of vascular surgery*. 2022; 8: 343-50. DOI: 10.1016/j.avsg.2021.09.040.
3. Chin BZ, Lee P, Sia CH, Hong CC. Diabetic foot ulcer is

- associated with cardiovascular-related mortality and morbidity – a systematic review and meta-analysis of 8062 patients. *Endocrine*. 2024; 84(3): 852-63. DOI: 10.1007/s12020-024-03696-5.
4. Ezzatvar Y, García-Hermoso A. Global estimates of diabetes-related amputations incidence in 2010–2020: A systematic review and meta-analysis. *Diabetes research and clinical practice*. 2023; 195:110194. DOI: 10.1016/j.diabres.2022.110194.
5. Huang J, Yang J, Qi H, Xu M, Xu X, Zhu Y. Prediction models

- for amputation after diabetic foot: systematic review and critical appraisal. *Diabetology & metabolic syndrome*. 2024; 16(1):126. DOI: 10.1186/s13098-024-01360-6.
6. Karahan HG, Cetin O, Gök M, Akın HF, Vural A, Kayalı C. The effect of comorbid factors and amputation level on mortality in geriatric patients with diabetic foot. *Joint Diseases and Related Surgery*. 2023; 34(1):115-20. DOI: 10.52312/jdrs.2023.818.
7. Kim J. The pathophysiology of diabetic foot: a narrative review. *Journal of Yeungnam Medical Science*. 2023; 40(4):328-34. DOI: 10.12701/jyms.2023.00731.
8. Li X, Wen S, Dong M, Yuan Y, Gong M, Wang C, Zhou L. The metabolic characteristics of patients at the risk for diabetic foot ulcer: A comparative study of diabetic patients with and without diabetic foot. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity*. 2023; 3197-211. DOI: 10.2147/DMSO.S430426.
9. Meloni M, Uccioli L, Andreadi A, Giurato L, Ruotolo V, Romano M, Lauro D. Incidence and causes of major amputation in patients with diabetic foot ulcers: data from a retrospective study. *Acta Diabetologica*. 2026; 63(1):97-103. DOI: 10.1007/s00592-025-02577-1.
10. Peng X, Gou D, Zhang L, Wu H, Chen Y, Shao X, Tao M. Status and influencing factors of lower limb amputation in patients with diabetic foot ulcer. *International Wound Journal*. 2023; 20(6):2075-81. DOI: 10.1111/iwj.14076.
11. Perveen W, Ahsan H, Shahzad R, Fayyaz S, Zaif A, Paracha MA, Alghadir AH. Prevalence of peripheral neuropathy, amputation, and quality of life in patients with diabetes mellitus. *Scientific reports*. 2024; 14(1):14430. DOI: 10.1038/s41598-024-65495-2.
12. Roberts RHR, Davies-Jones GR, Brock J, Satheesh V, Robertson GA. Surgical management of the diabetic foot: The current evidence. *World journal of orthopedics*. 2024; 15(5):404-17. DOI: 10.5312/wjo.v15.i5.404.
13. Ying AF, Tang TY, Jin A, Chong TT, Hausenloy DJ, Koh WP. Diabetes and other vascular risk factors in association with the risk of lower extremity amputation in chronic limb-threatening ischemia: a prospective cohort study. *Cardiovascular Diabetology*. 2022; 21(1):7. DOI: 10.1186/s12933-021-01441-0.

Надійшла до редакції / Received for editorial office on: 14.07.2026
Прийнята після рецензування / Accepted after review on: 03.08.2026
Подана до друку / Submitted for printing on: 21.08.2026

Електронна адреса для листування: igorkulbaba777@gmail.com

Anatoliy Bedenyuk, Ihor Kulbaba

I. Horbachevsky Ternopil National Medical University, Ternopil, Ukraine

Use of the integrated amputation risk scale in patients with diabetic foot syndrome

The aim of the work: development and clinical justification of an integrated amputation risk scale for diabetic foot syndrome.

Materials and Methods. The study included 291 patients with diabetic foot syndrome who were inpatients. Among them, 84 (28.9 %) cases had lower limb amputations of various levels, which was used as the final event in building a prognostic model. A comprehensive clinical, laboratory and instrumental examination of patients was performed using modern statistical analysis methods, including correlation and multivariate regression analysis.

Results. As a result of the study, an integrated amputation risk scale in patients with diabetic foot syndrome was developed and scientifically substantiated, which is based on a comprehensive consideration of vascular, neuropathic, infectious, laboratory, local, and general somatic factors. The development of an integrated amputation risk scale has enabled us to: perform early stratification of patients by risk; optimize the choice of treatment tactics; increase the effectiveness of organ-preserving interventions; reduce the frequency of high amputations; and to some extent standardize approaches to the treatment of patients with diabetic foot syndrome.

Conclusions. Based on the logistic regression model, a scoring system for assessing the risk of amputation was formed, which allows us to quantitatively determine the contribution of each factor. The developed scale demonstrated high predictive efficiency (AUC=0.92), good calibration ability and stability during internal validation, which confirms its reliability and reproducibility. An optimal threshold value (≥ 10 points) was established, which allows us to identify patients with a high risk of amputation with high sensitivity and specificity. The proposed stratification into low, moderate and high risk groups is of important clinical importance, as it contributes to the optimization of treatment tactics, timely adoption of surgical decisions and increasing the effectiveness of organ-preserving interventions.

Key words: diabetes mellitus; pyogenic-necrotic complications; diabetic foot syndrome; amputation; multifactorial analysis; prognostic model; integrated scale.

З досвіду роботи

Відомості про авторів

Беденюк Анатолій – доктор медичних наук, професор кафедри хірургії № 1 з урологією та малоінвазивною хірургією імені Л. Я. Ковальчука закладу вищої освіти, Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського МОЗ України, Тернопіль, Україна, e-mail: *bedenyuk@tdmu.edu.ua*.

Кульбаба Ігор – аспірант кафедри хірургії № 1 з урологією та малоінвазивною хірургією імені Л. Я. Ковальчука закладу вищої освіти, Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського МОЗ України, Тернопіль, Україна, e-mail: *igorkulbaba777@gmail.com*.

Information about the authors

Bedenyuk Anatoliy – DSc (Medicine), Professor at the Department of Surgery No.1 specializing in Urology and Minimally Invasive Surgery named after L.Ya. Kovalchuk, I. Horbachevsky Ternopil National Medical University, Ternopil, Ukraine, e-mail: *bedenyuk@tdmu.edu.ua*.

Kulbaba Ihor – PhD Student, Department of Surgery No.1 specializing in Urology and Minimally Invasive Surgery named after L. Ya. Kovalchuk, I. Horbachevsky Ternopil National Medical University, Ternopil, Ukraine, e-mail: *igorkulbaba777@gmail.com*.