

©О. Ю. УСЕНКО

shalimovpress@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8074-1666>

©О. М. СИМОНОВ

Dr.simonov84@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1558-9260>

©Є. Д. ПРИСЯЖНЮК

Yep.ctmri.snist@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5930-7617>

©Р. С. ПАВЛЮК

Pavlyuk.roma@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2834-2227>

Національний науковий центр хірургії та трансплантології імені О. О. Шалімова, Київ, Україна

Прогностична модель ризику післяопераційної панкреатичної нориці після панкреатодуоденектомії

Мета роботи: розробити та валідувати прогностичну бальну систему для оцінки ризику розвитку клінічно значущої післяопераційної панкреатичної нориці (ПОПН) на основі об'єктивних комп'ютерно-томографічних (КТ) характеристик підшлункової залози та клінічних показників пацієнта.

Матеріали і методи. Проспективне дослідження включало 234 пацієнти, яким було виконано панкреатодуоденектомію у Національному науковому центрі хірургії та трансплантології імені О. О. Шалімова у період з січня 2022 р. до листопада 2023 р. Усі пацієнти перед операцією проходили багатофазову КТ органів черевної порожнини з внутрішньовенним контрастуванням. Визначали щільність паренхіми підшлункової залози в одиницях Хаунсфілда (НУ) на нативних зображеннях та обчислювали співвідношення діаметра головної панкреатичної протоки (ГПП) до товщини паренхіми (Д/П) у вентродорсальному та краніокаудальному напрямках. ПОПН діагностували згідно з критеріями International Study Group on Pancreatic Fistula, при цьому до аналізу включали лише клінічно значущі випадки (типи В і С). Для оцінки прогностичної цінності показників проводили ROC-аналіз із розрахунком площі під кривою (AUC), визначенням оптимальних порогових значень та мультиваріантним логістичним регресійним аналізом.

Результати. Клінічно значущу ПОПН діагностовано у 44 пацієнтів (18,8 %), серед яких 28 (63,6 %) мали тип В, а 16 (36,4 %) – тип С. Уніваріантний аналіз виявив статистично значущі відмінності за низкою показників. Медіана НУ була достовірно нижчою в групі з ПОПН (22 проти 39,65 НУ; $p < 0,00001$), а Д/П-співвідношення – меншим в обох площинах. Також у пацієнтів із ПОПН спостерігали менші діаметри ГПП та вищі значення індексу маси тіла (ІМТ) ($p < 0,01$). На основі мультиваріантного аналізу розроблено 6-бальну прогностичну систему, що включає 5 незалежних предикторів: щільність ≤ 30 НУ (2 бали), Д/П-співвідношення $\leq 0,2$ у двох напрямках (по 1 балу), діаметр протоки < 3 мм (1 бал), $\text{ІМТ} \geq 25$ кг/м² (1 бал). Модель продемонструвала високу дискримінаційну здатність (AUC=0,89) та дозволила стратифікувати пацієнтів за ризиком розвитку ПОПН: низький (0–2 бали, 4,6 %), помірний (3 бали, 27,8 %), високий (4 бали, 50 %), дуже високий (5–6 балів, 82,5 %).

Висновки. Запропонована система є ефективним інструментом для індивідуалізованої передопераційної оцінки ризику, що дає змогу адаптувати хірургічну тактику відповідно до ризик-профілю пацієнта. Залежно від рівня ризику, можливе застосування диференційованих стратегій – від стандартних технік у пацієнтів низького ризику до комплексних підходів (модифіковані методи анастомозу, зовнішнє дренування, стентування, фармакопрофілактика) у групах високого ризику.

Ключові слова: панкреатодуоденектомія; післяопераційна панкреатична нориця; комп'ютерна томографія; прогнозування; стратифікація ризику; щільність підшлункової залози; головна панкреатична протока; індекс маси тіла.

Постановка проблеми й аналіз останніх досліджень. Панкреатодуоденектомія (ПД) залишається стандартом у хірургічному лікуванні новоутворень підшлункової залози та періампулярної зони [1]. Незважаючи на значний прогрес у хірургічній техніці та періопераційному веденні пацієнтів, післяопераційна панкреатична нориця (ПОПН) є найбільш загрозливим ускладненням, частота якого досягає 14–60 % [2, 16]. ПОПН асоціюється зі значним підвищенням рівня післяпе-

раційної захворюваності, смертності, тривалості госпіталізації та витрат на лікування [3].

Численні дослідження були спрямовані на ідентифікацію факторів ризику розвитку ПОПН. Ключовими з них вважаються консистенція паренхіми підшлункової залози, діаметр головної панкреатичної протоки (ГПП), індекс маси тіла (ІМТ) пацієнта та хірургічна техніка [4, 5]. Проте об'єктивна передопераційна оцінка ризику залишається складним завданням, оскільки більшість

існуючих прогностичних систем покладається на інтраопераційні знахідки, зокрема, суб'єктивну оцінку текстури паренхіми [6].

Комп'ютерна томографія (КТ), як метод передопераційної візуалізації, має потенціал для об'єктивної оцінки структурних характеристик підшлункової залози. Результати попередніх досліджень показали кореляцію між НУ та ризиком розвитку ПОПН [7, 8]. Проте методики, що існують, мають обмеження, пов'язані з відсутністю стандартизованих порогових значень та комплексної оцінки анатомічних співвідношень [9].

Розробка надійної прогностичної моделі, що базується на об'єктивних КТ-критеріях, могла б забезпечити передопераційну стратифікацію ризику та персоналізацію хірургічної тактики [10]. Це особливо актуально з огляду на зростаючу тенденцію щодо впровадження модифікованих методик панкреатоєюноанастомозу та профілактичних заходів, спрямованих на зниження ризику ПОПН у пацієнтів високого ризику [11, 12].

Мета роботи: розробити та валідувати прогностичну бальну систему для оцінки ризику розвитку клінічно значущої післяопераційної панкреатичної нориці (ПОПН) на основі об'єктивних комп'ютерно-томографічних (КТ) характеристик підшлункової залози та клінічних показників пацієнта.

Матеріали і методи. Запропонований підхід дозволить оптимізувати передопераційне планування, індивідуалізувати хірургічну тактику та потенційно знизити частоту та тяжкість цього серйозного ускладнення.

Дане проспективне дослідження ґрунтується на аналізі клінічних даних пацієнтів, які перенесли ПД у Національному науковому центрі хірургії та трансплантології імені О. О. Шалімова у період із січня 2022 р. до листопада 2023 р. У вибірку включили осіб із новоутвореннями головки підшлункової залози та періампулярної зони, а також із хронічним панкреатитом, яким виконували ПД за стандартною хірургічною методикою.

Операційні втручання здійснювали кваліфіковані спеціалісти у галузі гепатопанкреатобіліарної хірургії. Основним методом операції була класична ПД у модифікації за Child's [13]. Під час втручання хірурги проводили пальпаторну оцінку структури паренхіми підшлункової залози у зоні резекції, класифікуючи її як м'яку або щільну. Для зниження ризику ускладнень обов'язково встановлювали дренажі в ділянці панкреатоєюноанастомозу та гепатикоєюноанастомозу.

Антибіотикопрофілактика передбачала введення цефалоспоринів I покоління або інших ан-

тибіотиків, підібраних відповідно до результатів передопераційного бактеріологічного аналізу жовчі. Препарати вводили безпосередньо перед шкірним розрізом, а також інтраопераційно кожні 3 год.

У післяопераційному періоді на 1, 3, 5 і 7 доби здійснювали моніторинг рівня амілази у виділеннях із дренажів. Видаляли дренажі між 5 і 7 післяопераційними добами за умови відсутності ознак формування панкреатичної фістули або бактеріального контамінаційного процесу.

Діагноз ПОПН встановлювали згідно з критеріями International Study Group on Pancreatic Fistula (ISGPS) при наявності виділень із дренажу з умістом амілази, що перевищував у 3 і більше разів верхню межу норми сироваткового рівня на 3-ю добу після операції або пізніше. Для подальшого аналізу використовували лише випадки ПОПН типів В та С [14], тоді як тип А не враховували через його мінімальне клінічне значення.

Передопераційні дослідження КТ. Усі пацієнти перед операцією проходили багатофазову КТ органів черевної порожнини з внутрішньовенним контрастуванням (нативна, артеріальна, венозна та відтермінована фази). Первинні аксіальні зображення реконструювали з побудовою мультипланарних реконструкцій у фронтальній і сагітальній площинах. Планіметричну оцінку підшлункової залози проводили на рівні майбутньої резекції над верхньою брижовою веною. НУ визначали на нативних зображеннях, тоді як артеріальну фазу використовували для ідентифікації та виключення судинних структур і проток з аналізу. Співвідношення діаметра ГПП до товщини паренхіми (Д/П) обчислювали у двох ортогональних напрямках. Усі вимірювання виконували два незалежні досвідчені радіологи. Деталізовану методику вимірювань та технічні параметри сканування наведено у нашій попередній роботі [15].

Статистичний аналіз. Для оцінки прогностичної значущості морфометричних і планіметричних показників підшлункової залози, отриманих шляхом передопераційної КТ, провели покрововий статистичний аналіз.

На початковому етапі описову статистику застосовували для характеристики вибірки: розраховували медіани, міжквартильні розмахи (IQR), мінімальні та максимальні значення змінних у групах із клінічно значущою ПОПН та без ускладнень. Результати попереднього аналізу показали відхилення від нормального розподілу, тому для міжгрупового порівняння кількісних показників (НУ, ІМТ, діаметр ГПП, Д/П-співвідношення у

вентродорсальному та краніокаудальному напрямках) використовували U-критерій Манна – Уїтні.

Прогностичну здатність кожного показника оцінювали за допомогою ROC-аналізу з побудовою кривих і розрахунком площі під кривою (AUC) з 95 % довірчим інтервалом (ДІ). Оптимальні порогові значення визначали за індексом Юдена з подальшим обчисленням чутливості, специфічності, позитивної та негативної прогностичної цінності (PPV та NPV).

Змінні з p -значенням $<0,05$ в уніваріантному аналізі або клінічно значущі показники було включено до моделі багатофакторного логістичного регресійного аналізу для виявлення незалежних факторів ризику розвитку ПОПН. Для кожного предиктора наводилися β -коефіцієнт, відношення шансів (OR) та відповідне p -значення. Адекватність моделі оцінювали за допомогою аналізу залишків і ROC-аналізу комбінованої моделі.

На завершальному етапі розробили бальну шкалу для передопераційної стратифікації ризику розвитку ПОПН, в яку включили змінні з найвищою прогностичною значущістю відповідно до багатофакторного аналізу та ROC-оцінки. Кожній змінній присвоювали кількість балів пропорційно силі асоціації (β -коефіцієнт, OR) та AUC. До остаточної шкали увійшли: НУ, ІМТ, діаметр ГПП, Д/П-співвідношення у вентродорсальному та краніокаудальному напрямках.

Усі статистичні аналізи проводили з використанням програмного забезпечення IBM SPSS Statistics, версія 26 (IBM Corp., Armonk, NY, USA).

Результати. У дослідженні взяли участь 234 пацієнти, яким виконали панкреатодуоденектомію. Із загальної кількості осіб чоловіки становили 64,1 % ($n=150$), тоді як жінки – 35,9 % ($n=84$). Медіанний вік учасників склав 68 років. Найчастішими показаннями до операційного втручання були: рак підшлункової залози ($n=119$; 50,9 %), дистальна холангіокарцинома ($n=30$; 12,8 %), карцинома ампули Фатера ($n=26$; 11,1 %), інтрадуктальна папілярна муцинозна неоплазія ($n=17$; 7,3 %), злоякісні новоутворення дванадцятипалої кишки ($n=12$; 5,1 %) та хронічний панкреатит ($n=30$; 12,8 %).

Клінічно значущу післяопераційну панкреатичну норицю (типи В і С згідно з класифікацією ISGPS) виявили у 44-х пацієнтів, що становило 18,8 % від загальної кількості. Серед них 63,6 % ($n=28$) мали норицю типу В, тоді як у 36,4 % випадків ($n=16$) діагностовано тип С.

Уніваріантний аналіз КТ-планіметричних характеристик підшлункової залози виявив статистично значущі відмінності між групами пацієнтів із ПОПН та без неї.

Медіана НУ була значно нижчою в групі ПОПН порівняно з групою без ПОПН (22 НУ проти 39,65 НУ, $p<0,00001$). У групі без ПОПН діапазон значень щільності становив від 11,0 до 59,84 НУ, тоді як у групі з ПОПН – від -10,0 до 38,0 НУ.

Статистичний аналіз за допомогою t -тесту ($t=-9,59$, $p=1,48e-18$) та U-критерію Манна – Уїтні ($U=1135,0$, $p=5,29e-14$) підтвердив високу статистичну значущість цієї різниці між групами.

Оцінювали Д/П-співвідношення в двох ортогональних площинах. У вентродорсальному напрямку медіанне значення цього показника серед пацієнтів, у яких після операції не виникла ПОПН, становило 0,33 із варіацією від 0,06 до 0,54. У той же час серед хворих із наявною ПОПН медіана була істотно нижчою – 0,14 при діапазоні значень від 0,05 до 0,33. Отримана різниця була статистично значущою ($U=1037,0$; $p<0,00001$).

Аналогічну тенденцію спостерігали і при аналізі Д/П-співвідношення у краніокаудальному напрямку: серед пацієнтів без ПОПН медіанне значення дорівнювало 0,255 (варіація: 0,05–0,39), тоді як у групі з ПОПН – лише 0,12 (варіація: 0,04–0,29), що також мало високу статистичну значущість ($U=1199,5$; $p<0,00001$).

Крім того, було встановлено, що діаметр головної панкреатичної протоки у пацієнтів із ПОПН був достовірно меншим, порівняно з тими, у кого ускладнення не розвинулося ($p<0,01$).

Ще одним чинником, який мав зв'язок із формуванням ПОПН, виявився показник ІМТ. Зокрема, хворі з цим ускладненням мали значно вищий ІМТ, що також підтвердила статистична достовірність ($p<0,01$).

Для виявлення незалежних предикторів формування ПОПН було побудовано мультиваріантну логістичну регресійну модель, до якої включено такі змінні: НУ, Д/П-співвідношення у вентродорсальному та краніокаудальному напрямках, ГПП, а також ІМТ.

Побудована модель продемонструвала високу дискримінаційну здатність ($AUC=0,92$), а більшість змінних виявилася статистично значущою ($p<0,01$). Перевірка моделі за допомогою аналізу залишків підтвердила її адекватну відповідність спостережуваним даним (табл. 1).

У процесі аналізу було встановлено, що зі збільшенням НУ на 1 одиницю ризик розвитку ПОПН зменшувався на 9,5 % ($OR=0,905$; 95 % ДІ: 0,854–0,958; $p<0,001$). Показники Д/П-співвідношення також мали істотний вплив: при зростанні вентродорсального співвідношення на 0,1 спостерігали зниження відношення шансів розвитку ПОПН на 86,4 % ($OR=0,136$; 95 %

Таблиця 1. Фактори розвитку післяопераційної панкреатичної нориці

Параметр	Порогове значення	AUC (95 % ДІ)	OR (95 % ДІ)	p	Прогностична цінність
HU	≤30	0,91 (0,89–0,96)	0,905 (0,854–0,958)	<0,001	Висока
Д/П-співвідношення (вентродорсальне)	≤0,2	0,86 (0,76–0,94)	0,136 (0,058–0,318)	<0,001	Висока
Д/П-співвідношення (краніокаудальне)	≤0,2	0,84	0,274 (0,117–0,639)	0,003	Висока
Діаметр ГПП	<3 мм	0,82	–	<0,01	Висока
ІМТ	≥25 кг/м ²	0,82	–	<0,01	Висока

ДІ: 0,058–0,318; $p<0,001$), тоді як аналогічне збільшення у краніокаудальному напрямку асоціювалося зі зменшенням ризику на 72,6 % ($OR=0,274$; 95 % ДІ: 0,117–0,639; $p=0,003$).

Крім того, виявлено, що діаметр ГПП менше 3 мм суттєво підвищує ймовірність формування ПОПН ($p<0,01$). $IMT \geq 25$ кг/м² також підтвердили як незалежний фактор ризику цього ускладнення ($p<0,01$).

З метою оцінки прогностичної точності окремих параметрів, а також їх комбінацій, було проведено ROC-аналіз із розрахунком площі під кривою (AUC).

HU продемонструвала високу дискримінаційну здатність, що підтверджується значенням AUC на рівні 0,91 (95 % ДІ: 0,89–0,96). Оптимальне порогове значення для цього показника становило ≤26,6 HU. За цього значення чутливість склала 81,8 %, специфічність – 91,7 %, позитивна прогностична цінність (PPV) – 62,5 %, а негативна прогностична цінність (NPV) – 98,2 %.

Д/П-співвідношення як у вентродорсальному, так і в краніокаудальному напрямках також виявило високу прогностичну ефективність. Загальне значення AUC для цих показників становило 0,86 (95 % ДІ: 0,76–0,94), при цьому оптимальне порогове значення дорівнювало ≤0,2. Варто зазначити, що при значенні співвідношення на рівні 0,25 чутливість досягала 90,9 %, специфічність становила 75,0 %, позитивна прогностична цінність – 43,5 %, а негативна – 97,9 %.

Найвищу прогностичну здатність показала комбінована модель, що поєднувала показники HU та Д/П-співвідношення. Для неї площа під ROC-кривою становила 0,92 (95 % ДІ: 0,87–0,96). За умови використання порогового значення ймовірності у 0,3 модель досягала чутливості 81,8 % та специфічності 91,7 %, при цьому PPV становила 62,5 %, а NPV – 98,2 %.

Аналіз взаємозв'язку між HU та Д/П-співвідношенням засвідчив наявність ста-

тистично значущої помірної позитивної кореляції. Зокрема, коефіцієнт кореляції Спірмена для вентродорсального Д/П-співвідношення становив 0,29 ($p<0,001$), що аналогічно до значення для краніокаудального напрямку ($r=0,29$; $p<0,001$).

Отримані результати свідчать про існування спільних патофізіологічних механізмів, які одночасно впливають як на HU, так і на прохідність протокової системи підшлункової залози, зумовлюючи формування анатомічних і функціональних змін в органі.

Прогностична бальна система. На основі результатів багатофакторного аналізу та ROC-метрик було розроблено прогностичну бальну систему ризику розвитку ПОПН, яка включає 5 предикторів: HU, Д/П-співвідношення у вентродорсальному та краніокаудальному напрямках, ГПП та ІМТ.

До фінальної прогностичної моделі включалися лише ті змінні, які відповідали ряду попередньо визначених критеріїв. По-перше, обов'язковою умовою була наявність незалежної прогностичної значущості в мультиваріантній логістичній регресійній моделі, підтвердженої значенням $p<0,05$. По-друге, показник мав демонструвати високу дискримінаційну здатність, що визначалося значенням площі під ROC-кривою (AUC), яке не повинно було бути меншим за 0,80. Третім критерієм була наявність чіткого порогового значення, яке можна легко і надійно верифікувати під час КТ, що є важливим для практичного застосування моделі в клінічній роботі (табл. 2).

HU отримала 2 бали як найсильніший незалежний предиктор з найвищим AUC та найнижчим p -значеннями. Інші змінні отримали по 1 балу відповідно до їх прогностичної сили та простоти застосування.

Аналіз ефективності розробленої 6-бальної шкали виявив її високу прогностичну точність. Побудована ROC-крива продемонструвала площу

Таблиця 2. Прогностична бальна система ризику післяопераційної панкреатичної нориці

Параметр	Порогове значення	AUC	OR (p)	Бал
HU	≤ 30 HU	0,91	0,905 (<0,001)	2
Д/П-співвідношення (вентродорсальне)	$\leq 0,2$	0,86	0,136 (<0,001)	1
Д/П- співвідношення (краніокаудальне)	$\leq 0,2$	0,84	0,274 (=0,003)	1
Діаметр ГПП	<3 мм	0,82	<0,01	1
ІМТ	≥ 25 кг/м ²	0,82	<0,01	1

під кривою (AUC) на рівні 0,89, що вказує на добру дискримінаційну здатність моделі щодо прогнозування розвитку клінічно значущої ПОПН. Запропонована система виявилася ефективною для стратифікації пацієнтів за рівнем ризику, що дає змогу використовувати її як зручний інструмент

для передопераційного клінічного прийняття рішень (рис., табл. 3).

Проведений аналіз частоти виникнення ПОПН у пацієнтів, стратифікованих за розробленою бальною шкалою, виявив чітку залежність між кількістю набраних балів і ймовірністю розвитку

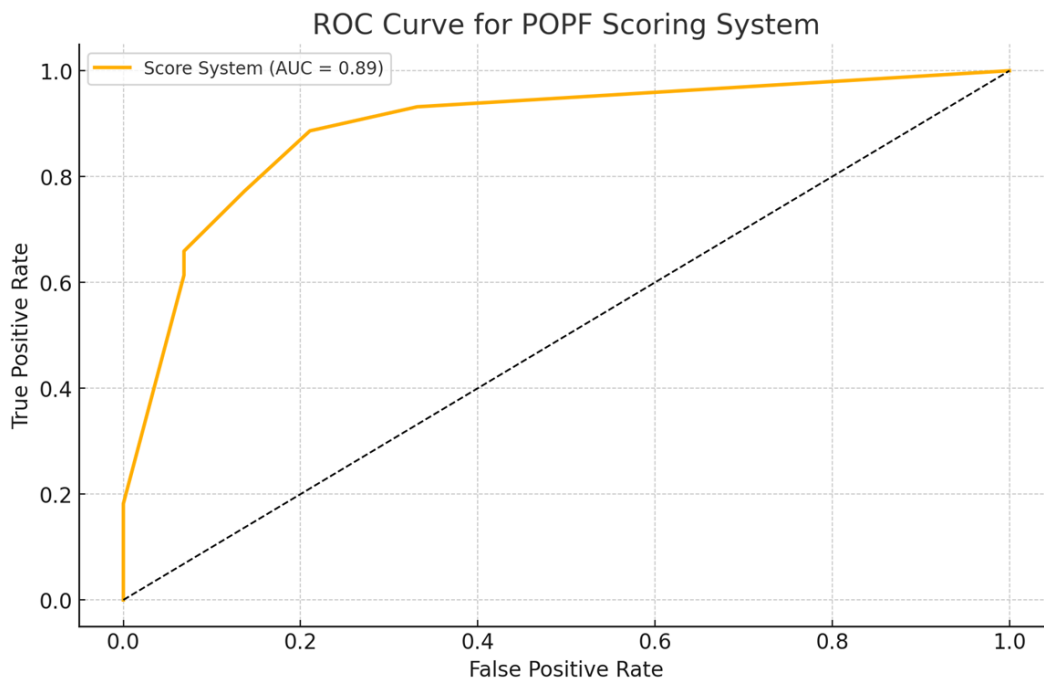


Рис. Демонстрування ROC-кривою високої дискримінаційної здатності бальної системи для прогнозування післяопераційної панкреатичної нориці з AUC=0,89. Відхилення кривої від діагоналі випадкової класифікації підтверджує надійність моделі.

Таблиця 3. Поділ пацієнтів за групами ризику

Група ризику (бали)	Кількість пацієнтів	%
Низький ризик (0–2)	174	74
Помірний ризик (3)	18	8
Високий ризик (4)	2	1
Дуже високий ризик (5–6)	40	17

ускладнення. У групі низького ризику, яка включала пацієнтів із 0–2 балами, частота ПОПН була найнижчою і становила лише 4,6 %. У категорії помірного ризику (3 бали) цей показник зростав до 27,8 %. В групі високого ризику (4 бали) частота розвитку ПОПН досягала вже 50 %, тоді як у групі дуже високого ризику, яка охоплювала пацієнтів із 5–6 балами, вона сягала 82,5 %.

Така поступова градація ризику свідчить про високу прогностичну цінність запропонованої бальної системи, що, у свою чергу, підтверджує її доцільність і практичну значущість у щоденній клінічній практиці.

Результати додаткового статистичного аналізу показали, що підвищення бальної оцінки корелює не лише з більшою ймовірністю виникнення ПОПН, але й із тяжчим клінічним перебігом цього ускладнення. Зокрема, серед пацієнтів із ПОПН типу В (n=28) медіанне значення за шкалою становило 4 бали, тоді як у групі з ПОПН типу С (n=16) медіана бальної оцінки була вищою – 5 балів.

Отримані результати свідчать про те, що запропонована шкала дозволяє не лише передбачити сам факт розвитку ускладнення, але й має потенціал для оцінки ймовірної тяжкості його перебігу, що значно підвищує її клінічну цінність при передопераційному плануванні лікувальної тактики.

Розроблена бальна система відкриває можливість для персоналізованої передопераційної оцінки ризику розвитку ПОПН та відповідного планування хірургічної тактики. Залежно від кількості набраних балів, можуть бути рекомендовані різні стратегії ведення пацієнтів.

Зокрема, у хворих із низьким ризиком (0–2 бали) доцільним є використання стандартної хірургічної техніки без необхідності додаткових модифікацій. Для пацієнтів із помірним ризиком (3 бали) необхідно розглянути застосування превентивних заходів, зокрема, зовнішнього дренивання панкреатичної протоки або фармакологічної профілактики, наприклад, за допомогою октреотиду. У випадках високого та дуже високого ризику (4–6 балів) рекомендованим є комплексний підхід до профілактики ПОПН, що включає використання модифікованих методик формування панкреатоєюноанастомозу, зовнішнє дренивання, стентування ГПП, а також розширене фармакологічне забезпечення.

Таким чином, бальна шкала, яку розробили, є надійним інструментом для передбачення ризику розвитку ПОПН після панкреатодуоденектомії. Вона не лише забезпечує ефективну стратифікацію пацієнтів, але й дає змогу впроваджувати пер-

соналізовані профілактичні підходи, спрямовані на зниження частоти та тяжкості цього серйозного ускладнення.

Обговорення. ПОПН залишається одним із найсерйозніших ускладнень після ПД, незважаючи на постійне удосконалення хірургічних технік та післяопераційного менеджменту. В нашому дослідженні клінічно значущі форми ПОПН (типи В і С за класифікацією ISGPS) діагностовано у 18,8 % пацієнтів, що цілком відповідає сучасним літературним даним. Зокрема, у систематичному огляді McMillan та співавт., який охоплював понад 7500 пацієнтів, узагальнена частота клінічно значущих ПОПН становила 18,5 % (діапазон: 3–45 %) [16].

Найбільш значущим предиктором розвитку ПОПН у нашому дослідженні виявилася НУ, виміряна за нативною КТ. Порогове значення ≤ 30 НУ було асоційоване з підвищеним ризиком формування ПОПН, з високими показниками прогностичної ефективності (AUC 0,91; 95 % ДІ: 0,89–0,96; OR 0,905; $p < 0,001$).

Отримані результати узгоджуються з даними Yardimci та співавт., які продемонстрували, що у пацієнтів із м'якою текстурою підшлункової залози показники НУ були достовірно нижчими ((27 ± 10) НУ) порівняно з групою із фіброзною залозою ((39 ± 12) НУ; $p < 0,001$) [7]. Автори також виявили, що низьке значення індексу PAI (Pancreatic Attenuation Index) $< 0,67$ є незалежним фактором ризику ПОПН. Хоча методологія Yardimci базувалася на індексі (співвідношенні щільностей залози та селезінки), наш підхід, заснований на абсолютних значеннях НУ, є технічно простішим та більш доступним у повсякденній практиці.

Результати Kiriha та співавт. також підтверджують значущість щільності як предиктора: автори запропонували поріг ≤ 40 НУ, при якому чутливість до прогнозування ПАН становила 81 %, а специфічність – 78 % (AUC=0,81) [8]. Таким чином, наші дані з нижчим порогом (30 НУ) і вищим AUC свідчать про потенційне удосконалення методики та більшу точність стратифікації ризику.

Важливою особливістю нашого дослідження є оцінка співвідношення діаметра головної панкреатичної протоки до товщини паренхіми (Д/П-співвідношення) у двох ортогональних площинах. Встановлено, що Д/П-співвідношення $\leq 0,2$ є незалежним предиктором ПОПН з високими показниками дискримінаційної здатності (AUC=0,86 для вентродорсального та 0,84 для краніокаудального напрямків).

Ця методика розрахунку є відносно новою та дає змогу комплексно оцінити стан паренхіми та

протокової системи. Дані, які ми отримали, узгоджуються з результатами Sugimoto та співавт., також довели, що комбінація вузького діаметра головної протоки (<2 мм) та збільшеної товщини паренхіми (≥ 10 мм) достовірно асоціюється з виникненням ПОПН. Автори використовували обернений індекс (товщина/діаметр) і запропонували порогове значення >4 , що еквівалентне $Д/П < 0,25$ у нашій моделі, підтвердивши його високу прогностичну цінність ($p < 0,001$) [17].

Roberts та співавт. розробили та валідували преоперативний скор для прогнозування ПОПН, заснований на двох незалежних факторах – ІМТ та діаметрі ГПП. Малий діаметр протоки (<3 мм) виявився сильним негативним предиктором ($OR=0,668$; $p < 0,001$) [6]. Наша робота розширює ці результати, демонструючи, що не лише абсолютний діаметр протоки, але і його співвідношення до товщини залози ($Д/П$) у двох напрямках має вищу дискримінаційну здатність (AUC до $0,86$), що підвищує точність стратифікації ризику.

Ми визначили $ІМТ \geq 25$ кг/м² як незалежний фактор ризику розвитку ПОПН ($p < 0,01$; $AUC=0,82$). Отримані результати узгоджуються з даними літератури. Так, метааналіз Nahm та співавт. (2018), що включав 8247 пацієнтів, продемонстрував, що ожиріння ($ІМТ \geq 30$ кг/м²) суттєво підвищує ризик виникнення ПОПН ($OR=2,87$; 95 % ДІ: 1,49–5,52) [18].

Крім того, результати дослідження Gaujoux та співавт. (2010), проведеного на 100 пацієнтах після панкреатодуоденектомії, показали, що $ІМТ \geq 25$ кг/м², жирова інфільтрація підшлункової залози та відсутність фіброзу є незалежними предикторами розвитку ПОПН, причому ожиріння мало найвищу прогностичну вагу ($OR=4,15$; $p=0,007$) [19]. Автори вказують, що підвищений ІМТ асоціюється зі стеатозом паренхіми та порушенням її структури, що може ускладнювати техніку анастомозування та погіршувати загоєння тканин.

Основним досягненням нашого дослідження є розробка комплексної 6-бальної прогностичної системи, що включає 5 незалежних предикторів. Ця модель демонструє високу дискримінаційну здатність ($AUC=0,89$) та дозволяє стратифікувати пацієнтів на групи низького (0–2 бали), помірного (3 бали), високого (4 бали) та дуже високого (5–6 балів) ризику з відповідними частотами розвитку ПОПН: 4,6; 27,8; 50 та 82,5 %.

Порівняльний аналіз з існуючими прогностичними моделями показує, що наша система має кілька суттєвих переваг. Callery та співавт. запропонували шкалу ризику ПОПН на основі текстури підшлункової залози, діаметра протоки, патології

та крововтрати [4]. Хоча ця модель широко використовується, вона має обмеження через суб'єктивну оцінку текстури залози, що можлива лише інтраопераційно.

Система, запропонована Mungroor та співавт., включає фістулу ризик-скор (FRS) та дані КТ, але також покладається на інтраопераційну оцінку консистенції залози [10]. Перевагою нашої моделі є виключно передопераційна оцінка ризику, що дозволяє планувати хірургічну тактику заздалегідь.

Yamamoto та співавт. розробили прогностичну систему, що базується на КТ-вимірюваннях, включаючи відношення HU до селезінки [12]. Проте їхня модель має нижчу прогностичну точність ($AUC=0,78$) порівняно з нашою системою ($AUC=0,89$).

Наша модель вирізняється також тим, що враховує не лише ймовірність виникнення ПОПН, але й потенційну тяжкість ускладнення, що підтверджується вищими балами у пацієнтів із ПОПН типу С порівняно з типом В (медіана 5 проти 4).

Таким чином, порівняно з іншими відомими моделями, наша система поєднує точність, простоту передопераційного застосування та широку доступність показників.

Бальна система, яку розробили, має значний потенціал для клінічного застосування. Cheng та співавт. у систематичному огляді ефективності різних хірургічних модифікацій для профілактики ПОПН встановили, що персоналізований підхід, який базується на індивідуальному ризику, є найбільш перспективним [20].

Стратифікація пацієнтів за групами ризику дозволяє оптимізувати хірургічну тактику та післяопераційне ведення. Впровадження цієї системи в клінічну практику може сприяти зниженню частоти ПОПН та пов'язаних із нею ускладнень шляхом застосування різних превентивних стратегій залежно від індивідуального ризику кожного пацієнта.

Для пацієнтів з низьким ризиком (0–2 бали) доцільне використання стандартної техніки анастомозування. Такий підхід виправданий низькою ймовірністю розвитку ПОПН (4,6 %) та дозволяє уникнути потенційних ускладнень, пов'язаних із додатковими хірургічними маніпуляціями. Maggino та співавт. підтвердили, що у пацієнтів низького ризику стандартна техніка забезпечує оптимальні результати при мінімальних витратах [23].

У групі помірного ризику (3 бали), де частота ПОПН сягає 27,8 %, виправданим є застосування зовнішнього дренирування панкреатичної протоки,

що, згідно з даними Jang та співавт., знижує частоту ПОПН у пацієнтів з м'якою залозою від 38 до 6 % ($p<0,05$) [22]. Додатково, Kojima та співавт. рекомендують у цій групі використання прецизійної техніки накладання швів з оптичним збільшенням, що забезпечує зниження частоти ускладнень на 18,5 % порівняно зі стандартним підходом [25].

Для пацієнтів із високим та дуже високим ризиком (4–6 балів) доцільно розглядати комплексні підходи, включаючи модифіковані техніки анастомозів та розширену фармакопрофілактику. Ecker та співавт. продемонстрували, що техніка «binding» панкреатоєюноанастомозу значно знижує частоту ПОПН у пацієнтів високого ризику (з 42 до 13 %, $p<0,01$) [21]. T. Keck та співавт. запропонували багатокомпонентний протокол для пацієнтів з дуже високим ризиком, який включає комбінацію техніки «blumgart» анастомозу, преперитонеального встановлення катетера для локальної аналгезії та раннього ентерального харчування, що дозволило знизити частоту ПОПН типу С від 12,5 до 3,8 % ($p=0,02$) [11].

Фармакологічна профілактика залишається суперечливою. Результати метааналізу Koti та співавт. показали помірну ефективність соматостатину та його аналогів у зниженні ризику ПОПН ($RR=0,66$; 95 % ДІ: 0,47–0,93), з найвищою ефективністю у пацієнтів високого ризику [24]. Прицільне застосування фармакологічних препаратів у групах високого та дуже високого ризиків може бути економічно доцільним, як показало дослідження Yamamoto та співавт., де витрати на профілактику ПОПН окупалися за рахунок зниження частоти та тяжкості ускладнень [12].

Впровадження розробленої бальної системи в протоколи лікування та алгоритми прийняття рішень дозволить стандартизувати підходи до хірургічного лікування та порівнювати результати між різними центрами. Така стандартизація є ключовим елементом програм підвищення якості хірургічного лікування, як свідчать дані міжнародних реєстрів [21]. Перспективними напрямками подальших досліджень є валідація системи на інших популяціях пацієнтів та розробка адаптова-

них протоколів періопераційного ведення для кожної із груп ризику.

Наше дослідження має певні обмеження. По-перше, воно проведене в одному центрі, що може обмежувати узагальнення результатів. Незважаючи на достатній розмір вибірки ($n=234$), необхідна зовнішня валідація моделі на незалежних когортах пацієнтів.

По-друге, КТ-вимірювання, хоча й стандартизовані, можуть залежати від технічних параметрів сканування та досвіду радіологів. Для підвищення надійності необхідне розроблення автоматизованих методів оцінки текстури паренхіми, що потенційно можливо з використанням технологій машинного навчання.

У перспективі, доцільним є дослідження впливу передопераційної оцінки ризику ПОПН на клінічні результати. Рандомізовані контрольовані дослідження, в яких порівнюють стандартизовану та персоналізовану тактику ведення пацієнтів на основі розробленої шкали, дозволять оцінити її реальний вплив на частоту ускладнень та клінічні наслідки.

Висновки. 1. Розроблена 6-бальна прогностична система є надійним інструментом для передопераційної оцінки ризику розвитку клінічно значущої ПОПН після панкреатодуоденектомії. Вона включає 5 об'єктивних параметрів (НУ, Д/П-співвідношення у двох площинах, ГПП та ІМТ), які можна легко оцінити під час передопераційного обстеження.

2. Система демонструє високу прогностичну точність ($AUC=0,89$) та дозволяє ефективно стратифікувати пацієнтів за ризиком розвитку ПОПН. Цей інструмент має значний потенціал для індивідуалізації хірургічної тактики та покращення післяопераційних результатів.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Джерела фінансування. Стаття є фрагментом планової науково-дослідної роботи, зовнішні джерела фінансування не залучали.

Внесок авторів. Усенко О. Ю. – ідея, концепція та дизайн дослідження. Симонов О. М. – огляд літератури, написання тексту. Присяжнюк Є. Д., Павлюк Р. С. – діагностика й аналіз КТ-досліджень.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Cameron J. L., He J. Two thousand consecutive pancreaticoduodenectomies. *J Am Coll Surg*. 2015. No. 220 (4). P. 530–536.
2. Analysis of risk factors for postoperative pancreatic fistula following pancreaticoduodenectomy / Q. Y. Liu et al. *World J Gastroenterol*. 2014. No. 20 (46). P. 17491–17497. DOI: 10.3748/wjg.v20.i46.17491.
3. Nutritional support and therapy in pancreatic surgery: A position paper of the International Study Group on Pancreatic Surgery (ISGPS) / L. Gianotti et al. *Surgery*. 2018. No.164 (5).

P. 1035–1048. DOI: 10.1016/j.surg.2018.05.040.

4. A prospectively validated clinical risk score accurately predicts pancreatic fistula after pancreatoduodenectomy / M. P. Callery et al. *J Am Coll Surg*. 2013. No. 216 (1). P. 1–14.
5. Stump closure of a thick pancreas using stapler closure increases pancreatic fistula after distal pancreatectomy / M. Kawai et al. *Am J Surg*. 2013. No. 206 (3). P. 352–359. DOI: 10.1016/j.amjsurg.2012.11.023.
6. A preoperative predictive score of pancreatic fistula following pancreatoduodenectomy / K. J. Roberts et al. *HPB (Oxford)*. 2014. No. 16 (7). P. 620–628.
7. A simple method to evaluate whether pancreas texture can be used to predict pancreatic fistula risk after pancreatoduodenectomy / S. Yardimci et al. *J Gastrointest Surg*. 2015. No. 19 (5). P. 885–891.
8. Prediction of pancreatic anastomotic failure after pancreatoduodenectomy / Y. Kirihaara et al. *Ann Surg*. 2013. No. 257 (3). P. 512–519.
9. Preoperative pancreas CT/MRI characteristics predict fistula rate after pancreaticoduodenectomy / F. Frozanpor et al. *World J Surg*. 2012. No. 36 (8). P. 1858–1865. DOI: 10.1007/s00268-012-1567-3.
10. Alternative fistula risk score for pancreatoduodenectomy (a-FRS): design and international external validation / T. H. Mungroop et al. *Ann Surg*. 2019. No. 269 (5). P. 937–943.
11. Pancreatogastrostomy versus pancreatojejunostomy for reconstruction after pancreatoduodenectomy (RECO-PANC) / T. Keck et al. *Ann Surg*. 2016. No. 263 (3). P. 440–449.
12. Evaluation of preoperative risk factors for pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy / M. Yamamoto et al. *J Hepatobiliary Pancreat Sci*. 2011. No. 18 (4). P. 571–578.
13. Risk factor of surgical site infection after pancreaticoduodenectomy / T. Sugiura et al. *World J Surg*. 2012. No. 36 (12). P. 2888–2894.
14. The 2016 update of the International Study Group (ISGPS) definition and grading of postoperative pancreatic fistula / C. Bassi et al. *Surgery*. 2016. No. 161 (3). P. 584–591.

15. Усенко О. Ю., Симонов О. М., Павлюк Р. С. Прогностична значимість КТ-планіметричних характеристик підшлункової залози у розвитку панкреатичної нориці після панкреатодуоденектомії. *Шпитальна хірургія. Журнал імені Л. Я. Ковальчука*. 2024. Т. 3. С. 5–14.
16. Multicenter, prospective trial of selective drain management for pancreatoduodenectomy using risk stratification / M. T. McMillan et al. *Ann Surg*. 2016. No. 264 (1). P. 1–7.
17. Prediction of postoperative pancreatic fistula by preoperative CT using duct diameter and parenchymal thickness / M. Sugimoto et al. *Pancreatol*. 2017. No. 17 (5). P. 805–810.
18. Postoperative pancreatic fistula: a review of traditional and emerging concepts / C. B. Nahm et al. *Clin Exp Gastroenterol*. 2018. No. 11. P. 105–118.
19. Fatty pancreas and increased body mass index as risk factors of pancreatic fistula / S. Gaujoux et al. *Surgery*. 2010. No. 148 (1). P. 15–23.
20. Pancreaticojejunostomy versus pancreaticogastrostomy reconstruction for prevention of postoperative pancreatic fistula / Y. Cheng et al. *Cochrane Database Syst Rev*. 2017. Vol. 9. CD012257.
21. Management of high-risk pancreatic anastomoses during pancreatoduodenectomy / B. L. Ecker et al. *Ann Surg*. 2017. No. 266 (4). P. 642–652.
22. Postoperative pancreatic fistula: redefining grades B and C / T. Hackert et al. *Surgery*. 2016. No. 159 (3). P. 872–877.
23. Randomized trial comparing external and internal pancreatic stenting during PD / J. Y. Jang et al. *Br J Surg*. 2016. No. 103 (6). P. 668–675.
24. Optimal drain fluid amylase cut-off after distal pancreatectomy / L. Maggino et al. *Ann Surg*. 2019. No. 269 (2). P. 337–343.
25. Koti R. S., Gurusamy K. S., Fusai G., Davidson B. R. Somatostatin analogues for pancreatic surgery: an update. *HPB (Oxford)*. 2010. No. 12 (3). P. 155–165.
26. Modified Blumgart anastomosis with packing method reduces pancreatic fistula / T. Kojima et al. *Am J Surg*. 2018. No. 216 (5). P. 941–948.

REFERENCES

1. Cameron JL, He J. Two thousand consecutive pancreaticoduodenectomies. *J Am Coll Surg*. 2015; 220(4):530–36.
2. Liu QY, Zhang WZ, Xia HT, Leng JJ, Wan T, Liang B, Yang T, Dong JH. Analysis of risk factors for postoperative pancreatic fistula following pancreaticoduodenectomy. *World J Gastroenterol*. 2014; 20(46):17491–7. DOI: 10.3748/wjg.v20.i46.17491. PMID: 25516663; PMCID: PMC4265610.
3. Gianotti L, Besselink MG, Sandini M, Hackert T, Conlon K, Gerritsen A, et al. Nutritional support and therapy in pancreatic surgery: A position paper of the International Study Group on Pancreatic Surgery (ISGPS). *Surgery*. 2018; 164(5):1035–8. DOI: 10.1016/j.surg.2018.05.040. Epub 2018 Jul 17. PMID: 30029989.
4. Callery MP, Pratt WB, Kent TS, et al. A prospectively validated clinical risk score accurately predicts pancreatic fistula after pancreatoduodenectomy. *J Am Coll Surg*. 2013; 216(1):1–14.
5. Kawai M, Tani M, Okada K, Hirano S, Miyazawa M, Shimizu A, Kitahata Y, Yamaue H. Stump closure of a thick pancreas using stapler closure increases pancreatic fistula after distal pancreatectomy. *Am J Surg*. 2013; 206(3):352–9. DOI: 10.1016/j.amjsurg.2012.11.023. Epub. 2013 Jun. 24. PMID: 23806829.
6. Roberts KJ, Hodson J, Mehrzad H, et al. A preoperative predictive score of pancreatic fistula following

- pancreatoduodenectomy. *HPB (Oxford)*. 2014; 16(7):620–28.
7. Yardimci S, Kara YB, Tuney D, et al. A simple method to evaluate whether pancreas texture can be used to predict pancreatic fistula risk after pancreatoduodenectomy. *J Gastrointest Surg*. 2015; 19(5):885–91.
8. Kirihaara Y, Takahashi N, Hashimoto Y, et al. Prediction of pancreatic anastomotic failure after pancreatoduodenectomy: the use of preoperative, quantitative computed tomography to measure remnant pancreatic volume and body composition. *Ann Surg*. 2013; 257(3):512–19.
9. Frozanpor F, Loizou L, Ansorge C, Segersvärd R, Lundell L, Albiin N. Preoperative pancreas CT/MRI characteristics predict fistula rate after pancreaticoduodenectomy. *World J Surg*. 2012; 36(8):1858–65. DOI: 10.1007/s00268-012-1567-3. PMID: 22450754.
10. Mungroop TH, van Rijssen LB, van Klaveren D, et al. Alternative fistula risk score for pancreatoduodenectomy (a-FRS): design and international external validation. *Ann Surg*. 2019; 269(5):937–43.
11. Keck T, Wellner UF, Bahra M, Klein F, Sick O, Niedergethmann M, et al. Pancreatogastrostomy versus pancreatojejunostomy for reconstruction after pancreatoduodenectomy (RECO-PANC): Perioperative and long-

- term results of a multicenter randomized controlled trial. *Ann Surg.* 2016; 263(3):440-9.
12. Yamamoto M, Ariake K, Ishida M, Ishii T, Shimada M. Evaluation of preoperative risk factors for pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy: utility of preoperative dynamic computed tomography. *J Hepatobiliary Pancreat Sci.* 2011; 18(4):571-8.
13. Sugiura T, Uesaka K, Ohmagari N, Kanemoto H, Mizuno T. Risk factor of surgical site infection after pancreaticoduodenectomy. *World J Surg.* 2012; 36(12):2888-94.
14. Bassi C, Marchegiani G, Dervenis C, Sarr M, Abu Hilal M, Adham M, et al. The 2016 update of the International Study Group (ISGPS) definition and grading of postoperative pancreatic fistula: 11 years after. *Surgery.* 2016; 161(3):584-91.
15. Usenko OY, Symonov OM, Pavliuk RS. Prognostic significance of CT planimetric characteristics of the pancreas in the development of pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy [Prognostic significance of CT planimetric characteristics of the pancreas in the development of pancreatic fistula after pancreatoduodenectomy]. *Shpytal'na khirurhiya. Zhurnal imeni L. Ya. Koval'chuka.* 2024; 3:5-14. Ukrainian.
16. McMillan MT, Malleo G, Bassi C, et al. Multicenter, prospective trial of selective drain management for pancreatoduodenectomy using risk stratification. *Ann Surg.* 2016; 264(1):1-7.
17. Sugimoto M, Takagi K, Kubo T, et al. Prediction of postoperative pancreatic fistula by preoperative computed tomography using duct diameter and parenchymal thickness in patients undergoing pancreaticoduodenectomy. *Pancreatol.* 2017; 17(5):805-10.
18. Nahm CB, Connor SJ, Samra JS, et al. Postoperative pancreatic fistula: a review of traditional and emerging concepts. *Clin Exp Gastroenterol.* 2018; 11:105-18.
19. Gaujoux S, Cortes A, Couvelard A, et al. Fatty pancreas and increased body mass index are risk factors of pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy. *Surgery.* 2010; 148(1):15-23.
20. Cheng Y, Briarava M, Lai M, Capretti G, Pecorelli N, Gavazzi F, et al. Pancreaticojejunostomy versus pancreaticogastrostomy reconstruction for the prevention of postoperative pancreatic fistula following pancreaticoduodenectomy. *Cochrane Database Syst Rev.* 2017; 9:CD012257.
21. Ecker BL, McMillan MT, Asbun HJ, Ball CG, Bassi C, Beane JD, et al. Characterization and optimal management of high-risk pancreatic anastomoses during pancreatoduodenectomy. *Ann Surg.* 2017; 266(4):642-52.
22. Hackert T, Hinz U, Fritz S, Pausch T, Fesenbeck I, Strobel O, et al. Postoperative pancreatic fistula: We need to redefine grades B and C. *Surgery.* 2016; 159(3):872-7.
23. Jang JY, Chang YR, Kim SW, Choi SH, Park SJ, Lee SE, et al. Randomized multicentre trial comparing external and internal pancreatic stenting during pancreaticoduodenectomy. *Br J Surg.* 2016; 103(6):668-75.
24. Maggino L, Malleo G, Bassi C, Allegrini V, Beane JD, Beckman RM, et al. Identification of an optimal cut-off for drain fluid amylase on postoperative day 1 for predicting clinically relevant fistula after distal pancreatectomy: A multi-institutional analysis and external validation. *Ann Surg.* 2019; 269(2):337-43.
25. Koti RS, Gurusamy KS, Fusai G, Davidson BR. Meta-analysis of randomized controlled trials on the effectiveness of somatostatin analogues for pancreatic surgery: An update. *HPB (Oxford).* 2010; 12(3):155-65.
26. Kojima T, Niguma T, Watanabe N, Sakata T, Mimura T. Modified Blumgart anastomosis with the "complete packing method" reduces the incidence of pancreatic fistula and complications after resection of the head of the pancreas. *Am J Surg.* 2018; 216(5):941-8.

Отримано 31.03.2025

Електронна адреса для листування: Dr.simonov84@gmail.com

O. YU. USENKO, O. M. SYMONOV, YE. D. PRYSYAZHNYUK, R. S. PAVLYUK

National scientific center of surgery and transplantation named after O. O. Shalimov, Kyiv, Ukraine

PREDICTIVE RISK MODEL FOR POSTOPERATIVE PANCREATIC FISTULA AFTER PANCREATODUODENECTOMY

The aim of the work: to develop and validate a predictive scoring system for assessing the risk of clinically relevant postoperative pancreatic fistula (CR-POPF) based on objective computed tomography (CT) characteristics of the pancreas and patient clinical parameters.

Materials and Methods. This prospective study included 234 patients who underwent pancreatoduodenectomy (PD) at the Shalimov National Institute of Surgery and Transplantology between January 2022 and November 2023. All patients underwent preoperative multiphase contrast-enhanced CT of the abdominal organs. Pancreatic parenchymal density was measured in Hounsfield units (HU) on non-contrast images, and the duct-to-parenchyma (D/P) ratio was assessed in ventrodorsal and craniocaudal planes. POPF was diagnosed according to the International Study Group on Pancreatic Fistula (ISGPF) criteria, and only clinically relevant cases (types B and C) were analyzed. ROC analysis was used to evaluate the predictive value of variables, including AUC calculation, optimal threshold determination, and multivariate logistic regression.

Results. Clinically relevant POPF was diagnosed in 44 patients (18.8 %), with 28 cases (63.6 %) of type B and 16 cases (36.4 %) of type C. Univariate analysis revealed statistically significant differences between patients with and without POPF. The median pancreatic density was significantly lower in the POPF group (22 vs. 39.65 HU; $p < 0.00001$), and the D/P ratio was also significantly lower in both planes.

ОРИГІНАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Patients who developed POPF had smaller main duct diameters and higher BMI values ($p<0.01$). Based on multivariate analysis, a 6-point predictive model was developed that includes five independent predictors: pancreatic density ≤ 30 HU (2 points), D/P ratio ≤ 0.2 in ventrodorsal and craniocaudal planes (1 point each), main duct diameter < 3 mm (1 point), and BMI ≥ 25 kg/m² (1 point). The model demonstrated high discriminatory ability (AUC=0.89) and allowed for effective patient risk stratification: low risk (0–2 points, 4.6 %), moderate risk (3 points, 27.8 %), high risk (4 points, 50 %), and very high risk (5–6 points, 82.5 %).

Conclusions. The proposed system is an effective tool for individualized preoperative risk assessment, enabling tailored surgical planning based on the patient's risk profile. Depending on the risk level, differentiated management strategies may be applied—from standard techniques in low-risk patients to complex approaches in high-risk patients, including modified anastomotic techniques, external drainage, duct stenting, and pharmacologic prophylaxis.

Key words: pancreatoduodenectomy; postoperative pancreatic fistula; computed tomography; prediction; risk stratification; pancreatic density; main pancreatic duct; body mass index.