



Ukrainian Journal of Nephrology and Dialysis

Scientific and Practical, Medical Journal

Founder:

- National Kidney Foundation of Ukraine

ISSN 2304-0238;

eISSN 2616-7352

Journal homepage: <https://ukrjnd.com.ua>

Research article

doi: 10.31450/ukrjnd.2(90).2026.10

M. Kolesnyk¹, L. Korol¹, N. Stepanova¹, I. Shifris¹, I. Shuba²

Predictive models for assessing kidney allograft survival:

A narrative review

¹State Institution “O.O. Shalimov National Scientific Centre for Surgery and Transplantology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine,” Kyiv, Ukraine

²Educational Scientific Institute of High Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Citation:

Kolesnyk M, Korol L, Stepanova N, Shifris I, Shuba I. Predictive models for assessing kidney allograft survival: A narrative review. Ukr J Nephrol Dialys. 2026;2(90):94-108. doi: 10.31450/ukrjnd.2(90).2026.10.

Abstract. *This review aimed to provide a clinically oriented evaluation of predictive models, scores, indices, nomograms and online calculators used for kidney allograft function and graft survival.*

Methods. *A targeted search was performed in PubMed/MEDLINE, Scopus, Embase, Web of Science Core Collection, Cochrane Library and Google Scholar. Priority was given to original model-development and validation studies, clinically used calculators, consensus documents and reviews addressing applicability, calibration and limitations of prognostic tools.*

Results. *Predictive instruments are most useful when applied according to the clinical time point: donor and recipient indices before transplantation; early functional markers and delayed graft function calculators during the perioperative period; eGFR, proteinuria, biopsy and immunological markers during the first year; and composite or dynamic models after the first year.*

Conclusions. *No single calculator can replace clinical judgment. The most practical strategy is a stepwise risk-oriented approach combining simple routine markers with validated and dynamically updated models.*

Key words: *kidney transplantation, graft survival, delayed graft function, prognosis, risk assessment, predictive value of tests, machine learning.*

Article history:

Received February 27, 2026

Received in revised form

April 30, 2026

Accepted May 01, 2026

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

© M. Kolesnyk, L. Korol, N. Stepanova, I. Shifris, I. Shuba, 2026.

Correspondence should be addressed to Mykola Kolesnyk: director@inephrology.kiev.ua



© Колесник М., Король Л., Степанова Н., Шіфріс І., Шуба І., 2026

УДК: 616.61-089.843-036.8(048.8)

М. Колесник¹, Л. Король¹, Н. Степанова¹, І. Шіфріс¹, І. Шуба²

Прогностичні моделі оцінки виживаності ниркового трансплантата: огляд літератури

¹Державна установа «Національний науковий центр хірургії та трансплантології імені О.О. Шалімова НАМН України», Київ, Україна

²Навчально-науковий інститут високих технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Резюме. Метою цього огляду літератури було надати клінічно орієнтовану оцінку прогностичних моделей, шкал, індексів, номограм і онлайн-калькуляторів, які запропоновані для оцінки функції та прогнозу виживаності ниркового трансплантата в різні часові періоди після трансплантації та запропонувати алгоритм їх практичного використання.

Методи. Проведено цільовий пошук у PubMed/MEDLINE, Scopus, Embase, Web of Science Core Collection, Cochrane Library та Google Scholar. Перевагу надавали первинним дослідженням з розробки або валідації моделей, клінічно доступним калькуляторам, консенсусним документам та оглядам, у яких оцінювали клінічну ефективність й обмеження прогностичних інструментів.

Результати. Прогностичні інструменти доцільно застосовувати відповідно до часової точки: до трансплантації - індекси донора та реципієнта; у періопераційному періоді - маркери ранньої функції й калькулятори ВФТ; протягом першого року - рШКФ, протеїнурію, біопсійні та імунологічні маркери; після першого року - композитні й динамічні моделі.

Висновки. Всі запропоновані прогностичні інструменти є допоміжними для прийняття клінічного рішення, яке має створюватися на основі поєднання рутинних маркерів з даними моделювання.

Ключові слова: трансплантація нирки, виживаність трансплантата, відтермінована функція трансплантата, прогноз, оцінка ризику, прогностична цінність тестів, машинне навчання.

Вступ. Довгострокова виживаність ниркового трансплантата залишається однією з головних проблем сучасної трансплантології [1, 2]. Ранні результати трансплантації істотно покращились завдяки прогресу хірургічної техніки, адекватного моніторингу імуносупресії та інфекційного контролю. Однак зменшення частоти пізньої втрати трансплантата все ще залишається складною проблемою [2-4]. Лімітуючими складовими покращення виживаності алотрансплантата нирки є якість донорської нирки, вік і коморбідність реципієнта, ішемічно-реперфузійне пошкодження та відтермінована функція трансплантата, гостре й хронічне відторгнення, інфекційні ускладнення, токсичність імуносупресивних препаратів та інші [2-6].

Прогностичні моделі мають практичне значення не тому, що здатні точно передбачити прогноз конкретного трансплантата, а тому, що стандартизують оцінку ризику, допомагають визначити інтенсивність моніторингу, своєчасність біопсії, необхідність поглибленого імунологічного обстеження та планування додаткового обстеження [4, 7].

На сьогодні запропоновано значну кількість прогностичних інструментів для оцінки функції та виживаності ниркового трансплантата: індекси донора і реципієнта, клінічні шкали, рівняння, номограми, онлайн-калькулятори, композитні та динамічні моделі [4, 7]. Проте, ці інструменти відрізняються за часом застосування, набором предикторів, ступенем зовнішньої валідації, доступністю для рутинної практики та клінічною значимістю. Саме тому для практичного використання важливо не лише перелічити наявні моделі, а й систематизувати їх за клінічним призначенням.

Метою цього огляду літератури було надати клінічно орієнтовану оцінку прогностичних моделей, шкал, індексів, номограм і онлайн-калькуляторів, які запропоновані для оцінки функції та прогнозу виживаності ниркового трансплантата в різні часові періоди після трансплантації та запропонувати алгоритм їх практичного використання.

Матеріал та методи. Робота є нарративним оглядом літератури. Такий дизайн обрано через значну різноманітність інструментів прогнозування, кінцевих точок, часових періодів і популяцій розробки моделей. Підготовка огляду орієнтувалась на принципи SANRA для якості нарративних оглядів: обґрунтованість теми, опис пошуку, релевантність джерел, збалансованість викладу та практична інтерпретація доказів [8].

Микола Колесник
director@inephrology.kiev.ua

Пошук проводили в PubMed/MEDLINE, Scopus, Embase, Web of Science Core Collection, Cochrane Library та Google Scholar. Використовували комбінації термінів: kidney transplantation, graft survival, graft failure, delayed graft function, prognostic model, prediction model, risk score, calculator, nomogram, eGFR, proteinuria, donor-specific antibodies, biopsy, iBox, KTFS, KDPI, KDRI, EPTS, LKDPI, machine learning. Перевагу надавали первинним дослідженням із розробки або зовнішньої валідації моделей, оглядам щодо методологічних обмежень і роботам, які мають очевидну клінічну застосовність.

Матеріал синтезовано за клінічною часовою точкою: 1) дотрансплантаційна оцінка, 2) ранній післятрансплантаційний період і ризик відтермінованої функції трансплантата (ВФТ), 3) перший рік після трансплантації, 4) середньо- і довгострокове прогнозування після першого року, 5) динамічні моделі та моделі машинного навчання, 6) практичні обмеження впровадження.

1. Дотрансплантаційна оцінка: вихідний ризик донорського органу і реципієнта. Дотрансплантаційні інструменти (KDRI, KDPI, LKDPI та EPTS) застосовують ще до операції, тому вони не характеризують фактичну післятрансплантаційну функцію нирки. Їх роль полягає в оцінці вихідної якості донорського органу та прогнозованої користі трансплантації для конкретного кандидата-реципієнта [9-12]. Тому індекси донорського ризику, профілю донорської нирки, профілю живого донора та очікуваної післятрансплантаційної виживаності доцільно розглядати як початковий рівень ризику, який надалі уточнюється з урахуванням перебігу операції, ранніх післяопераційних подій, функції трансплантата, імунологічних ускладнень та результатів подальшого спостереження.

KDRI був запропонований як безперервний індекс ризику для нирок від померлих донорів і відображає відносний ризик невдачі трансплантата з урахуванням донорських і частково трансплантаційних характеристик [9]. KDPI є процентильним перетворенням KDRI в референтній популяції донорів і використовується для практичної інтерпретації очікуваної виживаності нирки від померлого

донора [10]. EPTS, навпаки, стосується кандидата-реципієнта і використовується в системах longevity matching разом із KDPI [11]. Для трансплантації від живого донора більш релевантним є LKDPI, який дозволяє зіставляти очікувану якість трансплантатів від живих і померлих донорів в одній шкалі [12]. Клінічне значення цих індексів полягає не у відмові від органу лише через високий бал, а в більш точному обговоренні ризику, очікуваної користі та стратегії післятрансплантаційного спостереження.

Окрім стандартизованих індексів KDRI, KDPI, LKDPI та EPTS, у літературі описано й додаткові дотрансплантаційні підходи до оцінки ризику. Зокрема, індекс співвідношення віку донора і реципієнта (DoRAIn) відображає вікову відповідність пари донор—реципієнт [13], а волюметричні індекси донорської нирки враховують співвідношення об'єму паренхіми або кори нирки до антропометричних показників реципієнта [14]. Такі показники не є універсальними стандартами алокації, однак можуть доповнювати оцінку вихідного ризику, особливо при аналізі очікуваної функціональної маси трансплантата.

Окремим напрямом дотрансплантаційної оцінки є стратифікація ризику, пов'язаного з коморбідністю реципієнта. Для цього запропоновано модифікований індекс коморбідності Чарльсона (CCI) для трансплантації нирки (mCCI-KT), адаптований до популяції реципієнтів ниркового алотрансплантата [15]. На відміну від класичного CCI, mCCI-KT зосереджується на найбільш прогностично значущих для цієї популяції коморбідних станах: захворюванні периферичних судин, захворюванні печінки, інфаркті міокарда в анамнезі та цукровому діабеті. У дослідженнях mCCI-KT краще стратифікував ризик смертності реципієнтів, ніж класичний CCI, і продемонстрував значущу дискримінаційну здатність щодо 10-річної виживаності пацієнтів [16]. Тим не менш, цей індекс слід розглядати саме як інструмент оцінки реципієнт-асоційованого ризику смертності, а не як самостійну модель прогнозування втрати трансплантата. Основні інструменти дотрансплантаційної оцінки наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Дотрансплантаційні інструменти оцінки донора та реципієнта

Інструмент	Що оцінює	Ключові предиктори	Клінічне застосування / джерело
KDRI/KDPI	Якість нирки від померлого донора.	Вік, зріст, маса тіла, артеріальна гіпертензія, цукровий діабет, креатинін донора, причина смерті, DCD, HCV та інші донорські характеристики.	Стартова оцінка очікуваної довговічності трансплантата; не призначені для післяопераційного динамічного моніторингу [9, 10].

Продовження таблиці 1

Інструмент	Що оцінює	Ключові предиктори	Клінічне застосування / джерело
EPTS	Очікувану післятрансплантаційну виживаність кандидата.	Вік, діабет, тривалість діалізу, попередня трансплантація.	Застосовується разом із KDPI для зіставлення очікуваної довговічності органа з очікуваною користю для реципієнта [11].
LKDPI	Якість трансплантата від живого донора з урахуванням пари донор/реципієнт.	Вік, рШКФ, ІМТ і куріння донора; спорідненість, ABO-сумісність, стать пари, HLA-B/DR невідповідності.	Дозволяє порівнювати трансплантати від живих донорів між собою та з трансплантатами від померлих донорів [12].
DoRAIn та волюметричні індекси	Відповідність нефронної маси потребам реципієнта.	Співвідношення віку донора/реципієнта; об'єм паренхіми або кори нирки щодо маси тіла, ІМТ чи площі поверхні тіла реципієнта.	Допоміжна оцінка ризику недостатньої нефронної маси або гіршої рШКФ після трансплантації; потребує локальної інтерпретації [13, 14].
mCCI-KT	Коморбідність реципієнта та пов'язаний із нею ризик смертності після трансплантації	Захворювання периферичних судин, захворювання печінки, інфаркт міокарда в анамнезі, цукровий діабет	Додаткова дотрансплантаційна стратифікація ризику реципієнта; корисний для оцінки 10-річної виживаності пацієнта, але не є самостійною моделлю прогнозування втрати трансплантата [15, 16].

Скорочення: *KDRI, Kidney Donor Risk Index, індекс ризику донора нирки; KDPI, Kidney Donor Profile Index, індекс профілю донорської нирки; LKDPI, Living Kidney Donor Profile Index, індекс профілю нирки живого донора; EPTS, Estimated Post-Transplant Survival, очікувана післятрансплантаційна виживаність; DoRAIn, Donor/Recipient Age Index, індекс співвідношення віку донора і реципієнта; DCD, donation after circulatory death, донація після зупинки кровообігу; HLA, human leukocyte antigen, людський лейкоцитарний антиген; ABO, система груп крові ABO; mCCI-KT, модифікований індекс коморбідності Чарльсона для трансплантації нирки; ІМТ, індекс маси тіла; рШКФ, розрахункова швидкість клубочкової фільтрації; TH, трансплантована нирка.*

Отже, дотрансплантаційні індекси мають найбільшу цінність для алокації, інформування пацієнта та формування початкового профілю ризику. Водночас вони не враховують ішемічно-реперфузійного пошкодження, ранню динаміку креатиніну, відторгнення, інфекції, нефротоксичність або прихильність до імуносупресії. Саме тому після трансплантації вихідний ризик має бути переглянутий з урахуванням нових клінічних даних.

2. Ранній післятрансплантаційний період: оцінка функції трансплантата та ризику ВФТ. У перші дні після трансплантації рівень креатиніну може суттєво коливатися, тому стандартні формули розрахункової швидкості клубочкової фільтрації (рШКФ) не завжди точно відображають реальну фільтраційну функцію трансплантованої нирки [17]. На цьому етапі важливі не лише абсолютні

значення креатиніну, а й темп їх зниження, діурез, потреба в діалізі, ультразвукові ознаки перфузії та наявність факторів ішемічного або гемодинамічного ушкодження [17, 18].

ВФТ є інтегральним проявом раннього пошкодження трансплантата. Вона може відображати комбінацію донорських характеристик, часу холодової ішемії, реперфузійного пошкодження, гемодинаміки реципієнта, імунологічних подій та локальної практики призначення діалізу [3]. Тому її прогнозування не слід зводити лише до одного калькулятора; більш коректним є поєднання дотрансплантаційного ризику, ранньої лабораторної динаміки та клінічного контексту [3, 19-21]. Найуживаніші інструменти ранньої оцінки наведено в табл. 2

Таблиця 2

Інструменти ранньої оцінки функції трансплантата і ризику ВФТ

Інструмент	Час застосування	Що показує	Практична інтерпретація / джерело
CKD-EPI 2021 / рШКФ	Після стабілізації креатиніну; рутинний моніторинг.	Оцінку фільтраційної функції без расової поправки.	Базовий показник функції, але в ранні дні після операції потребує обережності через нестационарний креатинін [22].
CRR2	1-2 доба після трансплантації.	Відносне зниження креатиніну на 2-гу добу: $[(Cr1-Cr2)/Cr1] \times 100\%$.	Вищий CRR2 свідчить про швидше відновлення функції; низький CRR2 підвищує настороженість щодо ВФТ або повільної функції трансплантата [23].
KeGFR	Ранній період при нестабільному креатиніні.	Кінетичну оцінку ШКФ з урахуванням швидкості зміни креатиніну.	Корисний, коли стандартна рШКФ не відображає реальну фільтрацію; може краще прогнозувати повільну функцію трансплантата [18].
Irish DGF model	Періопераційно, переважно для померлого донора.	Ризик потреби в діалізі протягом першого тижня після трансплантації.	Дозволяє стратифікувати ризик ВФТ на момент трансплантації; залежить від визначення ВФТ і локальної діалітичної практики [19].
Клініко-лабораторні номограми ВФТ	Періопераційно або ранньо після операції.	Комбінацію донорських, реципієнтських, лабораторних та ішемічних предикторів.	Можуть мати добру дискримінацію в когортах розробки, але потребують зовнішньої валідації перед локальним використанням [20].
DGFS	Періопераційно.	Час холодової ішемії, вік і креатинін донора, ІМТ реципієнта, індукційну терапію.	Проста клінічна шкала для прогнозу та менеджменту ВФТ після трансплантації від померлого донора [21].
RI за доплерографією	Перші дні та при підозрі на порушення перфузії.	Судинний опір у внутрішньониркових артеріях: (PSV-EDV)/PSV.	Допоміжний неінвазивний показник; залежить від трансплантата і системної гемодинаміки реципієнта [24, 25].

Скорочення: *ВФТ*, відтермінована функція трансплантата; *DGF*, delayed graft function, відтермінована функція трансплантата; *DGFS*, Delayed Graft Function Score, шкала ризику відтермінованої функції трансплантата; *CRR2*, creatinine reduction ratio on day 2, співвідношення зниження креатиніну на 2-гу добу; *KeGFR*, kinetic estimated glomerular filtration rate, кінетична розрахункова швидкість клубочкової фільтрації; *RI*, resistive index, індекс резистентності; *PSV*, peak systolic velocity, пікова систолічна швидкість; *EDV*, end-diastolic velocity, кінцева діастолічна швидкість; *рШКФ*, розрахункова швидкість клубочкової фільтрації; *Cr*, креатинін; *ТН*, трансплантована нирка, *ІМТ*, індекс маси тіла.

Одним із перших практичних веб-інструментів для оцінки ризику ВФТ була модель Irish et al. [19], реалізована як онлайн-калькулятор DGF risk calculator. Вона базується на донорських, реципієнтських і трансплантаційних характеристиках та може застосовуватися для орієнтовної оцінки ризику ВФТ у реципієнтів нирки від померлого донора на момент трансплантації.

На практиці раннє прогнозування доцільно проводити в три кроки. Перший — визначити вихідний ризик за характеристиками донора, реципієнта й трансплантаційної процедури. Другий — простежити ранню динаміку креатиніну та діурезу, не переоцінюючи одиничне значення рШКФ. Тре-

тій — зіставити лабораторну динаміку з клінічними ознаками перфузії, потребою в діалізі та результатами ультразвукового дослідження [19, 26]. Такий підхід зменшує ризик механічного застосування калькуляторів поза контекстом.

3. Перший рік після трансплантації: сурогатні маркери та субклінічне пошкодження. Після раннього післяопераційного періоду акцент переходить від факту відновлення діурезу до стабільності функції трансплантата. Найбільш доступними показниками залишаються рШКФ і протеїнурія [27, 28]. Їх перевага полягає в простоті та відтворюваності, а головне обмеження — у відсутності етіологічної специфічності: зниження рШКФ або

поява протеїнурії не дозволяють самостійно відрізнити хронічне відторгнення, нефротоксичність, рекурентне захворювання, судинні порушення або інші причини дисфункції [28, 29]. Саме тому протягом першого року рутинні функціональні маркери бажано інтерпретувати разом із клінічними подіями, імунологічним профілем і, за показаннями, морфологією трансплантата. Дослідження показали, що функція трансплантата протягом першого року, 3-місячна рШКФ і протеїнурія, а також події

першого року мають прогностичне значення для довгострокової виживаності трансплантата [30, 31].

Інструменти цього етапу подано в табл. 3. Вони не конкурують між собою: рШКФ і протеїнурія є широкодоступними скринінговими маркерами, 1-year Renal Biopsy Index (1-RBI) допомагає відібрати пацієнтів для протокольної біопсії, а Banff-індекси уточнюють морфологічний тип і хронічність пошкодження.

Таблиця 3

Інструменти першого року після трансплантації

Інструмент	Клінічна задача	Сильні сторони	Обмеження / джерело
3-місячна та 12-місячна рШКФ	Первинна оцінка довгострокового функціонального ризику.	Доступна, серійна, легко інтегрується в амбулаторний моніторинг.	Не вказує механізм ушкодження; потребує аналізу траєкторії та клінічних подій [30, 31].
Протеїнурія / альбумін-креатинін сечі	Виявлення підвищеного ризику хронічної дисфункції.	Доповнює рШКФ і може вказувати на гломерулярний або хронічний компонент ушкодження.	Не є специфічною для конкретної причини; потребує морфологічної або імунологічної верифікації за показаннями [29].
1-RBI	Відбір пацієнтів для 1-річної протокольної біопсії.	Дозволяє перейти від біопсії "для всіх" до ризик-орієнтованого підходу.	Не є прямою моделлю втрати трансплантата; прогнозує ймовірність значущих гістологічних уражень [32].
Banff-індекси активності та хронізації	Кількісна інтерпретація морфологічного ушкодження.	Відокремлюють активне запалення від хронічного фіброзно-судинного компонента.	Потребують якісного біоптату, стандартизованої патології та клініко-лабораторної кореляції [33].

Скорочення: 1-RBI, 1-year Renal Biopsy Index, індекс показань до біопсії ниркового трансплантата через 1 рік.; рШКФ — розрахункова швидкість клубочкової фільтрації.

Загалом, перевага першого року полягає в тому, що клініцист вже має не лише стартовий ризик, а й реальну відповідь трансплантата на ішемічне, імунологічне й терапевтичне навантаження. Тому цей період є ключовим для переходу від статичних дотрансплантаційних індексів до композитного прогнозу.

4. Моделі після першого року: композитний і динамічний прогноз. Після 12 місяців від трансплантації накопичується достатньо інформації для більш індивідуалізованого прогнозу: серійні

значення креатиніну та рШКФ, протеїнурія, епізоди гострого відторгнення, донорспецифічні антитіла, гістологія, госпіталізації та зміни імуносупресії [34, 35]. Саме тому моделі цього етапу мають більший клінічний сенс, ніж одноразова дотрансплантаційна оцінка.

Композитні моделі поєднують кілька доменів ризику: функціональний, імунологічний, морфологічний і клінічний. Динамічні моделі додатково оновлюють ризик при появі нових даних [34]. Основні інструменти наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Моделі середньо- та довгострокового прогнозу втрати трансплантата

Модель / інструмент	Часова точка	Ключові дані	Клінічна роль / джерело
Shabir score / композитні ризикові шкали	Переважно 1 рік після трансплантації.	Клінічні та лабораторні дані першого року.	Оцінка 5-річного ризику втрати трансплантата; корисна як історичний і методологічний крок до інтегральних моделей [36, 37].
KTFS	1 рік після трансплантації.	До- і післятрансплантаційні клініко-біологічні фактори.	Стратифікація середньострокового ризику; може допомагати планувати частоту спостереження після першого року [38].

Продовження таблиці 4

Модель / інструмент	Часова точка	Ключові дані	Клінічна роль / джерело
AdGFS	Після першого року з подальшим оновленням.	Донорський вік, креатинін, протеїнурія, кластери креатиніну, ДСА, гостре відторгнення.	Умовно-динамічна модель, що дозволяє змінювати прогноз при появі de novo ДСА або гострого відторгнення [39, 40].
DynPG	Після першого року та при повторних візитах.	Поздовжні вимірювання креатиніну, гостре відторгнення, клінічна історія.	Індивідуальний динамічний прогноз довгострокової втрати трансплантата [41].
Сучасні динамічні моделі функції та відмови трансплантата	1-5 років прогнозного горизонту.	Донорські, реципієнтські, трансплантаційні та післятрансплантаційні дані, рШКФ, госпіталізації, відторгнення.	Оновлюваний прогноз майбутньої рШКФ і ризику відмови; потребує локальної валідації та повних поздовжніх даних [42].
iBox	6-24 місяці або інша стандартизована точка оцінки.	рШКФ, протеїнурія, ДСА, гістологія, час від трансплантації.	Найбільш зріла інтегрована модель для прогнозу ризику втрати трансплантата; має зовнішні валідації та регуляторну оцінку як вторинна кінцева точка [43-46].
KFRE у реципієнтів ТН	Хронічна дисфункція трансплантата, особливо низька рШКФ.	Вік, стать, рШКФ, альбумін/креатинін сечі.	Допоміжний інструмент для прогнозу ризику ниркової недостатності трансплантата; потребує обережності та рекалібрування в окремих популяціях [47-49].

Скорочення: *AdGFS*, *Adjustable Graft Failure Score*, коригована шкала ризику втрати трансплантата; *DynPG*, *dynamic prediction of graft loss*, динамічна модель прогнозування втрати трансплантата; *iBox*, інтегрована прогностична система оцінки ризику втрати ниркового трансплантата; *KFRE*, *Kidney Failure Risk Equation*, рівняння ризику ниркової недостатності; *KTFS*, *Kidney Transplant Failure Score*, шкала ризику втрати ниркового трансплантата; *ДСА*, донорспецифічні антитіла; *ВФТ*, відтермінована функція трансплантата; *ТН*, трансплантована нирка.

Серед наведених інструментів *iBox* має найширшу доказову базу для інтегрованого прогнозу, оскільки поєднує функціональні, імунологічні та гістологічні домени [43-45]. Його практична сила одночасно є і обмеженням: модель найбільш інформативна за наявності якісних даних донорспецифічних антитіл та біопсії, що не завжди доступні в однаковому обсязі в різних центрах.

KFRE слід розглядати окремо. Це рівняння було створене для прогнозування ниркової недостатності при хронічній хворобі нирок, однак його перевіряли в популяціях реципієнтів трансплантованої нирки. У пацієнтів із хронічним зниженням рШКФ воно може бути корисним для комунікації ризику, планування повторного листингу або підготовки до замісної ниркової терапії, але не повинно замінювати трансплантаційно-специфічні моделі [47-49].

5. Моделі машинного навчання. Моделі машинного навчання розглядаються як перспективний напрям прогнозування функції та виживаності ниркового трансплантата, оскільки вони здатні працювати з великими, неоднорідними та поздовжніми масивами даних [50, 51]. На відміну від класичних шкал, які зазвичай використовують обмежену кількість заздалегідь визначених предикторів, алгоритми машинного навчання можуть одночасно враховувати демографічні характеристики донора і реципієнта, параметри алокації,

HLA-невідповідності, донорспецифічні антитіла, лабораторні траєкторії, дані біопсії, госпіталізації, інфекційні ускладнення, епізоди відторгнення та зміни показників у часі [51, 52].

Потенційна перевага таких моделей полягає не лише в автоматичній обробці великої кількості змінних, а й у здатності виявляти нелінійні зв'язки та складні взаємодії між факторами ризику [51, 52]. Це особливо важливо в трансплантології, де довгостроковий прогноз формується не одним показником, а комбінацією вихідної якості донорського органа, імунологічного ризику, ранніх післяопераційних подій, динаміки рШКФ, протеїнурії, морфологічних змін і відповіді на імуносупресивну терапію [52-54]. Тому моделі машинного навчання можуть бути корисними для прогнозування ВФТ, гострого відторгнення, зниження рШКФ, втрати трансплантата, смерті реципієнта та комбінованих кінцевих точок [53, 54].

Найчастіше в дослідженнях використовують алгоритми логістичної регресії з регуляризацією, випадкові ліси, градієнтний бустинг, опорні векторні машини, нейронні мережі та ансамблеві моделі [51]. У практичному сенсі найбільш перспективними є не ізольовані «чорні скриньки», а моделі, які можуть оновлювати ризик при кожному новому візиті, інтегруватися з електронною медичною документацією та надавати лікарю зрозуміле пояснення основних чинників ризику для

конкретного пацієнта. Саме такий підхід потенційно наближає прогнозування до персоналізованого післятрансплантаційного супроводу.

Проте слід зазначити, що висока дискримінаційна здатність моделі у внутрішній вибірці не означає її автоматичної клінічної придатності. Для впровадження алгоритму в практику важливо довести, що він зберігає точність у зовнішніх когортах, є добре відкаліброваним, не містить витоку даних, має зрозумілу клінічну інтерпретацію та реально змінює рішення лікаря: частоту моніторингу, показання до біопсії, потребу в поглибленому імунологічному обстеженні, корекцію імуносупресії або планування повторного листингу [51-54].

Систематичні огляди моделей прогнозування в трансплантології свідчать, що багато інструментів машинного навчання поки мають методологічні обмеження: недостатню зовнішню валідацію, неповне звітування, різні визначення кінцевих точок, гетерогенність популяцій і обмежену оцін-

ку клінічної корисності [52, 53]. Тому під час розробки, опису та оцінювання нових прогностичних моделей доцільно дотримуватися сучасних методологічних стандартів. Зокрема, TRIPOD+AI визначає, які дані потрібно прозоро подати в публікації про модель, а PROBAST+AI допомагає оцінити ризик систематичної помилки та можливість застосування моделі в іншій клінічній популяції [55, 56].

Отже, моделі машинного навчання не слід розглядати як заміну клінічного мислення або валідованих класичних шкал. На сучасному етапі їх основна цінність полягає у розвитку динамічного, багатофакторного та персоналізованого прогнозування, за умов належної зовнішньої валідації, прозорого звітування та підтвердженої користі для клінічного рішення. Основні методологічні застереження щодо інтерпретації прогностичних інструментів узагальнено в табл. 5.

Таблиця 5

Основні обмеження прогностичних інструментів і вимоги до інтерпретації

Група інструментів	Типове обмеження	Практична інтерпретація
KDRI/KDPI/ EPTS/LKDPI	Залежать від референтної популяції та алокаційного контексту; не враховують подальші клінічні події.	Використовуються лише для вихідної дотрансплантаційної стратифікації ризику. Не відображають фактичну функцію трансплантата після операції та мають доповнюватися післяопераційними даними [9-12].
DGF-калькулятори	ВФТ часто визначають через потребу в діалізі, що залежить від локальної практики.	Результат слід інтерпретувати з урахуванням типу донора, тривалості холодової ішемії, периопераційного стану реципієнта та локальних критеріїв призначення діалізу [19-21].
рШКФ і протеїнурія	Висока доступність, але низька етіологічна специфічність.	Зниження рШКФ або поява протеїнурії вказують на підвищений ризик, але не визначають причину пошкодження. Ці показники слід використовувати як підставу для поглибленої діагностики, а не як самостійний діагноз [30, 31].
Біопсійні та ДСА-залежні моделі	Потребують стандартизованої морфології, імунології та якості зразка.	Прогноз є надійним лише за умов коректної часової точки біопсії, стандартизованого Banff-оцінювання та доступності валідованих імунологічних тестів [31-33].
iBox/AdGFS/DynPG	Висока інформативність, але потреба у повних поздовжніх даних.	Доцільні для індивідуалізованої стратифікації ризику, але перед застосуванням потрібно оцінити, чи всі необхідні змінні реально доступні та чи відповідає локальна популяція когорти розробки або валідації моделі [39-46].
KFRE	Створено для ХНН; у реципієнтів ТН може потребувати рекалібрування.	Може бути допоміжним інструментом при хронічній дисфункції трансплантата, особливо за низької рШКФ, але не має використовуватися як універсальний стандарт прогнозування втрати трансплантата [47-49].
AI/ML-моделі	Ризик перенавчання, непрозорість, неоднорідність даних, недостатня зовнішня валідація.	Клінічну придатність слід оцінювати не лише за AUC, а й за калібруванням, зовнішньою валідацією, інтерпретованістю та здатністю змінювати клінічне рішення; звітування бажано проводити за TRIPOD+AI, а ризик зміщення оцінювати за PROBAST+AI [52, 55, 56].

Скорочення: *AI*, artificial intelligence, штучний інтелект; *ML*, machine learning, машинне навчання; *TRIPOD+AI*, Transparent Reporting of a multivariable prediction model for Individual Prognosis Or Diagnosis with Artificial Intelligence; *PROBAST+AI*, Prediction model Risk Of Bias ASsessment Tool with Artificial Intelligence; *AUC*, area under the receiver operating characteristic curve, площа під ROC-кривою; *C-index*, concordance index, індекс конкордації; *ROC*, receiver operating characteristic curve, характеристична крива приймача; *EHR*, electronic health records, електронні медичні записи; *ТН*, трансплантована нирка; *ХНН*, хронічна хвороба нирок.

6. Онлайн-калькулятори та практичний алгоритм застосування. Для клініциста важливо відзняти прогностичну модель, описану в літературі, від інструмента, який можна реально застосувати в клінічній практиці. Частина моделей має відкриті веб-реалізації або інтерактивні платформи, що полегшує їх використання біля ліжка пацієнта, під час амбулаторного спостереження або плануванні частоти моніторингу [43, 57]. Найбільш практично доступними є калькулятори KDPI та EPTS, DGF-калькулятори, платформа DIVAT для DGFS, KTFS і 1-RBI, динамічна модель DунPG та система iBox. У той же час, наявність веб-інтерфейсу не означає автоматичної придатності моделі для будь-якої клінічної популяції: перед використанням слід врахувати популяцію розробки, кінцеву точку, часову точку оцінювання, повноту предикторів і наявність зовнішньої валідації.

Офіційні калькулятори KDPI та EPTS належать до дотрансплантаційних інструментів. KDPI використовується для оцінки профілю донорської нирки, тоді як EPTS характеризує очікувану після-трансплантаційну виживаність кандидата у реципієнти [9-11]. У системі алокації ці показники мають різне клінічне значення: KDPI описує донорський орган, а EPTS – очікувану користь трансплантації для конкретного кандидата. Офіційні ресурси OPTN/HRSA дають змогу розраховувати ці показники для фактичного або гіпотетичного донора/кандидата.

Серед європейських онлайн-інструментів окреме місце займає КТОР (Kidney Transplant Outcome Prediction), розроблений на основі даних Eurotransplant для трансплантацій нирки від померлих донорів зі смертю мозку. КТОР дозволяє прогнозувати ризик смерті реципієнта, втрати трансплантата та смерті з функціонуючим трансплантатом [58, 59]. Базовий калькулятор використовує лише характеристики реципієнта й може застосовуватись до визначення конкретного донора, тоді як експертний калькулятор додатково врахо-

вує донорські та трансплантаційні параметри, зокрема холодкову ішемію, HLA-сумісність і повторність трансплантації.

Дія оцінки ризику відтермінованої функції трансплантата доступні кілька інструментів. Класична модель Irish et al. була реалізована як веб-калькулятор ризику DGF і може застосовуватись для орієнтовної оцінки ризику відтермінованої функції трансплантата у реципієнтів нирки від померлого донора [19]. Більш компактним прикладним інструментом є DGFS на платформі DIVAT, який визначає ризик відтермінованої функції як потребу щонайменше в одному сеансі діалізу після трансплантації.

Після першого року після трансплантації практичне значення мають інструменти для стратифікації середньо- та довгострокового ризику. KTFS, доступний на платформі DIVAT, розраховується через 1 рік після трансплантації та призначений для оцінки середньострокового ризику втрати трансплантата з поверненням на діаліз [38]. На цій самій платформі доступний 1-RBI, який використовується для прогнозування ризику значущих гістологічних уражень у біоптаті ниркового трансплантата через 1 рік після операції.

Динамічні калькулятори відрізняються від статичних тим, що дозволяють оновлювати прогноз при накопиченні нових даних. DунPG є прикладом такої моделі: вона призначена для індивідуального динамічного прогнозування довгострокової втрати трансплантата та може оновлювати оцінку ризику під час повторних візитів [40-43]. iBox, у свою чергу, є найбільш зрілою інтегрованою системою прогнозування ризику втрати ниркового трансплантата, яка поєднує функціональні, імунологічні та гістологічні показники і генерує індивідуалізований прогноз на 3, 5 і 7 років після оцінювання [46].

Основні онлайн-калькулятори та веб-інструменти, які можуть бути використані в клінічній практиці, наведено у табл. 6.

Таблиця 6

Онлайн-калькулятори та практична доступність прогностичних інструментів

Калькулятор / ресурс	Часова точка застосування	Що оцінює	Практична роль	Онлайн-доступ
KDPI calculator	До трансплантації	Профіль донорської нирки від померлого донора	Оцінка вихідної якості донорського органа та очікуваної довговічності трансплантата	https://www.hrsa.gov/optn/data-calculators/allocation-calculators/kdpi-calculator
EPTS calculator	До трансплантації	Очікувану післятрансплантаційну виживаність кандидата	Допоміжний інструмент для оцінки очікуваної користі трансплантації для реципієнта	https://www.hrsa.gov/optn/data-calculators/allocation-calculators/epts-calculator
Irish DGF calculator	Періопераційно	Ризик відтермінованої функції трансплантата	Орієнтовна оцінка ризику ВФТ у реципієнтів нирки від померлого донора	http://www.transplantcalculator.com/DGF

Продовження таблиці 6

Калькулятор / ресурс	Часова точка застосування	Що оцінює	Практична роль	Онлайн-доступ
DGFS, DIVAT	До або на момент трансплантації	Ризик відтермінованої функції трансплантата	Клінічна стратифікація ризику ВФТ і планування раннього моніторингу	https://www.divat.fr/en/online-calculators/dgfs
1-RBI, DIVAT	Через 1 рік після трансплантації	Ризик значущих гістологічних уражень у біопаті	Ризик-орієнтований відбір реципієнтів на протокольну біопсію	https://www.divat.fr/en/online-calculators/one-rbi
KTFS, DIVAT	Через 1 рік після трансплантації	Середньостроковий ризик втрати трансплантата	Планування частоти спостереження після першого року	https://www.divat.fr/en/online-calculators/ktfs
DynPG	Після 1 року та при повторних візитах	Динамічний прогноз довгострокової втрати трансплантата	Оновлення індивідуального прогнозу при накопиченні нових клінічних даних	https://shiny.idbc.fr/DynPG
iBox	Переважно 6–24 місяці або інша стандартизована точка оцінки	Ризик втрати трансплантата на 3, 5 і 7 років	Інтегрована оцінка ризику з урахуванням функціональних, імунологічних і гістологічних показників	https://www.predict4health.com/ibox
TransplantScore	До або на момент трансплантації	Ризик смерті пацієнта, втрати трансплантата або комбінованого результату	Додатковий реєстровий інструмент; менш поширений у рутинній практиці порівняно з KTFS, DynPG або iBox	http://www.TransplantScore.com
КТОР	До трансплантації; після визначення донора	Ризик смерті реципієнта, втрати трансплантата та смерті з функціонуючим трансплантатом	Європейський інструмент на основі даних Eurotransplant	https://riskcalc.org/ktop/?utm_source=chatgpt.com

Скорочення: *DGF*, *delayed graft function*, відтермінована функція трансплантата; *DGFS*, *Delayed Graft Function Score*, шкала ризику відтермінованої функції трансплантата; *DIVAT*, *Données Informatisées et VALidées en Transplantation*; *EPTS*, *Estimated Post-Transplant Survival*, оціювана після трансплантаційна виживаність; *iBox*, інтегрована прогностична система оцінки ризику втрати ниркового трансплантата; *KDPI*, *Kidney Donor Profile Index*, індекс профілю донорської нирки; *KTFS*, *Kidney Transplant Failure Score*, шкала ризику втрати ниркового трансплантата; *КТОР*, *Kidney Transplant Outcome Prediction*; *1-RBI*, *1-year Renal Biopsy Index*, індекс показань до біопсії ниркового трансплантата через 1 рік; *ВФТ*, відтермінована функція трансплантата; *DynPG*, *dynamic prediction of graft loss*, динамічна модель прогнозування втрати трансплантата.

Практичне впровадження прогностичних інструментів має починатись не з вибору найскладнішої моделі, а з визначення клінічного питання, доступних даних і дії, яку має запустити результат оцінки ризику. Для кожної часової точки доцільно заздалегідь встановити, які показники збираються рутинно, який калькулятор або шкала можуть бути застосовані без додаткового навантаження на пацієнта, який поріг ризику потребує посиленого моніторингу, а коли необхідні додаткові обстеження або мультидисциплінарне обговорення. Такий підхід перетворює прогностичну модель із формального числового розрахунку на елемент клінічного протоколу.

Мінімальний набір даних для впровадження такого підходу має включати характеристики донора, тип донора, час холодової ішемії, рівень креатиніну донора, вік та коморбідність реципієнта, тривалість діалізу, попередні трансплантації, ранню динаміку креатиніну й діурезу, наявність ВФТ або гострого відторгнення, серійні показники рШКФ і протеїнурії, дані про донорспецифічні антитіла, результати біопсії за показаннями, госпіталізації та зміни імуносупресії. Якщо частина предикторів недоступна, слід обирати інструмент, який не потребує цих даних, або прямо зазначати обмеження отриманої оцінки. Клінічний маршрут застосування прогностичних інструментів до та після трансплантації нирки подано на рис. 1.

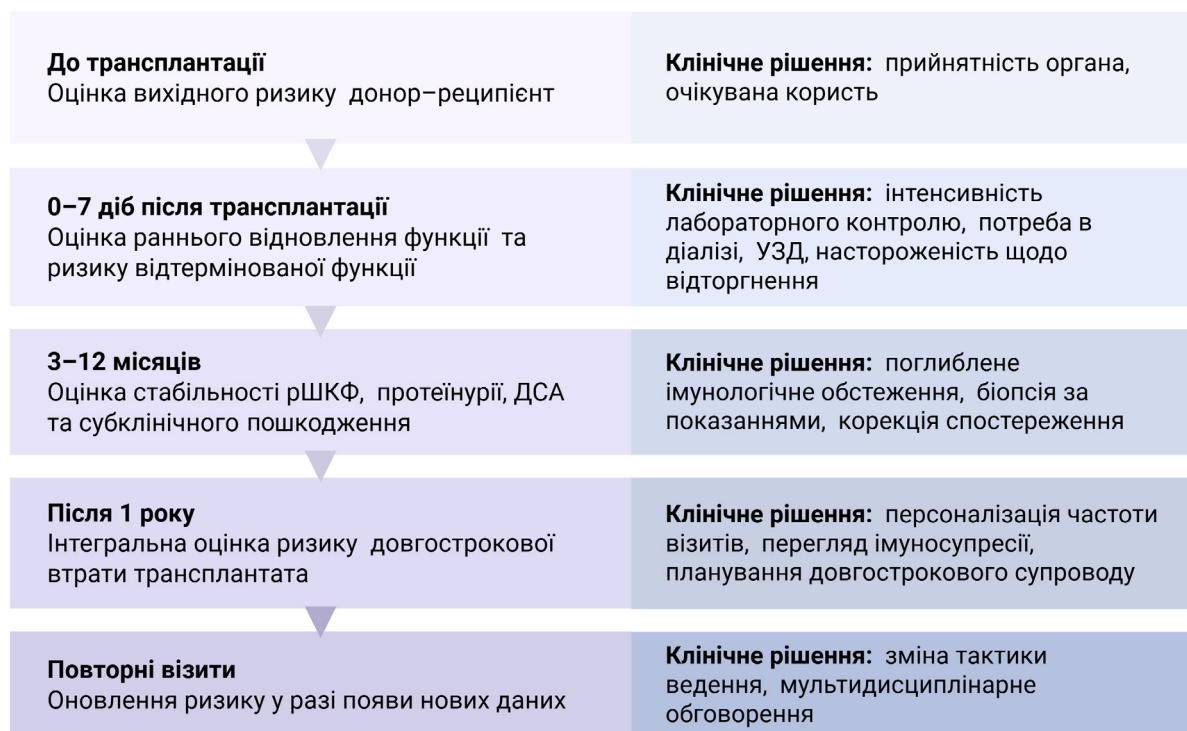


Рис. 1. Клінічний маршрут використання прогностичних інструментів до та після трансплантації нирки. Моделі та калькулятори мають застосовуватись відповідно до часової точки спостереження та клінічного питання; результат оцінки ризику повинен бути пов'язаний з конкретною дією, а не використовуватись як ізольований числовий показник.

У клінічному протоколі доцільно не лише вказувати значення ризику, а й описувати дію, яку воно запускає: частіший лабораторний контроль, ультразвукове дослідження, визначення донорспецифічних антитіл, біопсію, корекцію імуносупресії, або консультацію мультидисциплінарної команди. Саме зв'язок між прогнозом і дією робить будь-який з представлених калькуляторів корисним для практики.

Обмеження огляду та напрями подальших досліджень. Цей огляд має кілька обмежень. По-перше, він є нарративним, тому не передбачає кількісного об'єднання результатів, формальної оцінки ризику змищення для кожного дослідження та метааналізу прогностичної точності моделей. По-друге, наведені інструменти відрізняються за залученими популяціями, часовими точками застосування, визначенням кінцевих точок, набором предикторів і ступенем зовнішньої валідації, що обмежує можливість їх прямого порівняння. По-третє, частина онлайн-калькуляторів створена на основі даних певних країн, систем розподілу донорських органів або реєстрових когорт, тому їх результати не можна автоматично переносити на інші популяції реципієнтів.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на зовнішню валідацію найбільш перспективних моделей у незалежних національних і регіональних когортах, стандартизацію кінцевих точок, оцінку калібрування та визначення порогів ризику, які можуть запускати конкретні клінічні дії. Окремо-

го значення набуває розроблення динамічних моделей, що враховуватимуть повторні вимірювання рШКФ, протеїнурії, донорспецифічних антитіл, результати біопсії, госпіталізації та зміни імуносупресивної терапії.

Для України ця проблема має додаткове практичне значення, оскільки трансплантаційна програма перебуває в умовах активного розвитку, а накопичення власних довгострокових реєстрових даних щодо виживаності ниркових трансплантатів, частоти ВФТ, гострого відторгнення, імунологічних ускладнень і причин втрати трансплантата ще триває [60]. Застосування міжнародних калькуляторів у таких умовах потребує обережності, оскільки вони створені переважно на основі інших алокаційних систем, донорських профілів, клінічних протоколів і ресурсних можливостей. Тому одним із пріоритетів для України є формування якісних національних баз даних, зовнішня валідація найбільш уживаних моделей у локальних когортах та визначення практичних порогів ризику, які відповідатимуть реальним можливостям моніторингу, біопсійної діагностики, імунологічного тестування та післятрансплантаційного супроводу.

Висновки:

1. Прогностичні інструменти для оцінки функції та виживаності ниркового трансплантата слід застосовувати відповідно до часової точки після трансплантації та конкретної клінічної задачі.

2. До трансплантації найбільш корисними є KDRI/KDPI, LKDPI, EPTS та mCCI-KT; у ранньому післяопераційному періоді – динаміка креатиніну, CRR2, KeGFR, калькулятори ВФТ та RI; протягом першого року – рШКФ, протеїнурія, ДСА та біопсійні інструменти; після першого року – KTFS, AdGFS, DynPG, iVox i, в окремих ситуаціях, KFRE.
3. iVox та динамічні моделі є найбільш перспективними для індивідуалізованого довгострокового прогнозу, але їх застосування залежить від доступності якісних поздовжніх, імунологічних і морфологічних даних.
4. Моделі машинного навчання слід оцінювати не лише за дискримінаційною здатністю, а й за калібруванням, зовнішньою валідацією, прозорістю, ризиком зміщення та клінічною корисністю.
5. Жодна модель не замінює клінічного рішення. Найбільш практичним є поетапний ризик-орієнтований підхід, який поєднує рутинні маркери з валідованими моделями і переглядає ризик при появі нових даних.
6. Для України пріоритетними є накопичення якісних даних у відповідному національному реєстрі/реєстрах, зовнішня валідація найбільш уживаних міжнародних моделей у локальних когортах та визначення практичних порогів ризику, адаптованих до можливостей після-трансплантаційного моніторингу, імунологічного тестування та біопсійної діагностики.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Джерела фінансування. Дослідження не мало спеціального фінансування.

Етичне схвалення. Не вимагалось, оскільки робота є оглядом літератури та не передбачала залучення пацієнтів, використання індивідуальних клінічних даних або біологічного матеріалу.

Доступність даних. Усі дані, проаналізовані в цьому огляді, отримані з відкритих наукових публікацій та онлайн-ресурсів, наведених у списку літератури.

Інформація про внесок кожного учасника.

М. Колесник: концептуалізація, наукове керівництво, критичний перегляд і редагування рукопису, затвердження фінальної версії рукопису;

Л. Король: пошук і аналіз літературних джерел, систематизація даних, написання первинного тексту рукопису, підготовка таблиць і узагальнювальних матеріалів;

Н. Степанова: концептуалізація, пошук і аналіз літературних джерел, систематизація та візуалізація даних, критичний перегляд та редагування рукопису;

І. Шіфріс: пошук і аналіз літературних джерел, систематизація даних, участь у редагуванні рукопису.

І. Шуба: пошук і аналіз літературних джерел, систематизація даних, участь у редагуванні рукопису.

Усі автори ознайомились з остаточною версією рукопису та схвалили її до подання.

Література (References):

1. *Diebold M, Mayer KA, Hidalgo L, Kozakowski N, Budde K, Böhmig GA.* Chronic Rejection After Kidney Transplantation. *Transplantation.* 2025;109(4):610-621. doi: 10.1097/TP.0000000000005187.
2. *Provenzano M, Arena R, Gagliardi I, Hu L, Ruotolo C, Patella G, et al.* Ongoing and Novel Challenges in Kidney Transplantation: Therapeutic Approaches to Non-Immunological Risk Factors for Allograft Loss. *Life (Basel).* 2026;16(2):248. doi: 10.3390/life16020248.
3. *Kolesnyk M, Stepanova N, Korol L, Shifris I, Zograban R, Voronyak O.* Non-immunological determinants of transplanted kidney function longevity. *Ukr J Nephrol Dialys.* 2025;1(85):81-96. Ukrainian. doi:10.31450/ukrjnd.1(85).2025.10.
4. *Kaboré R, Haller MC, Harambat J, Heinze G, Leffondré K.* Risk prediction models for graft failure in kidney transplantation: a systematic review. *Nephrol Dial Transplant.* 2017;32(Suppl 2):ii68-ii76. doi:10.1093/ndt/gfw405.
5. *Naesens M, Budde K, Hilbrands L, Oberbauer R, Bellini MI, Glotz D, et al.* Surrogate endpoints for late kidney transplantation failure. *Transpl Int.* 2022;35:10136. doi:10.3389/ti.2022.10136.
6. *Josephson MA, Becker Y, Budde K, Kasiske BL, Kiberd BA, Loupy A, et al.* Challenges in the management of the kidney allograft: from decline to failure: conclusions from a Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO) Controversies Conference. *Kidney Int.* 2023;104(6):1076-1091. doi:10.1016/j.kint.2023.05.010.
7. *Milders J, Ramspek CL, Janse RJ, Bos WJW, Rotmans JJ, Dekker FW, et al.* Prognostic models in nephrology: where do we stand and where do we go from here? Mapping out the evidence in a scoping review. *J Am Soc Nephrol.* 2024;35(3):367-380. doi:10.1681/ASN.0000000000000285.
8. *Baethge C, Goldbeck-Wood S, Mertens S.* SANRA-a scale for the quality assessment of narrative review articles. *Res Integr Peer Rev.* 2019;4:5. doi:10.1186/s41073-019-0064-8.
9. *Rao PS, Schaubel DE, Guidinger MK, Andreoni KA, Wolfe RA, Merion RM, et al.* A comprehensive risk quantification score for deceased donor kidneys: the kidney donor risk index.

- Transplantation. 2009;88(2):231-236. doi:10.1097/TP.0b013e3181ac620b.
10. Organ Procurement and Transplantation Network; Health Resources and Services Administration. A guide to calculating and interpreting the Kidney Donor Profile Index (KDPI). [Internet]. 2025. Available from: https://www.hrsa.gov/sites/default/files/hrsa/optn/kdpi_guide.pdf.
 11. Organ Procurement and Transplantation Network; Health Resources and Services Administration. A guide to calculating and interpreting the Estimated Post-Transplant Survival (EPTS) score used in the kidney allocation system (KAS). [Internet]. 2025. Available from: https://www.hrsa.gov/sites/default/files/hrsa/optn/epts_guide.pdf.
 12. Massie AB, Leanza J, Fahmy LM, Chow EKH, Desai NM, Luo X, et al. A risk index for living donor kidney transplantation. *Am J Transplant.* 2016;16(7):2077-84. doi:10.1111/ajt.13709.
 13. Villeda-Sandoval CI, Ruiz-Hernandez JA, Nuñez LD, Guinto-Nishimura GY, Rivera-Ramírez JA, Magaña-Rodríguez DJ, et al. Donor/recipient age index (DoRAIn) as an independent predictor of long-term living-donor renal graft function. *Gac Med Mex.* [Internet]. 2016;152(5):582-586. Available from: <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumenI.cgi?IDARTICULO=68892>.
 14. Mahdavi A, Negarestani AM, Masoumi N, Ansari R, Salem P, Dehesh T, et al. Studying the effect of donor kidney volume ratios to recipients' body surface area, body mass index, and total body weight on post-transplant graft function. *Abdom Radiol (NY).* 2023;48(7):2361-69. doi:10.1007/s00261-023-03921-1.
 15. Park JY, Kim MH, Bae EJ, Kim S, Kim DK, Joo KW, et al. Comorbidities Can Predict Mortality of Kidney Transplant Recipients: Comparison With the Charlson Comorbidity Index. *Transplant Proc.* 2018;50(4):1068-1073. doi: 10.1016/j.transproceed.2018.01.044.
 16. Masoumi N, Ghaffari M, Asgari MA, Dadpour M. Comparison of the Charlson comorbidity index, the modified Charlson comorbidity index, and the recipient risk score in prediction of the graft and patient survival among renal graft recipients: historical cohort in a single center. *Int Urol Nephrol.* 2023;55(10):2447-2456. doi: 10.1007/s11255-023-03670-6.
 17. Raynaud M, Al-Awadhi S, Juric I, Divard G, Lombardi Y, Basic-Jukic N, et al. Race-free estimated glomerular filtration rate equation in kidney transplant recipients: development and validation study. *BMJ.* 2023;381:e073654. doi: 10.1136/bmj-2022-073654.
 18. Dash J, Verissimo T, Faivre A, Berchtold L, Berney T, Pugin J, et al. Kinetic GFR outperforms CKD-EPI for slow graft function prediction in the immediate postoperative period following kidney transplantation. *J Clin Med.* 2020;9(12):4003. doi:10.3390/jcm9124003.
 19. Irish WD, Ilesley JN, Schnitzler MA, Feng S, Brennan DC. A risk prediction model for delayed graft function in the current era of deceased donor renal transplantation. *Am J Transplant.* 2010;10(10):2279-86. doi:10.1111/j.1600-6143.2010.03179.x.
 20. Pan J, Liao G. Development and validation of nomogram for predicting delayed graft function after kidney transplantation of deceased donor. *Int J Gen Med.* 2021;14:9103-15. doi:10.2147/IJGM.S331854.
 21. Chapal M, Le Borgne F, Legendre C, Kreis H, Mourad G, Garrigue V, et al. A useful scoring system for the prediction and management of delayed graft function following kidney transplantation from cadaveric donors. *Kidney Int.* 2014;86(6):1130-39. doi:10.1038/ki.2014.188.
 22. Inker LA, Eneanya ND, Coresh J, Tighiouart H, Wang D, Sang Y, et al. New creatinine- and cystatin C-based equations to estimate GFR without race. *N Engl J Med.* 2021;385(19):1737-49. doi:10.1056/NEJMoa2102953.
 23. Rodrigo E, Ruiz JC, Piñera C, Fernández-Fresnedo G, Escallada R, Palomar R, et al. Creatinine reduction ratio on post-transplant day two as criterion in defining delayed graft function. *Am J Transplant.* 2004;4(7):1163-69. doi:10.1111/j.1600-6143.2004.00488.x.
 24. Tirtayasa PMW, Duarsa GWK, Situmorang GR, Yudianta IW, Santosa KB, Oka AAG, et al. Association between early resistive index measurement and early graft function and long-term graft survival after kidney transplantation: an evidence-based clinical review. *Acta Med Indones.* [Internet]. 2019;51(1):77-85. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31073112/>.
 25. Azzouz S, Chen A, Ekmekjian T, Cantarovich M, Baran D, Sandal S. The role of renal resistive index as a prognostic tool in kidney transplantation: a systematic review. *Nephrol Dial Transplant.* 2022;37(8):1552-65. doi:10.1093/ndt/gfac149.
 26. Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO) Transplant Work Group. KDIGO clinical practice guideline for the care of kidney transplant recipients. *Am J Transplant.* 2009;9 Suppl 3:S1-155. doi: 10.1111/j.
 27. Lazarou C, Moysidou E, Christodoulou M, Lioulios G, Sampani E, Dimitriadis C, et al. Non-Invasive Biomarkers for Early Diagnosis of Kidney Allograft Dysfunction: Current and Future Applications in the Era of Precision Medicine. *Medicina (Kaunas).* 2025;61(2):262. doi: 10.3390/medicina61020262.
 28. Nassar A, Cashman K, Rao S, Dagher M, O'Brien C, Afif J, et al. Liquid biopsy for non-invasive moni-

- toring of patients with kidney transplants. *Front Transplant.* 2023;2:1148725. doi: 10.3389/frtra.2023.1148725.
29. Jun J, Park K, Lee HS, Lee KW, Lee JE, Park JB, et al. Clinical relevance of postoperative proteinuria for prediction of early renal outcomes after kidney transplantation. *Kidney Res Clin Pract.* 2022;41(6):707-716. doi: 10.23876/j.krcp.21.246.
 30. Mottola C, Girerd N, Duarte K, Aarnink A, Giral M, Dantal J, et al. Prognostic value for long-term graft survival of estimated glomerular filtration rate and proteinuria quantified at 3 months after kidney transplantation. *Clin Kidney J.* 2020;13(5):791-802. doi:10.1093/ckj/sfaa044.
 31. Schold JD, Nordyke RJ, Wu Z, Corvino F, Wang W, Mohan S. Clinical events and renal function in the first year predict long-term kidney transplant survival. *Kidney360.* 2022;3(4):714-727. doi:10.34067/KID.0007342021.
 32. Giral M, Renaudin K, Naesens M, Luning R, Anglicheau D, Morelon E, et al. The 1-year Renal Biopsy Index: a scoring system to drive biopsy indication at 1-year post-kidney transplantation. *Transpl Int.* 2018;31(9):947-955. doi: 10.1111/tri.13290.
 33. Haas M, Mirocha J, Huang E, Najjar R, Peng A, Sethi S, et al. A Banff-based histologic chronicity index is associated with graft loss in patients with a kidney transplant and antibody-mediated rejection. *Kidney Int.* 2023;103(1):187-195. doi: 10.1016/j.kint.2022.09.030.
 34. Bakar KS, Teixeira-Pinto A, Gately R, Boroumand F, Lim WH, Wong G. Dynamic prediction of kidney allograft and patient survival using post-transplant estimated glomerular filtration rate trajectory. *Clin Kidney J.* 2024;17(11):sfae314. doi: 10.1093/ckj/sfae314.
 35. Mulugeta G, Zewotir T, Tegegne AS, Muleta MB, Juhar LH. Developing clinical prognostic models to predict graft survival after renal transplantation: comparison of statistical and machine learning models. *BMC Med Inform Decis Mak.* 2025;25(1):54. doi: 10.1186/s12911-025-02906-y.
 36. Shabir S, Halimi JM, Cherukuri A, Ball S, Ferro C, Lipkin G, et al. Predicting 5-year risk of kidney transplant failure: a prediction instrument using data available at 1 year posttransplantation. *Am J Kidney Dis.* 2014;63(4):643-51. doi: 10.1053/j.ajkd.2013.10.059.
 37. Moore J, He X, Shabir S, Hanvesakul R, Benavente D, Cockwell P, et al. Development and evaluation of a composite risk score to predict kidney transplant failure. *Am J Kidney Dis.* 2011;57(5):744-51. doi: 10.1053/j.ajkd.2010.12.017.
 38. Foucher Y, Daguin P, Akl A, Kessler M, Ladrière M, Legendre C, et al. A clinical scoring system highly predictive of long-term kidney graft survival. *Kidney Int.* 2010;78(12):1288-94. doi: 10.1038/ki.2010.232.
 39. Prémaud A, Filloux M, Gatault P, Thierry A, Büchler M, Munteanu E, et al. An adjustable predictive score of graft survival in kidney transplant patients and the levels of risk linked to de novo donor-specific anti-HLA antibodies. *PLoS One.* 2017;12(7):e0180236. doi: 10.1371/journal.pone.0180236.
 40. Labriffe M, Prémaud A, Naesens M, Thaunat O, Woillard JB, Marquet P. External validation of an easy-to-use, adjustable score for short- to long-term prediction of kidney graft failure. *Transplant Direct.* 2025;11(11):e1801. doi: 10.1097/TXD.0000000000001801.
 41. Fournier MC, Foucher Y, Blanche P, Legendre C, Girerd S, Ladrière M, et al. Dynamic predictions of long-term kidney graft failure: an information tool promoting patient-centred care. *Nephrol Dial Transplant.* 2019;34(11):1961-69. doi: 10.1093/ndt/gfz027.
 42. Yao Y, Astor BC, Yang W, Greene T, Li L. Predicting kidney graft function and failure among kidney transplant recipients. *BMC Med Res Methodol.* 2024;24(1):324. doi: 10.1186/s12874-024-02445-6.
 43. Loupy A, Aubert O, Orandi BJ, Naesens M, Bouatou Y, Raynaud M, et al. Prediction system for risk of allograft loss in patients receiving kidney transplants: international derivation and validation study. *BMJ.* 2019;366:l4923. doi: 10.1136/bmj.l4923.
 44. European Medicines Agency. Qualification opinion for the iBox Scoring System as a secondary efficacy endpoint in clinical trials investigating novel immunosuppressive medicines in kidney transplant patients. [Internet]. 2022. Available from: https://www.ema.europa.eu/en/documents/scientific-guideline/qualification-opinion-ibox-scoring-system-secondary-efficacy-endpoint-clinical-trials-investigating-novel-immunosuppressive-medicines-kidney-transplant-patients_en.pdf.
 45. Hogan J, Divard G, Aubert O, Garro R, Boyer O, Cooper LAD, et al. Validation of a prediction system for risk of kidney allograft failure in pediatric kidney transplant recipients: an international observational study. *Am J Transplant.* 2023;23(10):1561-69. doi: 10.1016/j.ajt.2023.07.004.
 46. Rampersad C, Bau JT, Orchanian-Cheff A, Kim SJ. iBox as a predictor of kidney allograft failure: a systematic review. *Am J Kidney Dis.* 2025;86(2):276-285. doi: 10.1053/j.ajkd.2024.12.007.
 47. Akbari S, Knoll G, White CA, Kumar T, Fairhead T, Akbari A. Accuracy of kidney failure risk equation in transplant recipients. *Kidney Int Rep.* 2019;4(9):1334-7. doi: 10.1016/j.ekir.2019.05.009.

48. *Chu CD, Ku E, Fallahzadeh MK, McCulloch CE, Tuot DS.* The kidney failure risk equation for prediction of allograft loss in kidney transplant recipients. *Kidney Med.* 2020;2(6):753-61.e1. doi: 10.1016/j.xkme.2020.09.004.
49. *Masoud S, Bello A, Santhakumaran S, Casula A, Maher F, Benoy-Deeney F, et al.* Kidney failure risk equation to predict kidney transplant failure in individuals with an eGFR <30 mL/min/1.73 m²: a UK Renal Registry external validation and recalibration study. *BMJ Open.* 2025;15:e101407. doi: 10.1136/bmjopen-2025-101407.
50. *Naqvi SAA, Tennankore K, Vinson A, Roy PC, Abidi SSR.* Predicting Kidney Graft Survival Using Machine Learning Methods: Prediction Model Development and Feature Significance Analysis Study. *J Med Internet Res.* 2021;23(8):e26843. doi: 10.2196/26843.
51. *Coorey CP, Sharma A, Muller S, Yang JYH.* Prediction modeling-part 2: using machine learning strategies to improve transplantation outcomes. *Kidney Int.* 2021;99(4):817-823. doi: 10.1016/j.kint.2020.08.026.
52. *Ravindhran B, Chandak P, Schafer N, Kundalia K, Hwang W, Antoniadis S, et al.* Machine learning models in predicting graft survival in kidney transplantation: meta-analysis. *BJS Open.* 2023;7(2):zrad011. doi: 10.1093/bjsopen/zrad011.
53. *van de Klundert J, Perez-Galarce F, Olivares M, Pengel L, de Weerd A.* The comparative performance of models predicting patient and graft survival after kidney transplantation: a systematic review. *Transplant Rev (Orlando).* 2025;39(3):100934. doi: 10.1016/j.trre.2025.100934.
54. *Truchot A, Raynaud M, Kamar N, Naesens M, Legendre C, Delahousse M, et al.* Machine learning does not outperform traditional statistical modelling for kidney allograft failure prediction. *Kidney Int.* 2023;103(5):936-48. doi: 10.1016/j.kint.2022.12.011.
55. *Collins GS, Moons KGM, Dhiman P, Riley RD, Beam AL, Van Calster B, et al.* TRIPOD+AI statement: updated guidance for reporting clinical prediction models that use regression or machine learning methods. *BMJ.* 2024;385:e078378. doi: 10.1136/bmj-2023-078378.
56. *Moons KGM, Damen J, Kaul T, et al.* PROBAST+AI: an updated quality, risk of bias, and applicability assessment tool for prediction models using regression or artificial intelligence methods. *BMJ.* 2025;388:e082505. doi: 10.1136/bmj-2024-082505.
57. *Clayton PA, McDonald SP, Snyder JJ, Salkowski N, Chadban SJ.* External validation of the estimated posttransplant survival score for allocation of deceased donor kidneys in the United States. *Am J Transplant.* 2014;14(8):1922-6. doi: 10.1111/ajt.12761.
58. *Coemans M, Tran TH, Döhler B, Massie AB, Verbeke G, Segev DL, et al.* A competing risks model to estimate the risk of graft failure and patient death after kidney transplantation using continuous donor-recipient age combinations. *Am J Transplant.* 2025;25(2):355-367. doi: 10.1016/j.ajt.2024.07.029.
59. *Miller G, Ankerst DP, Kattan MW, Hüser N, Vogelaar S, Tieken I, et al.* Kidney Transplantation Outcome Predictions (KTOP): A Risk Prediction Tool for Kidney Transplants from Brain-dead Deceased Donors Based on a Large European Cohort. *Eur Urol.* 2023;83(2):173-179. doi: 10.1016/j.eururo.2021.12.008.
60. *Колесник М.О., Степанова Н.М., Король Л.В., Шифріс І.М., Вороняк О.С., Кропельницький В.О., Красюк. Е.К., Коваль Т.О., Ченур Н.В.* Основи трансплантаційної нефрології К.: ТОВ «Поліграф Плюс», 2025.-252 с.:ил. ISBN 978-617-7903-27.6