

**Сергій Земсков***

Доктор філософії, доктор медичних наук, професор
Національний медичний університет ім. О. О. Богомольця
01601, бульв. Т. Шевченка, 13, м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-5039-1324>

Лариса Натрус

Доктор філософії, доктор медичних наук, професор
Національний медичний університет ім. О. О. Богомольця
01601, бульв. Т. Шевченка, 13, м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-1763-0618>

Михайло Ткаченко

Доктор філософії, доктор медичних наук, професор
Національний медичний університет ім. О. О. Богомольця
01601, бульв. Т. Шевченка, 13, м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-4210-1566>

Ірина Красюк

Кандидат медичних наук, доцент
Національний медичний університет ім. О. О. Богомольця
01601, бульв. Т. Шевченка, 13, м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-3483-5247>

Динамічна реносцинтиграфія з ^{99m}Tc -ДТПА у диференційній діагностиці гострого тубулярного некрозу та гострого відторгнення ниркового трансплантата в ранньому посттрансплантаційному періоді

Анотація

Актуальність. Трансплантація нирки є визнаним у світі стандартом лікування термінальної стадії ниркової недостатності, проте ранній післяопераційний період часто ускладнюється порушенням функції трансплантата. Найпоширенішими причинами ранньої дисфункції є гострий тубулярний некроз та гостре відторгнення, диференційна діагностика яких залишається складною через схожість клінічної симптоматики та обмеження рутинних методів моніторингу.

Мета. Описовий огляд даних щодо діагностичної точності та можливостей динамічної реносцинтиграфії з ^{99m}Tc -ДТПА у розрізненні гострого тубулярного некрозу та відторгнення трансплантата.

Матеріали та методи. Пошук релевантних публікацій проводився у міжнародних базах даних PubMed, Scopus, Web of Science та Google Scholar, охоплюючи період переважно з січня 2020 року по січень 2026 року. До аналізу було включено дослідження, що розглядали застосування скintiграфії з ^{99m}Tc -ДТПА у дорослих після алотрансплантації нирки з верифікацією діагнозу шляхом біопсії або клінічного спостереження. Оцінка ризику систематичних похибок формально не проводилась, що розглядається як обмеження даного огляду. У фінальний аналіз було включено 22 джерела. Слід враховувати, що даний огляд обмежувався аналізом англо- та україномовних публікацій, що могло вплинути на повноту охоплення світових даних.

Результати. Аналіз джерел свідчить, що ключовим критерієм скintiграфічної диференціації є оцінка співвідношення перфузії та функції трансплантата. Гострий тубулярний некроз характеризується феноменом дисоціації (збережена перфузія на тлі зниженої екскреторної функції), тоді як гостре

Приклад цитування:

Zemskov S, Natrusk L, Tkachenko M, Krasnyuk I. Dynamic renal scintigraphy with ^{99m}Tc -DTPA in the differential diagnosis of acute tubular necrosis and acute renal allograft rejection in the early post-transplant period. Med Sci Ukr. 2026;22(2):178–185. DOI: <https://doi.org/10.32345/2664-4738.2.2026.19>

*Автор-кореспондент (szemskov@yahoo.com)



відторгнення супроводжується симетричним погіршенням гемодинаміки та функції внаслідок підвищення судинного опору. Встановлено, що використання напівавтоматичних кількісних параметрів, зокрема індексів Хілсона та Кіршнера, забезпечує високу кореляцію з результатами біопсії. Згідно з даними літератури, чутливість методики сягає 98 % для діагностики гострого тубулярного некрозу та 87 % для виявлення гострого відторгнення. Економічно доступний ^{99m}Tc -DTPA залишається оптимальним агентом для рутинної оцінки перфузійних індексів навіть при зниженій функції трансплантата.

Висновки. Динамічна реносцинтиграфія з ^{99m}Tc -DTPA є ефективним неінвазивним методом діагностики, що дозволяє виявляти порушення гемодинаміки алотрансплантата на доклінічному етапі. Використання кількісних індексів перфузії дозволяє об'єктивізувати діагностичний процес, надійно розрізняти ішемічні та імунологічні ускладнення та мінімізувати необхідність проведення інвазивних втручань, сприяючи своєчасному вибору адекватної тактики лікування.

Ключові слова: швидкість клубочкової фільтрації; трансплантація нирки; функціональна візуалізація; посттрансплантаційні ускладнення; дисфункція трансплантата; відторгнення трансплантата; сцинтиграфічний моніторинг.

ВСТУП

Трансплантація нирки є найефективнішим методом лікування пацієнтів із термінальною стадією ниркової недостатності, який забезпечує значне покращення якості та тривалості життя. Незважаючи на постійне вдосконалення хірургічних технік та імуносупресивної терапії, ранній післяопераційний період часто супроводжується високим ризиком розвитку дисфункції трансплантата. Найбільш поширеними причинами такого стану є гострий тубулярний некроз та гостре відторгнення, які мають майже ідентичну клінічну маніфестацію, але потребують кардинально різних терапевтичних підходів. З огляду на це, своєчасна та точна неінвазивна диференційна діагностика цих ускладнень є критично важливою для збереження життєздатності алотрансплантата та уникнення необґрунтованих інвазивних втручань, що зумовлює високу наукову та практичну актуальність дослідження інструментів функціональної візуалізації.

Проблема ранньої діагностики посттрансплантаційних ускладнень активно вивчається провідними науковцями протягом останніх років. Зокрема, дослідники M. Strader & S. Kant [1] у своєму огляді вказують, що традиційні біомаркери, такі як сироватковий креатинін, мають обмежену чутливість та є «пізніми» індикаторами відторгнення, що зумовлює гостру потребу у впровадженні більш чутливих візуалізаційних методик. Своєю чергою, M. Ostermann *et al.* [2] підкреслили, що гостре пошкодження нирок, включно з тубулярним некрозом, залишається ключовою причиною ранньої дисфункції графта, вимагаючи негайної клінічної диференціації від імунологічних криз. Аналізуючи інструментальні методи, I. Ahmad *et al.* [3] зазначили, що рутинна доплерографія не здатна достовірно диференціювати гострий тубулярний некроз від відторгнення у ранньому післяопераційному періоді, що підтверджує недостатню специфічність ультразвукових маркерів. Водночас H. Ale Ali & P. Scherer [4] дійшли висновку, що реносцинтиграфія є надійним інструментом

для розмежування цих станів, оскільки дозволяє візуалізувати феномен дисоціації (збережена перфузія при тубулярному некрозі) на протидію симетричному зниженню гемодинаміки при відторгненні. Досліджуючи ефективність радіофармпрепаратів, D. Theerakulpisut *et al.* [5] виявили, що ^{99m}Tc -DTPA та ^{99m}Tc -MAG3 мають однаково високу прогностичну цінність, проте саме DTPA є оптимальним агентом для точної оцінки клубочкової фільтрації. Оцінюючи альтернативні лабораторні маркери, M. Oellerich *et al.* [6] визначили, що хоча рідинна біопсія (аналіз донор-специфічної безклітинної ДНК) є специфічною для відторгнення, її впровадження часто обмежене високою вартістю та логістикою, що робить радіонуклідну діагностику більш доступним рутинним інструментом. Y. Song *et al.* [7] продемонстрували, що інноваційні неінвазивні підходи, до яких належить молекулярна візуалізація, значно перевершують стандартні клінічні алгоритми у точності виявлення відторгнення на доклінічному етапі. Нарешті, український дослідник M. Nechaiev [8] довів високу клінічну значущість реносцинтиграфії для своєчасного виявлення ускладнень ниркового алотрансплантата, наголошуючи на важливості інтеграції кількісних сцинтиграфічних параметрів у щоденну практику для мінімізації потреби у проведеної пункційної біопсії.

Метою цього дослідження була систематизація та узагальнення сучасних наукових даних щодо діагностичних можливостей динамічної реносцинтиграфії з ^{99m}Tc -DTPA як ефективного інструменту для проведення неінвазивної диференційної діагностики між ішемічними та імунологічними ураженнями ниркового алотрансплантата в ранньому післяопераційному періоді.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Пошук проводився у базах даних PubMed, Scopus, Web of Science та Google Scholar за ключовими словами: «kidney transplantation», «radionuclide

imaging», «graft rejection», «kidney tubular necrosis» та включав публікації переважно у проміжку з січня 2020 року по січень 2026 року. Критерії включення: дорослі після алотрансплантації нирки (по-смертна або родинна донація), ДРСГ з ^{99m}Tc -ДТПА з аналізом отриманих даних, гістологічна верифікація (біопсія), чутливість, специфічність, точність у виявленні відторгнення трансплантованої нирки та гострого тубулярного некрозу. Критерії виключення: описи поодиноких випадків, експериментальні дослідження на тваринах, статті без повного тексту, публікації не англійською/українською мовами. Дане дослідження було сплановане та проведене як описовий (нарративний) літературний огляд. З огляду на описовий дизайн, формальна оцінка ризику систематичних похибок (наприклад, за допомогою інструментів AMSTAR) не проводилася, що є визнаним обмеженням цієї роботи. Метою було не статистичне узагальнення, а концептуальний синтез наявних підходів до диференційної діагностики.

Первинний пошук у базах даних (PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar) дозволив ідентифікувати загалом 1452 публікації. Після видалення дублікатів ($n = 385$) для подальшого скринінгу заголовків та абстрактів залишилося 1067 статей. На цьому етапі було виключено 982 роботи (як такі, що не відповідали темі дослідження, стосувалися педіатричної практики, експериментів на тваринах, або не стосувалися застосування ^{99m}Tc -ДТПА). Повні тексти 85 публікацій були детально оцінені на відповідність критеріям включення. З них 54 статті було виключено (переважно через відсутність гістологічної верифікації результатів, використання виключно тубулотропних радіофармпрепаратів або через формат опису поодиноких клінічних випадків). У фінальний якісний аналіз було включено 22 джерела, які містили валідні дані щодо використання динамічної реносцинтиграфії (ДРСГ) для диференційної діагностики післяопераційних ускладнень.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Трансплантація нирки проводиться у пацієнтів з термінальною стадією ниркової недостатності з метою продовження та поліпшення якості життя, як за допомогою відкритої хірургії, так і лапароскопічної хірургії. Перша у світі успішна трансплантація нирки датована 1954 роком, коли її виконав доктор Джозеф Мюррей [9]. Відтоді минуло багато часу, значно покращилася методологія відбору реципієнтів та донорів, їхня підготовка, проведення оперативного втручання, післяопераційне ведення пацієнтів. Однак, трансплантація нирки досі має ряд післяопераційних ускладнень, що не завжди корелюють виключно з технікою хірургічного втручання. Посттрансплантаційний період умовно

поділяється на ранній (перші три місяці) та пізній, особливу настороженість викликають саме перші місяці після трансплантації, адже в цей час існує підвищений ризик ускладнень. Серед них кровотеча, тромбоз, інфекція, стеноз артерії, лімфоцеле, уринома, стеноз сечоводу, міхурово-сечовідний рефлюкс (МСР), відторгнення (гостре, хронічне та ін), гострий тубулярний некроз тощо [10- 12].

Гострий тубулярний некроз – мультифакторіальний синдром, найчастіше викликаний ішемічними або нефротоксичними ураженнями, в основі якого лежить пошкодження клітин ниркових каналців при збереженій прохідності великих судин та характеризується швидким зниженням ШКФ і, відповідно, призводить до накопичення продуктів обміну речовин в організмі та є найпоширенішою причиною відмови трансплантата у 50 % випадків після застосування циклоспорину, особливо в ранньому післятрансплантаційному періоді [2, 13]. Гостре відторгнення – імунологічна реакція, що зазвичай стається у проміжку між декількома днями та тижнями після трансплантації, і може бути пов'язане з появою циркулюючих донорспецифічних алоантител (супроводжується імунологічними ознаками антитілопосередкованого ураження нирок, такими як гломерулів або перитубулярний капілярит) або з Т-клітинною реакцією, що характеризується лімфоцитарною інфільтрацією каналців та інтерстицію, у рідкісних випадках й інтими артерій. Гостре відторгнення протягом першого року становить приблизно 7,9 %, частота цього ускладнення нижче при трансплантації від живого донора у порівнянні з трупною донацією, що може бути пов'язаним з меншим часом холодової ішемії та кращим підбором [11]. Обидва ускладнення можуть характеризуватися неспецифічними спільними симптомами, такими як: оліго-, анурією, периферичними набряками, підвищенням артеріального тиску, лабораторно – підвищенням рівня креатиніну тощо. Іноді при гострому відторгненні можуть спостерігатися: субфебрильна температура, біль у ділянці трансплантата, загальна слабкість та міалгія, що класично не зустрічається при гострому тубулярному некрозі. Варто відмітити, що оскільки всі симптоми є неспецифічними, вони також завжди потребують проведення диференційної діагностики з іншими патологічними станами, що іноді не пов'язані безпосередньо з фактом трансплантації нирки.

Динамічна реносцинтиграфія – метод ядерної медицини, що дозволяє кількісно та якісно оцінити функцію нирок шляхом введення спеціальних радіофармпрепаратів (РФП) та полягає в динамічному спостереженні за їх розподілом від моменту внутрішньовенного введення до закінчення сканування (Рис. 1).

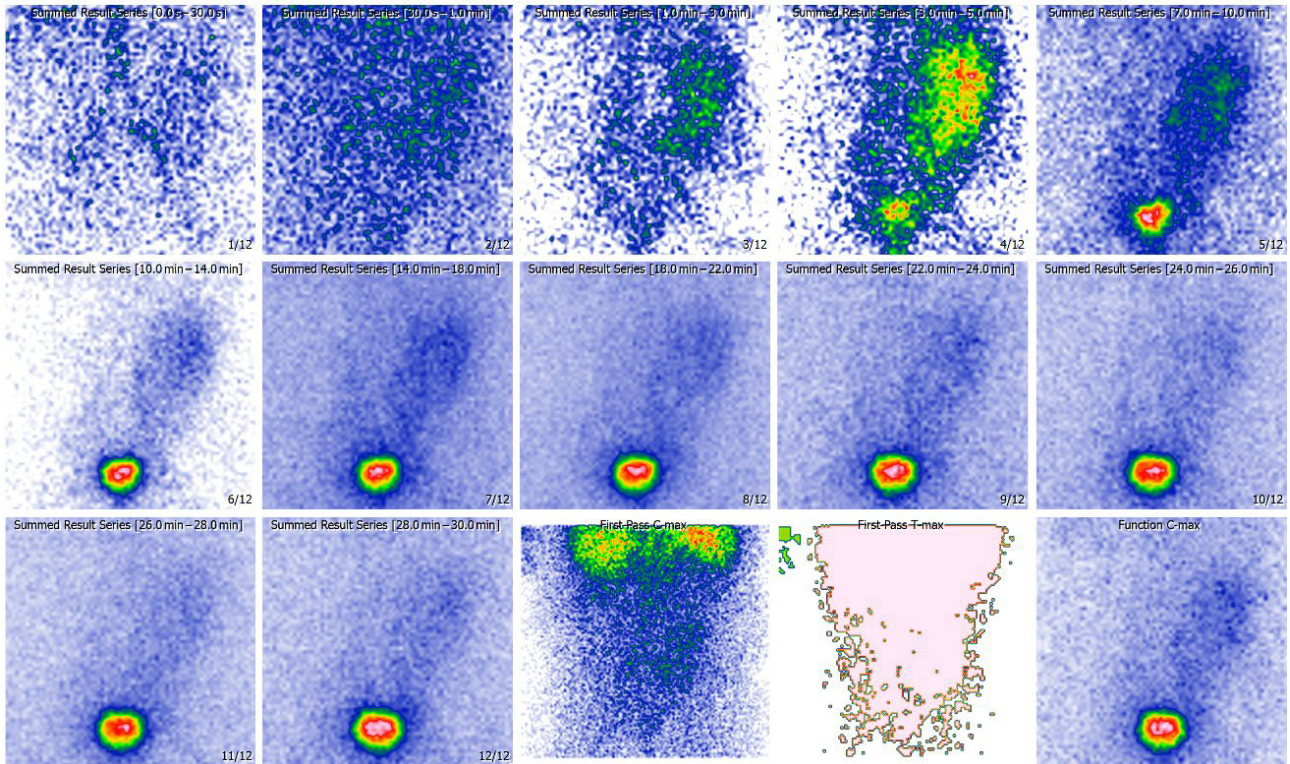


Рисунок 1. Динамічна реносцинтиграфія трансплантованої нирки

Примітки: Етапи 1-12 (верхні та середні ряди): динамічні скани сумованої активності від 0 до 30 хвилини. Етап 1 (0-30 с) відображає ангиографічну фазу перфузії трансплантата; Етапи 2-4 (30 с – 5 хв.) демонструють паренхіматозну фазу з досягненням піку клубочкової фільтрації ^{99m}Tc -ДТРА; Етапи 5-12 (7-30 хв.) характеризують екскреторну фазу з поступовим кліренсом паренхіми та накопиченням препарату в сечовому міхурі, що підтверджує відсутність уродинамічних перешкод. Етапи 13-15 (нижній ряд праворуч): параметричні карти. Етап 13 (First-Pass C-max) та Етап 14 (First-Pass T-max) відображають відповідно просторовий розподіл максимально функціонуючої паренхіми алотрансплантата

Джерело: фото авторів

У клінічній практиці широко застосовуються інструментальні та лабораторні дослідження, кожен з яких має свої переваги та недоліки у проведенні диференційної діагностики цих ускладнень. Визначення рівня сироваткового креатиніну та розрахункової швидкості клубочкової фільтрації (рШКФ) є стандартом рутинного спостереження. Однак креатинін – неспецифічний маркер, що також має «сліпе вікно» реагування після структурного пошкодження паренхіми, не дозволяючи виявити проблему миттєво [1-2, 14]. Окрім креатиніну, сучасна лабораторна діагностика пропонує ряд інших біомаркерів, таких як цистатин С, NGAL та донор-специфічна безклітинна ДНК (dd-cfDNA). Цистатин С, будучи більш чутливим маркером зниження ШКФ порівняно з креатиніном, дозволяє діагностувати дисфункцію трансплантата раніше. NGAL, у свою чергу, зарекомендував себе як ранній предиктор гострого пошкодження нирок [15]. Суттєвими обмеженнями цистатину С та NGAL є їхня не специфічність, що не дозволяє проводити диференційну діагностику. Натомість, dd-cfDNA, який також називають «рідкою біопсією», є високоспецифічним маркером активного відторгнення, особливо його гуморальних

форм. Мета-аналізи демонструють, що підвищення фракції dd-cfDNA $> 1\%$ чітко корелює з гістологічними ознаками відторгнення, тоді як при неускладненому гострому тубулярному некрозі цей показник зазвичай залишається низьким [6]. Важливою ремаркою є важкодоступність проведення аналізу рівнів NGAL та dd-cfDNA в Україні у зв'язку з їх ускладненою логістикою та високою вартістю.

УЗД (у тому числі з доплерографією) є методом першої лінії візуалізації завдяки своїй доступності та відсутності променевого навантаження і протипоказань. Метод ефективний для виявлення хірургічних ускладнень (урином, лімфоцеле та ін.) та оцінки кровотоку в магістральних судинах. Проте індекс резистентності, який використовується як маркер набряку паренхіми, є операторозалежним та неспецифічним: його підвищення спостерігається як при відторгненні, так і при гострому тубулярному некрозі, обструкції тощо [3, 12]. КТ забезпечує високу роздільну здатність отриманих зображень, забезпечуючи якісну візуалізацію анатомії трансплантата та навколишніх тканин, однак її застосування залишається обмеженим у зв'язку з частою необхідністю застосовувати контрастні речовини, які

є нефротоксичними, а також високим променевим навантаженням [16-18]. МРТ, а особливо функціональна МРТ, є безпечнішим методом візуалізації, що, у випадку останнього, усе частіше згадується в літературі, адже дозволяє отримати не лише детальне анатомічне зображення, але й відслідкувати зміни в дифузії, оксигенації, перфузії, метаболізмі та мікроструктурі трансплантата, однак його застосування є обмеженим через вартість обстеження та брак відповідних фахівців в Україні [19]. Біопсія під контролем УЗД залишається «золотим стандартом» диференційної діагностики, дозволяючи верифікувати тип відторгнення та ступінь некрозу каналців. Однак, це інвазивна процедура, пов'язана з ризиками кровотечі, утворення артеріовенозних фістул та втрати трансплантата, що обмежує її широке виконання для динамічного контролю [12, 20].

Одним з найрозповсюдженіших РФП є ^{99m}Tc -ДТПА, який складається з ізотопу технецію та діетилентріамінпентаоцтової кислоти та виводиться шляхом клубочкової фільтрації, дозволяє розраховувати швидкість клубочкової фільтрації (ШКФ), розділну функціональну та екскреторну здатності кожної нирки, виявляти порушення відтоку сечі тощо [5, 21]. Важливо відмітити, що ^{99m}Tc -ДТПА не є нефротоксичним, що дозволяє використовувати його незалежно від функціонального стану трансплантата та уникати ускладнень, що спостерігаються при проведенні інших діагностичних процедур. Згідно останніх рекомендацій Європейської асоціації з ядерної медицини (EANM), основними показаннями є: гостра та хронічна ниркова недостатність, одностороннє/двостороннє захворювання нирок (у тому числі новоутворення), обструктивна уропатія, ниркова гіпертензія, стан після трансплантації нирки, пієлонефрит та рубцювання паренхіми [4, 12].

Однією з найбільших переваг ДРСГ є відсутність спеціальної підготовки пацієнта перед обстеженням, що не потребує дотримання спеціальної дієти або режиму голодування, дозволяє зберігати достатній рівень гідратації. У пацієнтів після ниркової трансплантації основна діагностична увага приділяється диференційній діагностиці між гострим тубулярним некрозом та відторгненням трансплантата [5]. Для цього використовуються індекс Хілсона (перфузії) та індекс Кіршнера (функції) або їх модифікації [8, 22]. Індекс Хілсона (перфузії) - співвідношення площі під кривою проходження болюса по клубовій артерії (або аорті) до площі під кривою нирки (на відрізок часу до піку артеріальної кривої), що розраховується за формулою: $HI = \text{Area Arterial} / \text{Area Renal} \times 100$. Нормальним значенням вважається <150 (або $<1,5$ для модифікованих показників) [4, 22]. Індекс Кіршнера (функції) – відношення швидкості наростання активності (нахилу кривої) у нирці до швидкості наростання активності

в аорті/клубовій артерії під час першого проходження болюса (відповідає формулі: $KI = \text{Slope of the renal curve} / \text{Slope of the aortic curve}$). Індекс функції вважається нормальним, якщо його значення $>2,5$ [8, 22]. Обидва індекси довели свою практичну значущість для проведення диференційної діагностики гострого тубулярного некрозу та відторгнення алотрансплантата, де результати скінтиграфії у 86 % випадків збігалися з результатами біопсії [4-5, 22]. Гострий тубулярний некроз характеризується зниженням індексу функції, у той час як індекс перфузії залишається нормальним або дещо підвищеним, на противагу цьому при гострому відторгненні індекс Хілсона різко підвищується (>250 для класичного або $>2,5$ для модифікованого), а індекс Кіршнера різко знижується ($<1,5$) [4, 8, 22].

Проведений аналіз літературних джерел підтверджує, що диференційна діагностика ранніх ускладнень після трансплантації нирки залишається серйозним клінічним викликом, вирішення якого вимагає застосування високочутливих методик [10-11]. Ключовим результатом цього дослідження є доведення того факту, що динамічна реносцинтиграфія (ДРСГ) з ^{99m}Tc -ДТПА забезпечує ранню та об'єктивну оцінку гемодинаміки трансплантата на доклінічному етапі [14]. Порівнюючи висновки щодо доцільності рутинного застосування ДРСГ з результатами інших авторів, варто відзначити їх тісну кореляцію з даними M. Strader & S. Kant [1], які також наголошують, що традиційні маркери, такі як сироватковий креатинін, є запізними індикаторами, що реагують вже на тлі незворотних структурних змін. На противагу цьому, отримані в цьому дослідженні результати свідчать про здатність ДРСГ виявляти функціональні порушення миттєво. Водночас, оцінюючи альтернативні діагностичні маркери, M. Oellerich *et al.* [6] у своїй роботі фокусуються на високій специфічності рідинної біопсії (dd-cfDNA) для виявлення гострого відторгнення. Хоча автори проведеного дослідження погоджуються з високою діагностичною цінністю цього лабораторного тесту, аналіз показує, що в умовах обмеженого ресурсного забезпечення та складної логістики, використання доступного ^{99m}Tc -ДТПА залишається більш раціональним і швидким кроком для щоденного моніторингу.

Аналізуючи інструментальні методики візуалізації, отримані результати щодо переваг радіонуклідної діагностики повністю узгоджуються з висновками I. Ahmad *et al.* [3], які довели, що рутинна доплерографія, попри її доступність, не здатна достовірно розмежувати гострий тубулярний некроз і відторгнення через неспецифічність індексу резистентності. Натомість проведений огляд демонструє, що ДРСГ долає це обмеження завдяки візуалізації феномену дисоціації – ключової патогномонічної ознаки, де збережена перфузія

на тлі зниженої функції чітко вказує на тубулярний некроз. Крім того, на відміну від підходів, що пропагують використання КТ [16, 18], автори цієї статті наголошують на неприпустимості введення нефротоксичних контрастних речовин у ранньому післяопераційному періоді, що робить функціонально інтактний ^{99m}Tc -DTPA безальтернативним та безпечним вибором [12, 21]. Цікавим є зіставлення отриманих результатів щодо вибору радіофармпрепарату з роботою D. Theerakulpisut *et al.* [5], які встановили однаково високу прогностичну цінність як для ^{99m}Tc -DTPA, так і для тубулотропного

агента ^{99m}Tc -MAG3. Однак, на відміну від згаданих авторів, автори цього дослідження акцентують на тому, що ключовим завданням диференційної діагностики гострого відторгнення є оцінка саме гемодинамічної фази (першого проходження болюса), яка залежить від якості введення препарату, а не від механізму його екскреції. З огляду на це, автори проведеного дослідження доводять, що економічно вигідніший ^{99m}Tc -DTPA дозволяє успішно розрахувати необхідні перфузійні індекси Хілсона та Кіршнера, залишаючись препаратом вибору для рутинного скринінгу (Таблиця 1).

Таблиця 1. Порівняльна характеристика DTPA та MAG3

Препарат	DTPA	MAG3
Клас препарату	Агент клубочкової фільтрації	Агент канальцевої екскреції
Механізм	Вільно фільтрується клубочками, без канальцевої секреції	Секретується клітинами проксимальних канальців шляхом активного транспорту
Що показує	ШКФ, екскреція, роздільна функція нирок	Перфузія нирок, функція канальців, екскреція, роздільна функція нирок
Клінічне застосування	Обструктивна уропатія, післяопераційна оцінка, оцінка ниркового трансплантата	Обструктивна уропатія (надається перевага), оцінка ниркового трансплантата, стеноз ниркової артерії
Переваги	Чистий маркер ШКФ, низьке променеве навантаження	Кращий при нирковій недостатності, ефективний при обструкції
Обмеження	Неефективний при вираженій обструкції (через слабку секрецію)	Дещо вище променеве навантаження, дорожчий
Рутинна доза	1-2 мКі (37-74 МБк)	2-4 мКі (74-148 МБк)
Період напіввиведення з плазми	~100 хвилин	~15-20 хвилин
Головний висновок	DTPA - фільтрація та відтік	MAG3 - секреція та обструкція

Джерело: розроблено авторами

Нарешті, отримані дані щодо необхідності математичної об'єктивізації сцинтиграм знаходять безпосереднє підтвердження у працях H. Ale Ali & P. Scherer [4], а також у дослідженнях M. Nechaiev [8, 22]. Як і згадані автори, автори проведеного дослідження дійшли висновку, що покладання виключно на візуальну оцінку зображень є недостатнім. Лише інтеграція напівавтоматичних індексів (де індекс Хілсона >2,5 вказує на відторгнення, а збережений індекс <2,0 на тлі зниження індексу Кіршнера свідчить про тубулярний некроз) дозволяє досягти заявленої у світовій літературі чутливості до 98 % для ішемічних та 87 % для імунологічних ускладнень [4, 22]. У цілому, порівняльний аналіз підтверджує, що інноваційні неінвазивні підходи молекулярної візуалізації [7-8] здатні значно зменшити потребу в проведенні травматичної пункційної біопсії, результати якої, за даними J.M. Halimi *et al.* [20], досі супроводжуються високим ризиком ускладнень.

Отже, підсумовуючи наведені дані, можна стверджувати, що вибір конкретного радіофармпрепарату має ґрунтуватися на першочергових клінічних завданнях та загальному функціональному стані пацієнта. Незважаючи на те, що ^{99m}Tc -MAG3 демонструє беззаперечні переваги у візуалізації паренхіми за умов вираженої обструкції або критичного зниження екскреторної функції, саме ^{99m}Tc -DTPA

залишається оптимальним інструментом першої лінії для рутинного післяопераційного скринінгу. Фармакокінетичні властивості ^{99m}Tc -DTPA (як чистого маркера клубочкової фільтрації) дозволяють об'єктивно розрахувати ключові перфузійні показники, зокрема індекси Хілсона та Кіршнера, що є критично необхідним для швидкого та достовірного розмежування імунологічних (відторгнення) та ішемічних (тубулярний некроз) ускладнень. Загалом, комплексний аналіз гемодинамічних сцинтиграфічних параметрів, особливо в умовах інтеграції з новітніми лабораторними біомаркерами, формує надійний неінвазивний діагностичний алгоритм. Такий мультимодальний підхід дозволяє суттєво оптимізувати клінічний менеджмент реципієнтів у ранньому посттрансплантаційному періоді та звести до мінімуму потребу у проведенні ризикованої пункційної біопсії.

ВИСНОВКИ

1. Динамічна реносцинтиграфія з ^{99m}Tc -DTPA є ефективним неінвазивним методом діагностики, що дозволяє виявляти порушення гемодинаміки алотрансплантата на доклінічному етапі.

2. Ключовим критерієм сцинтиграфічної диференціації є оцінка співвідношення перфузії та функції трансплантата, де гострий тубулярний некроз

характеризується феноменом дисоціації (збережена перфузія на тлі зниженої екскреторної функції), тоді як гостре відторгнення супроводжується симетричним погіршенням обох показників.

3. Використання напівавтоматичних кількісних параметрів, зокрема індексів Хілсона та Кіршнера, забезпечує об'єктивізацію діагностичного процесу та високу кореляцію з результатами біопсії.

4. Високі показники чутливості та специфічності динамічної реносцинтиграфії підтверджують її статус як надійного інструменту для диференційної діагностики, що дозволяє своєчасно верифікувати ішемічні та імунологічні ураження трансплантата.

5. Застосування економічно доступного та позбавленого нефротоксичності ^{99m}Tc-DTPA мінімізує необхідність проведення інвазивних втручань та сприяє своєчасному вибору адекватної тактики лікування в ранньому післяопераційному періоді.

Обмеження. По-перше, з огляду на описовий дизайн наративного огляду, не проводилася формальна оцінка ризику систематичних похибок. По-друге, пошук джерел обмежувався аналізом виключно англо- та україномовних публікацій, що могло вплинути на повноту охоплення світових даних.

ПОДЯКИ

Немає.

ФІНАНСУВАННЯ

При підготовці цього рукопису не отримувалося цілкове фінансування від державних або приватних організацій.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Будь-які конфлікти інтересів відсутні. Автори статті не брали участі у процесі рецензування чи прийняття редакційних рішень щодо власного рукопису.

ДЖЕРЕЛА

- [1] Strader M, Kant S. Novel biomarkers for rejection in kidney transplantation: A comprehensive review. *J Clin Med*. 2025;14(15):5489. DOI: [10.3390/jcm14155489](https://doi.org/10.3390/jcm14155489)
- [2] Ostermann M, Lumlertgul N, Jeong R, See E, Joannidis M, James M. Acute kidney injury. *Lancet*. 2025;405(10474):241–56. DOI: [10.1016/S0140-6736\(24\)02385-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(24)02385-7)
- [3] Ahmad I, Yadav P, Alshammari D, Khondker A, Santos JD, Rickard M, et al. Routine doppler ultrasonography does not differentiate acute tubular necrosis and rejection in early pediatric kidney transplantation. *Pediatr Transplant*. 2025;7:e70172. DOI: [10.1111/petr.70172](https://doi.org/10.1111/petr.70172)
- [4] Ale Ali H, Scherer P. [Renal scintigraphy following kidney transplantation – ATN, rejection, and more](#). *J Nucl Med*. 2022;63(2):2668.
- [5] Theerakulpisut D, Thinkhamrop B, Anutrakulchai S. Comparison between Tc-99 m DTPA and Tc-99 m MAG3 renal scintigraphy for prediction of early adverse outcome after kidney transplantation. *Nucl Med Mol Imaging*. 2021;55(6):302–10. DOI: [10.1007/s13139-021-00716-4](https://doi.org/10.1007/s13139-021-00716-4)
- [6] Oellerich M, Budde K, Osmanodja B, Bornemann-Kolatzki K, Beck J, Schütz E, et al. Donor-derived cell-free DNA as a diagnostic tool in transplantation. *Front Genet*. 2022;13:1031894. DOI: [10.3389/fgene.2022.1031894](https://doi.org/10.3389/fgene.2022.1031894)
- [7] Song Y, Wang Y, Wang W, Xie Y, Zhang J, Liu J, et al. Advancements in noninvasive techniques for transplant rejection: From biomarker detection to molecular imaging. *J Transl Med*. 2025;23:147. DOI: [10.1186/s12967-024-05964-4](https://doi.org/10.1186/s12967-024-05964-4)
- [8] Nechaiev M. Diagnostic value of renal scintigraphy in detecting early kidney allograft complications. *Ukr J Nephrol*. 2026;1(89):25–34. DOI: [10.31450/ukrjnd.1\(89\).2026.04](https://doi.org/10.31450/ukrjnd.1(89).2026.04)
- [9] Abramyan S, Hanlon M. [Kidney transplantation](#). In: StatPearls. Treasure Island: StatPearls Publishing; 2025.
- [10] Yamanaka K, Kakuta Y, Nakazawa S, Kobayashi K, Nonomura N, Kageyama S. Surgical and infectious complications following kidney transplantation: A contemporary review. *J Clin Med*. 2025;14(10):3307. DOI: [10.3390/jcm14103307](https://doi.org/10.3390/jcm14103307)
- [11] Naik RH, Hassanein M, Shawar SH. [Acute renal transplantation rejection](#). In: StatPearls. Treasure Island: StatPearls Publishing; 2025.
- [12] Breda A, Budde K, Figueiredo A, Lledó García E, Olsburgh J, Regele H, et al. [EAU Guidelines on Renal Transplantation](#). Arnhem: EAU Guidelines Office; 2026. 58 P.
- [13] Elmi A, Arabsorkhi Mishabi M, Teymoori E, Nikbakht D, Sarraf N, Jabinian E, et al. A systematic review of the relationship between acute tubular necrosis and kidney transplantation. *J Renal Inj Prev*. 2021;10(3):e18. DOI: [10.34172/jrip.2021.18](https://doi.org/10.34172/jrip.2021.18)
- [14] Nechaiev M. Multimodal assessment of early kidney allograft complications: Role of renal scintigraphy and laboratory biomarkers. *Ukr J Nephrol Dial*. 2026;2(90):42–50. DOI: [10.31450/ukrjnd.2\(90\).2026.05](https://doi.org/10.31450/ukrjnd.2(90).2026.05)
- [15] Marakala V. Neutrophil gelatinase-associated lipocalin (NGAL) in kidney injury – a systematic review. *Clin Chim Acta*. 2022;536:135–41. DOI: [10.1016/j.cca.2022.08.029](https://doi.org/10.1016/j.cca.2022.08.029)
- [16] Modi K, Padala SA, Gupta M. [Contrast-induced nephropathy](#). In: StatPearls. Treasure Island: StatPearls Publishing; 2025.
- [17] Jones J, Bickle I. Contrast-induced acute kidney injury. Reference article, Radiopaedia.org. 2010. DOI: [10.53347/rID-10252](https://doi.org/10.53347/rID-10252)
- [18] Inoue Y. Radiation dose management in computed tomography: Introduction to the practice at a single facility. *Tomography*. 2023;9(3):955–66. DOI: [10.3390/tomography9030078](https://doi.org/10.3390/tomography9030078)
- [19] Ma J, Jiang B, Wan J, Xu R, Que C, Zhu M. Progress of functional magnetic resonance imaging in the assessment of transplanted kidney function. *Ren Fail*. 2025;47(1):2560602. DOI: [10.1080/0886022X.2025.2560602](https://doi.org/10.1080/0886022X.2025.2560602)
- [20] Halimi JM, Gatault P, Longuet H, Barbet C, Bisson A, Sautenet B, et al. Major bleeding and risk of death after percutaneous native kidney biopsies: A French nationwide cohort study. *Clin J Am Soc Nephrol*. 2020;15(11):1587–94. DOI: [10.2215/CJN.14721219](https://doi.org/10.2215/CJN.14721219)
- [21] National Center for Biotechnology Information. PubChem compound summary for CID 126480242, Technetium-99mTc-DTPA [Internet]. 2017 April 16 [cited 2026 January 4]. Available from: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Technetium-99mTc-DTPA>
- [22] Nechaiev MP. Renal scintigraphy of the transplanted kidney: Innovative approaches to monitoring and prognostic value. *Ukr J Nephrol Dial*. 2025;4(88):63–71. DOI: [10.31450/ukrjnd.4\(88\).2025.08](https://doi.org/10.31450/ukrjnd.4(88).2025.08)

Sergii Zemskov

PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor
Bogomolets National Medical University
01601, 13 T. Shevchenko Blvd., Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5039-1324>

Larysa Natrus

PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor
Bogomolets National Medical University
01601, 13 T. Shevchenko Blvd., Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1763-0618>

Mykhailo Tkachenko

PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor
Bogomolets National Medical University
01601, 13 T. Shevchenko Blvd., Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-4210-1566>

Iryna Krasnyuk

PhD in Medical Sciences, Associate Professor
Bogomolets National Medical University
01601, 13 T. Shevchenko Blvd., Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3483-5247>

Dynamic renal scintigraphy with ^{99m}Tc -DTPA in the differential diagnosis of acute tubular necrosis and acute renal allograft rejection in the early post-transplant period

Abstract

Relevance. Worldwide, people recognise kidney transplantation as the standard treatment for end-stage kidney failure. However, impaired graft function frequently complicates the early postoperative period. The most common causes of early dysfunction are acute tubular necrosis and acute rejection. These conditions are difficult to distinguish from one another because they have similar clinical manifestations and routine monitoring methods are limited.

Aim. To describe the evidence relating to the diagnostic accuracy and capabilities of dynamic renal scintigraphy with ^{99m}Tc -DTPA in distinguishing acute tubular necrosis from renal allograft rejection.

Materials and methods. To identify relevant publications, searches were conducted in the international databases PubMed, Scopus, Web of Science and Google Scholar, with a focus on the period from January 2020 to January 2026. The analysis included studies that looked at how ^{99m}Tc -DTPA scintigraphy is used in adult kidney transplant patients. This was confirmed by either a biopsy or by checking the patient's progress over time. This review is limited by the fact that no formal risk-of-bias assessment was performed. A total of 22 sources were included in the final analysis. The comprehensiveness of the global evidence included in this review may have been affected by the fact that it was limited to English- and Ukrainian-language publications.

Results. Analysis of the literature indicates that the key criterion for scintigraphic differentiation is assessing the relationship between graft perfusion and function. Acute tubular necrosis is characterised by a dissociation phenomenon, with preserved perfusion despite reduced excretory function. In contrast, acute rejection is accompanied by a parallel deterioration in haemodynamics and function caused by increased vascular resistance. Using semi-automated quantitative parameters, particularly the Hilson and Kirchner indices, has been shown to strongly correlate with biopsy findings. According to the available literature, this method has a sensitivity of 98% for diagnosing acute tubular necrosis and 87% for detecting acute rejection. Even in cases of reduced graft function, ^{99m}Tc -DTPA is the optimal radiopharmaceutical for the routine assessment of perfusion indices thanks to its cost-effectiveness.

Conclusions. Dynamic renal scintigraphy with ^{99m}Tc -DTPA is an effective non-invasive diagnostic method. It enables haemodynamic abnormalities in the allograft to be detected at the preclinical stage. Quantitative perfusion indices provide an objective basis for the diagnostic process, allow reliable differentiation between ischaemic and immunological complications, and minimise the need for invasive procedures. This facilitates the timely selection of an appropriate treatment strategy.

Keywords: glomerular filtration rate; kidney transplantation; functional imaging; post-transplant complications; graft dysfunction; graft rejection; scintigraphic monitoring.