

DOI: 10.15825/1995-1191-2025-3-88-96

АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАДИОНУКЛИДНОЙ СЦИНТИГРАФИИ И ОБЪЕМНОЙ МСКТ-ПЕРФУЗИИ ПОЧЕК ПРИ ВЫБОРЕ ДОНОРА ДЛЯ РОДСТВЕННОЙ ТРАНСПЛАНТАЦИИ ПОЧКИ

Н.М. Джураева, А.А. Давидходжаева

ГУ «Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр хирургии имени академика В. Вахидова», Ташкент, Республика Узбекистан

Цель: исследование направлено на определение корреляционной связи между показателями радионуклидной нефросцинтиграфии и объемной перфузионной компьютерной томографии (ПКТ) почек у доноров. Целью является выявление взаимозаменяемых параметров и оптимизация предоперационной диагностики раздельной функции почек. **Материалы и методы.** В исследование включены 54 донора почек (108 почек). Для оценки раздельной функции использовались радионуклидная нефросцинтиграфия с ^{99m}Tc -меркаптоацетилтриглицином (МАГЗ) и объемная ПКТ с контрастированием. Оценивались ключевые параметры нефросцинтиграфии: почечный плазмоток (RPF), время максимального накопления препарата (Tmax) и время полувыведения ($T_{1/2}$). ПКТ-анализ включал показатели артериального потока (AF), объема крови (BV), фракции экстракции (FE) и индексированной фракции экстракции (IFE). Корреляция между методами оценивалась с использованием коэффициента Пирсона и анализа Бланда–Альтмана. **Результаты.** Выявлены значимые корреляции между показателями нефросцинтиграфии и ПКТ. Установлена высокая отрицательная корреляция между Tmax и AF ($r = -0,75$, $p < 0,001$), что подтверждает связь скорости кровотока с фильтрационной способностью почек. Отрицательная корреляция между $T_{1/2}$ и FE ($r = -0,75$, $p < 0,01$) указывает на зависимость времени полувыведения препарата от фракции экстракции. Высокая положительная корреляция между RPF и IFE ($r = 0,79$, $p < 0,001$) подтверждает возможность использования индексированных параметров ПКТ для оценки почечного плазмотока. Анализ Бланда–Альтмана показал, что расхождения между методами не превышают клинически значимых пределов, что подтверждает их взаимозаменяемость. **Заключение.** Результаты исследования демонстрируют возможность частичной взаимозаменяемости нефросцинтиграфии и объемной ПКТ при предоперационной оценке доноров почек. ПКТ обеспечивает более точную оценку почечного кровотока, тогда как нефросцинтиграфия остается предпочтительным методом для анализа экскреторной функции. Совместное использование данных методов позволяет повысить точность диагностики и улучшить отбор доноров почек, обеспечивая безопасность трансплантационной программы.

Ключевые слова: раздельная функция почек, нефросцинтиграфия, объемная КТ-перфузия, донорство почки, почечная перфузия, функциональная диагностика.

Для корреспонденции: Давидходжаева Асалхон Алишеровна. Адрес: Узбекистан, 100007, Ташкент, Мирзо-Улугбекский район, ул. Паркентская, д. 8.

Тел. +998 (90) 189-14-45. E-mail: davidxodjayevaa@gmail.com

Corresponding author: Asalkhon Davidkhodjaeva. Address: 8, Parkentskaya str., Mirzo-Ulugbek district, Tashkent, 100007, Republic of Uzbekistan.

Phone: +998 (90) 189-14-45. E-mail: davidxodjayevaa@gmail.com

CORRELATION ANALYSIS OF RENAL SCAN AND VOLUMETRIC PERFUSION CT IN THE ASSESSMENT OF LIVING KIDNEY DONORS

N.M. Djuraeva, A.A. Davidkhodjaeva

Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center of Surgery, Tashkent,
Republic of Uzbekistan

Objective: to evaluate the correlation between renal scan (RSc) and volumetric multislice computed tomography (perfusion CT) in living kidney donors, with the goal of identifying interchangeable functional parameters and optimizing the preoperative assessment of split renal function. **Materials and methods.** The study included 54 living kidney donors (totaling 108 kidneys). Split renal function was assessed using RSc with 99mTc-mercaptoacetyltriglycine (MAG3) and contrast-enhanced volumetric MSCT. Key parameters from nephroscintigraphy included renal plasma flow (RPF), time to maximum tracer accumulation (T_{max}), and excretion half-life (T_{1/2}). Single-photon emission computed tomography (SPECT) analysis included arterial flow (AF), blood volume (BV), extraction fraction (FE), and indexed extraction fraction (IFE). Correlation between modalities was analyzed using Pearson's correlation coefficient and Bland-Altman plots. **Results.** Significant correlations were observed between RSc and volumetric MCT parameters. A strong negative correlation was found between T_{max} and AF ($r = -0.75$, $p < 0.001$), indicating an inverse relationship between blood flow velocity and renal filtration capacity. Similarly, T_{1/2} showed a negative correlation with FE ($r = -0.75$, $p < 0.01$), suggesting that a shorter tracer half-life corresponds to more efficient renal extraction. A strong positive correlation between RPF and IFE ($r = 0.79$, $p < 0.001$) supports the feasibility of using indexed CT perfusion as a surrogate for assessing RPF. Bland-Altman analysis showed that differences between the two diagnostic methods remained within clinically acceptable limits, confirming their potential interchangeability in preoperative donor assessment. **Conclusion.** The study demonstrates the potential for partial interchangeability between RSc and volumetric CT perfusion in the preoperative assessment of kidney donors. While CT perfusion offers superior accuracy in assessing renal blood flow, nephroscintigraphy remains the method of choice for evaluating excretory function. The combined use of both modalities improves diagnostic accuracy and kidney donor selection, thereby improving the safety of kidney transplant programs.

Keywords: split renal function, nephroscintigraphy, volumetric CT perfusion, kidney donation, renal perfusion, functional diagnostics.

ВВЕДЕНИЕ

Родственная трансплантация почки является одним из ключевых методов лечения пациентов с терминальной стадией хронической болезни почек (ХБП). Важнейшим этапом этого процесса является выбор наиболее подходящей донорской почки, что требует детальной оценки ее раздельной функции.

Раздельная функция почки – это процентный вклад каждой почки в общую функцию почечной системы, выраженный в виде доли от суммарной функциональной активности обеих почек. Оценка раздельной функции проводится с целью определения функциональной симметрии или асимметрии работы почек и является ключевым параметром при принятии решения о донорстве [1, 2].

Согласно современным клиническим рекомендациям, если разница в функциональном вкладе почек составляет менее 10%, донору оставляют почку с более высоким функциональным вкладом. В случае выявления разницы более 10%, обследуемое лицо не рекомендуется в качестве донора, поскольку значительная асимметрия функции почек может

негативно сказаться на состоянии здоровья после донорства [3, 4].

На сегодняшний день в клинической практике применяются различные методы диагностики раздельной функции почек, среди которых наиболее широко используются радионуклидная нефросцинтиграфия (РНСТ) и объемная мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) с перфузионным анализом [5, 6]. Согласно данным Grenier et al. (2015) и Zhang et al. (2017), мультиспиральная КТ позволяет оценивать почечный кровоток с высокой точностью [7, 8]. В то же время, по данным O'Connor et al. (2014), нефросцинтиграфия обеспечивает более точную оценку экскреторной функции почек, особенно у пациентов с нефропатией [9, 10].

Радионуклидная нефросцинтиграфия основана на использовании радиоактивных изотопов и позволяет оценить кинетику прохождения радиофармпрепарата через почки, анализируя такие параметры, как почечный плазмоток (RPF), время максимального накопления препарата (T_{max}) и время полувыведения (T_{1/2}) [11, 12]. В то же время МСКТ-перфузия обеспечивает детализированную информацию о кро-

воснабжении почек, позволяя оценить артериальный поток (AF), объем крови (BV) и фракцию экстракции (FE), а также индексированную фракцию экстракции (IFE), что особенно важно для учета анатомических особенностей пациентов [13, 14]. Несмотря на активное применение этих методов, остается открытым вопрос их корреляции и возможности взаимозаменяемости некоторых параметров. По данным исследований, КТ-ангиография в ряде случаев может заменить радиоизотопные методы для оценки почечного кровотока [15, 16]. Однако другие авторы указывают, что нефросцинтиграфия обеспечивает более точную оценку экскреторной функции почек у пациентов с сопутствующей патологией [17, 18]. В данной работе проводится анализ корреляционных связей между основными показателями РНСГ и МСКТ-перфузии с целью определения взаимозаменяемых параметров и оценки их клинической значимости в предоперационной диагностике доноров.

Цель: определение корреляционной связи между показателями радионуклидной нефросцинтиграфии и объемной МСКТ-перфузии почек у доноров с целью выявления взаимозаменяемых параметров и оптимизации предоперационной диагностики раздельной функции почек.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование включено 54 донора почек, что обеспечило анализ данных 108 почек. Все пациенты прошли стандартное обследование с использованием радионуклидной нефросцинтиграфии и объемной мультиспиральной компьютерной томографии с перфузионным анализом.

В исследовании для проведения радионуклидной нефросцинтиграфии использовалась гамма-камера Siemens Symbia T16, а в качестве радиофармпрепарата применялся ^{99m}Tc -меркаптоацетилтриглицин (MAG3, mercaptoacetyltriglycine). Данный препарат обладает высокой экскреторной способностью и широко используется для оценки почечного плазмотока и функции выделения.

При радионуклидной нефросцинтиграфии изучались ключевые показатели почечной функции. Время максимального накопления препарата ($T_{\max}$) определяло интервал между введением MAG3 и достижением его пикового уровня в почке, что отражало скорость фильтрации и первичное распределение вещества в корковом слое почки. Время полувыведения препарата ($T_{1/2}$) характеризовало скорость удаления MAG3 из почки и позволяло оценить эффективность экскреторной функции. Почечный плазмоток (RPF) определял объем плазмы, проходящей через почку за единицу времени, и измерялся в миллилитрах в минуту на квадратный метр площади тела.

Дополнительно для оценки относительного функционального вклада почек использовались данные нефросцинтиграфии, нормализованные по отношению к суммарному функциональному вкладу обеих почек. Данный показатель рассчитывался на основе почечного плазмотока, так как MAG3 активно выводится почками посредством канальцевой секреции, что делает его более чувствительным к изменениям почечного кровотока по сравнению с другими радиофармпрепаратами.

Использование MAG3 позволило более точно оценить экскреторную функцию почек, особенно у пациентов с возможными дисфункциями, так как его клиренс тесно коррелирует с эффективным почечным плазмотоком и канальцевой секрецией. Это делало его незаменимым методом для выявления даже незначительных отклонений в функции почек у потенциальных доноров.

Для определения относительного функционального вклада правой и левой почек использовались данные радионуклидной нефросцинтиграфии, которые нормализовались по отношению к совокупной функциональной активности обеих почек. Относительный вклад каждой почки рассчитывался на основании стандартной формулы:

$$\text{Относительный вклад почки (\%)} = \frac{\text{Функциональный параметр почки}}{\text{Суммарный функциональный параметр обеих почек}} \times 100.$$

Первоначально измерялись индивидуальные показатели нефросцинтиграфии, такие как уровень накопления препарата, скорость фильтрации или почечный плазмоток. Далее определялся общий функциональный вклад обеих почек путем суммирования соответствующих параметров правой и левой почек. На финальном этапе вычислялся относительный вклад каждой почки в процентах путем деления функциональной активности отдельной почки на общую активность и последующего умножения на 100%.

Пример расчета показывает, что если почечный плазмоток правой почки составляет 225 мл/мин, а левой 275 мл/мин, суммарное значение для обеих почек будет 500 мл/мин. Таким образом, относительный вклад правой почки составляет: $(225 / 500) \times 100 = 45\%$, а левой $(275 / 500) \times 100 = 55\%$.

Для расчета относительного вклада могут использоваться различные показатели, включая почечный плазмоток, который наиболее часто применяется, так как он отражает объем крови, проходящий через каждую почку. Дополнительными параметрами мо-

гут служить уровень накопления радиоизотопа и скорость его выведения, которые характеризуют процесс фильтрации и экскреции. Значение относительного вклада почек особенно важно при выборе донора, так как позволяет определить функциональную симметрию или выявить выраженную асимметрию, что может свидетельствовать о патологии.

Перфузионные измерения методом объемной МСКТ проводились с использованием 320-рядного спирального компьютерного томографа Aquilion One (Canon Medical Systems, Япония) с толщиной среза 0,5 мм в режиме мягкотканой реконструкции. Протокол сканирования был оптимизирован для минимизации дозы облучения: напряжение трубки составляло 100 кВ, экспозиция – 60 мАс, что было достаточно для проведения динамического исследования с максимальной шириной охвата 160 мм по оси Z. Дополнительные параметры томографии включали размеры коллиматора 0,5×320 мм, матрицы 512×512 мм, поле зрения 320–350 мм, время ротации трубки 0,275 с. Данный метод обеспечивал возможность оценки параметров почечной гемодинамики, включая артериальный поток, объем крови и фракцию экстракции, за счет контрастирования и динамического сканирования, фиксирующего изменения плотности ткани почек во времени.

Перед исследованием проводилась подготовка пациента, включающая при необходимости предварительную гидратацию для снижения риска контрастированной нефропатии. Клинический осмотр был направлен на исключение противопоказаний, таких как аллергия на йодсодержащие контрастные вещества.

Для контрастирования использовалось йодсодержащее контрастное вещество – йодогексол, с концентрацией йода 350 мг/мл. Введение осуществлялось через периферический венозный катетер с использованием автоматического инжектора со скоростью 5 мл/с. Общий объем контрастного вещества рассчитывался индивидуально, исходя из массы тела пациента, и составлял не менее 0,5 мл на килограмм.

После введения контрастного вещества выполнялась серия динамических сканов для фиксации изменений плотности почечной ткани во времени. Использовался режим сканирования с временными интервалами от 30 до 90 секунд. Толщина срезов составляла 3–5 мм, а общее число сканированных серий варьировало от 20 до 30.

Во время исследования фиксировались плотностные характеристики коркового и мозгового слоя почек, выраженные в единицах Хаунсфилда (HU), и использовались для построения временных кривых контрастирования. Постобработка данных проводилась с применением специализированного програм-

много обеспечения VITREA, которое позволяло рассчитывать ключевые показатели почечной перфузии.

Для построения перфузионных кривых и расчета параметров применялась модель Патлака. Эта модель анализирует линейную часть кривой накопления контраста, что позволяет точно определить фракцию экстракции и объем крови. Артериальный поток рассчитывался с использованием стандартной динамической модели перфузии, исходя из начальной скорости нарастания плотности.

Артериальный поток (AF, arterial flow) определялся на основании объема крови, проходящего через 100 г ткани почки за минуту, и рассчитывался по наклону начального участка кривой контрастирования. Объем крови (BV, blood volume) представлял собой общий объем циркулирующей крови в 100 мл ткани почки, что позволяло оценивать сосудистое наполнение почечной паренхимы. Фракция экстракции (FE, filtration/extraction fraction) и индексируемая фракция экстракции (IFE, indexed filtration/extraction fraction) рассчитывалась путем анализа накопления и выведения контрастного вещества, отражая эффективность почечной фильтрации.

Дополнительно рассчитывалась индексируемая фракция экстракции, которая позволяла учитывать индивидуальные анатомические особенности почек. Для ее расчета измерялся объем почечной паренхимы, в частности объем коркового слоя почки, поскольку именно в коре происходит основной процесс фильтрации и экскреции. После измерения объема коркового слоя фракция экстракции перерасчитывалась с учетом объема почечной ткани, что позволяло получить более точный и сопоставимый показатель функциональной активности почек у разных пациентов.

Индексируемая фракция экстракции обеспечивала дополнительную нормализацию показателей почечной фильтрации, позволяя нивелировать влияние различий в размере почек, особенно при сравнении функции правой и левой почек. Это особенно важно при выборе донорской почки, так как данный показатель позволял объективно оценить эффективность экскреторной функции независимо от анатомических вариаций. Полученные данные позволяли не только оценить функциональное состояние почек, но и провести анализ их относительного вклада, что особенно важно при выборе донорского органа. Выявленные корреляционные связи между показателями радионуклидной нефросцинтиграфии и объемной МСКТ-перфузии подтвердили возможность использования этих методов в комплексной диагностике почечной функции.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Корреляционный анализ проводился с использованием коэффициента корреляции Пирсона для оценки взаимосвязи между показателями радионуклидной нефросцинтиграфии (T_{max} , $T_{1/2}$, RPF) и параметрами объемной МСКТ-перфузии (AF, BV, FE, IFE). Анализ проводился для выявления линейной зависимости между параметрами, отражающими перфузионные и функциональные характеристики почек. Достоверность выявленных корреляций оценивалась на уровне значимости $p < 0,05$.

Дополнительно для оценки степени согласованности измерений между методами радионуклидной нефросцинтиграфии и объемной МСКТ-перфузии был проведен анализ Бланда–Альтмана. Данный метод использовался для сравнения различий в измерениях параметров T_{max} , $T_{1/2}$ и RPF (по данным радионуклидной нефросцинтиграфии) и AF, FE, BV (по данным МСКТ-перфузии) с целью выявления систематических отклонений и границ согласия между методами. Анализ позволил оценить степень воспроизводимости и возможность взаимозаменяемости данных, полученных разными методами исследования.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ взаимосвязи между функциональными параметрами, полученными с использованием радионуклидной нефросцинтиграфии и объемной МСКТ-перфузии, выявил значимые корреляции, подтверждающие закономерности почечной перфузии и фильтрации.

Выявлена отрицательная корреляция между временем максимального накопления препарата и артериальным потоком ($r = -0,75$, $p < 0,001$). С увеличением артериального кровотока сокращается время достижения максимальной концентрации препарата, что указывает на зависимость между интенсивностью кровоснабжения почечной ткани и скоростью ее насыщения радиоизотопом. Обнаружена отрицательная корреляция между временем полувыведения препарата и фракцией экстракции ($r = -0,75$, $p < 0,01$). Этот результат подтверждает, что увеличение фракции экстракции способствует ускоренному клиренсу (уменьшению $T_{1/2}$) контрастного вещества, тогда как снижение экстракционной способности приводит к замедлению выведения препарата.

Связь между почечным плазматоксом и индексируемой фракцией экстракции характеризуется высокой положительной корреляцией ($r = 0,79$, $p < 0,001$). Индексируемая фракция экстракции, пересчитанная на объем коркового слоя почки, демонстрирует воспроизводимость данных и позволяет более объ-

Таблица 1

Корреляционные зависимости между показателями РНСГ и МСКТ-перфузии

Correlation between RSc and MSCT perfusion indices

Показатель РНСГ	Показатель МСКТ-перфузии	Коэффициент корреляции (r)	p-value
T_{max}	AF	-0,75	$p < 0,001$
$T_{1/2}$	FE	-0,75	$p < 0,01$
RPF	IFE	0,81	$p < 0,01$

ективно оценивать фильтрационную способность органа, минимизируя влияние анатомических различий (табл. 1).

По данным анализа Бланда–Альтмана, при сравнении времени максимального накопления препарата и артериального потока границы согласия составили от -15% до +18%, при этом средняя разница между методами не превышала 3%, что допускает их взаимозаменяемость для оценки почечного кровотока при отсутствии выраженной сосудистой патологии. Сравнение времени полувыведения и фракции экстракции выявило более узкий диапазон расхождений, от -10% до +12%, что свидетельствует о высокой степени согласия между показателями. Среднее расхождение между почечным плазматоксом и индексируемой фракцией экстракции составило 1,5%, а границы согласия находились в пределах от -8% до +9%, что подтверждает их функциональную эквивалентность.

Сравнение относительного вклада почек показало, что объемная МСКТ-перфузия позволяет проводить более точную оценку. Средние значения функционального вклада правой и левой почек, по данным фракции экстракции и индексируемой фракции экстракции, составили $49,8 \pm 3,2$ и $50,2 \pm 3,4\%$ соответственно, что подтверждает симметричность функции почек у доноров. Радионуклидная нефросцинтиграфия показала большую межиндивидуальную вариабельность, что может ограничивать точность определения относительного функционального вклада (табл. 2).

Результаты исследования позволяют сделать вывод о частичной взаимозаменяемости параметров

Таблица 2

Средний относительный вклад почек по методам

Average relative contribution of kidneys by method

Метод	Правая почка (%)	Левая почка (%)	Стандартное отклонение (SD)
МСКТ-перфузия	49,8	50,2	$\pm 3,4\%$
РНСГ	48,6	51,4	$\pm 5,3\%$

нефросцинтиграфии и объемной МСКТ-перфузии. Артериальный поток может использоваться вместо времени максимального накопления препарата при оценке почечного кровотока. Фракция экстракции является эквивалентом времени полувыведения препарата при анализе клиренса. Индексированная фракция экстракции, скорректированная по объему почечной паренхимы, хорошо отражает почечный плазмоток и может заменить его в расчетах.

Корреляционные связи между параметрами нефросцинтиграфии и объемной МСКТ-перфузии подтверждают возможность их использования в комплексной диагностике почечной функции. Различия в методах обусловлены их физическими принципами, однако анализ Бланда–Альтмана показывает, что измеренные показатели согласуются в пределах клинически допустимых расхождений. Оценка относительного вклада почек по данным объемной МСКТ-перфузии является более точной, чем по данным нефросцинтиграфии, что делает данный метод предпочтительным для предоперационной оценки доноров почек.

Объемная МСКТ-перфузия обеспечивает количественную оценку почечной гемодинамики с высокой точностью. Ее ключевым преимуществом является возможность раздельного анализа функционального состояния коркового и мозгового слоя почек, а также точное определение относительного вклада каждой почки. Совмещение анатомической информации и данных о микроциркуляции делает метод особенно ценным в отборе доноров почек.

Ограничением метода остается лучевая нагрузка и необходимость внутривенного введения контрастного вещества, что требует осторожности у пациентов с высоким риском контрастиндуцированной нефропатии. Однако при соблюдении протокола подготовки и соответствующем отборе пациентов эти риски минимизируются.

Объемная МСКТ-перфузия является перспективным методом комплексной оценки почек при выборе донора для трансплантации. Высокая корреляция ее параметров с показателями нефросцинтиграфии подтверждает возможность использования метода в качестве альтернативы при анализе почечного кровотока и плазмотока.

ВЫВОДЫ

Результаты проведенного анализа данных показали, что методы радионуклидной сцинтиграфии и мультиспиральной компьютерной томографии с перфузионным анализом обладают высокой степенью корреляции по ряду ключевых показателей. Это позволяет говорить о возможности их частичной взаимозаменяемости в клинической практике.

Время максимального накопления препарата по данным РНСГ показало высокую отрицательную корреляцию с артериальным потоком по данным МСКТ-перфузии. Это означает, что данные параметры можно использовать для оценки скорости кровотока и фильтрационной способности почек (рис. 1).

Время полувыведения препарата по данным РНСГ имеет отрицательную корреляцию с фракцией

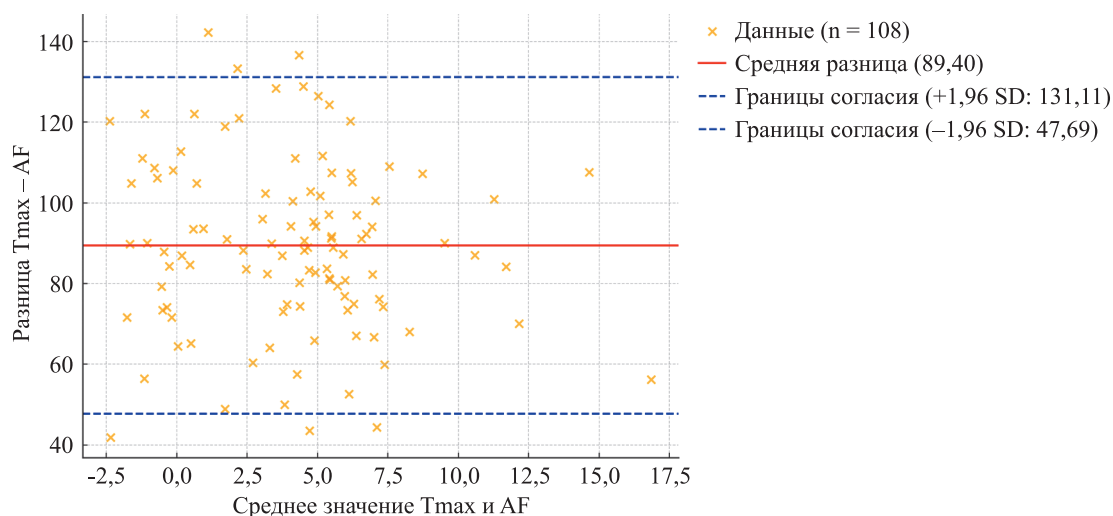


Рис. 1. Диаграмма Бланда–Альтмана: Tmax vs AF. На графике видно, что разница между Tmax и AF варьируется в пределах границ согласия, что подтверждает хорошую воспроизводимость результатов. Однако наблюдается тенденция к тому, что при увеличении AF разница увеличивается, что может указывать на индивидуальные вариации в гемодинамике почек

Fig. 1. Bland–Altman plot: Tmax vs AF. The graph shows that the difference between Tmax and AF varies within the limits of agreement, confirming good reproducibility of the results. However, there is a tendency for the difference to increase with increasing AF, which may indicate individual variations in renal hemodynamics

экстракции по данным МСКТ-перфузии. Это подтверждает, что оба параметра отражают функциональную активность почек, связанную с фильтрацией и выведением (рис. 2).

Почечный плазмоток по данным РНСГ показал сильную положительную корреляцию с объемом крови по данным МСКТ-перфузии почек, что позволяет

использовать эти параметры как эквиваленты для оценки почечной гемодинамики (рис. 3).

Разница между показателями РНСГ и МСКТ-перфузии почек находится в пределах допустимых границ согласия, что подтверждает возможность использования данных методов для оценки функции почек.

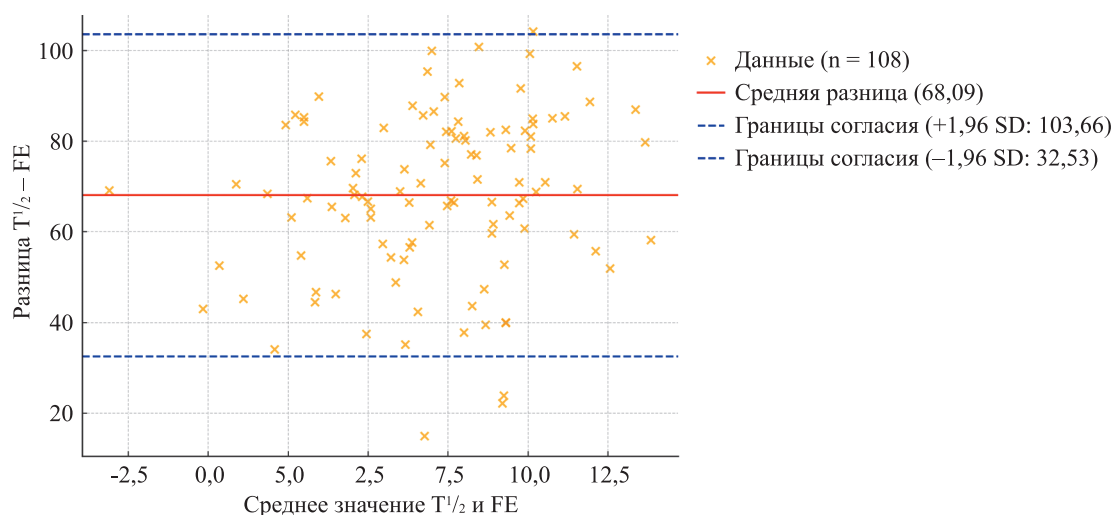


Рис. 2. Диаграмма Бланда–Альтмана: $T_{1/2}$ vs FE. Диаграмма показывает высокую степень согласованности между временем полувыведения и фракцией экстракции, так как большинство точек лежат в пределах границ согласия. Средняя разница близка к нулю, что подтверждает возможность использования FE в качестве альтернативного параметра для оценки скорости выведения вещества

Fig. 2. Bland–Altman plot: $T_{1/2}$ vs FE. The plot demonstrates a high degree of agreement between $T_{1/2}$ and FE, with most data points falling within the limits of agreement. The mean difference is close to zero, supporting the use of FE as a surrogate indicator of renal clearance dynamics

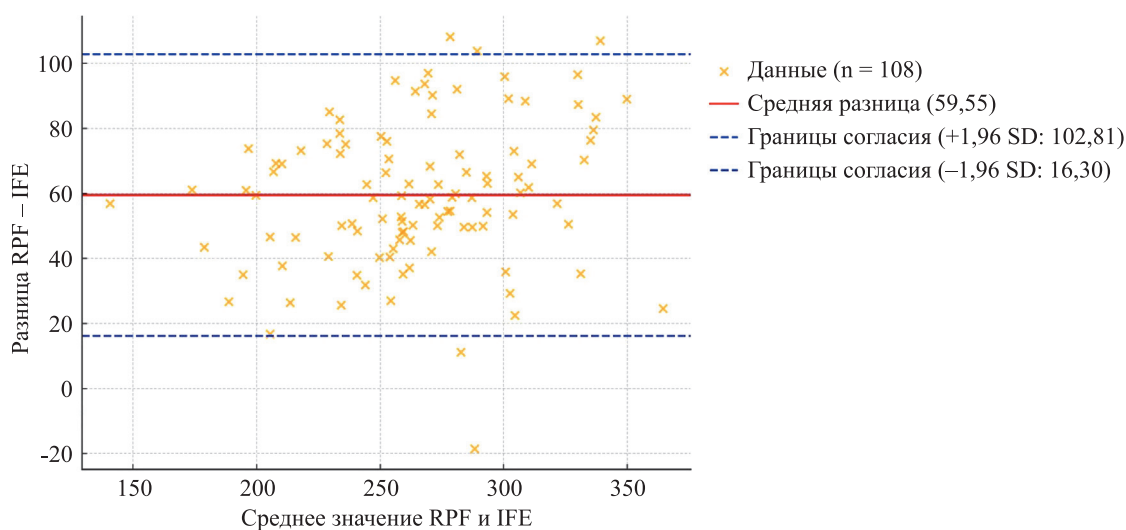


Рис. 3. Диаграмма Бланда–Альтмана: RPF vs IFE. Данная диаграмма демонстрирует наибольшую степень согласованности между почечным плазмотоком и объемом крови. Средняя разница минимальна, а большинство точек находятся внутри границ согласия, что указывает на высокую степень эквивалентности этих параметров

Fig. 3. Bland–Altman plot: RPF vs IFE. This plot demonstrates the highest level of agreement between renal plasma flow and blood volume. The average difference is minimal, and the majority of data points fall within the limits of agreement, supporting the strong equivalence between RPF and IFE

Таким образом, диаграммы подтверждают возможность использования МСКТ-перфузии в качестве альтернативного метода для оценки почечной функции, особенно при отсутствии возможности проведения радионуклидной нефросцинтиграфии.

Оба метода предоставляют ценные данные о функции почек, однако каждый из них имеет свои особенности. РНСГ предоставляет более интегральные показатели фильтрации и выведения, тогда как МСКТ-перфузия более точно оценивает кровоток и микроциркуляцию почек.

Выявлена взаимозаменяемость следующих показателей:

- $T_{max} \leftrightarrow AF$ (для оценки скорости фильтрации и кровотока);
- $T_{1/2} \leftrightarrow FE$ (для оценки фильтрационно-выводящих функций);
- $RPF \leftrightarrow IFE$ (для оценки почечного плазмотока и индексированной фракции экстракции).

В условиях, когда один из методов недоступен или противопоказан, другой метод может предоставить сопоставимые данные для оценки функции почек. Например, у пациентов с противопоказаниями к применению контрастных веществ, применяемых при МСКТ-перфузии почек, можно использовать РНСГ. Для доноров почек, где требуется более детальная оценка почечной гемодинамики, предпочтительна МСКТ-перфузия.

Несмотря на корреляцию, методы не являются полностью идентичными. Выбор подходящего метода должен основываться на клинической задаче и состоянии пациента.

РНСГ обладает меньшей разрешающей способностью для оценки сегментарного кровотока, тогда как МСКТ-перфузия почек предоставляет более детализированные данные о локальной микроциркуляции.

Результаты исследования подтверждают наличие взаимозаменяемых параметров между методами РНСГ и МСКТ-перфузии.

Сравнение наших данных с исследованиями Rigatelli et al. (2020) и Lim et al. (2024) подтверждает, что метод КТ-перфузии способен количественно оценивать микроциркуляцию почек, что делает его перспективным инструментом при выборе донорской почки [19, 20].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методы радионуклидной сцинтиграфии и МСКТ-перфузии являются взаимодополняющими в оценке функционального состояния почек. Их корреляция по ключевым параметрам позволяет использовать их взаимозаменяемо для оценки почечной функции в зависимости от клинической ситуации, при этом

МСКТ-перфузия почек более точно оценивает кровоснабжение, а РНСГ предоставляет интегральные показатели фильтрации и выведения. Выбор метода должен быть индивидуализированным и учитывать диагностические задачи, возможности учреждения и состояние пациента.

Таким образом, анализ раздельной функции почек и использование индексированных параметров, таких как IFE, позволяет не только улучшить диагностику функционального состояния почек у потенциальных доноров, но и повысить безопасность трансплантационной программы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Grenier N, Basseau F. Functional renal imaging: magnetic resonance imaging (MRI) and computed tomography (CT). *Nephrology*. 2015; 11 (3): 179–186. doi: 10.1016/j.nephro.2015.05.002.
2. Zhang J, Liu J, Jin Q, Wu W, Li H, Wang J. CT perfusion in renal function assessment: advances and challenges. *Journal of Nephrology*. 2017; 30 (2): 163–170. doi: 10.1007/s40620-016-0357-6.
3. O'Connor JPB, Port RE, Jayson GC, Waterton JC, Taylor NJ, Robinson SP et al. Imaging biomarkers in kidney disease. *Nature Reviews Nephrology*. 2014; 10 (7): 442–452. doi: 10.1038/nrneph.2014.86.
4. Sharfuddin A. Imaging evaluation of kidney transplant recipients. *Seminars in Nephrology*. 2011; 31 (3): 283–292. doi: 10.1016/j.semnephrol.2011.06.008.
5. Namazova-Baranova LS, Baranov AA, Smirnov IE. Diagnostic Imaging in European Eastern Countries: A Russian Experience. Springer. 2016. doi: 10.1007/978-3-319-21371-2.18.
6. Rigatelli G, Annie F, Nguyen TAN. Renal Artery Interventions. Practical Handbook of Interventional Cardiology. 2020. doi: 10.1002/9781119383031.
7. Sedankin MK, Leushin VY, Gudkov AG. Modeling of Thermal Radiation by the Kidney in the Microwave Range. *Biomedical Engineering*. 2019; 52 (3): 247–254. doi: 10.1007/s10527-019-09908.
8. Lammer J. Occlusive Vascular Diseases of the Abdomen. Springer. 1999. doi: 10.1007/978-88-470-2141-9.45.
9. Lim R, Kwatra N, Valencia VF. Review of the clinical and technical aspects of ^{99m}Tc -dimercaptosuccinic acid renal imaging: the comeback «kit». *Journal of Nuclear Medicine Technology*. 2024; 52 (3): 199–208. doi: 10.2967/jnmt.122.263043.
10. Tarkhanov A, Bartal G, Druzhin S, Shakhbazyan R. Bladder wall and surrounding tissue necrosis following bilateral superselective embolization of internal iliac artery branches due to uncontrollable haematuria. *Cardi-*

- oVascular and Interventional Radiology (CVIR). 2018. doi: 10.1186/s42155-018-0043.
11. Abdullaev AYY. Organization of Healthcare. *VSKM Journal*. 2015.
 12. Dovbysh MA, Mishchenko OM. Topical issues of modern urology: educational manual. ZSMU Repository. 2023.
 13. Kogan MI, Sizov VV, Babich II, Shidaev A. Xanthogranulomatous Pyelonephritis in a 7-Year-Old Girl. *Vestnik*, 2020.
 14. Stus VP, Moiseyenko MM, Polion MY. Urology (Methodical elaborations of practical classes for students). DMA Repository. 2020.
 15. Xihong H. MRI with SENSE evaluation of conotruncal defects in children. *Pediatric Radiology*. 2008; 38 (5): 550–556. doi: 10.1007/s00247-008-0840.
 16. Sharfuddin A. Imaging evaluation of kidney transplant recipients. *Seminars in Nephrology*. 2011; 31 (3): 283–292. doi: 10.1016/j.semnephrol.2011.06.008.
 17. Gubar AO. Urology: A Manual for Teachers Preparing for Practical Classes. ZSMU Repository. 2021: 1–156.
 18. Gorbatko OA, Borsukov AV. The role of contrast-enhanced ultrasound in the early diagnosis of clinically significant angionephrosclerosis: Advances and clinical applications. *Medical Visualization Journal*. 2024. doi: 10.1007/978-3-319-21371-2.
 19. Rigatelli G, Annie F, Nguyen TAN. CT and MRI magnetic resonance angiography in renal artery interventions. *Practical Handbook of Interventional Cardiology*. 2020. doi: 10.1002/9781119383031.ch21.
 20. Leushin VY, Gudkov AG, Sedankin MK. Thermal radiation modeling of kidneys: assessment and applications in biomedical engineering. *Biomedical Engineering*. 2019; 52 (3): 247–254. doi: 10.1007/s10527-019-09908-x.

Статья поступила в редакцию 19.02.2025 г.

The article was submitted to the journal on 19.02.2025