

VALOR DE LA GAMMAGRAFÍA CON MAG3-^{99m}Tc EN TRASPLANTADOS RENALES: COMPARATIVA CON EL SEGUIMIENTO CON ECO-DOPPLER

Miguel Ángel Calderón Santisteban¹, José Luis Navarro Fernández²

¹Facultad de Medicina UMU – Hospital Clínico Universitario Virgen de la Arrixaca; ²Departamento de Radiología y Medicina Física, Facultad de Medicina UMU. Servicio de Medicina Nuclear - Hospital Clínico Universitario Virgen de la Arrixaca
mangel.calderon@um.es

RESUMEN

El trasplante renal es una de las técnicas más eficaces en el tratamiento de la insuficiencia renal crónica. El seguimiento precoz del injerto, realizado frecuentemente por EcoDoppler y renograma, permite identificar rápidamente alteraciones y pérdidas de funcionalidad. Se ha evaluado el valor predictivo del renograma en estos pacientes. Se escogieron 97 trasplantados renales en 2023 y se compararon los resultados de las pruebas de imagen y el seguimiento. Se ha encontrado una asociación de fuerza moderada entre una prueba de imagen alterada y un retraso en el inicio de funcionalidad del injerto.

INTRODUCCIÓN

Desde 2009, en el HCUVA se han realizado 1109 trasplantes renales. Se trata de la opción terapéutica más eficaz en el tratamiento de la insuficiencia renal en estadio terminal¹⁷. Los mejores resultados suelen ir de la mano de donantes vivos, ya que tienen mejor supervivencia que los donantes cadáveres^{25, 26}.

Esta técnica, sin embargo, cuenta con multitud de complicaciones postoperatorias, que podemos clasificar como vasculares, urológicas o nefrogénicas³⁵. Las complicaciones más importantes y, por tanto, las que se analizan en este estudio, son las vasculares y el retraso en la funcionalidad inicial del injerto^{16, 17, 35, 47}.

Ya que estas complicaciones pueden ser tan graves y conllevar la pérdida del injerto, es fundamental realizar un seguimiento estrecho del mismo para detectar precozmente signos de disfunción^{3, 17, 18}. Actualmente, el *gold standard* para el diagnóstico de la disfunción del injerto es la biopsia del mismo, aunque se trata de un procedimiento muy invasivo y de gran morbilidad^{17, 46}. Por tanto, se ha investigado el valor de las pruebas de imagen y las analíticas seriadas para alcanzar el mismo grado de fiabilidad diagnóstica.

En el seguimiento, se emplean mediciones periódicas de la creatinina, así como EcoDoppler y pruebas de Medicina Nuclear como la gammagrafía para evaluar la funcionalidad del injerto. Algunos autores ponen el foco en otros factores que pueden afectar hasta llegar al fracaso completo de la función renal, como es la proteinuria^{7,34}.

Podemos definir el retraso en el inicio de la funcionalidad del injerto (RFI) como la necesidad de tratamiento con diálisis en la primera semana tras el trasplante^{6,27}. Se trata de un fenómeno de incidencia variable (2%-50%), ya que depende del origen del riñón trasplantado⁵. También hay otra definición de RFI que se emplea bastante en la literatura, denominada RFI funcional, que consiste en una caída mantenida de los niveles de creatinina sérica durante 3 días^{27,42}.

IMAGENOLOGÍA MULTIMODAL POSTRASPLANTE

Para el diagnóstico del RFI, así como del resto de complicaciones postrasplante, se cuenta con una amplia gama de técnicas de imagen.

La gran mayoría de autores coinciden en que la ecografía debería ser la primera técnica de imagen en ser utilizada¹⁷, ya que no emplea radiaciones ionizantes que puedan dañar al paciente y por ser bastante económica. Gracias a su versatilidad, puede ser empleada a pie de cama, incluso en las UCI. Con ella, podemos hacer un análisis de la anatomía del injerto con el modo B; así como de la vascularización mediante el Doppler color y el Doppler pulsado¹⁵. Sin embargo, es una técnica operador-dependiente, ya que la propia posición del radiólogo al evaluar al paciente puede hacer que se alteren las mediciones del flujo¹⁷.

Con esta técnica podemos medir los índices de resistencia vascular (IR) dentro del parénquima renal. Algunos estudios demuestran el valor pronóstico que presentan unos IR por encima de lo normal (>0.8), ya que pueden ser considerados indicadores de disfunción renal inespecífica⁴¹, y de aparecer en el postoperatorio inmediato, de ligadura de la arteria renal^{29, 34}. Patologías como la trombosis arterial y venosa, así como las colecciones perirrenales y los urinomas se pueden diagnosticar eficazmente con la ecografía convencional.

Actualmente, se está introduciendo como técnica la ecografía con contraste (CEUS), cuya eficacia en comparación a pruebas como el renograma queda demostrada⁴⁴. Consiste en introducir un medio de contraste, unas microburbujas de hexafluoruro de azufre (SF_6), que al alcanzar el riñón permiten evaluar aquellas zonas perfundidas y aquellas de isquemia. A pesar de que es una técnica ampliamente utilizada en otras regiones corporales como la mama o el hígado, hay pocos estudios sobre su aplicabilidad en el trasplante renal^{21, 32, 44}.

Otras técnicas como la resonancia magnética (RM) son empleadas en caso de encontrar hallazgos preocupantes en el análisis ecográfico. Sin embargo, se trata de una técnica muy costosa y que no está disponible en todos los centros¹⁷. Las imágenes de tomografía computarizada (TC) también suelen realizarse como prueba complementaria durante el seguimiento, especialmente en aquellos pacientes que presenten una mala ventana ecográfica. Además, si el paciente presenta una función renal adecuada, se puede realizar un TC con contraste intravenoso y evaluar la fase excretora del mismo.

Por último, las pruebas de Medicina Nuclear han demostrado su gran fiabilidad en el diagnóstico precoz de la patología postrasplante, cuyo ejemplo príncipes es la gammagrafía¹¹ (ver **Figura 1**), y que permite la detección de lesiones parenquimatosas como la necrosis tubular aguda (NTA), el RFI, el rechazo modulado por anticuerpos y celular, y las lesiones inducidas por inhibidores de la calcineurina. Actualmente, existen diversos radiotrazadores empleados en el diagnóstico de la nefropatía tubular postrasplante (NT-PT), como el MAG3-^{99m}Tc, el DTPA-^{99m}Tc o el EC-^{99m}Tc^{12, 39}; siendo el primero el más utilizado por la resolución de las imágenes que produce. El hallazgo más frecuente es la NTA, con una ralentización en la captación del trazador y una ausencia de excreción y lavado.

Se trata de la técnica más sensible hasta el momento para la detección de alteraciones del injerto⁴. Debido a esto, en muchos hospitales, como ocurre en el HCUVA, se les realiza el seguimiento a los pacientes tanto con renograma como con EcoDoppler.

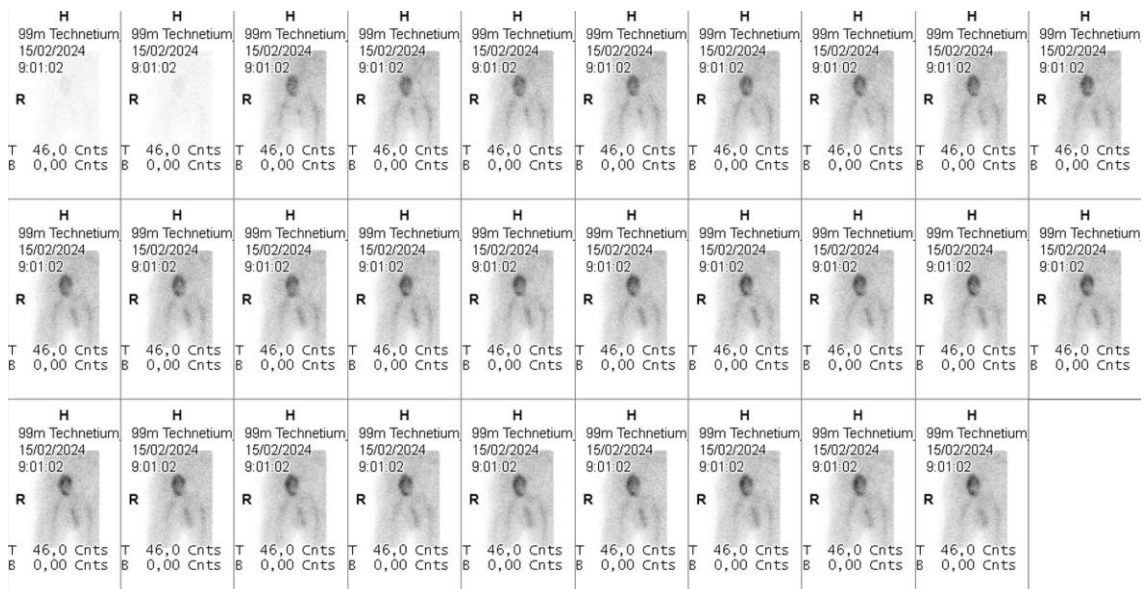


Figura 1. Se muestra el proceso de una gammagrafía dinámica con MAG3-^{99m}Tc. Se puede apreciar una captación específica y progresiva a nivel renal.

OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El propósito de este estudio ha sido valorar la sensibilidad y valor pronóstico de la gammagrafía en comparación al seguimiento realizado mediante EcoDoppler en pacientes trasplantados renales, así como analizar el valor diagnóstico de un renograma normal postrasplante.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se hizo en dos tiempos, con una fase de revisión bibliográfica y una fase de investigación clínica. Se trata de un estudio observacional retrospectivo, ya que se han escogido pacientes a los que ya se les había hecho un seguimiento clínico y en los que evaluamos el seguimiento mediante dos pruebas diagnósticas diferentes, cotejándolo con la bibliografía disponible.

Se realizó una revisión de la bibliografía actual respecto a la gammagrafía en pacientes trasplantados renales, así como de la utilidad del seguimiento con EcoDoppler. Se realizó una búsqueda bibliográfica en PubMed empleando la estrategia de búsqueda “(“GAMMAGRAPHY” OR “SCYNTIGRAPHY” OR “RENOGRAM”) AND (“KIDNEY TRANSPLANT” OR “RENAL TRANSPLANT” OR “TRANSPLANT”)” y “(“ULTRASOUND” OR “ULTRASONOGRAPHY” OR “DOPPLER”) AND (“KIDNEY TRANSPLANT” OR “RENAL TRANSPLANT” OR “TRANSPLANT”)”.

En cuanto a la porción de investigación clínica, se hizo una selección de pacientes trasplantados renales del HCUVA. Se escogieron todos los trasplantados en 2023 (128 pacientes), y se descartaron aquellos que no tuvieran informe de seguimiento o renograma hecho, llegando a los 97 pacientes en total. Las imágenes de gammagrafía se obtuvieron empleando el radiotrazador MAG3 con ^{99m}Tc (ver **Figura 2**), así como las curvas de captación (ver **Figuras 3 y 4**). En el Eco-Doppler, se analizaron los índices de resistencia vascular.

En la comparación de informes de pruebas, se seleccionaron aquellos que estuvieran temporalmente más cerca de la fecha de la operación y entre sí. Se han considerado como normales aquellos seguimientos en los que el paciente no ha presentado un retraso en el inicio de funcionalidad del injerto. Por tanto, los urinomas, las colecciones perirrenales y las infecciones no se han considerado como un seguimiento alterado

Al tratarse los resultados de las pruebas y del seguimiento de variantes categóricas, y debido a la distribución desigual de los datos obtenidos, se realizó un análisis de asociación estadística mediante la prueba χ^2 y el coeficiente V de Cramér con el software SPSS. Se

consideró estadísticamente significativo $p < 0.05$. También se calcularon por cada prueba diagnóstica la sensibilidad, la especificidad, el valor predictivo positivo (VPP), el valor predictivo negativo (VPN); así como la razón de falsos positivos (FP) y de falsos negativos (FN).

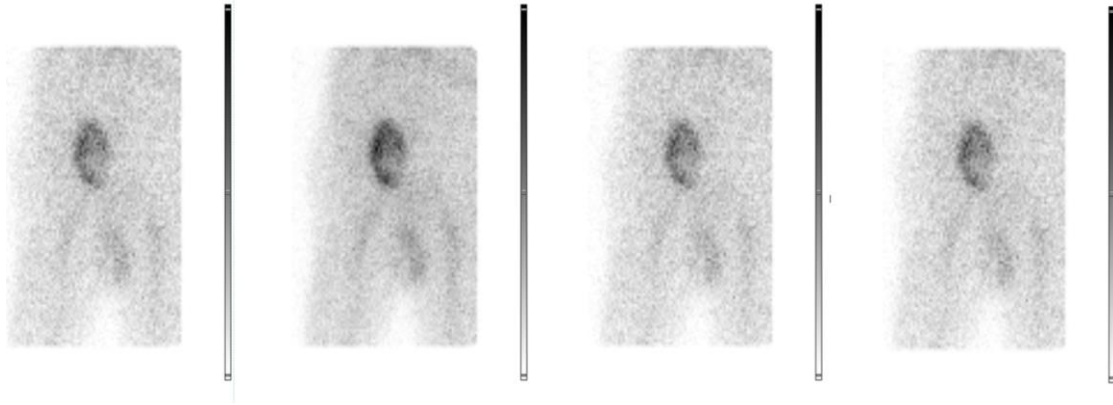
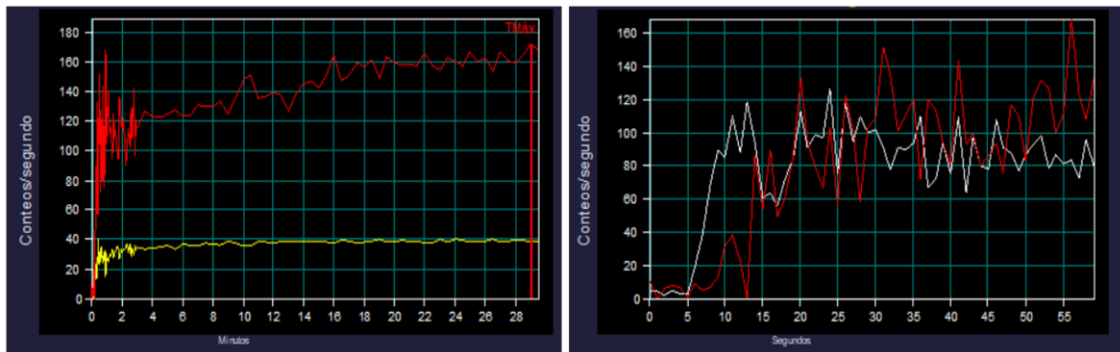


Figura 2. Secuencia dinámica de gammagrafía realizada con $MAG3-^{99m}Tc$. Se observa una captación de radiotrazador heterogénea, con focos de hipercaptación a nivel cortical y una ausencia de excreción de trazador, correspondiente a una necrosis tubular aguda.



Figuras 3 y 4. Se muestran dos gráficas actividad-tiempo. En la primera, se puede observar ver una curva de captación correspondiente a la captación por el parénquima renal. En la segunda, se puede ver el flujo.

RESULTADOS

Para la gammagrafía (ver **Tabla I**), se obtuvieron unos valores de sensibilidad y especificidad del 100% y del 13.4%, respectivamente. Se encontró una relación estadísticamente significativa ($p = 0.0350$) entre un resultado gammagráfico alterado y el retraso de la funcionalidad inicial del injerto; así como una fuerza de correlación moderada ($V = 0.451$). Adicionalmente, se calcularon el VPP y el VPN, del 34.1% y 100%, respectivamente; así como una tasa de FP del 87%, y una de FN del 0%.

Para la ecografía (ver **Tabla II**), se obtuvieron unos valores de sensibilidad y especificidad del 2% y del 94%, respectivamente. Se encontró una relación estadísticamente significativa ($p = 0.0357$) entre un resultado ecográfico alterado y el retraso de la funcionalidad inicial del injerto; así como una fuerza de correlación moderada ($V = 0.447$). Adicionalmente, se calcularon el VPP y el VPN, del 60% y 72.4%, respectivamente; así como una tasa de FP del 6%, y una de FN del 80%.

El hallazgo patológico más frecuente en la gammagrafía fue el patrón de nefropatía tubular postrasplante; mientras que en la EcoDoppler, lo fue un aumento de los índices de resistencia vasculares intraparenquimatosos. Adicionalmente, en aquellos casos en los que se demostraba un defecto focal en la captación de radiotrazador, se demostraron áreas de isquemia.

La media de tiempo entre pruebas fue de 1.8 días, con una separación mínima de 0 días y una máxima de 10.

TABLA I. TABLA DE CONTINGENCIA 2X2 DE LA GAMMAGRAFÍA

	SEGUIMIENTO NORMAL	SEGUIMIENTO ALTERADO	MARGINAL		
GAMMAGRAFÍA NORMAL	9	0	9		
GAMMAGRAFÍA ALTERADA	58	30	88		
MARGINAL	67	30	97		
PRUEBA DE χ^2	NIVEL DE ASOCIACIÓN ESTADÍSTICA		V DE CRAMÉR		
4.442; $p = 0.0350$	Significativo para $p < 0.05$		0.451		
SENSIBILIDAD	ESPECIFICIDAD	VPP	VPN	FP	FN
100%	13.4%	34.1%	100%	87%	0%

TABLA II. TABLA DE CONTINGENCIA 2X2 DE LA ECOGRAFÍA

	SEGUIMIENTO NORMAL	SEGUIMIENTO ALTERADO	MARGINAL		
ECOGRAFÍA NORMAL	63	24	87		
ECOGRAFÍA ALTERADA	4	6	10		
MARGINAL	67	30	97		
PRUEBA DE χ^2	NIVEL DE ASOCIACIÓN ESTADÍSTICA		V DE CRAMÉR		
4.412; $p = 0.0357$	Significativo para $p < 0.05$		0.447		
SENSIBILIDAD	ESPECIFICIDAD	VPP	VPN	FP	FN
20%	94%	60%	72.4%	6%	80%

DISCUSIÓN

La gammagrafía es una herramienta fundamental en el diagnóstico precoz de la RFI^{11, 17}. Se trata de una herramienta económica y sencilla que puede implementarse en la mayoría de hospitales para el beneficio de una gran cantidad de pacientes. Hemos detectado una sensibilidad muy alta, y una especificidad relativamente baja, acorde con lo descrito en la literatura⁴.

En este estudio se corrobora que la gammagrafía tiene un valor pronóstico similar al EcoDoppler en el seguimiento de los pacientes³⁹. Sin embargo, hemos observado que la EcoDoppler tiene una gran cantidad de falsos negativos, y que muchas veces necesita de la información de la gammagrafía para llegar a un diagnóstico, y viceversa, por lo que estas dos técnicas forman un buen tándem. También se observó que aquellos pacientes que tenían una gammagrafía normal nunca tenían complicaciones del injerto en el seguimiento; aunque al representar una muy pequeña parte de la muestra, se necesitaría ampliar el estudio para confirmar este VPN del 100%.

El renograma es capaz de monitorizar los cambios en la función del injerto, aunque tenga menor resolución anatómica, y confirmar el diagnóstico de rechazo utilizando radiotrazadores como FDG-¹⁸F o con leucocitos marcados⁴⁷. Con otros trazadores como el DTPA-^{99m}Tc se ha demostrado una mejor predicción del comportamiento del injerto a largo plazo que mediante el empleo de los IR obtenidos mediante EcoDoppler³⁹.

Algunos autores han barajado la posibilidad de emplear el renograma como valor predictivo de la duración del retraso en el inicio de la funcionalidad del injerto a lo largo del seguimiento del paciente⁴. También es llamativo la heterogeneidad de la literatura en cuanto a la utilidad de la gammagrafía postrasplante, ya que muchos estudios difieren en los niveles que se consideran patológicos⁶.

En cuanto a las limitaciones del estudio, cabe destacar la ausencia de los valores de creatinina sérica al tiempo de realizar cada prueba de imagen y durante los seguimientos. Una forma de introducirlo en estudios futuros es mediante la realización de un análisis prospectivo de los datos. También se ha dicotomizado el análisis estadístico, empleando solo las categorías “normal” y “alterado”, de forma que se engloban múltiples entidades de etiología diversa en una misma categoría. Analizando las pruebas de imagen en lugar de los informes, tal vez sea posible extraer valores concretos de actividad o de IR que supongan una diferencia significativa con lo expuesto anteriormente.

CONCLUSIONES

Se demostró la existencia de una relación estadísticamente significativa entre una prueba de imagen alterada y un seguimiento patológico, aunque no se demostró que la gammagrafía fuera mejor que la ecografía. Se han propuesto algunas formas de mejorar el estudio y dar un paso hacia uno prospectivo. La bibliografía no ofrece datos homogéneos, aunque coincide en el gran valor diagnóstico que tiene la gammagrafía en las complicaciones postoperatorias y en el seguimiento a largo plazo.

Realizar renogramas a lo largo de la evolución del trasplante a todos los pacientes podría mejorar el tratamiento precoz de las alteraciones, especialmente de aquellas a nivel vascular, y aumentar la supervivencia media del órgano.

Por todo ello, se remarca la necesidad de ampliar el estudio y realizar más investigación a nivel clínico sobre los beneficios que podría traer esta técnica de imagen.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aktas A, Aras M, Colak T, Gencoglu A, Karakayali H. Comparison of Tc-99m DTPA and Tc-99m MAG3 perfusion time-activity curves in patients with renal allograft dysfunction. *Transplant Proc.* 2006;38:449-453.
2. Aschwanden M, Mayr M, Imfeld S, et al. Rapid adaptation of the intrarenal resistance index after living donor kidney transplantation. *Nephrol Dial Transplant* 2009;24:1331-4.
3. Aubert O, Kamar N, Vernerey D, Viglietti D, Martinez F, Duong-Van-Huyen J-P, et al. Long term outcomes of transplantation using kidneys from expanded criteria donors: prospective, population based cohort study. *BMJ* 2015; 351: h3557. doi: <https://doi.org/10.1136/bmj.h3557>
4. Benjamins S, Berger SP, Glaudemans AWJM, Sanders JSF, Pol RA, Slart RHJA. Renal scintigraphy for post-transplant monitoring after kidney transplantation. *Transplant Rev (Orlando)* [Internet]. 2018;32(2):102-9. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0955470X17300836>
5. Benjamins S, Pol RA, de Geus-Oei L-F, de Vries APJ, Glaudemans AWJM, Berger SP, et al. Can transplant renal scintigraphy predict the duration of delayed graft function? A dual center retrospective study. *PLoS One* [Internet].

2018;13(3):e0193791.

Disponibile

en:

<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0193791>

6. Boey CY, Yee SY, Amir Hassan SZ, Yahya R, Hashim H. Value of Baseline Post-Transplant MAG3 Renal Scintigraphy in the Evaluation of Graft Function. *Transplant Proc.* 2022 Mar;54(2):320-324. doi: 10.1016/j.transproceed.2021.12.016. Epub 2022 Jan 25. PMID: 35086676.
7. Boran M, Boran E, Boran M, Tola M. Renal Doppler Resistance Indices in Kidney Transplant Recipients With Proteinuria. *Transplant Proc.* 2018 Jun;50(5):1355-1359. doi: 10.1016/j.transproceed.2018.02.064. PMID: 29880357.
8. Bubeck B, Brandau W, Weber E, Kalble T, Parekh N, Georgi P. Pharmacokinetics of technetium-99m-MAG3 in humans. *J Nucl Med.* 1990;31:1285-1293.
9. Budihna N.V., Milcinski M., Kajtna-Koselj M., Malovrh M. Relevance of Tc-99m DMSA scintigraphy in renal transplant parenchymal imaging. *Clin Nucl Med.* 1994;19:782-784.
10. Cornell LD, Smith RN, Colvin RB. Kidney transplantation: mechanisms of rejection and acceptance. *Annu Rev Pathol* 2008; 3:189–220. <https://doi.org/10.1146/annurev.pathmechdis.3.121806.151508> PMID: 18039144
11. El Maghraby TAF, van Eck-Smit BLF, de Fijter JW, Pauwels EKJ. Quantitative scintigraphic parameters for the assessment of renal transplant patients. *Eur J Radiol* 1998; 28: 256–69. doi: [https://doi.org/10.1016/S0720-048X\(97\)00179-4](https://doi.org/10.1016/S0720-048X(97)00179-4)
12. Erbas B. Peri and postsurgical evaluations of renal transplant. *Semin Nucl Med* 2017;47:647-59.
13. Even-Sapir E, Gutman M, Lerman H, et al. Kidney allografts and remaining contralateral donor kidneys before and after transplantation: assessment by quantitative (99m)Tc-DMSA SPECT. *J Nucl Med.* 2002;43:584-588.
14. Franke D, Daugherty RJ, Ključevšek D, Ntoulia A, Rafailidis V, Takahashi MS, Torres A, Viteri B, Volberg FM. Contrast-enhanced ultrasound of transplant organs - liver and kidney - in children. *Pediatr Radiol.* 2021 Nov;51(12):2284-2302. doi: 10.1007/s00247-020-04867-y. Epub 2021 May 12. PMID: 33978794; PMCID: PMC8865443.
15. Galgano SJ, Lockhart ME, Fananapazir G, Sanyal R. Optimizing renal transplant Doppler ultrasound. *Abdom Radiol (NY).* 2018 Oct;43(10):2564-2573. doi: 10.1007/s00261-018-1731-9. PMID: 30121777.
16. Gambhir A, Elangovan I, Simon S, Jain A. Postrenal Transplant Allograft "Page Kidney" Identified and Salvaged using 99mTc-diethylenetriaminepentaacetic acid Renogram and Single-photon Emission-computed Tomography. *Indian J Nucl Med.* 2018 Apr-Jun;33(2):161-164. doi: 10.4103/ijnm.IJNM_155_17. PMID: 29643683; PMCID: PMC5883440.
17. Ghonge NP, Goyal N, Vohra S, Chowdhury V. Renal transplant evaluation: multimodality imaging of post-transplant complications. *Br J Radiol.* 2021 Aug 1;94(1124):20201253. doi: 10.1259/bjr.20201253. Epub 2021 Jul 8. PMID: 34233470; PMCID: PMC8764918.
18. Goldberg RJ, Weng FL, Kandula P. Acute and chronic allograft dysfunction in kidney transplant recipients. *Medical Clinics of North America* 2016; 100: 487-503. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mcna.2016.01.002>
19. Heine GH, Gerhart MK, Ulrich C, Köhler H, Girndt M. Renal Doppler resistance indices are associated with systemic atherosclerosis in kidney transplant recipients. *Kidney Int* 2005;68: 878e85.
20. Hollis E, Shehata M, Khalifa F et al. (2017): Towards noninvasive diagnostic techniques for early detection of acute renal transplant rejection: A review. *The Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine*, 48: 257–269.

21. Kay D, Mazonakis M, Geddes C et al. Ultrasonic microbubble contrast agents and the transplant kidney. *Clin Rad* 2009; 64: 1081–1087
22. Khater N, Khauli R. Pseudorejection and true rejection after kidney transplantation: classification and clinical significance. *Urol Int* 2013;90:373–80.
23. Khosroshahi HT, Oskui R, Shoja MM, et al. Time-dependent variations in urine output after renal transplantation. *Transplant Proc* 2007;39:932–3.
24. 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:S1–55.
25. Koo DDH, Welsh KI, McLaren AJ, Roake JA, Morris PJ, Fuggle SV. Cadaver versus living donor kidneys: impact of donor factors on antigen induction before transplantation. *Kidney Int* 1999; 56: 1551-9. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1523-1755.1999.00657>.
26. Lowell JA, Brennan DC, Shenoy S, Hagerty D, Miller S, Ceriotti C, et al. Living-unrelated renal transplantation provides comparable results to living-related renal transplantation: a 12-year single-center experience. *Surgery* 1996; 119: 538-43. doi: [https://doi.org/10.1016/S0039-6060\(96\)80264-9](https://doi.org/10.1016/S0039-6060(96)80264-9)
27. Mallon DH, Summers DM, Bradley JA, Pettigrew GJ. Defining delayed graft function after renal transplantation: simplest is best. *Transplantation* 2013; 96(10):885–889. <https://doi.org/10.1097/TP.0b013e3182a19348> PMID: 24056620
28. Nankivell BJ, Alexander SI. Rejection of the kidney allograft. *N Engl J Med* 2010;363:1451-62.
29. Nezami N, Tarzamni MK, Argani H, Nourifar M. Doppler ultrasonographic indices after renal transplantation as renal function predictors. *Transplant Proc* 2008; 40: 94–9. doi: <https://doi.org/10.1016/j.transproceed.2007.11.036>
30. Patel TV, Goes N. Page kidney. *Kidney Int* 2007;72:1562.
31. Perico N, Cattaneo D, Sayegh MH, Remuzzi G. Delayed graft function in kidney transplantation. *Lancet* 2004; 13–19; 364(9447):1814–1827.
32. Piscaglia F, Nolsøe C, Dietrich CF et al. The EFSUMB Guidelines and Recommendations on the Clinical Practice of Contrast Enhanced Ultrasound (CEUS): Update 2011 on non-hepatic applications. *Ultraschall in Med* 2012; 33: 33–59
33. Poggio ED, Batty DS, Flechner SM. Evaluation of renal function in transplantation. *Transplantation* 2007;84:131–6.
34. Radermacher J, Mengel M, Ellis S, Stuht S, Hiss M, Schwarz A, et al. The renal arterial resistance index and renal allograft survival. *N Engl J Med* 2003; 349: 115–24. doi: <https://doi.org/10.1056/NEJMoa022602>
35. Ravindra SG, Garg S, Kumar R, Sagar S, Khurana A, Aggarwal S, Padhi SN, Ritwik C. Renal Dynamic Scintigraphy as a Sensitive Tool for Detecting Small Volume Urinoma Following Live-Related Renal Transplant. *Indian J Nucl Med.* 2022 Apr-Jun;37(2):172-174. doi: 10.4103/ijnm.ijnm_168_21. Epub 2022 Jul 8. PMID: 35982812; PMCID: PMC9380808.
36. Reinig J.W., Gordon L., Frey D. Glomerular filtration rate in transplantation patients: Estimation of renal function using Tc-99m DTPA. *Radiology.* 1985;156:505-507.
37. Rodríguez Faba O, Boissier R, Budde K, et al. EAU guidelines on renal transplantation. *European Association of Urology Guidelines on Renal Transplantation: Update 2018.* *Eur Urol Focus* 2018;4:208–15.

38. Russell CD, Thorstad BL, Stutzman ME, Yester MV, Fowler D, Dubovsky EV. The kidney: imaging with Tc-99m mercaptoacetyltriglycine, a technetium-labeled analog of iodohippurate. *Radiology*. 1989;172:427-430.
39. Saber, Sara & diab, Waleed & elmaghraby, Wafaa. (2020). Role of Nuclear Medicine in Renal Transplantation. *The Egyptian Journal of Hospital Medicine*. 79. 374-380. 10.21608/EJHM.2020.77449.
40. Sanches A, Etchebehere E et al. The accuracy of 99m Tc-DTPA scintigraphy in the evaluation of acute renal graft complications. *International Braz J Urol* 2003; 29: 507–516
41. Schwaighofer B, Kainberger F, Fruehwald F, Huebsch P, Gritzmann N, Karnel F, et al. Duplex sonography of normal renal allografts. *Acta radiol* 1989; 30: 53–6. doi: <https://doi.org/10.1177/028418518903000112>
42. Sharif A, Borrows R. Delayed graft function after kidney transplantation: the clinical perspective. *Am J Kidney Dis* 201; 62(1):150–158. <https://doi.org/10.1053/j.ajkd.2012.11.050> PMID: 23391536
43. Shikano N, Kanai Y, Kawai K, et al: Transport of 99m Tc-MAG3 via rat renal organic anion transporter 1. *J Nucl Med* 45:80-85, 2004
44. Stenberg B, Chandler C, Wyrley-Birch H, Elliott ST. Post-operative 3-dimensional contrast-enhanced ultrasound (CEUS) versus Tc99m-DTPA in the detection of post-surgical perfusion defects in kidney transplants - preliminary findings. *Ultraschall Med*. 2014 Jun;35(3):273-8. doi: 10.1055/s-0033-1355964. Epub 2013 Dec 10. PMID: 24327470.
45. Stenberg b, Talbot D, Khurram M et al. A New Technique for Assessing Renal Transplant Perfusion Preoperatively Using Contrast-Enhanced Ultrasound (CEUS) and Three-Dimensional Ultrasound (3DUS) – A Porcine Model Pilot Study. *Ultraschall in Med* 2011; 32: E8–E13
46. Tsai SF, Chen CH, Shu KH, Cheng CH, TM Y, Chuang YW, et al. Current safety of renal allograft biopsy with indication in adult recipients. *Med* 2016; 95: 1-7,
47. Volkan-Salanci B, Erbas B. Imaging in renal transplants: An update. *Semin Nucl Med* [Internet]. 2021;51(4):364-79. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001299820301343>
48. Yazici B, Oral A, Gokalp C, et al: Evaluation of renal transplant scintigraphy and resistance index performed within 2 days after transplantation in pre-dicting long-term graft function. *Clin Nucl Med* 40:548-552, 2015