

Determinantes de alterações seriadas nas medidas do índice de resistividade de Doppler do aloenxerto renal no primeiro mês pós-operatório

Determinants of the serial changes in measurements of renal allograft Doppler resistive index in the first postoperative month

Autores

José A. Moura-Neto^{1,2} 

Ana Flávia Moura^{1,2} 

José Hermógenes Rocco Suassuna¹

Nordeval Cavalcante Araújo¹ 

¹ Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Divisão de Nefrologia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Grupo CSB, Salvador, BA, Brasil.

RESUMO

Introdução: O papel do índice de resistividade renal (IR) derivado de varredura por Doppler no manejo de aloenxertos renais, em exame isolado, ainda é uma questão controversa; no entanto, em exames seriados, a detecção de alterações nas imagens duplex tem sido relatada como mais relevante. **Material e métodos:** 113 pacientes foram incluídos, nos quais duas medidas de IR foram realizadas dentro de 30 dias após o transplante. De acordo com uma alteração do IR (igual ou superior a 10%) na segunda medida, os pacientes foram classificados em redução (Grupo I), nenhuma alteração (Grupo II) ou aumento (Grupo III). **Resultados:** 30 indivíduos tiveram redução, 55 não tiveram alterações e 28 tiveram aumento na segunda medição do IR. Os doadores eram mais jovens no Grupo III em comparação ao Grupo II. Em comparação ao Grupo I, o Grupo III apresentou maior frequência de doador falecido, FTE, presença de necrose tubular e vacuolização tubular nas biópsias peri-implantares. **Conclusão:** o aumento do IR durante as primeiras semanas no período pós-operatório parece estar associado à FTE e à necrose tubular/vacuolização tubular nas biópsias peri-implantares, provavelmente relacionadas à lesão por isquemia-reperusão.

Palavras-chave: Ultrassonografia Doppler; Transplante de Rim; Aloenxertos.

ABSTRACT

Introduction: The role of single Doppler-derived renal resistive index (RI) in renal allograft management is still a controversial issue, however detection of changes in serial duplex scanning has been reported as more valuable. This study aimed to test the hypothesis that early change in RI following transplantation may be related to factors associated with delayed graft function (DGF). **Material and methods:** 113 patients were included, in whom two RI measurements were performed within 30 days post-transplant. According to an RI change (equal to or more than 10%) in the second measurement, patients were assigned to decrease (Group I), no change (Group II), or increase (Group III) group. **Results:** 30 subjects had a decrease, 55 had no change, and 28 had an increase in the second RI measurement. The donors were younger in Group III in comparison to Group II. In comparison to Group I, Group III had a higher frequency of deceased donor, DGF, and presence of tubular necrosis and tubular vacuolization in peri-implantation biopsies. **Conclusion:** the increase of RI during the first weeks of the postoperative period seems to be associated with DGF and with tubular necrosis / tubular vacuolization in peri-implantation biopsies, likely related to ischemia reperfusion injury.

Keywords: Ultrasonography, Doppler; Kidney Transplantation; Allografts.

Data de submissão: 15/11/2018.

Data de aprovação: 01/03/2020.

Correspondência para:

Ana Flávia Moura.

E-mail: afmoura@grupocsb.com

DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-8239-JBN-2018-0232>

INTRODUÇÃO

O transplante renal ainda é reconhecido como a melhor escolha para o tratamento da doença renal em estágio terminal¹. Entretanto, os receptores de aloenxertos renais apresentam alto risco

de complicações cirúrgicas, principalmente vasculares, no pós-operatório imediato, o que requer vigilância cuidadosa para detectá-las o mais precocemente possível. A ultrassonografia com Doppler é o método de imagem mais comumente usado para avaliar a integridade anatômica do



aloenxerto^{2,3}. Além disso, o índice de resistividade renal (IR) derivado do Doppler foi proposto para estimar o fluxo sanguíneo renal³.

Como muitos fatores influenciam o valor do IR, o papel de uma única medida do IR na avaliação das condições do aloenxerto renal permanece incerto⁴. Por outro lado, a detecção de alterações na varredura seriada em ultrassonografia duplex tem sido relatada como mais valiosa para o diagnóstico de disfunção do aloenxerto⁵. No entanto, essa questão ainda é motivo de debate⁶⁻⁸, dificultando a interpretação do IR na prática de transplante.

Uma compreensão abrangente dos fatores determinantes do IR no transplante precoce tem sido relatada como valiosa na interpretação do valor do IR⁹. Para esclarecer essa questão, o presente estudo teve como objetivo testar a hipótese de que a alteração do IR nas primeiras semanas após o transplante possa estar relacionada a fatores associados à função tardia do enxerto (FTE).

MATERIAL E MÉTODOS

O comitê de revisão institucional aprovou o protocolo do estudo e o consentimento foi dispensado devido à natureza retrospectiva do mesmo. O desenho do estudo foi retrospectivo, com base em duas amostras. Todos os pacientes com doença renal em estágio terminal submetidos a transplante renal de doador vivo ou doador falecido durante esse período foram recrutados. Foram incluídos cem pacientes com aloenxertos renais de doadores falecidos e treze de doadores vivos, nos quais foram realizadas duas investigações sobre o aloenxerto renal utilizando o ultrassom Doppler colorido 30 dias após o transplante, independentemente da ocorrência de função tardia do enxerto.

Os critérios de exclusão foram: hidronefrose de grau 2 ou superior; sonografia renal de baixa qualidade (menos de duas artérias interlobares); coleções de fluidos peri-renais com compressão acentuada; e diagnóstico histológico de rejeição aguda. No caso de retransplante, apenas o segundo episódio de transplante renal durante o período do estudo foi incluído. Os resultados, portanto, refletem um procedimento de transplante por paciente do estudo.

Todos os ultrassons foram realizados pelo mesmo operador (NCA) usando um instrumento Sonoline 40 (Erlangen, Alemanha) com um transdutor de 3,5 MHz. Uma descrição completa da amostragem já foi explicada em outra parte⁹. Resumidamente, medimos o diâmetro longitudinal e o IR foi amostrado no nível da artéria interlobar. O IR foi medido manualmente com o software incorporado. Foi obtida uma média de pelo menos duas e, na maioria dos casos, três

amostragens. O valor médio do IR medido no pós-operatório na primeira semana e na segunda, terceira ou quarta semana foi utilizado para análise.

Os pacientes foram classificados em redução (Grupo I), nenhuma alteração (Grupo II) ou aumento (Grupo III) de acordo com uma alteração do IR na segunda medida em relação à primeira. Consequentemente, pacientes com uma redução igual ou superior a 10% compreendiam o Grupo I e um aumento igual ou superior a 10% compreendiam o Grupo III. Pacientes com alteração intermediária no segundo IR constituíram o Grupo II. Os dados dos três grupos foram comparados quanto a diferenças estatísticas. Para garantir que os grupos fossem semelhantes, incluímos variáveis relacionadas, como as relacionadas ao enxerto. Comparamos o tempo em diálise (intervalo de tempo em meses), sexo do receptor e doador, idade e creatinina sérica e anticorpos reativos às condições (PRA) pré-transplante, número de incompatibilidades do antígeno leucocitário humano (HLA), causa mortis e tempo de isquemia fria (TIF). O número de incompatibilidades de HLA foi calculado adicionando o número de incompatibilidades nos loci A, B e DR. Todos os pacientes receberam terapia tripla de imunossupressão, consistindo em ciclosporina ou tacrolimus, micofenolato mofetil ou azatioprina e esteroides. Também estudamos biópsias peri-implantares em cunha. A obsolescência glomerular foi quantificada como a porcentagem de glomérulos escleróticos em relação ao número total. Fibrose intersticial e atrofia tubular, infiltração e edema intersticial, lesões vasculares (hialinose arteriolar, arteriosclerose e endarterite por fibrose) e necrose tubular aguda (NTA) foram relatadas como presentes ou ausentes. Causa mortis foi dicotomizada em trauma e outras causas. Devido à sua natureza retrospectiva, nem todas as variáveis estavam disponíveis para todos os pacientes do estudo. A causa primária da doença renal crônica não estava sempre registrada no prontuário médico do paciente e, portanto, não foi relatada neste artigo. A função tardia do enxerto foi definida como a necessidade de diálise no pós-operatório.

Os resultados são apresentados como média \pm desvio padrão (DP) para variáveis contínuas e como porcentagem para variáveis dicotômicas. Os grupos foram comparados com o teste ANOVA para variáveis contínuas seguido pelos testes de Bonferroni e qui-quadrado para variáveis categóricas. Diferenças significativas entre os grupos foram indicadas por um valor de p menor que 0,05.

RESULTADOS

Cento e treze (69 homens, 44 mulheres) de 116 casos consecutivos foram estudados. Três casos foram excluídos: um por causa da primeira medida do IR após mais de uma semana, outro por necessidade de reoperação e o último porque foi medido após o diagnóstico clínico e histológico de rejeição aguda. Doze pacientes foram submetidos a retransplante. A idade média foi de $46,07 \pm 13,79$ anos (variação de 14,0 a 74,0 anos). A primeira medida do IR foi realizada no dia pós-operatório de $3,88 \pm 1,56$ (intervalo de 0 a 7) e a segunda no dia pós-operatório de $16,58 \pm 5,28$ (intervalo de 10 a 29). O intervalo entre a primeira e a segunda medição foi de $12,71 \pm 5,46$ (variação de 5-26) dias. O valor médio do IR foi de $0,74 \pm 0,12$ (variação de 0,42-1,00) na primeira medição e $0,74 \pm 0,11$ (variação de 0,49-1,00) na segunda medição.

Embora os receptores de doadores falecidos, em comparação com os receptores de doadores vivos, tiveram um IR bastante semelhante na primeira medição ($0,74 \pm 0,12$ vs. $0,73 \pm 0,10$; $p > 0,05$), o IR foi significativamente maior na segunda medição ($0,74 \pm 0,11$ vs. $0,67 \pm 0,0$ v.s.; $p = 0,029$).

De acordo com os critérios estabelecidos, 30 indivíduos apresentaram queda (Grupo I), 55 não

apresentaram alteração (Grupo II) e 28 tiveram aumento (Grupo III) na segunda mensuração do IR em relação à primeira. O valor médio do primeiro IR foi estatisticamente maior no Grupo I do que no Grupo II e Grupo III e no Grupo II que no Grupo III, enquanto a segunda medida do IR foi menor no Grupo I do que no Grupo II e Grupo III (Tabela 1). Os doadores eram mais jovens no Grupo III em comparação ao Grupo II (Tabela 1). Os valores médios e de desvio padrão do IR de acordo com os grupos e o tempo das medições são apresentados no gráfico para melhorar a compreensão dos dados (Figura 1).

Não houve diferença estatística entre os grupos em relação à idade do receptor e creatinina sérica, duração da diálise, tempo da primeira e segunda medidas do IR, comprimento do rim na primeira e segunda medidas, PRA classes I e II e tempo de isquemia fria (Tabela 1). As diferenças entre os grupos em termos de gênero do doador e receptor, retransplante, causa mortis, desacoplamento do HLA e lesões histológicas além da necrose/vacuolização tubular encontradas nas biópsias não foram estatisticamente significativas ($p > 0,05$) (Tabela 2). A porcentagem de pacientes que desenvolveram FTE estratificada por grupo também é apresentada na Tabela 2.

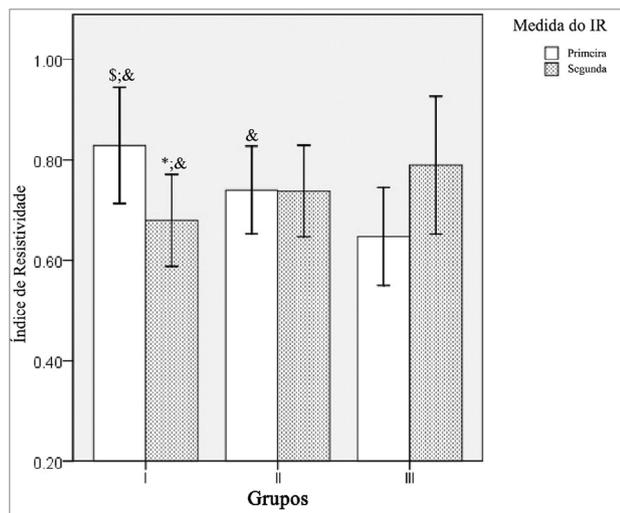
TABELA 1 VARIÁVEL CONTÍNUA: DADOS CLÍNICOS E LABORATORIAIS, E PARÂMETROS ULTRASONOGRAFICOS CONVENCIONAIS E DE DOPPLER EM PACIENTES COM REDUÇÃO (GRUPO I), SEM ALTERAÇÃO (GRUPO II) E AUMENTO (GRUPO III) NO SEGUNDO IR (2) VALORES EM RELAÇÃO AO PRIMEIRO (1)

Variável	Grupo I (30)		Grupo II (55)		Grupo III (28)	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Idade do receptor (a)	45.13	13.50	47.35	14.04	44.57	13.87
Tempo em diálise (mes)	70.17	56.55	75.69	60.11	76.20	43.06
Tempo de transplante 1 (d)	4.07	1.14	3.98	1.71	3.25	1.71
Cr 1 receptor (mg/dl)	7.02	2.11	6.72	2.87	6.69	2.38
Comprimento rim 1 (mm)	118.1	10.6	118.4	7.99	118.0	10.89
Artéria intra-renal IR 1	0.832,4	0.12	0.744	0.09	0.64	0.09
Tempo de transplante 2 (d)	17.97	5.13	15.73	5.28	16.79	5.27
Cr 2 receptor (mg/dl)	3.693	2.30	4.13	2.49	5.58	2.31
Comprimento rim 2 (mm)	120.4	6.37	121.5	7.74	121.9	10.25
Artéria intra-renal IR 2	0.681,4	0.09	0.74	0.09	0.79	0.14
PRA classe I (%)	1.76	7.59	5.50	17.68	2.81	11.45
PRA classe II (%)	4.97	17.29	6.58	18.77	3.44	17.50
Idade doador (y)	39.55	15.55	45.30	12.18	34.752	14.74
Cr doador (mg/dl)	1.45	0.64	1.25	0.62	1.37	0.95
FTE (min)	1296	308	1205	365	1393	386

Teste ANOVA, ¹p < 0,05 ou ²p < 0,005 v.s. Grupo II; ³p < 0,05 ou ⁴p < 0,005 v.s. Grupo III; DP: desvio padrão; Cr: creatinina sérica; IR: índice de resistividade; PRA: anticorpo reativo do painel; TIF: tempo de isquemia fria; a: anos; mes: meses; d: dias; min: minutos.

1: primeira medida da variável. 2: segunda medida da variável.

Figura 1. Média e desvio padrão do IR Segundo os grupos e horário das medidas. Teste ANOVA: Primeira medida - [§]p < 0,005 v.s. Grupo II; [&]p < 0,005 v.s. Grupo III; Segunda medida - *p < 0,05 v.s. Grupo II; [&]p < 0,005 vs. Grupo III.



DISCUSSÃO

No período pós-operatório, a vigilância do aloenxerto renal inclui uma abordagem para o diagnóstico e tratamento da função tardia do enxerto devido à lesão por isquemia-reperfusão. O ultrassom Doppler é o método de imagem de escolha para monitorar de perto o transplante renal^{2,3}. O IR é um parâmetro derivado do Doppler, comumente usado para avaliar a integridade do fluxo sanguíneo¹⁰. Um valor anormalmente alto para IR foi atribuído à necrose tubular aguda e rejeição aguda^{11,12}. No entanto, a utilidade clínica dessa ferramenta ainda é baseada em relatos conflitantes^{4,13,14}. Além disso, o papel de uma única medida do IR na avaliação do aloenxerto renal é controverso^{5,15}. Por outro lado, muitos estudos sugerem alta sensibilidade e especificidade quando um índice duplex seriado (IDS) é usado nessa análise. Meier et

TABELA 2 VARIÁVEIS CATEGÓRICAS: DADOS CLÍNICOS, DESACOPLAMENTO DE HLA E ACHADOS DA BIÓPSIA PERI-IMPLANTE EM PACIENTES COM REDUÇÃO (GRUPO I), SEM ALTERAÇÃO (GRUPO II) E AUMENTO (GRUPO III) NA SEGUNDA MEDIÇÃO DO IR EM RELAÇÃO À PRIMEIRA MEDIÇÃO

Variável	Grupo I (30)	Grupo II (55)	Grupo III (28)
	%	%	%
Receptor masculino	70.0	60.0	53.6
Tipo doador: falecido	83.3	85.5	100.0*
Retransplante	6.70	5.50	14.30
Doador Masculino	60.0	38.9	53.6
Causa mortis, trauma	52.0	48.9	53.6
MM HLA, ≥ 3	53.3	37.7	28.6
Anormalidades vasculares	37.5	31.6	18.2
Alterações túbulo-intersticiais	50.0	72.7	30.8
Necrose tubular (NT)	31.3	50.0	38.5
Vacuolização Tubular (VT)	43.8	45.5	69.2
NT/VT	56.3	68.2	92.3*
FTE	40.0	43.6	71.4*

Teste qui-quadrado, Grupos I vs. III; *p < 0.05; MM: mismatch; HLA: antígeno leucocitário humano. FTE: função tardia do enxerto.

al. observaram que o IDS foi mais preciso na identificação da rejeição aguda de transplante renal do que o IR e o PI calculados em um único momento¹⁶. Em um estudo retrospectivo que incluiu 6017 exames duplex seriados em 614 pacientes, o IDS foi melhor do que um único exame ao anunciar a necessidade de biópsia renal do enxerto no diagnóstico de rejeição aguda¹⁷.

Neste estudo, o IR foi medido em duas ocasiões nas primeiras quatro semanas após o procedimento cirúrgico. Nenhum dos pacientes realizou procedimento endovascular durante o período do estudo. A última medida do IR foi realizada no 29º dia de

pós-operatório, período em que a estenose da artéria renal do transplante raramente se desenvolve¹⁸⁻²⁰.

O principal achado do presente estudo foi que, em um subconjunto de pacientes submetidos a transplante de doador falecido, o IR aumentou em uma medida subsequente após a primeira semana. Esse tipo de alteração no IR não foi encontrado em pacientes que receberam rim de um doador vivo. Em uma análise univariada, os fatores determinantes adicionais associados a esse grupo de pacientes foram a necessidade de diálise no pós-operatório imediato e a presença de necrose tubular e/ou vacuolização tubular na biópsia

renal pré-implante. O pequeno número de eventos impede uma análise multivariada para investigar a associação independente entre cada uma dessas variáveis e o evento de interesse.

Tomados em conjunto, esses achados corroboram que o aumento seriado do IR está fortemente associado ao desenvolvimento de um tipo mais grave de lesão por isquemia-reperfusão. De acordo com esses resultados, vários estudos sugerem uma relação entre aumento do IR e função tardia do enxerto, rejeição aguda, lesões histológicas na biópsia e falha do transplante^{7,16,21-25}. De acordo com os resultados do presente estudo, em que pacientes com diminuição do IR (Grupo I) apresentaram melhores resultados de CrS e menor probabilidade de necessidade de diálise no período observado, outros estudos encontraram uma relação direta entre IR e creatinina sérica^{8,26,27}.

A idade mais jovem dos doadores no Grupo III em relação ao Grupo II, embora não tenha sido estatisticamente significativa, provavelmente reflete uma porcentagem maior de causa mortis devido a trauma (mais comum em pessoas mais jovens) no primeiro grupo.

Uma deficiência deste estudo é que nenhuma biópsia foi realizada após o transplante (além das biópsias peri-implante em cunha) para diferenciar melhor os grupos. Portanto, é possível que a função precoce do enxerto e os subgrupos de FTE tenham sido desigualmente distorcidos por casos de rejeição aguda e/ou necrose tubular aguda. No entanto, é sabido que, usando o atual esquema imunossupressor, a incidência de rejeição aguda nas duas primeiras semanas é tão baixa quanto 2,28% (6/263)²⁸ e o tempo médio para rejeição aguda é de 23 dias²⁹. A duração da FTE não foi uma variável incluída no estudo. Além disso, algumas variáveis como hipertensão e diabetes não estavam disponíveis para todos os doadores, assim como peso e altura. As variáveis ausentes tornam a avaliação KDPI imprecisa.

Concluindo, o aumento do IR durante as primeiras semanas do pós-operatório parece estar associado à FTE e à necrose tubular/vacuolização tubular nas biópsias peri-implantares, provavelmente relacionadas à lesão por isquemia-reperfusão.

Uma compreensão mais abrangente dos determinantes das alterações do IR durante o curso da reperfusão por isquemia após o transplante renal pode reduzir a necessidade de biópsia percutânea em alguns casos.

ABREVIATURAS

IR: índice de resistividade.
FTE: função tardia do enxerto.
HLA: antígeno leucocitário humano.
TIF: tempo de isquemia fria.
NTA: necrose tubular aguda.
DP: desvio padrão.

AGRADECIMENTOS

Apoio parcial foi recebido da Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ).

CONTRIBUIÇÃO DO AUTOR

ANC: conceito e design do estudo. JAMN, AFM e NCA: aquisição de dados. NCA: análise estatística. ANC: análise e interpretação dos dados. JAMN, AFM, JHRS e NCA: redação do manuscrito. JAMN, AFM, JHRS e NCA: revisão crítica do manuscrito.

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não terem conflitos de interesses relacionado à publicação deste manuscrito.

REFERÊNCIAS

- Durrbach A, Francois H, Beaudreuil S, Jacquet A, Charpentier B. Advances in immunosuppression for renal transplantation. *Nat Rev Nephrol.* 2010;6:160-7.
- Rodgers SK, Sereni CP, Horrow MM. Ultrasonographic evaluation of the renal transplant. *Radiol Clin North Am.* 2014;52:1307-24.
- Perrella RR, Duerinckx AJ, Tessler FN, Danovitch GM, Wilkinson A, Gonzalez S, et al. Evaluation of renal transplant dysfunction by duplex Doppler sonography: a prospective study and review of the literature. *Am J Kidney Dis.* 1990 Jun;15(6):544-50.
- Naesens M, Heylen L, Lerut E, Claes K, De Wever L, Claus F, et al. Intrarenal resistive index after renal transplantation. *N Engl J Med.* 2013 Nov;369(19):1797-806.
- Radmehr A, Jandaghi AB, Hashemi Taheri AP, Shakiba M. Serial resistive index and pulsatility index for diagnosing renal complications in the early posttransplant phase: improving diagnostic efficacy by considering maximum values. *Exp Clin Transplant.* 2008 Jun;6(2):161-7.
- Breitenseher M, Helbich T, Kainberger F, Hübsch P, Trattning S, Traindl O, et al. Color Doppler ultrasound of kidney transplants. Does the resistance index facilitate diagnosis of chronic kidney failure?. *Ultraschall Med.* 1994 Feb;15(1):24-8.
- Cano H, Castañeda DA, Patiño N, Pérez HC, Sánchez M, Lozano E, et al. Resistance index measured by Doppler ultrasound as a predictor of graft function after kidney transplantation. *Transplant Proc.* 2014 Nov;46(9):2972-4.
- Patel KN, Patel NA, Gandhi SP. Comparison between doppler ultrasound resistive index, serum creatinine, and histopathologic changes in patients with kidney transplant dysfunction in early post transplantation period: a single center study with review of literature. *Saudi J Kidney Dis Transpl.* 2016 May;27(3):533-8.

9. Araújo NC, Suassuna JH. Determinant variables of resistive index in early renal transplant recipients. *Transplant Proc.* 2016 Jul/Aug;48(6):1955-61.
10. Darmon M, Schnell D, Zeni F. Doppler-based renal resistive index: a comprehensive review. In: Vincent JL, ed. *Yearbook of intensive care and emergency medicine.* Heidelberg: Springer; 2010. p. 331-8.
11. Radermacher J, Mengel M, Ellis S, Stuh S, Hiss M, Schwarz A, et al. The renal arterial resistance index and renal allograft survival. *N Engl J Med.* 2003 Jul;349(2):115-24.
12. Don S, Kopecky KK, Filo RS, Leapman SB, Thomalla JV, Jones JA, et al. Duplex Doppler US of renal allografts: causes of elevated resistive index. *Radiology.* 1989 Jun;171(3):709-12.
13. Mehra S, Salem S, Ahmadi H, Baradaran N, Taherimahmoudi M, Nikoobakht MR, et al. Role of resistive index measurement in diagnosis of acute rejection episodes following successful kidney transplantation. *Transpl Proc.* 2009 Sep;41(7):2805-7.
14. Shebel HM, Akl A, Dawood A, El-Diasty TA, Shokeir AA, Ghoneim MA. Power Doppler sonography in early renal transplantation: does it differentiate acute graft rejection from acute tubular necrosis?. *Saudi J Kidney Dis Transpl.* 2014 Jul;25(4):733-40.
15. Hollenbeck M, Hilbert N, Meusel F, Grabensee B. Increasing sensitivity and specificity of Doppler sonographic detection of renal transplant rejection with serial investigation technique. *Clin Investig.* 1994 Aug;72(8):609-15.
16. Meier M, Fricke L, Eikenbusch K, Smith E, Kramer J, Lehnert H, et al. The serial duplex index improves differential diagnosis of acute renal transplant dysfunction. *J Ultrasound Med.* 2017 Aug;36(8):1607-15. DOI: <https://doi.org/10.7863/ultra.16.07032>
17. Sharma AK, Rustom R, Evans A, Donnolly D, Brown MW, Bakran A, et al. Utility of serial Doppler ultrasound scans for the diagnosis of acute rejection in renal allografts. *Transpl Int.* 2004 Mar;17(3):138-44.
18. Hurst FP, Abbott KC, Neff RT, Elster EA, Falta EM, Lentine KL, et al. Incidence, predictors and outcomes of transplant renal artery stenosis after kidney transplantation: analysis of USRDS. *Am J Nephrol.* 2009;30(5):459-67.
19. Chen W, Kayler LK, Zand MS, Muttana R, Chernyak V, DeBoccardo GO. Transplant renal artery stenosis: clinical manifestations, diagnosis and therapy. *Clin Kidney J.* 2015 Feb;8(1):71-8.
20. Gray DWR. Graft renal artery stenosis in the transplanted kidney. *Transplant Rev.* 1994;8:15-21.
21. Melek E, Baskın E, Gulleroglu K, Uslu N, Kirnap M, Moray G, et al. The predictive value of resistive index obtained by Doppler ultrasonography early after renal transplantation on long-term allograft function. *Pediatr Transplant.* 2016 Mar;21(2):1-6.
22. Chudek J, Kolonko A, Król R, Ziaja J, Cierpka A, Wiecek A. The intrarenal vascular resistance parameters measured by duplex Doppler ultrasound shortly after kidney transplantation in patients with immediate, slow, and delayed graft function. *Transplant Proc.* 2006 Jan/Feb;38(1):42-5.
23. Spatola L, Andrulli S. Doppler ultrasound in kidney diseases: a key parameter in clinical long-term follow-up. *J Ultrasound.* 2016 Dec;19(4):243-50.
24. Mwipatayi BP, Suthanathan AE, Daniel R, Rahmatzadeh M, Thomas SD, Phillips M, et al. Relationship between 'immediate' resistive index measurement after renal transplantation and renal allograft outcomes. *Transplant Proc.* 2016 Nov;48(10):3279-84.
25. Adibi A, Ramezani M, Mortazavi M, Taheri S. Color Doppler indexes in early phase after kidney transplantation and their association with kidney function on six month follow up. *Adv Biomed Res.* 2012 Aug;1:62.
26. Yoo MG, Jung DC, Oh YT, Park SY, Han K. Usefulness of multiparametric ultrasound for evaluating structural abnormality of transplanted kidney: can we predict histologic abnormality on renal biopsy in advance?. *AJR Am J Roentgenol.* 2017 Sep;209(3):W139-44.
27. Ghorbani A, Shirazi AS, Sametzadeh M, Mansooru P, Taheri A. Relation of resistive and pulsatility indices with graft function after renal transplant. *Exp Clin Transplant.* 2012 Dec;10(6):568-72.
28. Lechevallier E, Dussol B, Luccioni A, Thirion X, Vacher-Copomat H, Jaber K, et al. Posttransplantation acute tubular necrosis: risk factors and implications for graft survival. *Am J Kidney Dis.* 1998 Dec;32(6):984-91.
29. Sijkens YWJ, Doxiadis IIN, Mallat MJK, Fijter JW, Bruijn JA, Claas FHJ, et al. Early versus late acute rejection episodes in renal transplantation. *Transplantation.* 2003 Jan;75(2):204-8.