



Impacto do Transplante Renal na Variabilidade da Frequência Cardíaca: Uma Revisão Narrativa

Everton Silveira Macedo^{1,2}, Maria Cléa de Sá Roriz Neves², Hermes Melo Teixeira Batista^{2,3}, Ronaldo de Matos Esmeraldo¹, Romero de Matos Esmeraldo¹

Resumo: A doença cardiovascular é a principal causa de mortalidade em pacientes com doença renal em estágio terminal (DRET), um risco incipiente, que muitas vezes se materializa antes dos indícios de comprometimento da função cardiovascular. O transplante renal inicia um processo de recuperação complexo e multifásico, no qual a responsividade funcional é restaurada antes da normalização dos índices basais da VFC. Métodos: Foram revisados estudos prospectivos, observacionais e transversais que utilizaram monitores de frequência cardíaca (como o Polar H10) e monitoramento Holter para coletar dados de intervalos R-R. As análises incluíram domínio do tempo (SDNN, RMSSD), domínio da frequência (LF, HF), parâmetros não lineares (SD1, SD2) e análise de quantificação de recorrência (RQA). As populações estudadas variaram de receptores de transplante renal comparados a doadores saudáveis até acompanhamentos longitudinais de até 5 anos. Resultados: Pacientes com DRT apresentam disfunção autonômica substancial, evidenciada por uma VFC marcadamente inferior à de controles saudáveis em quase todos os domínios ($p < 0,001$). Surpreendentemente, a VFC pode sofrer um declínio adicional nos primeiros 5 a 7 dias após a cirurgia. Observou-se redução significativa no SDNN, na entropia amostral e na potência total, indicando que o transplante não restaura imediatamente o equilíbrio autonômico e pode até agravar a instabilidade inicial devido ao estresse cirúrgico e medicamentos. Os achados são conflitantes. Alguns estudos relatam melhoras na regulação autonômica e na sensibilidade barorreflexa após 3 a 12 meses. No entanto, outros indicam que a VFC permanece inibida ou apenas parcialmente recuperada mesmo após 6 meses. Existe uma correlação positiva entre uma maior taxa de filtração glomerular estimada (TFGe) e uma VFC mais ampla, sugerindo que a melhoria da função do enxerto influencia diretamente a recuperação autonômica. Embora a redução da VFC seja um preditor estabelecido de morte súbita cardíaca e mortalidade em pacientes em diálise, os parâmetros registrados especificamente no período perioperatório não se mostraram ferramentas eficazes para estratificar o risco de morte cardíaca a longo prazo (5 anos). Conclusões: Pacientes com DRT exibem um comprometimento severo da VFC que persiste e pode piorar no período pós-transplante imediato. Embora o transplante renal bem-sucedido ofereça o potencial para a restauração da homeostase fisiológica, a normalização da função autonômica é um processo gradual e individualizado. Estes achados reforçam a importância do monitoramento contínuo da VFC para avaliar a saúde cardiovascular e a necessidade de intervenções que otimizem a recuperação autonômica nesta população.

Palavras-chave: Sistema nervoso autônomo, Insuficiência renal, frequência cardíaca, transplante renal.

¹ Hospital Geral de Fortaleza, Brasil;

² Hospital Regional do Cariri, Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil. Autor correspondente: hermes2710batista@gmail.com;

³ Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, Brasil.

Impact of Kidney Transplantation on Heart Rate Variability: A Narrative Review

Abstract: Cardiovascular disease is the leading cause of mortality in patients with end-stage renal disease (ESRD), an incipient risk that often materializes before signs of cardiovascular impairment. Kidney transplantation initiates a complex and multiphasic recovery process, in which functional responsiveness is restored before normalization of baseline HRV indices. Methods: Prospective, observational, and cross-sectional studies that used heart rate monitors (such as the Polar H10) and Holter monitoring to collect R-R interval data were reviewed. Analyses included time domain (SDNN, RMSSD), frequency domain (LF, HF), nonlinear parameters (SD1, SD2), and recurrence quantification analysis (RQA). The study populations ranged from kidney transplant recipients compared to healthy donors to longitudinal follow-ups of up to 5 years. Results: Patients with ESRD exhibit substantial autonomic dysfunction, evidenced by a markedly lower HRV than healthy controls in nearly all domains ($p < 0.001$). Surprisingly, HRV may decline further in the first 5 to 7 days after surgery. Significant reductions were observed in SDNN, sample entropy, and total power, indicating that transplantation does not immediately restore autonomic balance and may even worsen initial instability due to surgical stress and medications. Findings are conflicting. Some studies report improvements in autonomic regulation and baroreflex sensitivity after 3 to 12 months. However, others indicate that HRV remains inhibited or only partially recovered even after 6 months. There is a positive correlation between a higher estimated glomerular filtration rate (eGFR) and a wider HRV, suggesting that improved graft function directly influences autonomic recovery. Although reduced HRV is an established predictor of sudden cardiac death and mortality in dialysis patients, parameters recorded specifically in the perioperative period have not proven to be effective tools for stratifying the risk of long-term (5-year) cardiac death. Conclusions: Patients with ESRD exhibit severe HRV impairment that persists and may worsen in the immediate post-transplant period. Although successful kidney transplantation offers the potential for restoration of physiological homeostasis, normalization of autonomic function is a gradual and individualized process. These findings reinforce the importance of continuous HRV monitoring to assess cardiovascular health and the need for interventions that optimize autonomic recovery in this population.

Keywords: Autonomic nervous system, Renal failure, Heart rate, Kidney transplantation.

Introdução

A doença cardiovascular é a principal causa de mortalidade em pacientes com doença renal em estágio terminal (DRET), um risco incipiente, que muitas vezes se materializa antes dos indícios de comprometimento da função cardiovascular. Fundamental para esse risco elevado é a disfunção autonômica secundária à insuficiência renal, condição que pode ser quantificada atualmente de forma não invasiva pela medição da Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) através de eletrocardiograma processado ou cardiofrequencímetros ^[1]. Como um marcador objetivo do equilíbrio entre os ramos simpático e parassimpático do sistema nervoso autônomo, a VFC acentuadamente reduzida foi identificada como um importante preditor independente de mortalidade e morte súbita cardíaca na população com DRET ^[2].

A Variabilidade da Frequência Cardíaca é uma ferramenta clínica bem estabelecida que reflete a capacidade do coração de responder a estímulos fisiológicos e ambientais. Um coração saudável não é um metrônomo; as variações no intervalo entre batimentos cardíacos consecutivos fornecem uma janela para o estado do controle autonômico. Na DRET, o ambiente urêmico reduz significativamente essa variabilidade, sinalizando um estado de desautonomia e maior vulnerabilidade cardiovascular [3].

Embora o transplante renal seja o tratamento definitivo para a DRC (Doença Renal Crônica), com o objetivo de corrigir o estado urêmico e restaurar a homeostase fisiológica, seu efeito na função autonômica está longe de ser claro [4]. O conjunto de evidências existente sobre o impacto do transplante na VFC (Variabilidade da Frequência Cardíaca) é inconsistente, com estudos relatando resultados que variam de melhora gradual a uma piora paradoxal da função autonômica.

O objetivo desta revisão narrativa é sintetizar e analisar criticamente os resultados conflitantes de múltiplos estudos sobre a trajetória da VFC após o transplante renal. Esta revisão defende a tese de que o transplante renal não simplesmente "corrige" a disfunção autonômica; ele inicia um processo de recuperação complexo e multifásico, no qual a responsividade funcional é restaurada antes da normalização dos índices basais da VFC [5]. Ao examinar as evidências do período pós-operatório agudo até o acompanhamento de longo prazo, esta revisão explorará os potenciais fatores clínicos e metodológicos que contribuem para essas discrepâncias. Com base nas fontes analisadas, serão discutidas as implicações clínicas para o manejo do paciente e perspectivas para pesquisas futuras. Para compreender plenamente a complexidade da recuperação pós-transplante, é necessário inicialmente, estabelecer o estado de disfunção autonômica pré-transplante como a linha de base crítica para a análise.

Discussão

Disfunção Autonômica na Doença Renal em Estágio Terminal

Compreender o estado da função autonômica pré-transplante é de importância estratégica crítica. As profundas alterações na Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) observadas em pacientes com doença renal em estágio terminal não são meramente uma curiosidade clínica; elas representam um comprometimento fisiológico grave que serve como parâmetro essencial contra a qual quaisquer alterações pós-transplante devem ser medidas. Essa

neuropatia autonômica preexistente, uma característica do estado urêmico, conforme detalhado por Ranpuria et al. [5], prepara o terreno para o complexo processo de recuperação que se segue ao transplante.

O perfil característico da VFC de pacientes com DRC em estágio terminal em preparação para o transplante, conforme descrito quantitativamente por Çamkiran et al. [6], é definido por uma redução acentuada na variabilidade em comparação com indivíduos saudáveis. Esse comprometimento não se limita a um único aspecto do controle autonômico, mas é evidente em múltiplos parâmetros de domínio do tempo e da frequência, indicando uma supressão global da modulação simpática e parassimpática da frequência cardíaca. Essa disfunção é um fator de risco independente para morte súbita cardíaca e está presente mesmo antes que anormalidades cardíacas estruturais se tornem aparentes. Os dados quantitativos de Çamkiran et al. [6] fornecem uma ilustração clara dessa deficiência pré-operatória. Quando comparados aos seus doadores vivos saudáveis, os receptores de transplante demonstraram valores significativamente mais baixos em todas as principais métricas de VFC (variabilidade da frequência cardíaca), conforme resumido na tabela abaixo.

Tabela 1: Variabilidade da frequência cardíaca

Índice de VFC	Pacientes transplantados (Média ± DP)	Indivíduos saudáveis (Média ± DP)	Valor de P
SDNN (ms)	22.92 ± 20.89	33.4 ± 16.88	0.001
RMSSD (ms)	22.53 ± 35.53	29.22 ± 23.13	0.006
LF Power (FFT, log)	4.82 ± 1.54	6.16 ± 1.08	< 0.001
HF Power (FFT, log)	4.01 ± 1.83	5.11 ± 1.41	0.01

Fonte: Adaptado de Çamkiran et al. (2025) [6].

Essas reduções têm implicações fisiológicas diretas. Um menor Desvio Padrão dos Intervalos Normais (SDNN) reflete uma diminuição na variabilidade geral da frequência cardíaca, o que significa um sistema cardiovascular menos adaptativo. A supressão dos componentes de potência de Baixa Frequência (BF) e Alta Frequência (AF) transformados em logaritmo aponta para um comprometimento autonômico global envolvendo diminuição da contribuição dos ramos simpático e parassimpático. Esse controle autonômico atenuado é uma consequência direta do ambiente urêmico. O transplante renal, portanto, se posiciona como a intervenção definitiva destinada não apenas a restaurar a função renal, mas também a reverter

essa disfunção autonômica grave e potencialmente fatal. As seções subsequentes avaliarão criticamente até que ponto esse objetivo terapêutico é alcançado [7].

A Trajetória da Variabilidade da Frequência Cardíaca Pós-Transplante: Um Cenário Contraditório

Diferente da expectativa clínica de uma recuperação simples, a literatura revela uma cronologia complexa e não linear para a normalização da VFC (Variabilidade da Frequência Cardíaca) após o transplante renal. A jornada da disfunção autonômica grave da DRC (Doença Renal Crônica) em estágio terminal para um estado de equilíbrio restaurado é melhor compreendida como uma adaptação fisiológica que se desenrola em estágios distintos, em vez de uma simples reversão da patologia. Esta seção desconstrói as evidências para traçar um arco narrativo desde o choque pós-operatório agudo, passando por um período de cicatrização inibida, até o surgimento eventual de um novo equilíbrio funcional [8].

Descompensação Aguda

O Choque Perioperatório Imediatamente após a cirurgia, o sistema autonômico não melhora, mas sofre uma descompensação aguda. O estudo de Çamkiran et al.^[6], que avaliou receptores entre o 5º e o 7º dia pós-operatório, documentou uma piora estatisticamente significativa da função autonômica em comparação com o nível basal pré-operatório já comprometido. Este fenômeno pode ser caracterizado como um estado de atordoamento autonômico agudo resultante da agressão perioperatória maciça. Essa deterioração foi observada em múltiplos domínios:

- SDNN e RMSSD, medidas de variabilidade geral e de curto prazo, diminuíram significativamente ($p=0,001$ e $p=0,010$, respectivamente).
- A potência LF e a potência HF, que refletem a atividade simpática/parassimpática e parassimpática, também apresentaram reduções significativas ($p=0,002$ e $p<0,001$, respectivamente).
- A potência total, uma medida global da VFC, diminuiu acentuadamente ($p=0,003$).
- A razão LF/HF aumentou significativamente ($p=0,013$). De forma crucial, essa mudança relativa em direção à dominância simpática ocorreu no contexto de uma supressão

global da potência autonômica, visto que ambos os componentes LF e HF foram marcadamente reduzidos.

Esta fase inicial é dominada por fatores de confusão que temporariamente anulam quaisquer benefícios da resolução da uremia, incluindo o estresse cirúrgico, a inflamação sistêmica, as alterações agudas de fluidos e os efeitos de imunossuppressores em altas doses [9].

Cicatrização Inibida: O platô de médio prazo

Após a fase aguda, as evidências apontam para um período de cicatrização prolongada e inibida, no qual o dano autonômico profundo se mostra lento para reparar. Um estudo de Akbarzadeh et al., que acompanhou os receptores por seis meses, concluiu que houve um "retorno inibido da VFC (variabilidade da frequência cardíaca)". Em sua coorte, a maioria dos parâmetros padrão de domínio do tempo e da frequência — incluindo SDNN, RMSSD, LF e HF — não apresentou melhora estatisticamente significativa em relação ao nível basal pré-transplante [2]. Os únicos parâmetros que demonstraram uma mudança significativa foram os componentes de frequência muito baixa (VLF) e de frequência ultrabaixa (ULF) ($p=0,01$ e $p=0,05$, respectivamente), que refletem mecanismos regulatórios de longo prazo. Essa descoberta de uma recuperação inibida a médio prazo contrasta com estudos citados por Çamkıran et al. (por exemplo, Cashion et al., Jha et al.), que relataram melhorias perceptíveis já aos três a seis meses [6]. Essa discrepância destaca que, além do choque cirúrgico inicial, o ritmo da normalização autonômica é altamente variável e frequentemente estagnado.

Um Novo Equilíbrio Funcional: Responsividade Restaurada

Uma perspectiva mais matizada sobre a recuperação surge quando o foco muda das métricas de estado de repouso para a responsividade autonômica funcional. O trabalho de Solorio-Rivera et al. demonstra que receptores de transplante renal estáveis e de longo prazo exibem uma resposta autonômica apropriada a um desafio ortostático (um teste de ortostatismo ativo) — uma resposta que normalmente é atenuada em pacientes com DRC em estágio terminal. Essa descoberta sugere o surgimento de um novo equilíbrio funcional, que não é um retorno a um nível basal "normal", mas uma capacidade restaurada de responder a desafios. Crucialmente, Solorio-Rivera et al. estabeleceram uma ligação direta entre a qualidade do

aloenxerto e a recuperação autonômica. Uma taxa de filtração glomerular estimada (TFGe) mais alta nos receptores correlacionou-se significativamente com melhores medidas de VFC, incluindo SDNN, SDSD e pNN20. Essa evidência sugere fortemente que a extensão da função restaurada do aloenxerto é um determinante fundamental do grau em que o sistema nervoso autônomo se recupera [4]. Para entender esses resultados divergentes — da descompensação aguda à cicatrização inibida e a um novo equilíbrio funcional — é essencial analisar as diferenças metodológicas subjacentes e os fatores clínicos de confusão entre esses estudos [10].

Desconstruindo as Discrepâncias: Principais Fatores de Confusão e Variâncias Metodológicas

Os achados contraditórios na literatura são, em grande parte, um artefato da heterogeneidade no momento das medições e da alta carga de fatores de confusão clínicos, que confundem a resposta aguda ao estresse com a remodelação autonômica de longo prazo. Dissecando esses fatores críticos, é essencial criar uma interpretação coerente dos dados disponíveis e compreender a verdadeira trajetória da recuperação autonômica e sua importância no prognóstico a médio e longo prazo [11].

A Influência de Comorbidades e Medicamentos

O perfil clínico do receptor de transplante típico, caracterizado pela alta carga de comorbidades cardiovasculares típicas do fenótipo da DRC (Doença Renal Crônica), confunde fundamentalmente a análise da VFC (Variabilidade da Frequência Cardíaca). Çamkiran et al. relatam uma alta prevalência de hipertensão pré-existente (78,1%) e diabetes (25,0%) [6]. Como observado por Ranpuria et al., ambas as condições são causas independentes bem conhecidas de disfunção autonômica, dificultando o isolamento do efeito do transplante do impacto contínuo dessas doenças subjacentes. Os medicamentos representam outro fator de confusão importante. Akbarzadeh et al. relataram que quase todos os pacientes em seu estudo estavam recebendo betabloqueadores (94,4%) e a maioria estava em uso de bloqueadores dos canais de cálcio (82,4%), ambos moduladores diretos da variabilidade da frequência cardíaca. Além disso, o impacto potencial de regimes imunossupressores específicos e de vários medicamentos perioperatórios, observado por Çamkiran et al. e Biernawska et al., adiciona outra camada de complexidade que pode obscurecer o verdadeiro sinal de recuperação [2,4,5,6,12].

O Papel Crítico do Momento da Medição e do Desenho do Estudo

O momento da avaliação da VFC influencia criticamente os resultados e provavelmente explica grande parte dos dados conflitantes. Os estudos disponíveis mediram a VFC em estados fisiológicos muito diferentes: o período perioperatório agudo de estresse extremo (Biernawska et al., Çamkıran et al.), uma fase de estabilização de médio prazo (Akbarzadeh et al.) e um estado estável de teste funcional (Solorio-Rivera et al.). O trabalho de Biernawska et al. Oferece uma conclusão crucial neste contexto: os parâmetros de VFC (variabilidade da frequência cardíaca) registrados durante o período perioperatório não são ferramentas ideais para estratificar o risco de mortalidade cardíaca a longo prazo (5 anos). Essa descoberta sugere que as medições agudas são muito afetadas por estressores transitórios para terem valor prognóstico duradouro ^[13].

Finalmente, diferentes abordagens analíticas podem gerar diferentes insights. Embora a maioria dos estudos se baseie em métricas lineares tradicionais, o uso de métodos não lineares, como a Análise de Quantificação de Recorrência (RQA) de Solorio-Rivera et al., fornece uma perspectiva diferente sobre o comportamento dinâmico do controle cardiovascular. A escolha da ferramenta analítica pode, portanto, influenciar a interpretação da recuperação autonômica^[2]. Em última análise, essas variações metodológicas e clínicas significam que uma comparação direta, de forma equivalente, entre muitos desses estudos é fundamentalmente falha. O "panorama contraditório" é um artefato da medição de diferentes fenômenos — estresse agudo versus função estável — em diferentes subgrupos de pacientes com diferentes cargas de comorbidades e regimes de medicação ^[14].

Implicações Clínicas e Direções Futuras de Pesquisa

Apesar das inconsistências na literatura, as evidências coletivas têm importantes implicações práticas para o prognóstico e monitoramento do paciente. Os desafios destacados nos dados iluminam um caminho claro para futuras investigações, visando proteger melhor essa população vulnerável de pacientes.

Prognóstico e Monitoramento do Paciente

A principal conclusão clínica é que os receptores de transplante renal, particularmente no período pós-operatório inicial a intermediário, apresentam disfunção autonômica persistente e permanecem com risco elevado de eventos cardiovasculares. A piora paradoxal inicial ou a recuperação lenta da VFC (variabilidade da frequência cardíaca) sugere que o período imediatamente após o transplante é vulnerável e pode justificar um monitoramento cardiovascular mais rigoroso, além da simples avaliação da função do enxerto. Conforme estabelecido por Ranpuria et al., essa disfunção persistente é clinicamente significativa devido à sua relação comprovada com o risco de morte súbita cardíaca (MSC) na população com DRC (doença renal crônica em estágio terminal)^[6].

A descoberta de Solorio-Rivera et al. fornece uma ferramenta clínica potencialmente valiosa. Sua demonstração de uma forte correlação entre a função do enxerto (eTFG) e a recuperação da VFC sugere que o monitoramento da função renal pós-transplante pode servir como um marcador indireto útil para o ritmo potencial de normalização do sistema nervoso autônomo ^[2]. Um paciente com eTFG subótima ou com melhora lenta pode apresentar maior risco de disfunção autonômica persistente.

Método

Trata-se de artigo de revisão integrativa, baseado em estudos prospectivos, observacionais e transversais que analisou a variabilidade da frequência cardíaca (VFC) em pacientes portadores de doença renal terminal. A busca foi realizada nas Bases de Dados PubMed, Scopus, Portal Capes e Web os Science. O período de abrangência das buscas foi de 1996 à 2026.

Recomendações para Estudos Futuros

As limitações identificadas nos artigos originais — incluindo tamanhos de amostra pequenos e períodos de acompanhamento curtos ou inconsistentes — apontam para uma clara necessidade de pesquisas mais rigorosas. Para resolver as ambiguidades atuais e estabelecer o

verdadeiro valor prognóstico da VFC nessa população, estudos futuros devem seguir as seguintes recomendações:

1. Desenho Longitudinal: Há uma necessidade crítica de estudos longitudinais prospectivos em larga escala que meçam a VFC na mesma coorte de pacientes em múltiplos pontos de tempo padronizados. As avaliações devem ser realizadas antes do transplante para estabelecer uma linha de base clara, imediatamente após a cirurgia e em intervalos regulares subsequentes (por exemplo, 3, 6, 12 e 24 meses) para mapear a trajetória completa de recuperação.

2. Protocolos Padronizados: Para garantir que os resultados sejam comparáveis entre os estudos, pesquisas futuras devem adotar protocolos padronizados de medição da VFC. Isso inclui consenso sobre o método de gravação (por exemplo, Holter de 24 horas versus gravações de curto prazo de 5 minutos), o software analítico utilizado e as condições fisiológicas específicas do teste (por exemplo, repouso em decúbito dorsal versus desafio ortostático funcional).

3. Índices utilizados para a medição. Atualmente há consenso sobre a melhor representatividade do complexo comportamento da fisiologia pelos métodos não lineares de medição da VFC.

Controle abrangente de fatores de confusão

Estudos futuros devem documentar meticulosamente e controlar estatisticamente as principais variáveis de confusão. Isso inclui detalhar regimes imunossupressores específicos, o uso e a dosagem de medicamentos anti-hipertensivos (especialmente betabloqueadores), o histórico e a modalidade de diálise pré-transplante do paciente e a presença e gravidade de comorbidades como diabetes^[15]. A adesão a esses padrões rigorosos é o próximo passo necessário para transformar a VFC (variabilidade da frequência cardíaca) de uma descoberta complexa de pesquisa em uma ferramenta clínica confiável para estratificação de risco e melhoria do atendimento ao paciente.

Conclusão

Esta revisão estabeleceu que a doença renal em estágio terminal é caracterizada por disfunção autonômica grave, refletida em uma redução acentuada da variabilidade da frequência cardíaca, o que coloca os pacientes em alto risco de mortalidade cardiovascular. A principal descoberta do estudo é que o transplante renal, embora seja uma intervenção que salva vidas, inicia uma recuperação complexa, não linear e prolongada da função autonômica. Este processo não é uma simples reversão da patologia, mas é melhor caracterizado, pela VFC, como uma piora paradoxal inicial durante a fase perioperatória aguda, seguida por uma recuperação lenta e frequentemente incompleta ao longo dos meses subsequentes. Essa recuperação pode ser melhor compreendida como uma restauração gradual da responsividade funcional aos desafios autonômicos, em vez de uma simples normalização dos parâmetros basais da VFC (variabilidade da frequência cardíaca).

Essa trajetória de recuperação complexa é fortemente influenciada por uma série de fatores, incluindo o momento da avaliação da VFC, as comorbidades subjacentes do paciente, os efeitos de confusão de medicamentos essenciais e, criticamente, a qualidade da função do aloenxerto, medida pela TFG_e (taxa de filtração glomerular estimada).

As inconsistências na literatura atual são, em grande parte, produto de variações nesses fatores entre diferentes estudos. Portanto, há uma necessidade urgente de pesquisas longitudinais mais rigorosas e padronizadas para elucidar completamente a evolução da função autonômica após o transplante.

Essa pesquisa pode ser útil na definição do valor prognóstico do monitoramento da VFC em receptores de transplante renal e para desenvolver estratégias baseadas em evidências que otimizem o gerenciamento do risco cardiovascular e melhorem os resultados a longo prazo nessa população vulnerável.

Referências

1. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Circulation*. 1996; 93(5):1043–65. Epub 1996/03/01. PMID: 8598068.
2. Akbarzadeh, F., Safa, J., Sohrabi, M., & Ghaffari, S. (2012). Differences in heart rate variability parameters before and after kidney transplantation in patients with renal failure. *Life Science Journal*, 9(4), 3783–3786.

3. Biernawska, J., Kotfis, K., Kaczmarczyk, M., Błaszczak, W., Barnik, E., & Żukowski, M. (2016). HRV influence during renal transplantation procedure on long-term mortality. *Transplantation Proceedings*, 48(5), 1511–1514. <https://doi.org/10.1016/j.transproceed.2016.01.063>
4. Solorio-Rivera, A. H., Calderón-Juárez, M., Arellano-Martínez, J., Lerma, C., & González-Gómez, G. H. (2024). Characterization of heart rate variability in end-stage renal disease patients after kidney transplantation with recurrence quantification analysis. *PLOS ONE*, 19(5), e0299156. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0299156>.
5. Ranpuria, R., Hall, M., Chan, C. T., & Ip, J. (2008). Heart rate variability (HRV) in kidney failure: Measurement and consequences of reduced HRV. *Nephrology Dialysis Transplantation*, 23(2), 444–449. <https://doi.org/10.1093/ndt/gfm610>.
6. Çamkıran, V., Achmar, B., Kutlu, İ., & Ürker, T. S. (2025). Short-term changes in heart rate variability following kidney transplantation: A comparative analysis with healthy donors. *Journal of Cukurova Anesthesia and Surgical Sciences*, 8(3), 328–332. <https://doi.org/10.36516/jocass.1753112>.
7. Lerma C, Gonzalez H, Perez-Grovas H, Jose MV, Infante O. (2015). Preserved autonomic heart rate modulation in chronic renal failure patients in response to hemodialysis and orthostatism. *Clin Exp Nephrol*, 19(2):309–18. Epub 2014/05/31. <https://doi.org/10.1007/s10157-014-0990-1> PMID: 24874248.
8. Quarti-Trevano F, Seravalle G, Dell’Oro R, Mancina G, Grassi G. (2021). Autonomic Cardiovascular Alterations in Chronic Kidney Disease: Effects of Dialysis, Kidney Transplantation, and Renal Denervation. *Current Hypertension Reports*, 23(2):10. <https://doi.org/10.1007/s11906-021-01129-6> PMID: 33582896
9. Marwan N, Wessel N, Meyerfeldt U, Schirdewan A, Kurths J. (2002). Recurrence-plot-based measures of complexity and their application to heart-rate-variability data. *Phys Rev E*, 66(2):026702. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.66.026702> PMID: 12241313
10. Gonzalez H, Infante O, Perez-Grovas H, Jose MV, Lerma C. (2013). Nonlinear dynamics of heart rate variability in response to orthostatism and hemodialysis in chronic renal failure patients: recurrence analysis approach. *Med Eng Phys*, 35(2):178–87. Epub 2012/06/01. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2012.04.013> PMID: 22647839.
11. Finucane C, van Wijnen VK, Fan CW, Soraghan C, Byrne L, Westerhof BE, et al. A practical guide to active stand testing and analysis using continuous beat-to-beat non-invasive blood pressure monitoring. *Clinical Autonomic Research*. 2019; 29(4):427–41. <https://doi.org/10.1007/s10286-019-00606-y> PMID: 31076939
12. Wessel N, Voss A, Malberg H, Ziehmann C, Voss HU, Schirdewan A, et al. (2000). Nonlinear analysis of complex phenomena in cardiological data. *Herzschr Elektrophys*, 11(3):159–73. <https://doi.org/10.1007/s003990070035>

13. Mietus JE, Peng CK, Henry I, Goldsmith RL, Goldberger AL. (2002). The pNNx files: re-examining a widely used heart rate variability measure. *Heart*, 88(4):378–80. <https://doi.org/10.1136/heart.88.4.378> PMID: 12231596.
14. Marwan N, Carmen Romano M, Thiel M, Kurths J. (2007). Recurrence plots for the analysis of complex systems. *Phys Rep.*, 438(5):237–329. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2006.11.001>
15. Calderon-Juarez M, Gonzalez-Gomez GH, Echeverria JC, Perez-Grovas H, Lerma C. (2020). Association between Mean Heart Rate and Recurrence Quantification Analysis of Heart Rate Variability in End-Stage Renal Disease. *Entropy* (Basel). 22(1). Epub 2020/12/09. <https://doi.org/10.3390/e22010114> PMID: 33285890; PubMed Central PMCID: PMC7516420.



Recebido: 15/01/2026. Aceito: 27/01/2026. Publicado: 28/02/2026.