



Variabilidade da Frequência Cardíaca e Infecções Pulmonares Pós Revascularização Miocárdica

Heart Rate Variability and Pulmonary Infections after Myocardial Revascularization

Paulo Rogério Corrêa¹, Aparecida Maria Catai², Isabela T. Takakura¹, Maurício N. Machado¹, Moacir F. Godoy³
Fundação Faculdade Regional de Medicina de São José do Rio Preto - FUNFARME¹; Universidade Federal de São Carlos - UFSCar²; Faculdade de Medicina de São José do Rio Preto - FAMERP³, São Paulo - Brasil

Resumo

Fundamento: A variabilidade da frequência cardíaca (VFC) é um método diagnóstico não invasivo usado na avaliação da modulação autonômica do coração. A análise da VFC por métodos de dinâmica não linear no período pré-operatório da cirurgia de revascularização do miocárdio poderia ser preditora de morbidade no pós-operatório, como por exemplo, infecções pulmonares.

Objetivo: Avaliar o comportamento da VFC pela dinâmica não linear, no período pré-operatório da cirurgia de revascularização do miocárdio e sua relação com a ocorrência de infecções pulmonares no período pós-operatório hospitalar.

Métodos: Foram avaliados 69 pacientes (média de idade de $58,6 \pm 10,4$ anos) com doença arterial coronariana e indicação eletiva de cirurgia de revascularização do miocárdio. Para quantificar a dinâmica não linear da VFC, foram realizadas: análise das flutuações depuradas de tendências (DFA), seus componentes de curto (α_1) e longo (α_2) prazos, entropia aproximada (-ApEn), expoente de Lyapunov (LE), e expoente de Hurst (HE) de séries temporais dos intervalos RR do ECG, captados com equipamento Polar S810i, na véspera da operação.

Resultados: Nos níveis de corte estipulado pela curva ROC, houve diferença significativa entre os grupos com e sem infecções pulmonares no pós-operatório de revascularização do miocárdio para a DFA total, entropia aproximada e expoente Lyapunov com $p = 0,0309$, $p = 0,0307$ e $p = 0,0006$, respectivamente.

Conclusão: Os métodos de dinâmica não linear, nos seus respectivos níveis de corte, permitiram diferenciar os casos que evoluíram com infecção pulmonar no pós-operatório de cirurgia de revascularização do miocárdio, sugerindo que, nesse grupo de pacientes, estes métodos podem ter caráter prognóstico. (Arq Bras Cardiol 2010; 95(4): 448-456)

Palavras-chave: Frequência cardíaca, pneumopatias fúngicas, complicações pós-operatórias, revascularização miocárdica.

Abstract

Background: Heart rate variability (HRV) is a noninvasive diagnostic method used in the assessment of the autonomic modulation of the heart. The assessment of HRV using nonlinear dynamics methods in the preoperative period of surgical myocardial revascularization could be predictive of morbidity such as pulmonary infections in the postoperative period.

Objective: To evaluate the behavior of HRV using nonlinear dynamics in the preoperative period of surgical myocardial revascularization and its relation to the occurrence of pulmonary infections in the in-hospital postoperative period.

Methods: A total of 69 patients with coronary artery disease (mean age of 58.6 ± 10.4 years) and indication for elective surgical myocardial revascularization were studied. In order to quantify the nonlinear dynamics of HRV, the following procedures were performed: detrended fluctuation analysis (DFA); analysis of the short (α_1) and long-term (α_2) components of DFA; approximate entropy (ApEn); Lyapunov exponent (LE); and Hurst exponent (HE) of time series of RR intervals of the ECG, as captured by the Polar S810i instrument on the day before surgery.

Results: At the cut-off levels set by the ROC curve, there was a significant difference between the groups with and without pulmonary infections in the postoperative period of myocardial revascularization for total DFA, approximate entropy and Lyapunov exponent with $p = 0.0309$, $p = 0.0307$ and $p = 0.0006$, respectively.

Conclusion: The nonlinear dynamics methods, at their respective cut-off levels, allowed for the identification of patients developing pulmonary infection in the postoperative period of surgical myocardial revascularization, thus suggesting that these methods may have a prognostic value for this group of patients. (Arq Bras Cardiol 2010; 95(4): 448-456)

Key words: Heart rate; lung diseases, fungal; postoperative complications; myocardial revascularization.

Full texts in English - <http://www.arquivosonline.com.br>

Correspondência: Paulo Rogério Corrêa •

Rua Duarte Pacheco, 1401/casa 26 - Higienópolis - 15085-140 - São José do Rio Preto, SP - Brasil

E-mail: paulocorre@gmail.com

Artigo recebido em 04/12/09; revisado recebido em 18/02/10; aceito em 15/03/10.





Introdução

O ritmo cardíaco em adultos normais não é estritamente regular, apresentando flutuações periódicas conhecidas como variabilidade da frequência cardíaca (VFC)¹⁻³. Ele comporta-se como sistemas complexos determinísticos não lineares, com complexa variabilidade, que obedece à teoria do caos, sendo modulado pelo sistema nervoso autônomo⁴.

Vários trabalhos têm aplicado o conceito de dinâmica não linear na tentativa de caracterizar modificações e/ou perda de funções do organismo. Assim, a perda ou redução da VFC reflete indiretamente a redução do comportamento caótico, o qual poderia traduzir comprometimento da homeostasia⁵. Em adultos portadores de doenças cardíacas ou com idade superior a 70 anos, há uma nítida tendência à perda da VFC e, portanto, perda do padrão caótico^{4,6} em favor do comportamento linear. Dessa forma, alterações na função autonômica cardiovascular constituem causa e/ou condição coadjuvante de numerosas doenças^{1,3}.

Estudos da VFC de pacientes submetidos à cirurgia de revascularização do miocárdio (CRM) mostraram que sua redução no período pós-operatório está associada a um maior risco de complicações como disritmias e óbito^{7,8}. Já no trabalho de Godoy e cols.⁵, foi observado que a análise da VFC no domínio não linear, no período pré-operatório de pacientes com CRM eletiva, pode detectar subgrupos com alto risco para complicações pós-operatórias, o que a torna um novo instrumento prognóstico de complicações clínicas na avaliação dos pacientes que serão submetidos à operação de grande porte.

Alterações pulmonares decorrentes da cirurgia cardíaca são achados relatados na literatura e podem ser devidas a fatores como dor, alteração da mecânica ventilatória, consequente a esternotomia, e efeitos deletérios da anestesia geral^{9,10}.

No entanto, na literatura, não encontramos estudos relatando se pacientes com perda do comportamento caótico, no período pré-operatório de CRM, tendem a apresentar maior risco de infecções pulmonares no pós-operatório.

Admitindo-se a hipótese de que pacientes com diminuição da VFC avaliados por métodos do domínio do caos, no período pré-operatório de CRM, tendem a apresentar maior morbidade e mortalidade, a análise do comportamento caótico de indivíduo com indicação para cirurgia cardíaca pode ser fator de crucial importância para se prever risco de infecção pulmonar no pós-operatório.

Assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar o comportamento da variabilidade da frequência cardíaca, por meio de análise não linear, no período pré-operatório de CRM, e sua relação com a ocorrência de infecções pulmonares no período pós-operatório.

Casuística e método

Casuística

Foram incluídos no estudo 69 pacientes, com média de idade de $58,6 \pm 10,4$ anos, sendo 43 (61,4%) do sexo masculino. Como critérios de inclusão, todos os pacientes tinham diagnóstico de doença da artéria coronária, ritmo

sinusal e indicação eletiva de CRM, com ou sem circulação extracorpórea (CEC). As operações foram realizadas pela mesma equipe, no Serviço de Cirurgia Cardíaca do Hospital de Base de São José do Rio Preto-SP.

Todos os pacientes receberam esclarecimentos sobre a pesquisa e autorizaram os procedimentos por escrito. O protocolo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina de São José do Rio Preto, parecer nº 048/2004.

Método

Gravação dos intervalos RR

Os intervalos RR do eletrocardiograma (ECG) foram captados e registrados durante 30 minutos, na véspera da operação, com os voluntários em vigília, na condição de repouso na posição supina, com as mãos ao longo do corpo e elevação da cabeceira entre 35 e 45 graus. Os registros foram realizados com auxílio do equipamento Polar® Advanced S810i®. Esse equipamento detecta as ondas RR do ECG com frequência de amostragem de 500 Hz, e resolução temporal de um milissegundo (ms), já estando devidamente validado^{11,12}.

As séries de intervalos RR foram analisadas e os batimentos prematuros e interferências foram eliminados. Somente os registros com mais de 95,0% de ritmo sinusal qualificado foram incluídos na análise, compondo-se a série temporal com 1.000 intervalos RR.

Processamento dos dados

Para quantificar a dinâmica não linear da VFC, foram realizadas as análises das flutuações depuradas de tendências (DFA total), dos seus componentes de curto (α_1) e longo (α_2) prazos, da entropia aproximada (-ApEn), do expoente Lyapunov (LE) e do expoente de Hurst (HE).

Análise das flutuações depuradas de tendências (DFA total)

Essa análise quantifica a presença ou a ausência de propriedade de correlação fractal dos intervalos RR e tem sido validada para dados em séries temporais. Essa medida está parcialmente relacionada com mudanças na característica espectral do comportamento da frequência cardíaca¹³. Em cada segmento, os expoentes de escala de curto prazo (4-11 batimentos, α_1) e de expoentes de escala de longo prazo (> 11 batimentos, α_2) são avaliados pela análise da DFA¹⁴.

Entropia aproximada (-ApEn)

A entropia aproximada descreve a previsibilidade ou aleatoriedade dos sistemas físicos que mudam com o tempo: quanto mais alto o valor da entropia, mais complexo é o processo^{15,16}, ressaltando-se, porém, o sinal negativo da variável, ou seja, na verdade equivalendo à chamada neguentropia.

Expoente Lyapunov (LE)

O LE mede a sensibilidade do sistema às condições iniciais e a quantidade de instabilidade ou previsibilidade de um



sistema. A presença de LE positivo indica caos, enquanto que, nos sistemas lineares, há tendência para valores próximos a zero¹⁷.

Expoente de Hurst (HE)

O HE avalia a perda da ordem natural dos intervalos entre os batimentos como resultado de ruptura da relação quantitativa natural, entre os espaços de toda série temporal. Valores do HE próximos a um quantitativamente indicam estado de desordem, ao passo que valores próximos a 0, indicam estado de ordem, harmonia ou estabilidade (caos)¹⁸.

Ainda foram registrados dados demográficos, tempo de ventilação mecânica, uso de circulação extracorpórea, *Additive EuroScore*, *Logistic EuroScore*¹⁹ e índice de infecções pulmonares no pós-operatório, além das acima mencionadas variáveis de referência de comportamento não linear, no pré-operatório de tais indivíduos. Os valores do *Additive EuroScore*, *Logistic EuroScore* foram registrados pelo médico da equipe cirúrgica.

No período pós-operatório, a ocorrência de infecções pulmonares foi considerada em pacientes que apresentaram infiltrados pulmonares em RX de tórax e/ou presença de secreção amarela com análise de cultura positiva, por aspirado traqueal com ponto de corte (crescimento > 1.000.000 ufc)²⁰ e/ou febre, e/ou leucocitose, sendo necessário o uso de antibióticos.

As análises da dinâmica não linear da VFC foram feitas com o auxílio do software CDA_PRO e DFA. Valores de corte para sensibilidade e especificidade foram estabelecidos com o auxílio da curva ROC (*receiver operator characteristics curve*).

Análise estatística

Para análise estatística, o teste exato de Fisher foi utilizado a fim de comparar a ocorrência de eventos. As variáveis quantitativas sem distribuição gaussiana foram comparadas com auxílio do teste não paramétrico Mann-Whitney. Também foram registrados a sensibilidade, a especificidade, o valor preditivo positivo, o valor preditivo negativo e o *odds ratio* com intervalo de confiança de 95,0% para ocorrência de eventos. Foi admitido erro α de 5,0%, sendo considerados significantes valores de $p \leq 0,05$.

Resultados

Características clínicas dos indivíduos estudados

Na Tabela 1, são apresentados os dados demográficos, as características clínicas e as complicações pós-operatórias dos pacientes estudados.

Dos 69 pacientes avaliados, 18 apresentaram infecção pulmonar no período pós-operatório, sendo que estes tiveram maior tempo de ventilação mecânica (846,05 min), quando comparados aos que não apresentaram infecção pulmonar (594,26 min), $p = 0,0173$ (Figura1).

Na Figura 2, observa-se a análise comparativa entre o tempo de ventilação mecânica dos indivíduos submetidos à CRM com CEC e sem CEC. Aqueles submetidos à CRM com

Tabela 1 - Dados demográficos, características clínicas e complicações pós-operatórias dos pacientes submetidos à CRM, com e sem CEC

Características	Total	Com CEC (n = 44)	Sem CEC (n = 25)	Valor p
Idade		58,6 (\pm 10,6)	58,5 (\pm 10,1)	0,966
Sexo		27 masc. e 17 fem.	16 masc. e 9 fem.	0,828
Comorbidades				
Diabete melito	13	9	4	0,756
HAS	15	10	5	1,000
DPOC	02	0	2	0,128
Complicações clínicas				
Complicação neurológica	03	3	0	0,549
Complicação renal	13	10	3	0,349
Taquiarritmias	11	9	2	0,305
Óbito	6	6	0	0,080
Infecções pulmonares no pós-operatório	18	14	4	0,253

CEC (n = 44) tiveram maior tempo de ventilação mecânica quando comparados aos sem CEC (n = 25), apresentando diferença estatisticamente significativa ($p = 0,0078$).

A análise conjunta dos resultados da avaliação entre o tempo de ventilação mecânica dos indivíduos submetidos à CRM, com e sem CEC, e que tiveram ou não infecções pulmonares no pós-operatório, encontra-se na Tabela 2.

As diferenças não foram estatisticamente significantes.

Os resultados da avaliação do risco operatório pela variável *Additive EuroScore* e *Logist EuroScore*, entre os indivíduos que tiveram ou não infecções pulmonares no pós-operatório, encontram-se na Tabela 3. Não houve diferença estatística entre as médias de seus valores nos indivíduos que apresentaram e não apresentaram infecção pulmonar no pós-operatório de CRM, não sendo considerado preditor de estimativa relevante.

Dados da análise não linear da variabilidade da frequência cardíaca

Na Tabela 4, são apresentados valores da sensibilidade, especificidade, valor preditivo positivo (VPP), valor preditivo negativo (VPN), *cut-off*, *odds ratio*, IC 95,0% e valor de p das seguintes variáveis: expoente de Hurst (HE), expoente de Lyapunov (LE), entropia aproximada (-ApEn), DFA total, DFA componente de curto prazo ($\alpha 1$), DFA componente de longo prazo ($\alpha 2$), entre os grupos que apresentaram ou não infecções pulmonares.

Nas Figuras 3, 4, 5, e 6, observam-se valores de corte de $LE \leq 0,832$, de $-ApEn \leq 0,480$ e de $DFA \text{ total} \geq 1,036$. Essas variáveis mostraram-se preditivas de estimativa relevante nos indivíduos com infecções pulmonares no pós-operatório de revascularização do miocárdio.

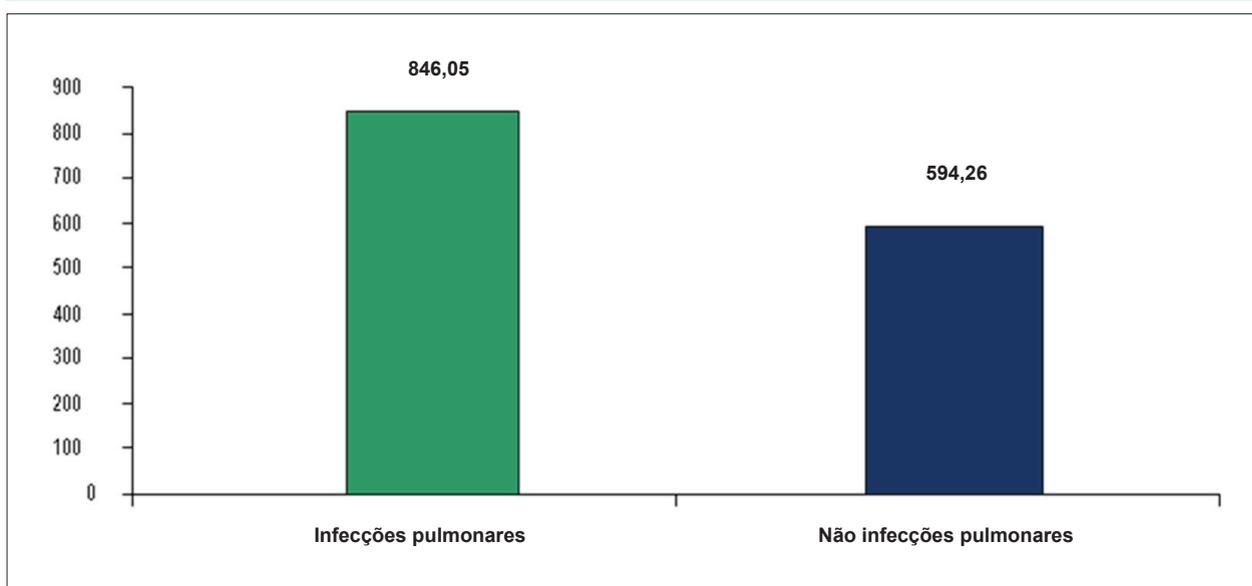


Fig. 1 - Apresentação do tempo de ventilação mecânica em minutos e a presença de infecções pulmonares.

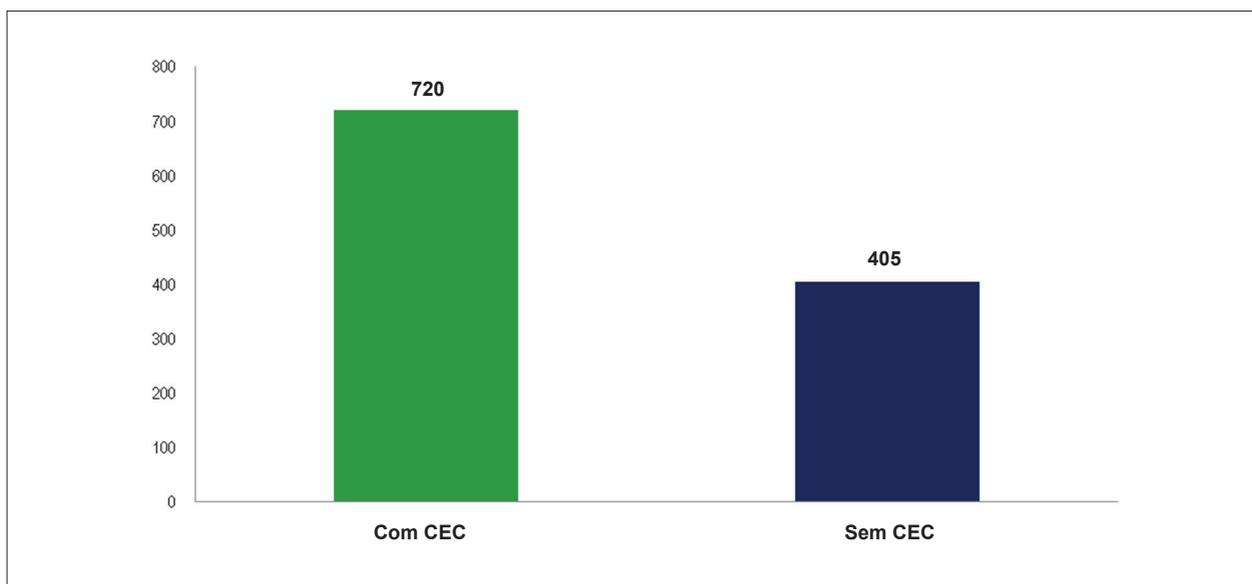


Fig. 2 - Apresentação do tempo de ventilação mecânica em minutos dos pacientes com CEC e sem CEC.

Tabela 2 - Valores da média do tempo de ventilação mecânica, com e sem CEC, dos indivíduos que apresentaram e não apresentaram infecção pulmonar no pós-operatório de CRM

	Infecção pulmonar	Não infecção pulmonar	Valor p
Tempo de VM com CEC	725	705	0,3991
Tempo de VM sem CEC	615	405	0,4487

VM - ventilação mecânica.

Tabela 3 - Valores da média da variável Additive EuroScore e Logist EuroScore dos indivíduos que apresentaram e não apresentaram infecção pulmonar no pós-operatório de CRM

	Infecção pulmonar	Não infecção pulmonar	Valor p
Additive EuroScore	3	2	0,1486
Logistic EuroScore	2,16	1,81	0,1687



Tabela 4 - Valores da sensibilidade, especificidade, VPP, VPN, cut-off, odds ratio, IC 95,0% e valor de p das variáveis: expoente de Hurst (HE), expoente de Lyapunov (LE), entropia aproximada (-ApEn), DFA total, DFA componente de curto prazo (α_1), DFA componente de longo prazo (α_2), entre os grupos que apresentaram ou não apresentaram infecções pulmonares

	Sensibilidade	Especificidade	Valor preditivo positivo	Valor preditivo negativo	Cut-off	Odds ratio	IC 95,0%	Valor de P
Expoente de Hurst	0,6842	0,4528	0,3095	0,8000	$\leq 0,210$	1,793	0,5918 A 5,433	0,4173
Expoente de Lyapunov	0,6842	0,7736	0,5200	0,8723	$\leq 0,832$	7,403	2,316 A 23,661	0,0006
Entropia aproximada	1,000	0,2075	0,3115	1,000	$\leq 0,480$	10,553	0,5909 A 188,45	0,0307
DFA total	0,4737	0,8113	0,4737	0,8113	$\geq 1,036$	3,870	1,246 A 12,024	0,0309
DFA - componente de curto prazo (Q1)	0,9474	0,2264	0,3051	0,9231	$\geq 0,727$	5,268	0,6359 A 43,648	0,1621
DFA - componente de longo prazo (Q2)	0,6316	0,6226	0,3750	0,8250	$\geq 0,906$	2,829	0,9555 A 8,374	0,0655

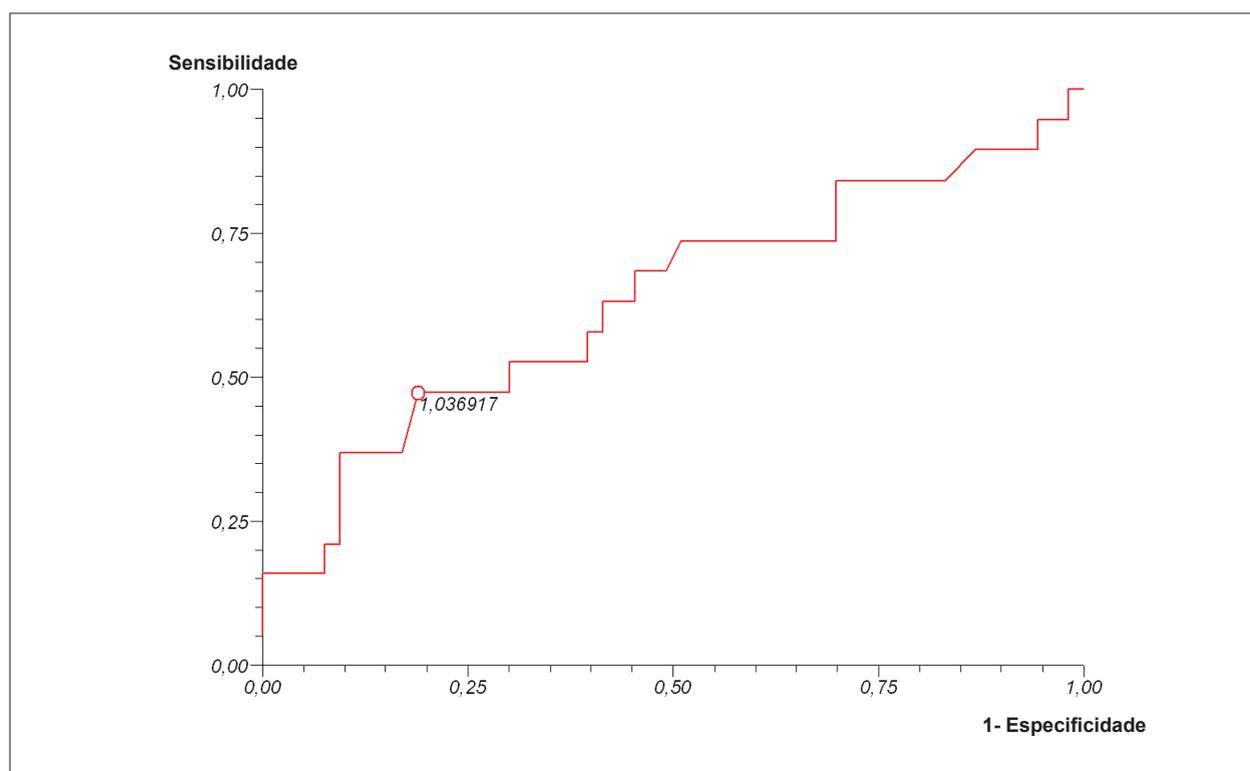


Fig. 3 - Apresentação gráfica da curva ROC de análise das flutuações depuradas de tendências (DFA total).

Discussão

No presente estudo, os índices de dinâmica não linear, nos seus respectivos níveis de corte, permitiram diferenciar os casos que evoluíram com infecção pulmonar no pós-operatório de cirurgia de revascularização do miocárdio.

Ressalta-se que, dentro do nosso conhecimento, este é o primeiro estudo utilizando ferramentas de avaliação da

dinâmica não linear, como objeto de informação prognóstica do risco individual de adquirir infecções pulmonares em pacientes submetidos à CRM.

Apesar de haver várias alternativas para o tratamento de doença arterial coronariana (DAC), a cirurgia de revascularização do miocárdio (CRM) é uma opção com indicações precisas e com bons resultados a médio e longo

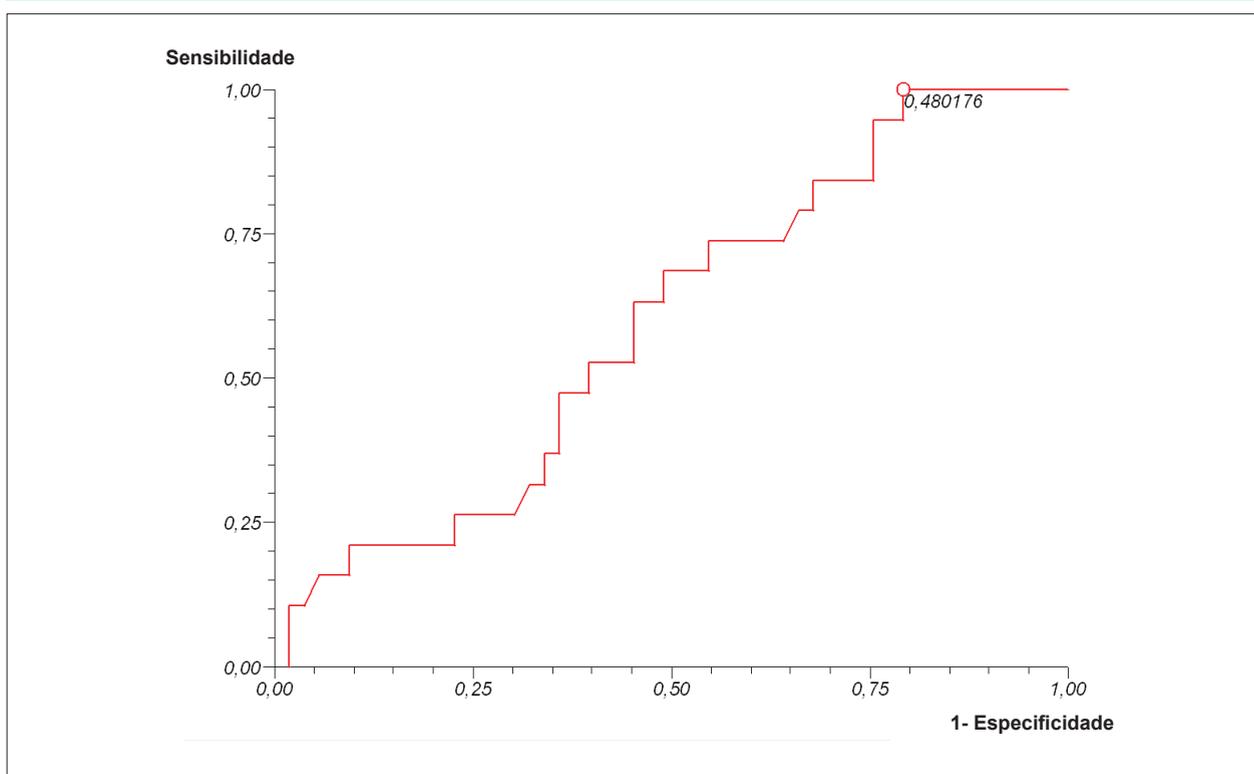


Fig. 4 - Apresentação gráfica da curva ROC de entropia aproximada (-ApEn).

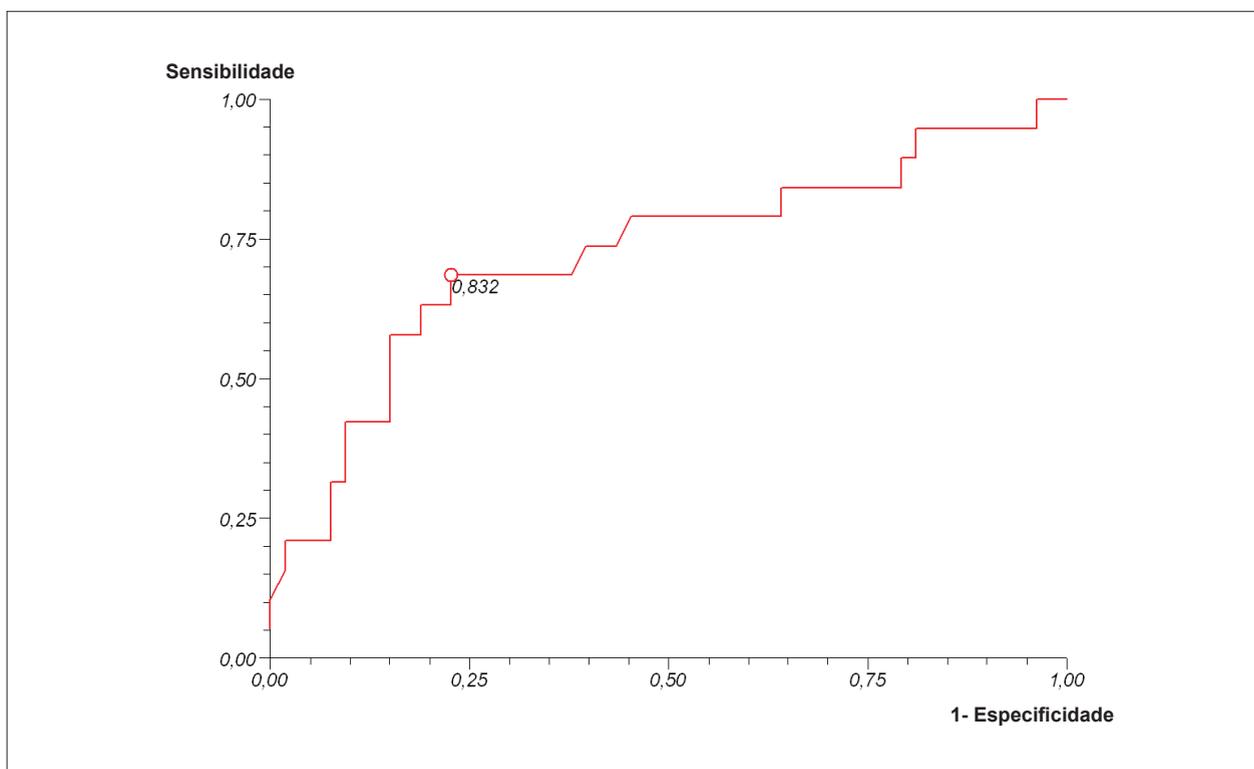


Fig. 5 - Apresentação gráfica da curva ROC do expoente de Lyapunov (LE).



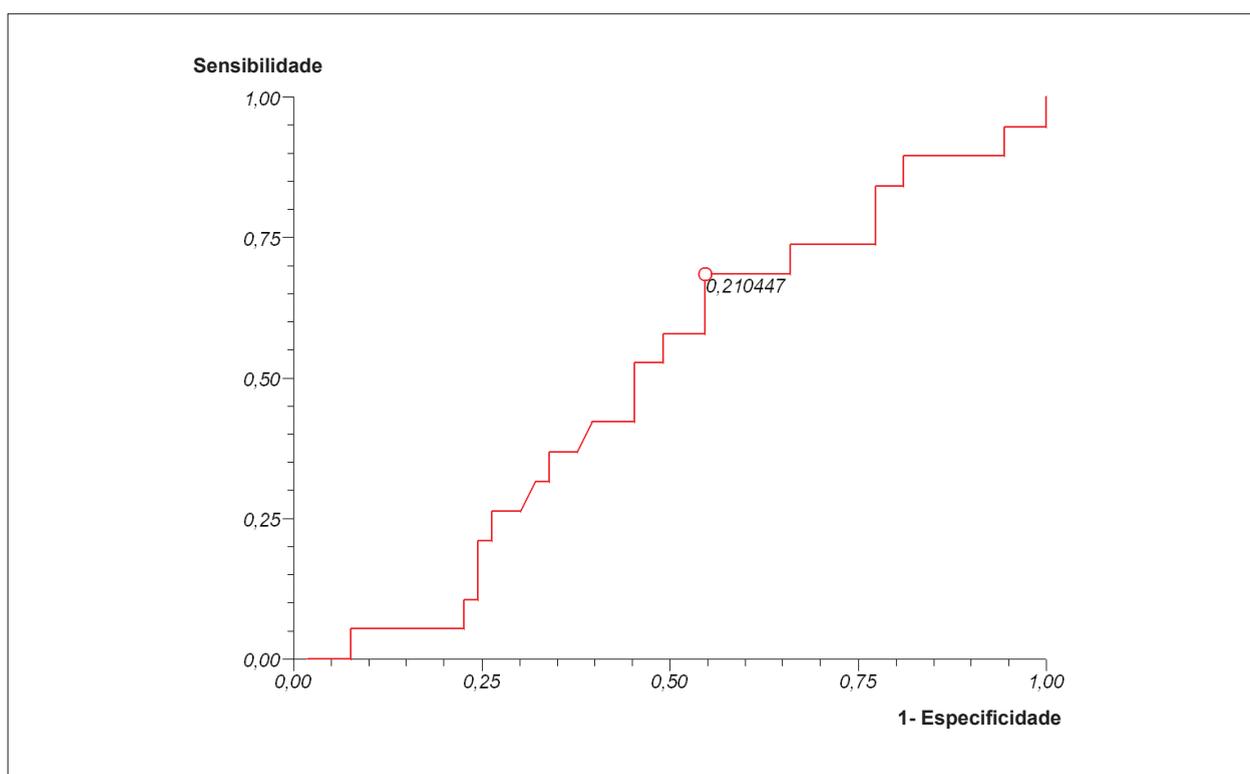


Fig. 6 - Apresentação gráfica da curva ROC do expoente de Hurst (HE).

prazo. A indicação de CRM tem sido amplamente discutida com base em observações clínicas, e o resultado e prognóstico para esses pacientes parecem estar associados à presença de fatores de risco pré-operatório específicos, como sexo, idade, presença de choque cardiogênico e infarto com onda Q^{21,22}.

No presente estudo, para todos os indivíduos avaliados no período pré-operatório, foi utilizado como critério apenas o fato de serem pacientes com indicação eletiva de CRM, não tendo o nível de risco pós-operatório como critério.

A análise da dinâmica não linear da variabilidade da frequência cardíaca tem sido aplicada para estratificação de risco de mortalidade de pacientes coronariopatas com função ventricular esquerda deprimida, após infarto agudo do miocárdio²³. Já em relação à VFC de pacientes submetidos à cirurgia de revascularização do miocárdio (CRM), estudos da VFC no período pós-operatório mostraram que sua redução nesse período está associada a um maior risco de complicações como disritmias e óbito^{7,8}.

Por outro lado, no trabalho recente de Godoy e cols.⁵, foi observado que a análise da VFC, no domínio não linear no período pré-operatório de pacientes com CRM eletiva, pode detectar subgrupos com alto risco para complicações pós-operatórias.

No presente estudo, verificamos que as análises não lineares dos índices de VFC foram adequadas na caracterização da presença ou não de infecções pulmonares no pós-operatório de revascularização do miocárdio.

Com base nos níveis de corte estipulados pela curva ROC, tornou-se possível constatar diferenças significantes entre o

grupo com infecções pulmonares e sem infecções pulmonares, no pós-operatório de revascularização do miocárdio, para as variáveis de análise de flutuações depurada de tendências (DFA total), entropia aproximada e expoente Lyapunov. Não houve diferença significativa para as variáveis componente de curto prazo ($\alpha 1$), componente de longo prazo ($\alpha 2$) e expoente de Hurst.

A análise de DFA total quantifica as propriedades fractais da série temporal. Valores próximos a 1,0 indicam comportamento caótico. Valores tendendo a 1,5, correspondem a linearidade e tendendo a 0,5, a aleatoriedade²⁴. O valor da DFA total apontou diferenças estatisticamente significantes entre os grupos, tendendo para 1,5 no grupo com infecções pulmonares, confirmando o esperado teoricamente para situações de perda de caos e progressão para linearidade.

Em relação a entropia aproximada (-ApEn), tem sido referido que quanto mais complexa (caótica) maior será o seu valor, e, quanto mais regular e previsível for a série, menor o valor da -ApEn¹⁵.

Os nossos achados são concordantes com esses autores, pois valores menores ou iguais a 0,4802 estiveram significativamente associados com infecções pulmonares no pós-operatório de revascularização do miocárdio. A entropia aproximada (-ApEn) diminui com a perda da homeostasia ou caos, ou seja, aproxima-se dos comportamentos lineares.

Quanto ao expoente de Lyapunov (LE), valores mais altos têm sido relacionados com comportamento caótico e a linearidade mostra tendências para o valor zero¹⁷. No nosso estudo, valores menores ou iguais a 0,832 no pré-operatório



ocorreram com maior frequência nos pacientes com infecções pulmonares no pós-operatório de CRM.

Assim, isso confirma a importância da utilização de análise da dinâmica não linear na avaliação prognóstica de estados mórbidos, sendo capaz de avaliar o grau de perda de comportamento homeostático do paciente, considerando o todo, e não apenas a gravidade das doenças isoladamente.

Na cirurgia cardíaca, as alterações pulmonares merecem especial atenção, pois, com exceção de doença pulmonar preexistente, acredita-se que fatores, tais como dor, alteração da mecânica ventilatória, decorrente da esternotomia, e os efeitos deletérios da anestesia geral contribuam para alterações na função pulmonar^{9,10}.

Os "Guidelines for the Management of Adults with Hospital-acquired, Ventilator-associated, and Healthcare-associated Pneumonia"²⁵ relatam que, em pacientes ventilados mecanicamente, a ocorrência de pneumonia aumenta com o tempo de ventilação. O risco de infecção pulmonar associada à ventilação é mais alto no início da internação hospitalar e é estimada em 3%/dia entre 5-10 dias, diminuindo para 1%/dia após o 10º dia.

Neste estudo, os pacientes submetidos à RM com CEC tiveram o tempo de ventilação mecânica maior, apontando diferença estatisticamente significativa, porém quando avaliamos conjuntamente o tempo de ventilação mecânica dos indivíduos submetidos à CRM, com e sem CEC, e que tiveram ou não infecções pulmonares no pós-operatório, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas.

Os pacientes que apresentaram infecções pulmonares no período pós-operatório tiveram o tempo de ventilação mecânica maior, apontando diferença estatisticamente significativa, porém não ultrapassando dois dias. Contudo, a presença de infecções pulmonares não foi detectada durante a permanência da ventilação mecânica, mas sim quando já permaneciam em respiração espontânea, com auxílio de oxigenoterapia de baixo fluxo, por meio de máscara facial.

Neste estudo, o critério metodológico importante utilizado na identificação de infecções pulmonares foi o resultado da cultura quantitativa do aspirado traqueal (AT). Vários estudos têm sugerido que a cultura quantitativa do AT pode ter igual valor diagnóstico quando comparada com as técnicas de lavado broncoalveolar e o de escovado brônquico protegido²⁵.

Carvalho e cols.²⁰ relatam que, para a avaliação diagnóstica de infecções pulmonares, devem ser analisados em conjunto os critérios clínicos e a evolução do infiltrado radiológico, associados a uma boa análise do exame direto da amostra de secreção do trato respiratório inferior, e a culturas quantitativas do AT e/ou lavado broncoalveolar.

No presente estudo, foram avaliados, junto à cultura

quantitativa do AT, a presença de infiltrados pulmonares em RX de tórax e/ou uso de antibiótico terapia específica, e/ou presença de secreção amarela. Dessa forma, consideramos que a avaliação pode indicar a presença ou não de infecção pulmonar nos indivíduos avaliados.

No presente estudo, também foram avaliados o *Additive* e o *Logistic EuroScore*, que são sistemas de avaliação do risco operatório cardíaco por meio de modelo logístico, utilizado como preditor de estimativa relevante de mortalidade e de complicações pós-operatórias, tanto a curto quanto a longo prazo, de pacientes hospitalizados que sofreram intervenção cirúrgica cardíaca^{19,26}.

Os questionários foram aplicados por um único profissional não envolvido na pesquisa, assim que o paciente deu entrada na Unidade de Terapia Intensiva. Contudo, esses índices não separaram quais dos pacientes tinham maior probabilidade de infecção pulmonar no pós-operatório de revascularização do miocárdio, valorizando a importância da análise da VFC utilizada no presente estudo.

Dentre as limitações no estudo, citamos a influência do tratamento medicamentoso e sua descontinuação sobre a VFC porque são a realidade dos pacientes que foram estudados, assim como a heterogeneidade da amostra estudada relacionada aos fatores de risco. Embora consideremos muito importante avaliar a influência isolada de fatores de risco sobre a VFC, na prática clínica isso tem sido impossível, pois os pacientes apresentaram associação entre doenças e/ou fatores de risco.

Em conclusão, os métodos de dinâmica não linear, nos seus respectivos níveis de corte, permitiram identificar os casos que evoluíram com infecção pulmonar no pós-operatório de CRM. Tal identificação parece confirmar que a Teoria do Caos, ao estudar sistemas dinâmicos complexos não lineares, avalia o paciente como um todo, determinando o grau de perda do comportamento homeostático, podendo ser aplicada para o prognóstico frente ao comprometimento global.

Potencial Conflito de Interesses

Declaro não haver conflito de interesses pertinentes.

Fontes de Financiamento

O presente estudo não teve fontes de financiamento externas.

Vinculação Acadêmica

Este artigo é parte de tese de Doutorado de Paulo Rogério Corrêa pela Faculdade de Medicina de São José do Rio Preto - FAMERP.

Referências

1. Goldberger AI. Nonlinear dynamics, fractals, and chaos theory: Implications for neuroautonomic heart rate control in health and disease. Geneva: World Health Organization; 1999.
2. Reis AF, Bastos BC, Mesquita ET, Romeu Filho LJM, Nóbrega ACL. Disfunção parassimpática, variabilidade da frequência cardíaca e estimulação colinérgica após infarto agudo do miocárdio. Arq Bras Cardiol. 1998; 70





- (3): 193-9.
3. Rossi BRO, Mazer D, Silveira LCR, Pelegrino CJ, Di Sacco THR, Blanco JHD, et al. The physical exercise attenuates the cardiac autonomic deficit induced by nitric oxide synthesis blockade. *Arq Bras Cardiol.* 2009; 92 (9): 32-8.
 4. Sugihara G, Allan W, Sobel D, Allan K. Nonlinear control of heart rate variability in human infants. *Proc Natl Acad Sci USA.* 1996; 93 (6): 2608-13.
 5. de Godoy MF, Takakura IT, Corrêa PR, Machado MN, Miranda RC, Brandi AC. Preoperative nonlinear behavior in heart rate variability predicts morbidity and mortality after coronary artery bypass graft surgery. *Med Sci Monit.* 2009; 45 (3): CR117-122.
 6. Yambe T, Nanka S, Kobayashi S, Tanaka A, Owada N, Yoshizawa M, et al. Detection of the cardiac function by fractal dimension analysis. *Artif Organs.* 1999; 23 (8): 751-6.
 7. Bronner F, Douchet MP, Quiring E, Charpentier A, Vi-Fane R, Eisenmann B, et al. Evolution de la variabilité de la fréquence cardiaque après chirurgie cardiaque sous circulation extra – corporelle. *Ann Cardiol Angeiol (Paris).* 1998; 47 (8): 549-54.
 8. Singh S, Jonhson PI, Lee RE, Orfei E, Lonchyna VA, Sullivan HJ, et al. Topography of cardiac ganglia in the adult human heart. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1996; 112 (4): 943-53.
 9. Maciel SS, Cavalcanti ACW, Aristóteles LRC, Maciel AMS. Método fisioterapêutico de terapia intensiva no pós-operatório de revascularização miocárdica. *Rev Bras Ciênc Saúde.* 2003; 7 (1): 87-98.
 10. Leguisamo CP, Kalil RAC, Furlani AP. Effectiveness of a preoperative physiotherapeutic approach in myocardial revascularization. *Braz J Cardiovasc Surg.* 2005; 20 (2): 134-41.
 11. Ruha A, Sallinen S, Nissila S. A real-time microprocessor QRS detector system with a 1-ms timing accuracy for the measurement of ambulatory HRV. *IEE Trans Biomed Eng.* 1997; 44 (3): 159-67.
 12. Gamelin FX, Berthoin S, Bosquet L. Validity of polar S810i heart rate monitor to measure R-R intervals at rest. *Med Sci Sports Exerc.* 2006; 38 (5): 887-93.
 13. Huikuri HV, Makikallio TH, Perkiomaki J. Measurement of heart rate variability by methods based on nonlinear dynamics. *J Electrocardiol.* 2003; 36 (Suppl): 95-9.
 14. Fukuta H, Hayano J, Ishihara S, Sakata S, Ohte N, Takahashi H, et al. Prognostic value of nonlinear heart rate dynamics in hemodialysis patients with coronary artery disease. *Kidney Int.* 2003; 64 (2): 641-8.
 15. Pincus SM, Huang WM. Approximate entropy: statistical properties and applications. *Commun Statist Theory Meth.* 1992; 21: 3061-77.
 16. Brown LK. Entropy isn't what it used to be. *Chest.* 2003; 123 (1): 9-11.
 17. Yeragani KV, Rao KARK, Smitha MR, Pohl RB, Balon R, Srinivasan K. Diminished chaos of heart rate time series in patients with major depression. *Biol Psychiatry.* 2002; 51 (9): 733-44.
 18. Dioguardi N, Grizzi F, Franceschini B, Bossi P, Russo C. Liver fibrosis and tissue architectural change measurement using fractal-rectified metrics and Hurst's exponent. *World J Gastroenterol.* 2006; 12 (14): 2187-94.
 19. Roques S, Michel P, Goldstone AR, Nashef SA. The logistic EuroSCORE. *Eur Heart J.* 2003; 24: 881-2.
 20. Carvalho MVCF, Winkler GFP, Costa FAM, Bandeira TJC, Pereira EDB, Holanda MA. Concordance between tracheal aspirative and bronchoalveolar lavage in the diagnosis of ventilador associated pneumonia. *J Bras Pneumol.* 2004; 30 (1): 26-38.
 21. Almeida RMS, Lima Jr JD, Martins JF, Loures DRR. Revascularização do miocárdio em pacientes após a oitava década de vida. *Rev Bras Cir Cardiovasc.* 2002; 17 (2): 8-14.
 22. Jatene FB, Nicolau JC, Hueb AC, Atik FA, Barafiole LM, Murta CB, et al. Fatores prognósticos da revascularização na fase aguda do infarto agudo do miocárdio. *Rev Bras Cir Cardiovasc* 2001; 16 (3): 195-202.
 23. Stein PK, Reddy A. Non-linear heart rate variability and risk stratification in cardiovascular disease. *Indian Pacing Electrophysiol J.* 2005; 5 (3): 210-20.
 24. Acharya RU, Lim CM, Joseph P. Heart rate variability analysis using correlation dimension and detrended fluctuation analysis. *ITBM-RBM.* 2002; 23: 333-9.
 25. American Thoracic Society Documents. Guidelines for the management of adults with hospital-acquired, ventilator-associated, and healthcare-associated pneumonia. *AM J Respir Crit Care Med.* 2005; 171 (4): 388-416.
 26. Lafuente S, Trilla A, Bruni L, Gonzalez R, Bertran MJ, Pomar JL, et al. Validation of the EuroSCORE probabilistic model in patients undergoing coronary bypass grafting. *Rev Esp Cardiol.* 2008; 61 (6): 589-94.

