

Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca e Infecciones Pulmonares Post Revascularización Miocárdica

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

Resumen

Fundamento: La variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) es un método diagnóstico no invasivo usado en la evaluación de la modulación autonómica del corazón. El análisis de la VFC por métodos de dinámica no lineal en el período pre-operatorio de la cirugía de revascularización del miocardio podría ser predictora de morbilidad en el post-operatorio, como por ejemplo, infecciones pulmonares.

Objetivo: Evaluar el comportamiento de la VFC por la dinámica no lineal, en el período pre-operatorio de la cirugía de revascularización del miocardio y su relación con la ocurrencia de infecciones pulmonares en el período post-operatorio intrahospitalario.

Métodos: Fueron evaluados 69 pacientes (media de edad de $58,6 \pm 10,4$ años) con enfermedad arterial coronaria e indicación electiva de cirugía de revascularización del miocardio. Para cuantificar la dinámica no lineal de la VFC, fueron realizados: análisis de las fluctuaciones depuradas de tendencias (DFA), sus componentes de corto ($\alpha 1$) y largo ($\alpha 2$) plazos, entropía aproximada (-ApEn), exponente de Lyapunov (LE), y exponente de Hurst (HE) de series temporales de los intervalos RR del ECG, captados con equipamiento Polar S810i, en la víspera de la operación.

Resultados: En los niveles de corte estipulado por la curva ROC, hubo diferencia significativa entre los grupos con y sin infecciones pulmonares en el post-operatorio de revascularización del miocardio para la DFA total, entropía aproximada y exponente Lyapunov con $p = 0,0309$, $p = 0,0307$ y $p = 0,0006$, respectivamente.

Conclusión: Los métodos de dinámica no lineal, en sus respectivos niveles de corte, permitieron diferenciar los casos que evolucionaron con infección pulmonar en el post-operatorio de cirugía de revascularización del miocardio, sugiriendo que, en ese grupo de pacientes, estos métodos pueden tener carácter pronóstico. (Arq Bras Cardiol 2010; 95(4): 448-456)

Palabras clave: Frecuencia cardíaca, neumopatías fúngicas, complicaciones post-operatorias, revascularización miocárdica.

Introducción

El ritmo cardíaco en adultos normales no es estrictamente regular, presentando fluctuaciones periódicas conocidas como variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC)¹⁻³. Se comporta como sistemas complejos determinísticos no lineales, con compleja variabilidad, que obedece a la teoría del caos, siendo modulado por el sistema nervioso autónomo⁴.

Varios trabajos han aplicado el concepto de dinámica no lineal en la tentativa de caracterizar modificaciones y/o pérdida de funciones del organismo. Así, la pérdida o reducción de la VFC refleja indirectamente la reducción del comportamiento caótico, el cual podría traducir compromiso de la homeostasia⁵. En adultos portadores de enfermedades cardíacas o con edad superior a 70 años, hay

una nítida tendencia a la pérdida de la VFC y, por lo tanto, pérdida del estándar caótico^{4,6} en favor del comportamiento lineal. De esa forma, alteraciones en la función autónoma cardiovascular constituyen causa y/o condición coadyuvante de numerosas enfermedades^{1,3}.

Estudios de la VFC de pacientes sometidos a cirugía de revascularización del miocardio (CRM) mostraron que su reducción en el período post-operatorio está asociada a un mayor riesgo de complicaciones como disritmias y óbito^{7,8}. En el trabajo de Godoy et al⁵, fue observado que el análisis de la VFC en el dominio no lineal, en el período pre-operatorio de pacientes con CRM electiva, puede detectar subgrupos con alto riesgo de complicaciones post-operatorias, lo que la vuelve un nuevo instrumento pronóstico de complicaciones clínicas en la evaluación de los pacientes que serán sometidos a operación de gran porte.

Alteraciones pulmonares decurrentes de la cirugía cardíaca son hallazgos relatados en la literatura y pueden ser debidas a factores como dolor, alteración de la mecánica ventilatoria, consecuente a la esternotomía, y efectos deletéreos de la anestesia general^{9,10}.

Correspondencia: Paulo Rogério Corrêa •

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

E-mail: paulocorre@gmail.com

Artículo recibido el 04/12/09; revisado recibido el 18/02/10; aceptado el 15/03/10.

Mientras tanto, en la literatura, no encontramos estudios relatando si pacientes con pérdida del comportamiento caótico, en el período pre-operatorio de CRM, tienden a presentar mayor riesgo de infecciones pulmonares en el post-operatorio.

Admitiéndose la hipótesis de que pacientes con disminución de la VFC evaluados por métodos del dominio del caos, en el período pre-operatorio de CRM, tienden a presentar mayor morbilidad y mortalidad, el análisis del comportamiento caótico de individuo con indicación de cirugía cardíaca puede ser factor de crucial importancia para prevenir riesgo de infección pulmonar en el post-operatorio.

Así, el objetivo del presente estudio fue evaluar el comportamiento de la variabilidad de la frecuencia cardíaca, por medio de análisis no lineal, en el período pre-operatorio de CRM, y su relación con la ocurrencia de infecciones pulmonares en el período post-operatorio.

Casuística y método

Casuística

Fueron incluidos en el estudio 69 pacientes, con media de edad de $58,6 \pm 10,4$ años, siendo 43 (61,4%) del sexo masculino. Como criterios de inclusión, todos los pacientes tenían diagnóstico de enfermedad de la arteria coronaria, ritmo sinusal e indicación electiva de CRM, con o sin circulación extracorpórea (CEC). Las operaciones fueron realizadas por el mismo equipo, en el Servicio de Cirugía Cardíaca del Hospital de Base de São José do Rio Preto-SP.

Todos los pacientes recibieron aclaraciones sobre la investigación y autorizaron los procedimientos por escrito. El protocolo fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Facultad de Medicina de São José do Rio Preto, parecer nº. 048/2004.

Método

Grabación de los intervalos RR

Los intervalos RR del electrocardiograma (ECG) fueron captados y registrados durante 30 minutos, en la víspera de la operación, con los voluntarios en vigilia, en la condición de reposo en la posición supina, con las manos a lo largo del cuerpo y elevación de la cabecera entre 35 y 45 grados. Los registros fueron realizados con auxilio del equipamiento Polar® Advanced S810i®. Ese equipamiento detecta las ondas RR del ECG con frecuencia de muestreo de 500 Hz, y resolución temporal de un milisegundo (ms), ya estando debidamente validado^{11,12}.

Las series de intervalos RR fueron analizadas y los latidos prematuros e interferencias fueron eliminados. Solamente los registros con más de 95,0% de ritmo sinusal calificado fueron incluidos en el análisis, componiéndose la serie temporal con 1.000 intervalos RR.

Procesamiento de los datos

Para cuantificar la dinámica no lineal de la VFC, fueron realizadas los análisis de las fluctuaciones depuradas de

tendencias (DFA total), de sus componentes de corto (α_1) y largo (α_2) plazos, de la entropía aproximada (-ApEn), del exponente Lyapunov (LE) y del exponente de Hurst (HE).

Análisis de las fluctuaciones depuradas de tendencias (DFA total)

Ese análisis cuantifica la presencia o la ausencia de propiedad de correlación fractal de los intervalos RR y ha sido validado para datos en series temporales. Esa medida está parcialmente relacionada con cambios en la característica espectral del comportamiento de la frecuencia cardíaca¹³. En cada segmento, los exponentes de escala de corto plazo (4-11 latidos, α_1) y de exponentes de escala de largo plazo (> 11 latidos, α_2) son evaluados por el análisis de la DFA¹⁴.

Entropía aproximada (-ApEn)

La entropía aproximada describe la previsibilidad o aleatoriedad de los sistemas físicos que cambian con el tiempo: cuanto más alto el valor de la entropía, más complejo es el proceso^{15,16}, destacándose, sin embargo, la señal negativa de la variable, o sea, en verdad equivaliendo a la llamada neguentropía.

Exponente Lyapunov (LE)

El LE mide la sensibilidad del sistema a las condiciones iniciales y la cantidad de inestabilidad o previsibilidad de un sistema. La presencia de LE positivo indica caos, mientras que, en los sistemas lineales, hay tendencia a valores próximos a cero¹⁷.

Exponente de Hurst (HE)

El HE evalúa la pérdida del orden natural de los intervalos entre los latidos como resultado de ruptura de la relación cuantitativa natural, entre los espacios de toda serie temporal. Valores del HE próximos a uno cuantitativamente indican estado de desorden, al tiempo que valores próximos a 0, indican estado de orden, armonía o estabilidad (caos)¹⁸.

También fueron registrados datos demográficos, tiempo de ventilación mecánica, uso de circulación extracorpórea, *Additive EuroScore*, *Logistic EuroScore*¹⁹ e índice de infecciones pulmonares en el post-operatorio, además de las arriba mencionadas variables de referencia de comportamiento no lineal, en el pre-operatorio de tales individuos. Los valores del *Additive EuroScore*, *Logistic EuroScore* fueron registrados por el médico del equipo quirúrgico.

En el período post-operatorio, la ocurrencia de infecciones pulmonares fue considerada en pacientes que presentaron infiltrados pulmonares en RX de tórax y/o presencia de secreción amarilla con análisis de cultivo positivo, por aspirado traqueal con punto de corte (crecimiento > 1.000.000 ufc)²⁰ y/o fiebre, y/o leucocitosis, siendo necesario el uso de antibióticos.

Los análisis de la dinámica no lineal de la VFC fueron hechas con el auxilio del *software* CDA_PRO y DFA. Valores de corte para sensibilidad y especificidad fueron establecidos con el auxilio de la curva ROC (*receiver operator characteristics curve*).

Análisis estadístico

Para análisis estadístico, el test exacto de Fisher fue utilizado a fin de comparar la ocurrencia de eventos. Las variables cuantitativas sin distribución gaussiana fueron comparadas con auxilio del test no paramétrico Mann-Whitney. También fueron registrados la sensibilidad, la especificidad, el valor predictivo positivo, el valor predictivo negativo y el *Odds Ratio* con intervalo de confianza de 95,0% para ocurrencia de eventos. Fue admitido error α de 5,0%, siendo considerados significativos valores de $p \leq 0,05$.

Resultados

Características clínicas de los individuos estudiados

En la Tabla 1, son presentados los datos demográficos, las características clínicas y las complicaciones post-operatorias de los pacientes estudiados.

De los 69 pacientes evaluados, 18 presentaron infección pulmonar en el período post-operatorio, siendo que éstos tuvieron mayor tiempo de ventilación mecánica (846,05 min), cuando fueron comparados a los que no presentaron infección pulmonar (594,26 min), $p = 0,0173$ (Figura1).

En la Figura 2, se observa el análisis comparativo entre el tiempo de ventilación mecánica de los individuos sometidos a la CRM con CEC y sin CEC. Aquellos sometidos a la CRM con CEC ($n = 44$) tuvieron mayor tiempo de ventilación mecánica cuando fueron comparados a los sin CEC ($n = 25$), presentando diferencia estadísticamente significativa ($p = 0,0078$).

El análisis conjunto de los resultados de la evaluación entre el tiempo de ventilación mecánica de los individuos sometidos a la CRM, con y sin CEC, y que tuvieron o no infecciones pulmonares en el post-operatorio, se encuentra en la Tabla 2.

Las diferencias no fueron estadísticamente significativas.

Los resultados de la evaluación del riesgo operatorio por la variable *Additive EuroScore* y *Logist EuroScore*, entre los

individuos que tuvieron o no infecciones pulmonares en el post-operatorio, se encuentran en la Tabla 3. No hubo diferencia estadística entre las medias de sus valores en los individuos que presentaron y no presentaron infección pulmonar en el post-operatorio de CRM, no siendo considerado predictor de estimativa relevante.

Datos del análisis no lineal de la variabilidad de la frecuencia cardíaca

En la Tabla 4, son presentados valores de la sensibilidad,

Tabla 1 - Datos demográficos, características clínicas y complicaciones post-operatorias de los pacientes sometidos a la CRM, con y sin CEC

Características	Total	Con CEC (n = 44)	Sin CEC (n = 25)	Valor p
Edad		58,6 ($\pm 10,6$)	58,5 ($\pm 10,1$)	0,966
Sexo		27 masc. y 17 fem.	16 masc. y 9 fem.	0,828
Comorbilidades				
Diabetes mellitus	13	9	4	0,756
HAS	15	10	5	1,000
EPOC	02	0	2	0,128
Complicaciones clínicas				
Complicación neurológica	03	3	0	0,549
Complicación renal	13	10	3	0,349
Taquiarritmias	11	9	2	0,305
Óbito	6	6	0	0,080
Infecciones pulmonares en el post-operatorio	18	14	4	0,253

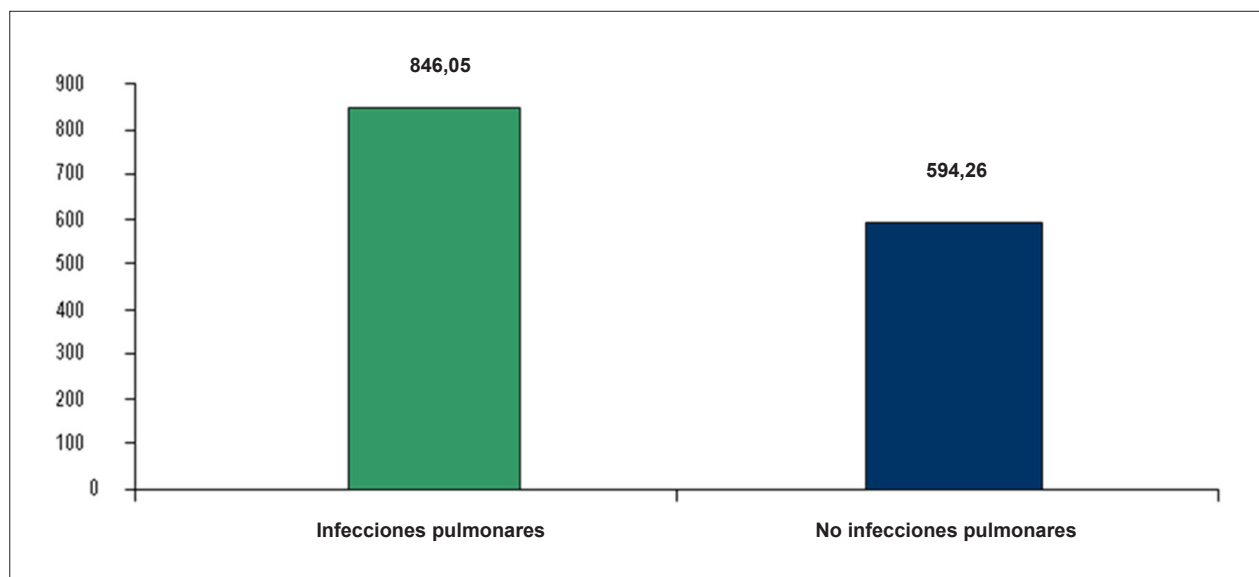


Fig. 1 - Presentación del tiempo de ventilación mecánica en minutos y la presencia de infecciones pulmonares.

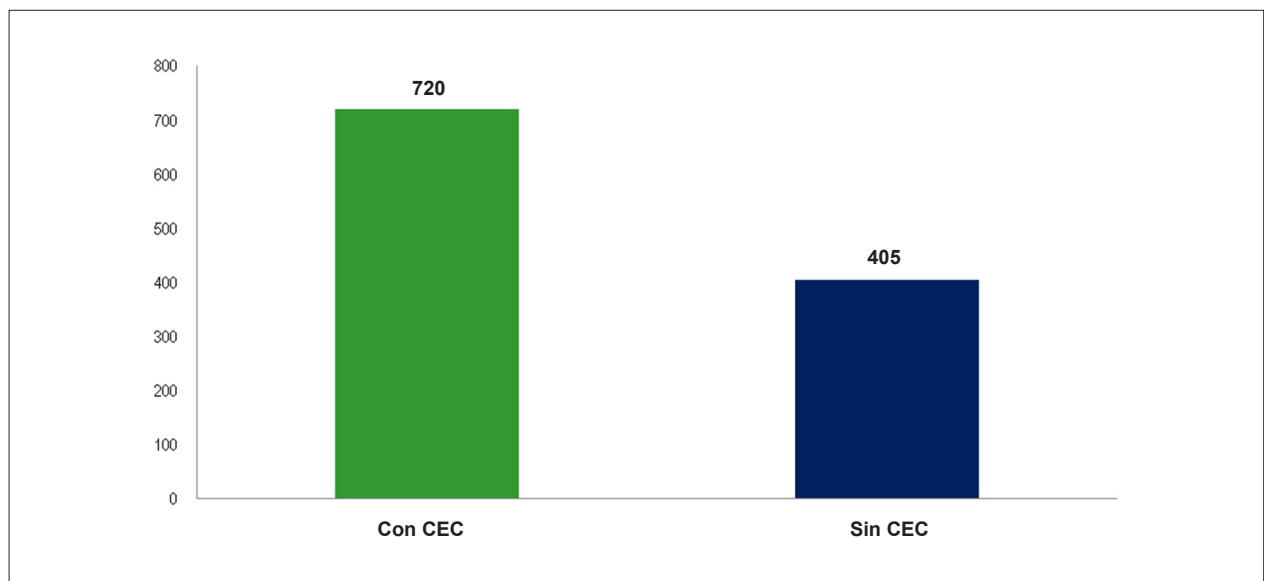


Fig. 2 - Presentación del tiempo de ventilación mecánica en minutos de los pacientes con CEC y sin CEC.

Tabla 2 - Valores de la media del tiempo de ventilación mecánica, con y sin CEC, de los individuos que presentaron y no presentaron infección pulmonar en el post-operatorio de CRM

	Infección pulmonar	No infección pulmonar	Valor p
Tiempo de VM con CEC	725	705	0,3991
Tiempo de VM sin CEC	615	405	0,4487

VM - ventilación mecánica.

Tabla 3 - Valores de la media de la variable Additive EuroScore y Logist EuroScore de los individuos que presentaron y no presentaron infección pulmonar en el post-operatorio de CRM

	Infección pulmonar	No infección pulmonar	Valor p
Additive EuroScore	3	2	0,1486
Logistic EuroScore	2,16	1,81	0,1687

especificidad, valor predictivo positivo (VPP), valor predictivo negativo (VPN), *cut-off*, *odds ratio*, IC 95,0% y valor de p de las siguientes variables: exponente de Hurst (HE), exponente de Lyapunov (LE), entropía aproximada (-ApEn), DFA total, DFA componente de corto plazo (α_1), DFA componente de largo plazo (α_2), entre los grupos que presentaron o no infecciones pulmonares.

En las Figuras 3, 4, 5, y 6, se observan valores de corte de $LE \leq 0,832$, de $-ApEn \leq 0,480$ y de $DFA \text{ total} \geq 1,036$. Esas variables se mostraron predictivas de estimativa relevante en los individuos con infecciones pulmonares en el post-operatorio de revascularización del miocardio.

Discusión

En el presente estudio, los índices de dinámica no lineal, en sus respectivos niveles de corte, permitieron diferenciar los casos que evolucionaron con infección pulmonar en el post-operatorio de cirugía de revascularización del miocardio.

Se destaca que, dentro de nuestro conocimiento, este es el primer estudio utilizando herramientas de evaluación de la dinámica no lineal, como objeto de información pronóstica del riesgo individual de adquirir infecciones pulmonares en

pacientes sometidos a la CRM.

A pesar de haber varias alternativas para el tratamiento de enfermedad arterial coronaria (EAC), la cirugía de revascularización del miocardio (CRM) es una opción con indicaciones precisas y con buenos resultados a medio y largo plazo. La indicación de CRM ha sido ampliamente discutida con base en observaciones clínicas, y el resultado y pronóstico para esos pacientes parecen estar asociados a la presencia de factores de riesgo pre-operatorio específicos, como sexo, edad, presencia de choque cardiogénico e infarto con onda Q^{21,22}.

En el presente estudio, para todos los individuos evaluados en el período pre-operatorio, fue utilizado como criterio apenas el hecho de ser pacientes con indicación electiva de CRM, no teniendo el nivel de riesgo post-operatorio como criterio.

El análisis de la dinámica no lineal de la variabilidad de la frecuencia cardíaca ha sido aplicado para estratificación de riesgo de mortalidad de pacientes coronarios con función ventricular izquierda deprimida, después de infarto agudo de miocardio²³. En relación a la VFC de pacientes sometidos a cirugía de revascularización del miocardio (CRM), estudios de la VFC en el período post-operatorio mostraron que su

Tabla 4 - Valores de la sensibilidad, especificidad, VPP, VPN, cut-off, odds ratio, IC 95,0% y valor de p de las variables: exponente de Hurst (HE), exponente de Lyapunov (LE), entropía aproximada (-ApEn), DFA total, DFA componente de corto plazo (α_1), DFA componente de largo plazo (α_2), entre los grupos que presentaron o no presentaron infecciones pulmonares

	Sensibilidad	Especificidad	Valor predictivo positivo	Valor predictivo negativo	Cut-off	Odds ratio	IC 95,0%	Valor de p
Exponente de Hurst	0,6842	0,4528	0,3095	0,8000	$\leq 0,210$	1,793	0,5918 a 5,433	0,4173
Exponente de Lyapunov	0,6842	0,7736	0,5200	0,8723	$\leq 0,832$	7,403	2,316 a 23,661	0,0006
Entropía 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 corto plazo (Q1)	0,9474	0,2264	0,3051	0,9231	$\geq 0,727$	5,268	0,6359 a 43,648	0,1621
DFA - componente de largo plazo (Q2)	0,6316	0,6226	0,3750	0,8250	$\geq 0,906$	2,829	0,9555 a 8,374	0,0655

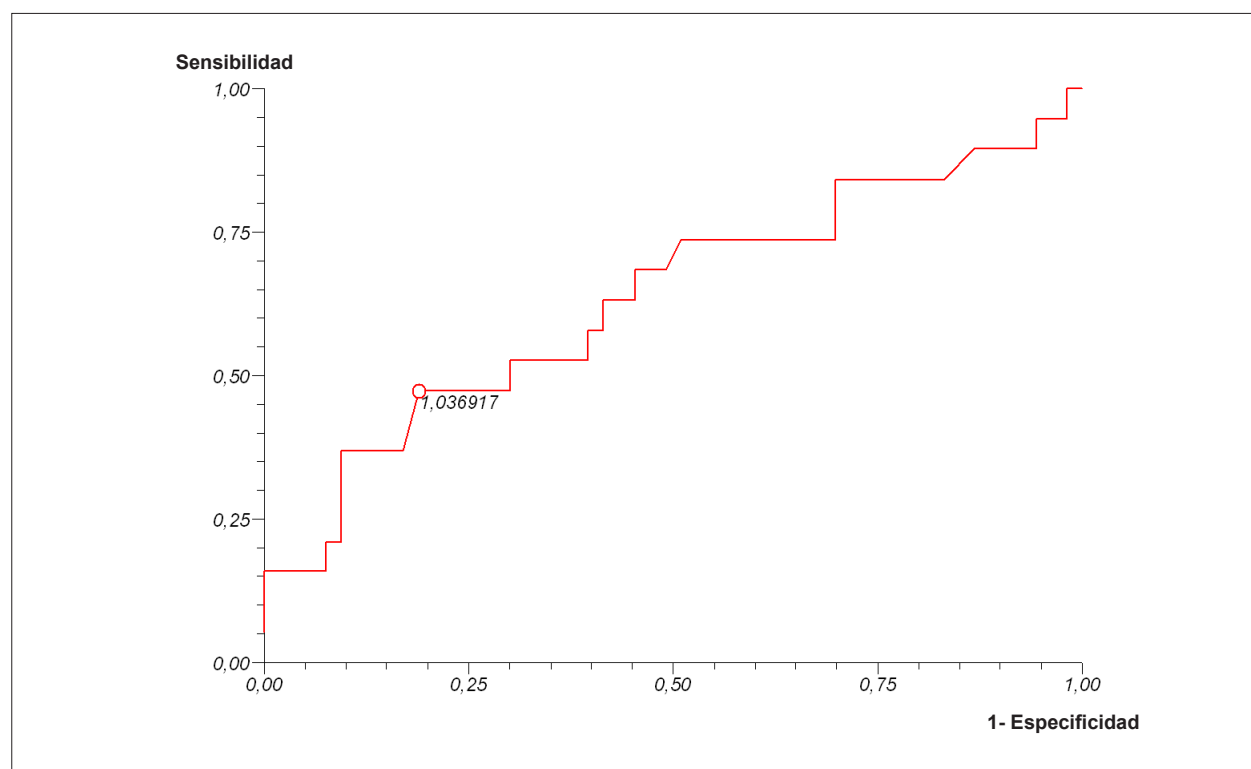


Fig. 3 - Presentación gráfica de la curva ROC de análisis de las fluctuaciones depuradas de tendencias (DFA total).

reducción en ese período está asociada a un mayor riesgo de complicaciones como disrritmias y óbito^{7,8}.

Por otro lado, en el trabajo reciente de Godoy et al⁵, fue observado que el análisis de la VFC, en el dominio no lineal en el período pre-operatorio de pacientes con CRM electiva, puede detectar subgrupos con alto riesgo para complicaciones post-operatorias.

En el presente estudio, verificamos que los análisis no lineales de los índices de VFC fueron adecuados en la caracterización de la presencia o no de infecciones pulmonares en el post-operatorio de revascularización del miocardio.

Con base en los niveles de corte estipulados por la curva ROC, fue posible constatar diferencias significativas entre

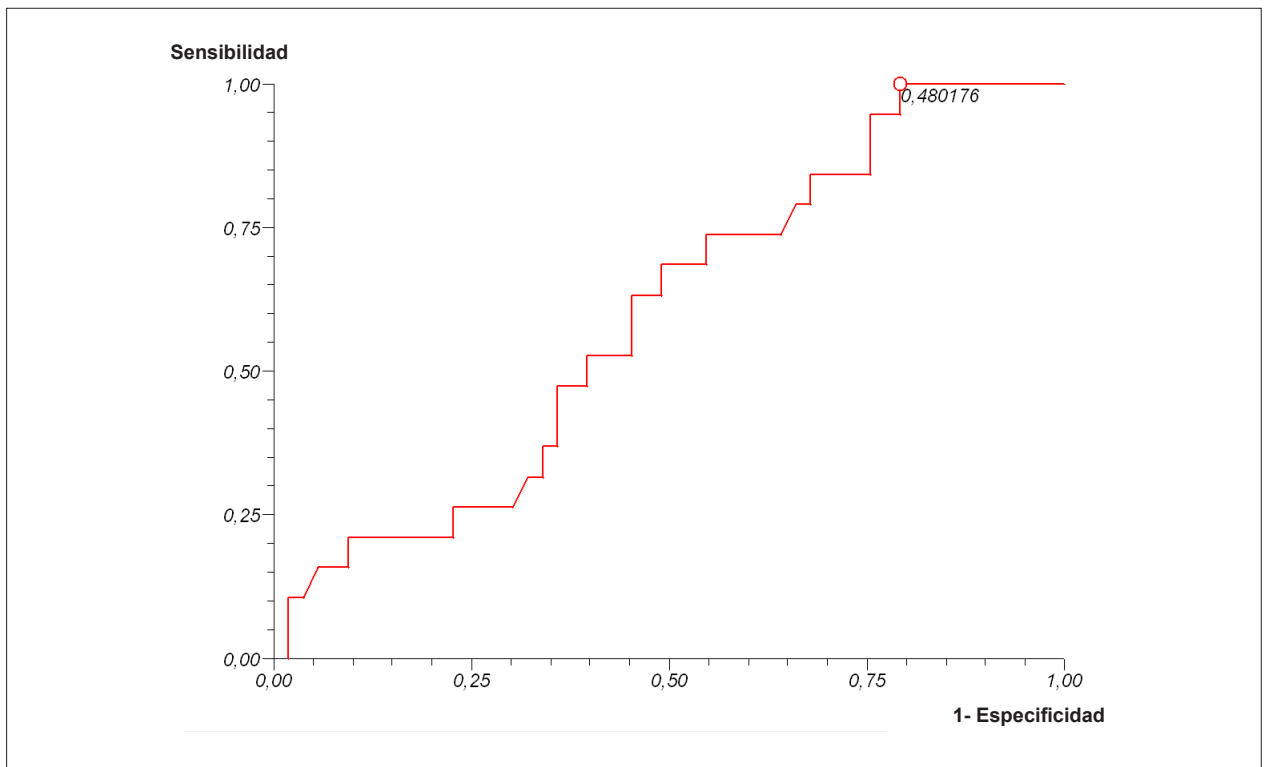


Fig. 4 - Presentación gráfica de la curva ROC de entropía aproximada (-ApEn).

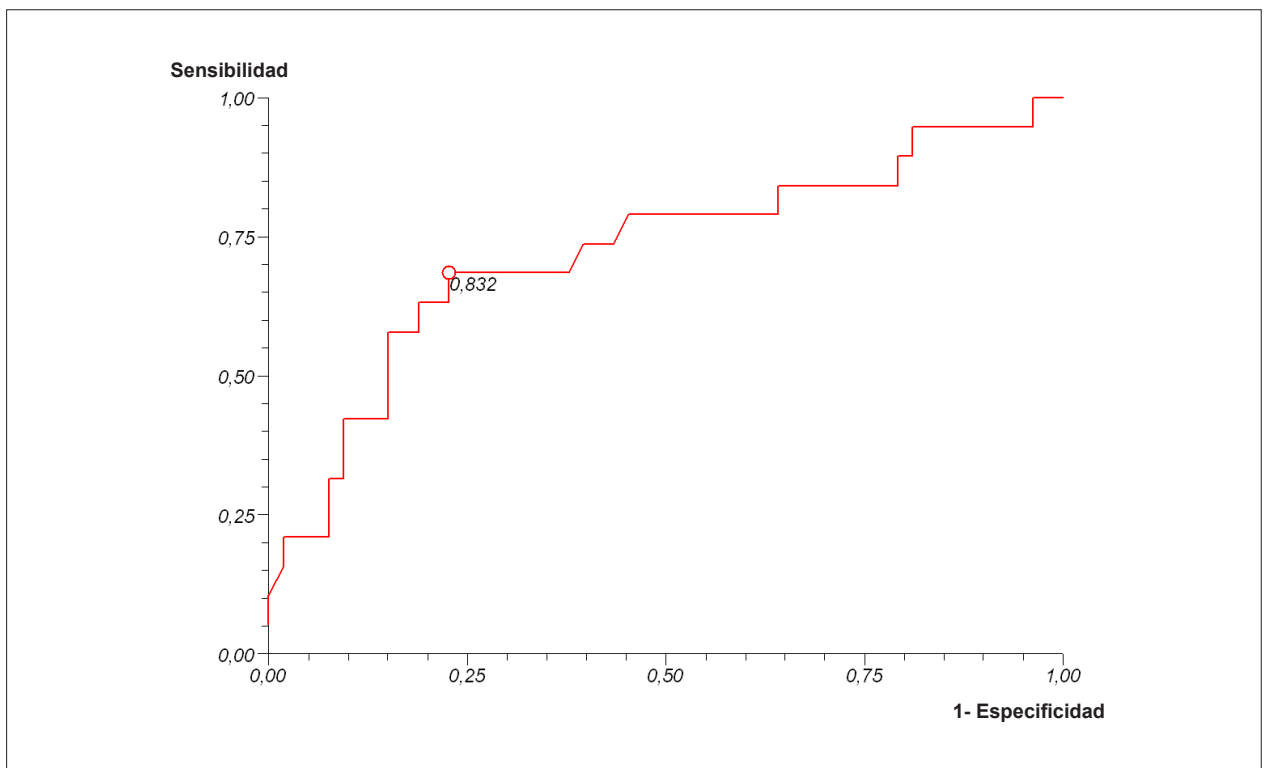


Fig. 5 - Presentación gráfica de la curva ROC del exponente de Lyapunov (LE).

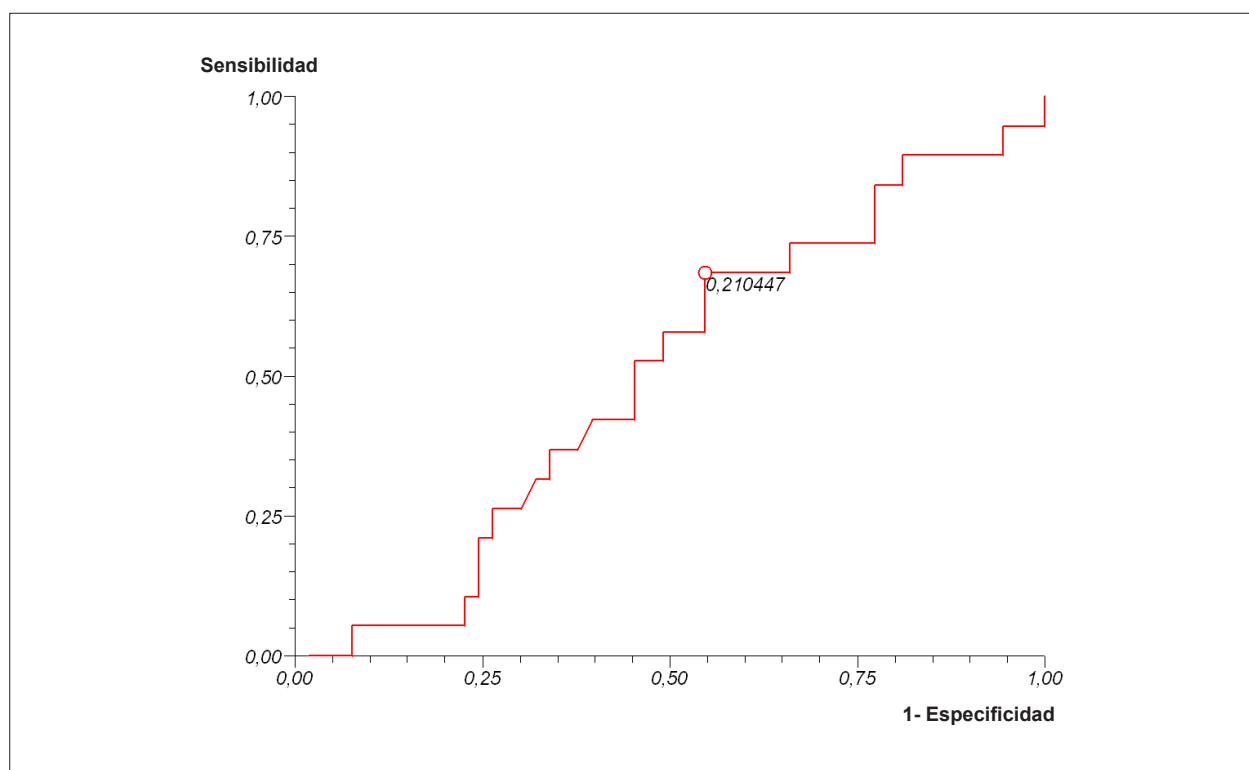


Fig. 6 - Presentación gráfica de la curva ROC del exponente de Hurst (HE).

el grupo con infecciones pulmonares y sin infecciones pulmonares, en el post-operatorio de revascularización del miocardio, para las variables de análisis de fluctuaciones depurada de tendencias (DFA total), entropía aproximada y exponente Lyapunov. No hubo diferencia significativa para las variables componente de corto plazo ($\alpha 1$), componente de largo plazo ($\alpha 2$) y exponente de Hurst.

El análisis de DFA total cuantifica las propiedades fractales de la serie temporal. Valores próximos a 1,0 indican comportamiento caótico. Valores tendiendo a 1,5, corresponden a linealidad y tendiendo a 0,5, a aleatoriedad²⁴. El valor de la DFA total indicó diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, tendiendo para 1,5 en el grupo con infecciones pulmonares, confirmando el esperado teóricamente para situaciones de pérdida de caos y progresión para linealidad.

En relación a entropía aproximada (-ApEn), ha sido referido que cuanto más compleja (caótica) mayor será su valor, y, cuanto más regular y previsible sea la serie, menor el valor de la -ApEn¹⁵.

Nuestros hallazgos son concordantes con esos autores, pues valores menores o iguales a 0,4802 estuvieron significativamente asociados a infecciones pulmonares en el post-operatorio de revascularización del miocardio. La entropía aproximada (-ApEn) disminuye con la pérdida de la homeostasia o caos, o sea, se aproxima de los comportamientos lineales.

En cuanto al exponente de Lyapunov (LE), valores más altos han sido relacionados con comportamiento caótico

y la linealidad muestra tendencias para el valor cero¹⁷. En nuestro estudio, valores menores o iguales a 0,832 en el pre-operatorio ocurrieron con mayor frecuencia en los pacientes con infecciones pulmonares en el post-operatorio de CRM.

Así, eso confirma la importancia de la utilización de análisis de la dinámica no lineal en la evaluación pronóstica de estados mórbidos, siendo capaz de evaluar el grado de pérdida de comportamiento homeostático del paciente, considerando el todo, y no apenas la gravedad de las enfermedades aisladamente.

En la cirugía cardíaca, las alteraciones pulmonares merecen especial atención, pues, con excepción de enfermedad pulmonar preexistente, se cree que factores, tales como dolor, alteración de la mecánica ventilatoria, decurrente de la esternotomía, y los efectos deletéreos de la anestesia general contribuyan a alteraciones en la función pulmonar^{9,10}.

Los "Guidelines for the Management of Adults with Hospital-acquired, Ventilator-associated, and Healthcare-associated Pneumonia"²⁵ relatan que, en pacientes ventilados mecánicamente, la ocurrencia de neumonía aumenta con el tiempo de ventilación. El riesgo de infección pulmonar asociada a la ventilación es más alto en el comienzo de la internación hospitalaria y es estimada en 3%/día entre 5-10 días, disminuyendo para 1%/día después del 10º día.

En este estudio, los pacientes sometidos a la RM con CEC tuvieron el tiempo de ventilación mecánica mayor, indicando diferencia estadísticamente significativa, sin embargo cuando evaluamos conjuntamente el tiempo de ventilación mecánica de los individuos sometidos a la CRM, con y sin CEC, y que

tuvieron o no infecciones pulmonares en el post-operatorio, no fueron observadas diferencias estadísticamente significativas.

Los pacientes que presentaron infecciones pulmonares en el período post-operatorio tuvieron el tiempo de ventilación mecánica mayor, señalando diferencia estadísticamente significativa, sin embargo no sobrepasando dos días. Con todo, la presencia de infecciones pulmonares no fue detectada durante la permanencia de la ventilación mecánica, pero sí cuando ya permanecían en respiración espontánea, con auxilio de oxigenoterapia de bajo flujo, por medio de máscara facial.

En este estudio, el criterio metodológico importante utilizado en la identificación de infecciones pulmonares fue el resultado del cultivo cuantitativo del aspirado traqueal (AT). Varios estudios han sugerido que el cultivo cuantitativo del AT puede tener igual valor diagnóstico cuando es comparado a las técnicas de lavado broncoalveolar y de cepillado brónquico protegido²⁵.

Carvalho et al²⁰ relatan que, para la evaluación diagnóstica de infecciones pulmonares, deben ser analizados en conjunto los criterios clínicos y la evolución del infiltrado radiológico, asociados a un buen análisis del examen directo de la muestra de secreción del tracto respiratorio inferior, y los cultivos cuantitativos del AT y/o lavado broncoalveolar.

En el presente estudio, fueron evaluados, junto al cultivo cuantitativo del AT, la presencia de infiltrados pulmonares en RX de tórax y/o uso de antibiótico terapia específica, y/o presencia de secreción amarilla. De esa forma, consideramos que la evaluación puede indicar la presencia o no de infección pulmonar en los individuos evaluados.

En el presente estudio, también fueron evaluados el *Additive* y el *Logistic EuroScore*, que son sistemas de evaluación del riesgo operatorio cardíaco por medio de modelo logístico, utilizado como predictor de estimativa relevante de mortalidad y de complicaciones post-operatorias, tanto a corto como a largo plazo, de pacientes hospitalizados que sufrieron intervención quirúrgica cardíaca^{19,26}.

Los cuestionarios fueron aplicados por un único profesional

no incluido en la investigación, así que el paciente entró en la Unidad de Terapia Intensiva. Con todo, esos índices no separaron cuales eran los pacientes que tenían mayor probabilidad de infección pulmonar en el post-operatorio de revascularización del miocardio, valorizando la importancia del análisis de la VFC utilizada en el presente estudio.

Entre las limitaciones en el estudio, citamos la influencia del tratamiento medicamentoso y su discontinuación sobre la VFC porque son la realidad de los pacientes que fueron estudiados, así como la heterogeneidad de la muestra estudiada relacionada a los factores de riesgo. Aunque consideremos muy importante evaluar la influencia aislada de factores de riesgo sobre la VFC, en la práctica clínica eso ha sido imposible, pues los pacientes presentaron asociación entre enfermedades y/o factores de riesgo.

En conclusión, los métodos de dinámica no lineal, en sus respectivos niveles de corte, permitieron identificar los casos que evolucionaron con infección pulmonar en el post-operatorio de CRM. Tal identificación parece confirmar que la Teoría del Caos, al estudiar sistemas dinámicos complejos no lineales, evalúa el paciente como un todo, determinando el grado de pérdida del comportamiento homeostático, pudiendo ser aplicada para el pronóstico frente al compromiso global.

Potencial Conflicto de Intereses

Declaro no haber conflicto de intereses pertinentes.

Fuentes de Financiamiento

El presente estudio no tuvo fuentes de financiamiento externas.

Vinculación Académica

Este artículo es parte de tesis de Doctorado de Paulo Rogério Corrêa por la Facultad de Medicina de São José do Rio Preto - FAMERP.

Referencias

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 BG, 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, Johnson 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 TJG, 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, ventilador-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.