

全数据库评估概率密度函数法利用R-R间期检测房颤精度

陆宏伟, 钟高艳, 龙芋帆, 刘章财

上海理工大学医疗器械与食品学院, 上海 200093

【摘要】研究整个MIT-BIH心律失常数据库评估概率密度函数法利用R-R间期检测房颤的精度。研究发现正常窦性心律含较多早搏时[(早搏次数/总心搏次数)>9.3%], 识别房颤的精度下降到约70%; 左束支传导阻滞含较多早搏时, 识别房颤的精度下降到约80%; 而房颤心中频繁早搏对辨别房颤精度影响很小, 仍达91%。可见该算法适用于区分关联性强的序列与关联性弱的序列。正常窦性心律和左束支传导阻滞心律相邻R-R间期关联性强, 频繁早搏使其相邻R-R间期关联性减弱, 从而降低识别房颤的精度; 而房颤相邻R-R间期无关联性, 频繁早搏对检测精度无影响。尽管数据库中有种类繁多的心律失常, 且伴有频繁的早搏, 算法全数据库共约110 000次心跳辨别房颤精度达82%~86%。

【关键词】房颤; R-R间期; 概率密度函数法; 早搏; 心律失常

【中图分类号】R318.04; R318.5

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2018)03-0333-05

Evaluation of the precision of probability density function method using R-R intervals for detecting atrial fibrillation from the whole MIT-BIH arrhythmia database

LU Hongwei, ZHONG Gaoyan, LONG Yufan, LIU Zhangcai

School of Medical Instrument and Food Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China

Abstract: The precision of probability density function method for detecting atrial fibrillation (AF) by R-R intervals is evaluated with the use of the whole MIT-BIH arrhythmia database. With the normal sinus rhythm with frequently occurring premature heart beats (PHB), the number of PHB/the total number of heart beats larger than 9.3%, AF detection precision is reduced to about 70%; with the left bundle branch block with frequently occurring PHB, the precision is decreased to 80%; while AF with frequently occurring PHB has little effects on the AF detection precision, and the detection precision remains 91%. Therefore, the proposed algorithm is suitable to differentiate sequences with high correlation from sequences with weak correlation. The neighboring R-R intervals of normal sinus rhythm and left bundle branch block are highly correlated. Frequently occurring PHB weakens the correlation among neighboring R-R intervals, which degrades the AF detection precision. However, there are no correlations among neighboring R-R intervals of AF, which indicated that frequently occurring PHB has no effects on the AF detection precision. The algorithm is evaluated with the whole MIT-BIH arrhythmia database which contains about 110,000 heart beats. Though many kinds of arrhythmia accompanied with frequently occurring PHB are included in the database, the AF detection precision of the whole database remains 82%-86%.

Keywords: atrial fibrillation; R-R intervals; probability density function method; premature heart beats; arrhythmia

前言

房颤发病率高居心律失常的第3位, 房颤患者占全球人口的1%~2%^[1]。房颤发作时心房收缩丧失, 心房内血液淤滞, 促进血栓形成, 容易引起中风^[2-3]。因房颤导致的中风率高达15%^[4]。阵发性房颤具有

突发突止的特征, 用动态心电图机(Holter)容易检测到。Holter心电图由于肌电及其他干扰较严重, 容易淹没微弱的房颤特征波—f波, 导致漏诊; 而R波峰值明显, 不易受干扰。因此, 人们研究利用R-R间期检测房颤^[5-7], 常见算法有时变相干函数法^[8]、庞加莱图法^[9]、样本熵法^[10]、R-R间期方差法^[11]、支持向量基法^[12]等。已有的方法有的计算量大, 需R-R间期多, 算法实时性不强^[13], 有的检测准确率不高^[14-15]。因此, 利用R-R间期检测房颤的精度与速度有待提高。

文献[16-17]中, 作者研究重构相空间中正常窦性心律(NSR)与房颤R-R间期两点间距离的概率密度函

【收稿日期】2017-10-22

【基金项目】上海高校特聘教授(东方学者)岗位计划资助

【作者简介】陆宏伟, 讲师, 研究方向: 医学信号处理与智能化医学仪器,

E-mail: luhongwei_mail@163.com

数,发现NSR的R-R间期PDF曲线上升斜率比房颤要快很多,在此基础上,文献[17]定义了特征量 k_n ,并用 k_n 检测各400段房颤与NSR的R-R间期,证明算法响应速度快(最少只需40个R-R间期),检测精度高(最优灵敏度97.8%,特异性99.0%)。所用数据是MIT-BIH Atrial Fibrillation Database数据库中若干记录的一部分,没有用全数据库对算法检测房颤的精度进行评估,还应将算法用于其他心电数据库以进一步验证算法的精度及适用性,而且只评估了NSR和房颤两种心律,还应考虑其他心律,如早搏、二联律、三联律等心律失常对算法识别精度的影响。因此,本文利用MIT-BIH Arrhythmia Database全数据库评估概率密度函数法利用R-R间期检测房颤的精度。

1 方法

1.1 数据

本文数据取自MIT-BIH心律失常数据库^[18]。该数据库包含48段双通道动态心电图记录,每段记录长30 min,采样率为360 Hz,由心电图专家对每次心跳做出标注。48段记录来自47例门诊或住院病人,病人患有各种心律失常,共有约110 000次心跳。其中,记录102、104、107和217为起搏心律,故不采用。记录100、101、103、105、108、112、113、114、115、116、117、121、122、123、205、213、215、220、234为NSR包含少量早搏(早搏次数少于245次),剩下25段记录的部分记录情况如表1所示。表中符号N为NSR,V为室性早搏,A为房性早搏,L为左束支传导阻滞,R为右束支传导阻滞,X为非传导P波,+为心律变化次数,a为异位心房早搏,F为心室与正常心跳融合,“!”为室扑,E为心室异搏,数字表示某种心律的心跳次数。

表1 MIT-BIH心律失常数据库部分记录情况
Tab.1 Part of record data from MIT-BIH arrhythmia database

Electrocardiograph record name	Arrhythmia
106	N:1507, V:520, +:41, mostly bigeminy and trigeminy
200	N:1743, V:826, A:30, bigeminy with duration of 13'52"
201	N:1625, a:97, V:198, A:30, X:37, trigeminy, atrial fibrillation (AF) with duration of 10'6"
202	N:2061, a:19, V:19, A:36, AF with duration of 9'46"
203	N:2529, V:444, AF with duration of 24'15"
207	L:1457, R:86, V:105, A:107, E:105, !:472, supraventricular tachycardia with duration of 52", bigeminy with duration of 2'38"
208	N:1586, V:992, F:373, primary bigeminy and trigeminy
210	N:2423, a:22, V:194, AF with duration of 29'30"
219	N:2082, V:64, X:133, AF with duration of 23'47"
221	N:2031, V:396, AF with duration of 29'17"
223	N:2029, V:473, A:72, ventricular tachycardia with duration of 1'46", bundle branch block with duration of 4'19"
228	N:1688, V:362, +:41, bundle branch block with duration of 5'48"
230	N:2255, +:207, Wolff Parkinson-White syndrome with duration of 12'21"
232	R:397, A:1382, all the record of sinus bradycardia

该数据库的特点是各种心律失常种类较多,持续时间较长,尤其是房性早搏、室性早搏、二联律、三联律频繁出现。图1为频繁的室性早搏、房性早搏及房颤心律中有室性早搏的心电图。早搏导致前一个R-R间期变短,后一个R-R间期变长。因此利用心律失常数据库可以很好地研究频繁的早搏及其他心律失常对PDF法利用R-R间期检测房颤精度的影响。将数据库中的R-

R间期序列分为以下几类:(1)房颤;(2)具有较多早搏的房颤;(3)NSR;(4)具有较多早搏的NSR;(5)二联律和三联律;(6)左束支阻滞;(7)具有较多早搏的左束支传导阻滞;(8)右束支阻滞。在记录213中,共2 641个心搏,其中室性早搏220次,房性早搏25次,早搏次数占总心搏次数比例为9.3%。将一段心电记录中,早搏次数占总心搏次数大于9.3%定义为具有较多早搏。

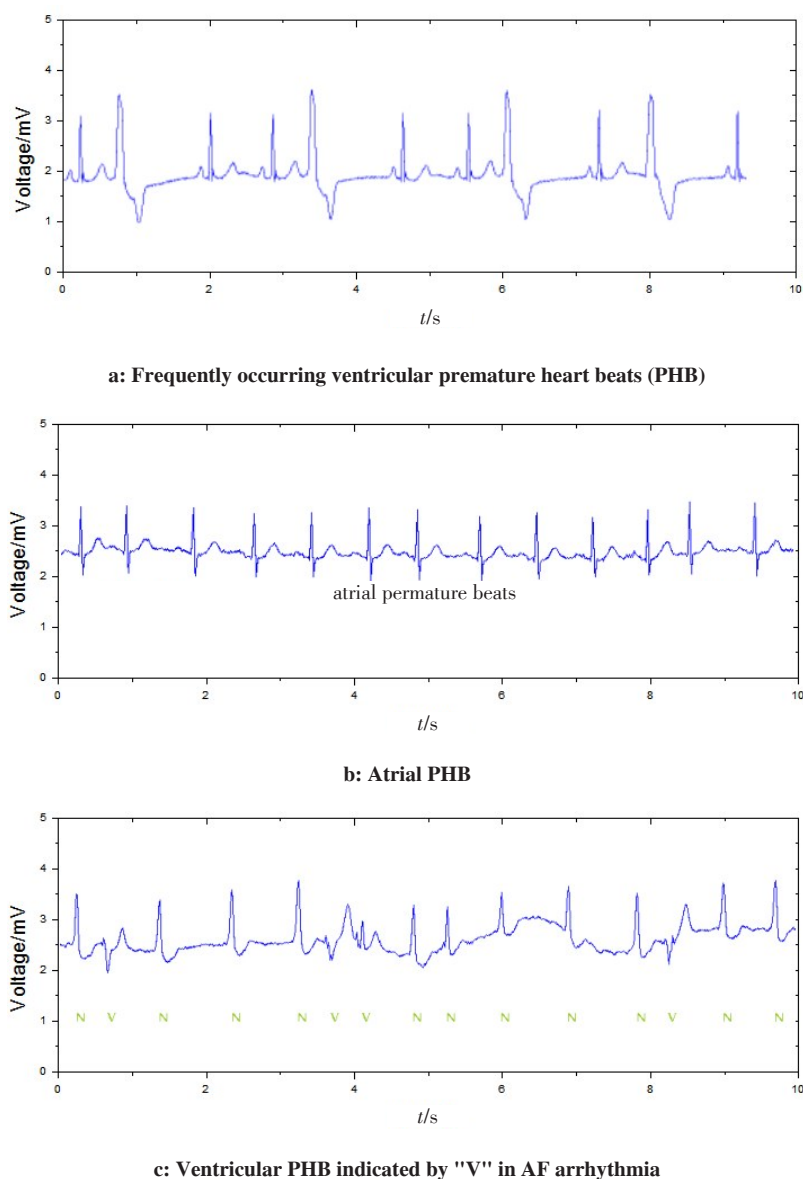


图1 影响R-R间期的几种心律失常

Fig.1 Different kinds of arrhythmia affecting R-R intervals

1.2 PDF法利用R-R间期检测房颤

通过相空间重构^[19],将一维R-R间期序列映射为多维相空间中的点集,测量相空间中任意两点的距离,得到两点距离的PDF。研究发现NSR的R-R间期PDF曲线上升沿斜率比房颤大,因此定义特征参数 k_n 并辨别房颤, k_n 表示PDF曲线 n 点斜率之和。

2 数值计算与讨论

2.1 辨别NSR与房颤

嵌入维取5,延时为1,R-R间期数为40和60。为使算法检测房颤的动态响应速度快,没有采用更多的R-R间期。取40个R-R间期时,房颤样本84段,NSR样本1131段;取60个R-R间期时,房颤样本53段,NSR样本748段。灵敏度=TP/(TP+FN),特异性=

TN/(TN+FP),其中TP为真阳性,FN为假阴性,TN为真阴性,FP为假阳性。辨别房颤阈值选取标准是使灵敏度和特异性尽可能高,而且尽可能接近。表2为本研究和文献[17]辨别NSR和房颤的结果,可见本文辨别房颤的精度(灵敏度和特异性)比文献[17]略差。原因是本研究采用心律失常数据库中的数据,NSR和房颤心电中有较多早搏,如记录213,早搏次数占总心搏次数比为9.3%,也被归为NSR心电;而文献[17]采用MIT-BIH Atrial Fibrillation Database中的数据,早搏次数非常少。房颤相邻R-R间期无关联性,而NSR相邻R-R间期关联性强,本文算法正是利用该差异检测房颤。早搏会改变R-R间期序列,具有较多早搏的NSR相邻R-R间期关联性必然变弱,必然导致检测精度下降。尽管如此,由表2可知,本文

辨别房颤的精度最多只损失3%~4%,说明PDF法利用R-R间期检测房颤算法对早搏有较好的鲁棒性,对NSR和房颤心电中早搏次数占总心搏次数比小于等于9.3%时仍有较高的识别精度。

表2 本研究和文献[17]辨别NSR和AF的结果(%)
Tab.2 AF detecting results in our research and results in reference [17] (%)

Number of R-R intervals	Our research		Reference [17]	
	Sensitivity	Specificity	Sensitivity	Specificity
40	95.2	92.5	95.5	95.0
60	92.5	93.4	95.8	97.3

2.2 辨别NSR与具有较多早搏的房颤

取40个R-R间期时,具有较多早搏的房颤样本182段,NSR样本1131段,辨别房颤的灵敏度为91.3%,特异性为91.2%;取60个R-R间期时,具有较多早搏的房颤样本122段,NSR样本748段,辨别房颤的灵敏度和特异性都为91.8%。与表2相比,由于房颤心电中有更多早搏,导致辨别精度略微下降,但只下降了不到4%。

2.3 辨别具有较多早搏的NSR与具有较多早搏的房颤

取40个R-R间期时,具有较多早搏的房颤样本182段,具有较多早搏的NSR样本234段,辨别房颤的灵敏度和特异性均为71%;取60个R-R间期时,具有较多早搏的房颤样本122段,具有较多早搏的NSR样本154段,辨别房颤的灵敏度为68.9%,特异性为69.5%。与2.1和2.2节作比较,发现NSR心电具有较多早搏时,识别房颤的精度大大下降,这是因为含有较多早搏NSR的R-R间期变得无规则,较难与房颤区分;而房颤心电中早搏多少,对辨别房颤精度影响很小,因为房颤R-R间期本来就无规则。

2.4 辨别二联、三联律与房颤

这里及下文所指的房颤包括数据库中较少早搏和较多早搏的所有房颤心电。取40个R-R间期时,二联、三联律样本127段,房颤样本266段,辨别房颤的灵敏度为79.4%,特异性为80.3%;取60个R-R间期时,二联、三联律样本83段,房颤样本175段,辨别房颤的灵敏度为76.0%,特异性为79.5%。同2.3节一样,二联、三联律导致R-R间期不规则,使得辨别房颤的精度下降。

2.5 辨别左束支传导阻滞与房颤

取40个R-R间期时,左束支传导阻滞样本149段,房颤样本266段,辨别房颤的灵敏度为98.7%,特异性为99.3%;取60个R-R间期时,左束支传导阻滞样本99段,房颤样本175段,辨别房颤的灵敏度为99.0%,特异性为99.4%。

2.6 辨别具有较多早搏的左束支传导阻滞与房颤

取40个R-R间期时,具有较多早搏的左束支传导阻滞样本55段,房颤样本266段,辨别房颤的灵敏度为80.0%,特异性为81.7%;取60个R-R间期时,具有较多早搏的左束支传导阻滞样本37段,房颤样本175段,辨别房颤的灵敏度为78.4%,特异性为70.3%。可见具有较多早搏的左束支传导阻滞R-R间期误判为房颤的概率比较高。

2.7 辨别右束支传导阻滞与房颤

取40个R-R间期时,右束支传导阻滞样本150段,房颤样本266段,辨别房颤的灵敏度为94.7%,特异性为96.3%;取60个R-R间期时,右束支传导阻滞样本98段,房颤样本175段,辨别房颤的灵敏度为95.9%,特异性为96.0%。为何算法辨别房颤与左、右束支传导阻滞R-R间期的精度很高?因为束支传导阻滞心律R-R间期非常规则。图2a为一段右束支传导阻滞R-R间期序列,可见邻近R-R间期变化缓慢,关联性较强。图2b散点图点很集中,而房颤R-R间期散点图呈扇形发散^[20],因此PDF法利用R-R间期也能很好辨别束支传导阻滞和房颤R-R间期。那么,算法能否准确识别束支传导阻滞和NSR的R-R间期?经测试,算法区分两者的灵敏度、特异性都在60%左右,说明束支传导阻滞和NSR邻近R-R间期关联性都很强,算法不能区分。

2.8 辨别数据库中房颤与所有其他心律

所有其他心律指数据库中除房颤外所有其他心律,包括NSR和二、三联律、心室逸搏、左右束支传导阻滞、窦性心动过缓、室上性心动过速、室性心动过速、预激综合征等。取40个R-R间期时,所有其他心律样本1899段,房颤样本266段,辨别房颤的灵敏度为85.8%,特异性为82.2%;取60个R-R间期时,所有其他心律样本1254段,房颤样本175段,辨别房颤的灵敏度为86.3%,特异性为82.3%。可见,尽管心律失常数据库中有种类繁多的心律失常心电,且伴有频繁早搏,算法全数据库检测房颤精度达82%~86%。

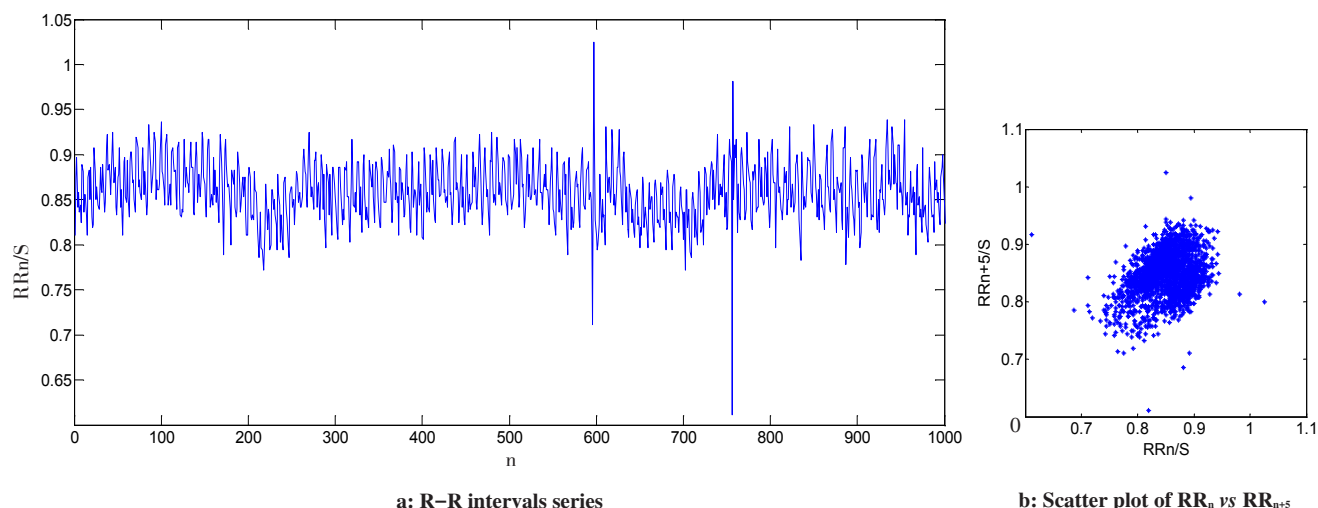


图2 一段右束支传导阻滞心电的R-R间期序列及其散点图

Fig.2 R-R intervals series of the right bundle branch block and its scatter plot

3 结论

本文研究了早搏(包括二联、三联律)对辨别房颤的影响,发现NSR或束支传导阻滞心电含较多早搏时,识别房颤的精度大大下降,而房颤心电中早搏的多少对辨别房颤精度影响很小,可见该算法适用于区分关联性强的序列与关联性弱的序列。算法对NSR和房颤心电中早搏次数占总心搏次数比小于等于9.3%时仍有较高的识别精度,而非房颤心律中更频繁出现的早搏,会大大降低识别房颤的精度。本文利用心律失常全数据库验证了房颤检测算法,尽管数据库中有种类繁多的心律失常,且伴有频繁的早搏,算法全数据库辨别房颤精度达82%~86%,即最坏情况下识别房颤的精度。在实际应用中,可在识别房颤前先判断有无过多早搏,如有,则不作识别,直到早搏较少时才作辨别,以提高系统识别房颤的精度。

【参考文献】

- [1] CAMM A, KIRCHHOF P, LIP G, et al. Guidelines for the management of atrial fibrillation: the task force for the management of atrial fibrillation of the European Society of Cardiology[J]. Kardiol Pol, 2010, 74(12): 1359.
- [2] BENJAMIN E J, WOLF P A, AGOSTINO R B, et al. Impact of atrial fibrillation on the risk of death: the Framingham heart study[J]. Circulation, 1998, 98(10): 946-954.
- [3] HIJAZI Z, OLDGREN J, SIEGBAHN A, et al. Biomarkers in atrial fibrillation: a clinical review[J]. Eur Heart J, 2013, 34(20): 1475.
- [4] JABAUDON D, SZTAJZEL J, SIEVERT K, et al. Usefulness of ambulatory 7-day ECG monitoring for the detection of atrial fibrillation and flutter after acute stroke and transient ischemic attack[J]. Stroke, 2004, 35(7): 1647-1651.
- [5] TATENO K, GLASS L. Automatic detection of atrial fibrillation using the coefficient of variation and density histograms of RR and Δ RR intervals[J]. Med Biol Eng Comp, 2001, 39(6): 664-671.
- [6] ARTIS S G, MARK R G, MOODY G B. Detection of atrial fibrillation using artificial neural networks[J]. Comput Cardiol, 1991, 18: 173-176.
- [7] YOUNG B, BRODNICK D, SPAULDING R. Comparative study of a Hidden Markov model detector for atrial fibrillation[J]. Neural Networks Signal Proc IEEE, 1999: 468-476. DOI:10.1109/NNSP.1999.788166.
- [8] LEE J, NAM Y, MCMANUS D D, et al. Time-varying coherence function for atrial fibrillation detection[J]. IEEE Trans Biomed Eng, 2013, 60(10): 2783-2793.
- [9] RUAN X, LIU C. Automatic detection of atrial fibrillation using R-R interval signal [C]//International Conference on Biomedical Engineering and Informatics. IEEE, 2011: 644-647.
- [10] MOHEBBI M, GHASSEMIAN H. Prediction of paroxysmal atrial fibrillation based on non-linear analysis and spectrum and bispectrum features of the heart rate variability signal[J]. Comput Methods Programs Biomed, 2012, 105(1): 40-49.
- [11] NURYANI N, SOLIKHAH M, NUGOHO A S, et al. RR-interval variance of electrocardiogram for atrial fibrillation detection[J]. J Phys Conf Ser, 2016, 776(1): 012105.
- [12] ANDERSEN R S, POULSEN E S, PUTHUSSERYPADY S. A novel approach for automatic detection of atrial fibrillation based on inter beat intervals and support vector machine [C]//International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE, 2017: 2039-2042.
- [13] MOODY G, MARK R. A new method for detecting atrial fibrillation using R-R intervals[J]. Comput Cardiol, 1983, 10: 227-230.
- [14] TATENO K, GLASS L. A method for detection of atrial fibrillation using R-R intervals[J]. Comput Cardiol, 2000, 27: 391-394.
- [15] LOGAN B, HEALEY J. Robust detection of atrial fibrillation for a long term telemonitoring system[J]. Comput Cardiol, 2005, 32: 619-622.
- [16] 陆宏伟. 利用R-R间期辨别房颤与正常窦性心律[J]. 生物医学工程学报, 2010, 27(1): 183-187.
- [17] LU H W. Detecting atrial fibrillation and normal sinus rhythm by R-R intervals[J]. Journal of Biomedical Engineering, 2010, 27(1): 183-187.
- [18] LU H W, SUN Y, LIN M, et al. A probability density function method for detecting atrial fibrillation using R-R intervals[J]. Med Eng Phys, 2009, 31(1): 116-123.
- [19] GOLDBERGER A L, AMARAL L A, GLASS L, et al. PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: components of a new research resource for complex physiologic signals[J]. Circulation, 2000, 101(23): E215-E220.
- [20] NICHOLS J M, NICHOLS J D. Attractor reconstruction for non-linear system: a methodological note[J]. Math Biosci, 2001, 171(1): 21-32.
- [21] 陆宏伟, 孙迎, 林敏, 等. 房颤R-R间期关联性比正常窦性心律弱[J]. 上海理工大学学报, 2007, 29(5): 445-448.
- [22] LU H W, SUN Y, LIN M, et al. Less correlation of R-R intervals of atrial fibrillation than that of normal sinus rhythm[J]. Journal of Shanghai University of Science and Technology, 2007, 29(5): 445-448.

(编辑:陈丽霞)