

文章编号: 16732159X(2010)0220141204

心音特征波形法的研究及临床验证

王海滨¹, 胡玉良¹, 王 燕¹, 江钟伟², 乔军选³

(1 西华大学电气信息学院 四川省信号与信息处理重点实验室, 四川 成都 610039;
2 山口大学机械工学科, 日本 山口 755- 8611; 3. 解放军第 452 医院, 四川 成都 610072)

摘 要: 为快速、准确地判断心音的正常与否, 本文提出一种心音特征波形法, 通过建立单自由度分析模型提取心音特征波形, 计算出心音特征参数来判别正常与异常的心音。文中通过对心脏病患者术前/术后的心音案例进行分析, 验证了心音特征波形法的有效性, 并对已采集的 50 组正常与 30 组异常的心音数据进行实验及统计分析, 准确率分别达到了 98%、93.33%。

关键词: 心音; 单自由度模型 (SDOF); 特征提取; 心音特征波形 (HSCW)

中图分类号: TN911.6

文献标识码: A

Research on Heart Sound Characteristic Waveform Method and Its Clinical Verification

WANG Haibin¹, HU Yu2liang¹, WANG Yan¹, JIANG Zhong2wei², QIAO Jun2xuan³

(1 Sichuan Provincial Key Laboratory of Signal and Information Processing School of Electrical and Information Engineering
X hua University, Chengdu 610039 China; 2 Department of Mechanical Engineering, Yamaguchi University,
Yamaguchi 75528611 Japan; 3. The 452nd Hospital of PLA, Chengdu 610072 China)

Abstract In order to discriminate normal and abnormal heart sounds(HSs) accurately and effectively, heart sound characteristic waveform (HSCW) method is proposed to analyze HSs. Characteristic waveform is extracted from an analytical model of single degree of freedom (SDOF). Furthermore, characteristic parameters are calculated to discriminate normal and abnormal heart sounds. A case study on abnormal HSs from a heart patient before and after surgery demonstrates the validation of the usefulness and efficiency of the proposed HSCW method. Besides, 50 normal and 30 abnormal HSs are collected and analyzed, the accuracy performances are achieved by 98% and 93.33% respectively.

Key words heart sound; single degree of freedom (SDOF); characteristic extraction; heart sound characteristic waveform (HSCW)

随着自然与社会环境的变化, 与人们生活习惯相关的心脏疾病越来越多。2008 年根据世界卫生组织的统计^[1], 心脏病发作的人数不断增加, 全世界每年有 1700 万人死于心脏病, 每 3 例病逝的患者中就有 1 例为心脏病患者。心音信号含有关于心脏各个部分如心房、心室、心血管及各个瓣膜功能状态的生理病理信息。心脏听诊包含了大量对诊断心脏疾病有价值的信息。

传统的心音学和现代信号处理技术的结合, 较

大地增强了在临床上的应用价值和潜力, 给心脏疾病的早期预防及诊断技术带来了突破性的进展。心音的自动分析研究^[2-4]显示了新的趋势, 文献 [2] 中谱特征在表征心脏病及状态方面也有一定的效果, 如功率谱分析反映信号的静态频谱特征。实际上, 心脏搏动是一个动态的过程, 心音信号通常表现为非平稳或时变特征, 如采用经典谱分析方法和参数模型法, 难以揭示心音信号的动态变化过程^[3]。文献 [4] 中讨论的功率谱在心音信号的分析 and 处理中

收稿日期: 2010201225

基金项目: 四川省教育厅自然科学基金重点项目 (09209025); 西华大学研究生创新基金项目 (Ycj200935)

作者简介: 王海滨 (19642), 女, 云南思茅人, 教授, 博士, 硕士生导师, 主要研究方向为生物医学信号的检测与处理。

广泛应用,在计算方法上有一定的优势,但它是以信号服从高斯分布假设为前提,同时丢失了信号的相位信息。以上这些研究旨在帮助心脏病专家更准确地诊断心脏疾病。

本文研究一种正常与异常心音判别的新方法,即心音特征波形法。通过建立单自由度分析模型(SDOF),仿真耳鼓膜听音的特性以提取作用于鼓膜上的声音持续时间,进而从SDOF中提取心音特征波形(HSCW),选取有效的特征参数并配以可视化的易于理解的图形表示,从而有效地判别正常和异常心音。

1 心音特征波形法原理

心音特征波形法的原理主要包括建立单自由度模型、提取心音特征波形及定义特征参数、图形化表示及判别等几个方面,心音特征波形法的总体框图如图1所示。

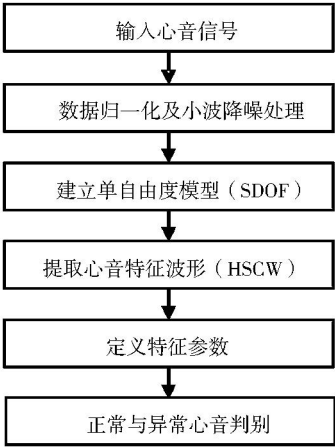


图 1 心音特征波形法的总体框图

111 建立单自由度模型 (SDOF)

由于人耳鼓膜对低频声音或声音持续时间非常敏感而且易于捕获这些信息,因此建立一种单自由度的振动模型,仿真耳鼓膜听音的特性以提取作用于鼓膜上的声音持续时间^[526]。

图2是该单自由度的分析模型示意图。假定模型中质量、弹簧系数、阻尼系数分别用 m 、 k 和 c 表示,将心音设为输入 $x(t)$,则输出响应 $y(t)$ 满足 (1) 式:

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = x \tag{1}$$

令 $S = \left| \frac{x}{m} \right|$, $p = \sqrt{\frac{k}{m}}$ 及 $N = \frac{c}{2\sqrt{mk}}$ 则 (1) 式

可以转化为 (2) 式:

$$\ddot{y} + 2Np\dot{y} + p^2y = S \tag{2}$$

其中 p 和 N 分别是与共振频率及阻尼率相关的参数,可设置参数 $p/2 = 5 \sim 10 \text{ Hz}$ 及 $N = 0.17 \sim 1.12$ 以便提取正常与异常心音的特征。

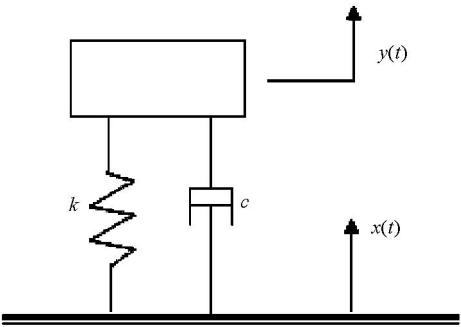


图 2 单自由度分析模型示意图

112 提取心音特征波形及定义特征参数

如图3所示,提取原始心音信号的包络曲线比原始心音简洁,也易于数据分析与处理。包络曲线表示的是心音应用到单自由度分析模型的结果,它是通过将记录的心音数据规一化及小波降噪后输入到单自由度分析模型中获得的。因此,将这种包络曲线所表示的波形称为心音特征波形(HSCW)^[8]。

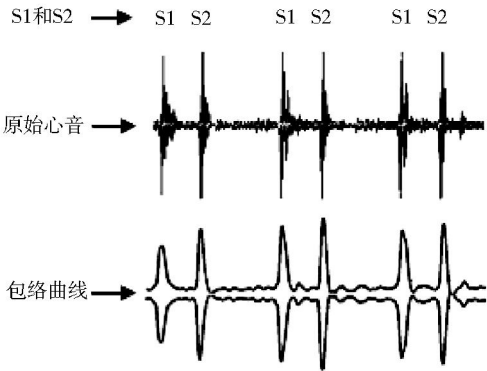


图 3 特征波形的提取

图4所示为特征参数的定义,首先,选择一条经由HSCW的适当的线作为THV,它是随着个体或心脏疾病的类型不同而改变的;其次,将图4中的 T_1 、 T_2 、 T_{11} 及 T_{12} 定义为特征参数,它们是HSCW与THV之间形成的交叉点所确定的时间间隔,其中 T_1 和 T_2 分别表示第一心音 S_1 和第二心音 S_2 的时宽,而 T_{11} 表示的是两个相邻 S_1 的间隔时间,即显示的是心跳节律状态, T_{12} 是 S_1 和 S_2 之间的时间间隔。

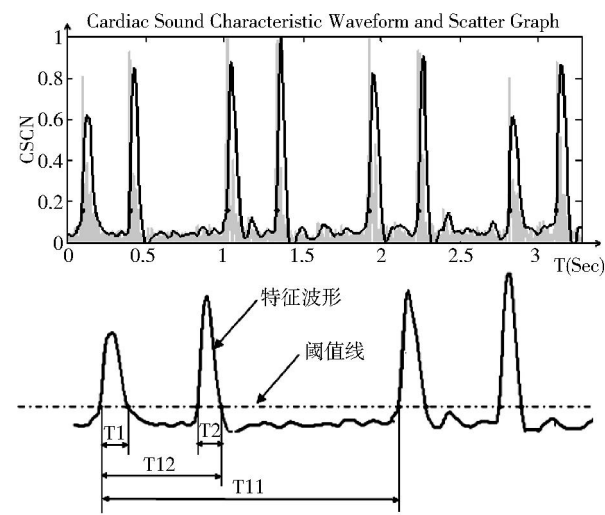


图 4 特征参数的定义

113 图形化表示及判别方法

为使特征参数可视化,在图 5(a)中将 [T1, T2] 和 [T11, T12] 对应关系以二维散点图形式表示。假设用两个圆表示正常心跳节律的区域,半径大小的确定目前是依据国际标准提供的^[728],圆心为 [011, 011]和 [018, 014]。如果计算的特征参数 [T1, T2]和 [T11, T12]值属于这两个圆范围,就可以判定为正常心音,因此,散点图可以帮助使用者很清楚地了解自己的心脏状况。另外,为了方便使用者和医生量化评估心跳节律,这些特征参数也用柱状图来表示,如图 5(b)。

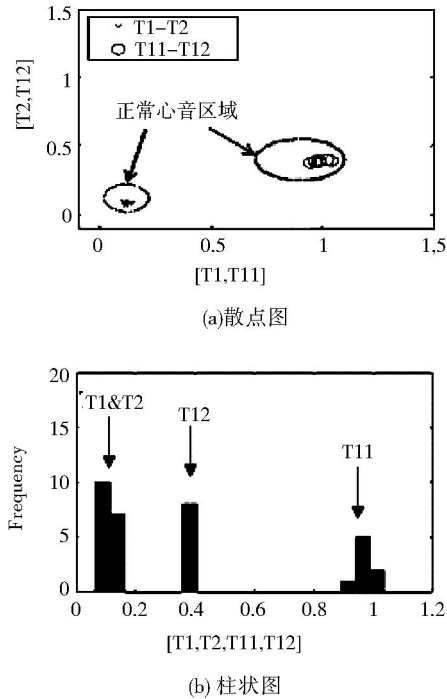


图 5 特征参数 [T1, T2, T11, T12] 的图形表示

2 临床验证与统计分析

211 临床验证

任选一例心脏病患者的心音数据作为研究对象进行分析,异常心音数据源于一位年龄 41 岁,身高 165cm,体重 62kg 的男性,临床诊断为主动脉瓣关闭不全及心功能 3 级,心电图的诊断结果为窦性心率、左房负荷增加。

如图 6(a)所示为术前的心音原始波形,第一、第二心音成份已很难识别出来,即使选取不同的滤波频带,第一、第二心音的成份也难识别。图 6(b)为术后的心音原始波形,从术后的波形看,手术取得了较为明显的效果,下面用本文提出的心音特征波形法进行验证。

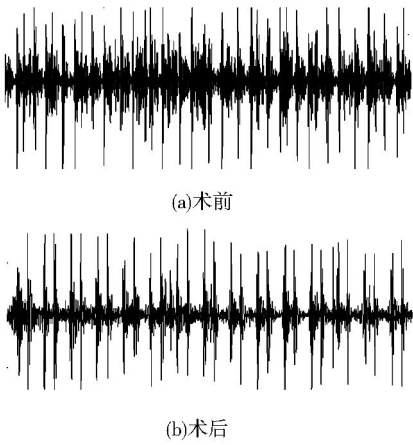
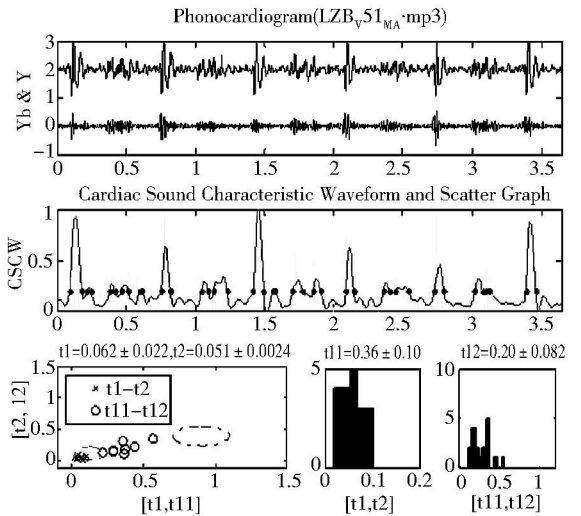


图 6 心音原始波形图

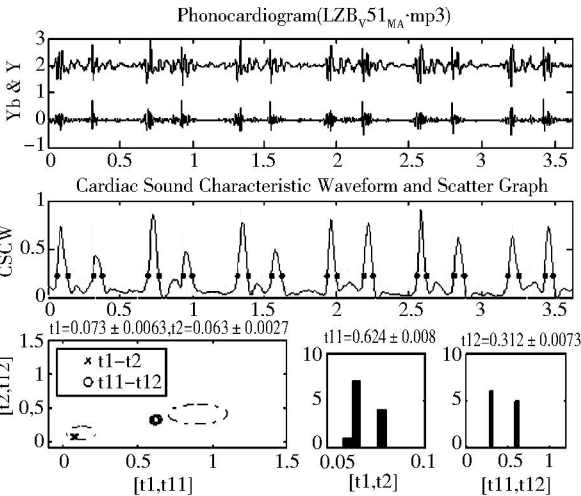
分析结果如图 7(a)和(b)所示,分别表示术前和术后的心音解析结果。从图 7(a)的散点图中可知特征参数 [T1, T2] 和 [T11, T12] 的值都各自散落在两个圆心为 [011, 011] 和 [018, 014] 的圆形区域外,表明为异常心音,与实际临床诊断的结果一致。但经过手术之后,心音得到了明显的改善,聚集在标准区域的周围(手术名称为体外循环、主动脉瓣置换),但尚需经过长时间的术后恢复,心音的改善才能更显著。此外,观察柱状图的 T11,心率可由 60/T11 计算出来。另外,为了使图 7(a)与(b)的讨论一致性,阈值均设定为约 THV= 0125。

212 统计分析

统计分析部分包括对 50 组正常心音和 30 组异常心音两个方面。单自由度分析模型中的参数设定为 N= 0 707, p= 10Hz, THV= 0 25。对文中所阐述的心音特征波形法的有效性进行验证,其统计结果如表 1 所示,正常与异常心音判别准确率分别为 98%、90%。



(a) 术前



(b) 术后

图 7 解析结果

表 1 正常与异常心音判别结果

	实验数据	正确数据	误诊数据	准确率
	组	组	组	/(%)
正常心音	50	49	1	98
异常心音	30	28	2	93.33

3 结论

本文提出了一种新的心音分析方法,即心音特征波形法。首先建立单自由度分析模型提取心音特征波形,计算特征参数,采用简单的曲线图示和特征参数来判别正常与异常的心音。通过对心脏病患者的异常心音进行术前和术后的实验研究,验证了心音特征波形法的有效性和可行性,为心音的两类判别提供了一种新的分析方法。

参 考 文 献

[1] Selina Kikkenborg Berg Preben U. Pedersen Perception of General Health in Adults with Congenital Heart Disease who no Longer Attend Medical Followup[J]. European Journal of Cardiovascular Nursing 2008, 7(4): 264-268.

[2] 周静,杨永明,何为. 心音信号的分及其特征提取方法的研究[J]. 中国生物医学工程学报, 2005, 24(6): 685-689

[3] Todd R. Reed, Nancy E. Reed, Peter Fritzson Heart Sound Analysis for Symptom Detection and Computer Aided Diagnosis[J]. Simulation Modelling Practice and Theory 2004, 12(2): 129-146

[4] D. Barschdorff, U. Förmmer Automatic Phonocardiogram Signal Analysis in Infants Based on Wavelet Transforms and Artificial Neural Networks[C] //Processing Annual Science Meeting Computer Cardiology. America: Stephen Balter, 1995: 753-756.

[5] Zhongwei Jiang, Samjin Choi A Cardiac Sound Characteristic Waveform Method for In-home Heart Disorder Monitoring with Electric Stethoscope[J]. Expert Systems with Applications 2006, 31(2): 286-298

[6] 王海滨,江钟伟,董秀成,等. 基于听诊器的心音采集解析系统[J]. 生物医学工程杂志, 2009, 26(2): 282-287.

[7] Kamath B, Thomson W. Auscultation of the Heart Hospital Physician[M]. America: Gabriel Gregoratos, 2002: 39-43.

[8] Choi SJ, JIANG ZW. Comparison of Envelope Extraction Algorithms for Cardiac Sound Signal Segmentation[J]. Expert Systems with Applications 2008, 34(2): 1056 - 1069.

(编校: 夏书林)