

心磁图与心电图的时-频域特性

刘新元^①, 张素明^①, 王寅^①, 裴留庆^②, 戴远东^③

① 北京大学信息科学技术学院, 北京 100871;

② 北京师范大学信息科学与技术学院, 北京 100875;

③ 北京大学物理学院, 人工微结构和介观物理国家重点实验室, 北京 100871

E-mail: xinyuanliu@pku.edu.cn

2009-11-23 收稿, 2010-04-23 接受

国家自然科学基金资助项目(607710003)

摘要 心磁图(MCG)与心电图(ECG)是心脏系统电磁信息的数据载体, 它们都是非平稳信号, 非平稳信号最根本和最关键的性质是它的时频局域特性. 在满足时-频域不确定性原理条件下, 进化谱能够很好地反映此类生命系统数据中的局部时-频域特性. 通过对正常人 MCG 与 ECG 数据 QRS 波群的进化谱分析, 得到了 QRS 波群的时-频域特征参数: 品质因数 Q 和中心频率 f_c . 实验数据分析结果表明, 同一正常人 MCG 与 ECG 的特征参数具有一致性. 从心脏系统动力学层次上, 我们提出了 QRS 波群的时-频域特征参数 Q 和 f_c 存在阈值范围的建议, 当特征参数属于阈值范围时, 蕴涵心脏系统具有自我调节稳态能力, 属于正常状态; 当特征参数小于阈值时, 蕴涵心脏系统失去了稳态能力, 心肌缺血比较严重或有其他早期心脏病. 我们用不同类别心脏病态 ECG 样本数据对阈值范围的合理性进行了检验. 结果表明, 特征参数阈值范围概念是成立的, 它不仅为 ECG 在临床诊断中提供了一种新的参考判据, 也为 MCG 在心脏病医学中的应用提供了一种技术路线.

关键词

心磁图(MCG)
心电图(ECG)
非平稳信号
进化谱
特征参数

心脏是血液循环系统的动力器官, 心肌细胞在其生命过程中跨膜电位(transmembrane potential)的变化, 是一种活性介质生物电磁场信号源. 通过体表探测可以得到心电图(electrocardiography ECG)与心磁图(magnetocardiography MCG)^[1~4], 它们的形态相似, 都是人体心脏系统电磁信息的数据载体, 都属于非平稳信号^[5]; 它们都包含 P 波、QRS 波群(complex)和 T 波等, 其中 P 波代表左、右心房除极化过程, QRS 波群代表左、右心室除极化等过程, S-T 波段反映心肌细胞复极化状态. QRS 波群蕴涵的瞬态信息, 对识别心脏系统的电磁状态变化极其重要, 也能提供心脏系统某些病态的先兆. 理论上, 在时-频域中, 非平稳信号的频谱是一种时变谱, 传统的 Fourier 变换和一般小波变换都不适合于分析此类信号^[6]. 进化谱的计算方法适合于非平稳信号的时-频域特征识

别^[7,8]. 我们分析了正常人 MCG 与 ECG 信号 QRS 波群的进化谱特性, 得到了 QRS 波群的时-频域特征参数: 品质因数 Q 和中心频率 f_c . 结果表明, 二者具有一致性. 这种一致性体现了 MCG 与 ECG 都是心脏电生理活动信息载体的内在生物物理属性. MCG 与 ECG 相比有它的独到之处, ECG 与心肌细胞的跨膜电流强度有关, 主要依赖于心肌组织的电导率和靠近体表的体电流强度; MCG 依赖于磁场分布, 它源于整体电流, 特别是心肌组织的涡旋电流源和具有高电流密度的体电流部分(表现出局域集中的磁通量). 胸前磁场的实际测量结果表明, MCG 可以提供心脏系统电磁场源性质的更多重要细节, 特别是涡旋电流源信息, 而这些细节不可能被 ECG 测到. 特别地, MCG 对心脏系统电磁行为的时变性和空间分布的差异性也更敏感^[9,10]. 人们希望 MCG 能够比

英文版见: Liu X Y, Zhang S M, Wang Y, et al. Characteristics of magnetocardiography and electrocardiography in the time-frequency domain. Chinese Sci Bull, 2010, 55, doi: 10.1007/s11434-010-4066-7

ECG 更早地预测心肌梗塞等心脏病,作为医生判断的基本手段之一.这也是近年来人们努力发展 MCG 医学应用研究的主要原因^[11-13].

本文通过对 MIT-BIH (Boston's Beth Israel Hospital)数据库中一些心脏病患者数据的进化谱分析,发现病态人群的 ECG 样本数据 QRS 波群的时-频域特征参数与正常人存在明显差异,而且不同类别心脏病患者的 ECG 特征参数之间在统计上也存在差异.依据实验数据分析结果,我们提出了正常人 MCG 与 ECG 信号的 QRS 波群时-频域特征参数的阈值范围概念,当特征参数属于阈值范围时,蕴涵心脏系统具有自我调节稳态能力(homeostasis),属于正常状态;当特征参数小于阈值时,蕴涵心脏系统失去了自我调节稳态能力,心肌缺血比较严重或者有其他早期心脏病.特征参数的阈值范围概念既为 ECG 在临床诊断中提供了一种新的参考判据,也为 MCG 在心脏病医学中的应用提供了一种技术路线.

1 进化谱和 MCG 与 ECG 时-频域的特征参数

进化谱是时-频域的一种时变谱分析方法(time-dependent spectral analysis),它基于小波变换理论^[14],首先对原信号进行频率调制,利用 Gaussian 型函数同时具有时域上好的局域性和频域的光滑性,将其作为滤波器.在满足时-频域不确定性原理(the uncertainty principle,一种表述:一种特定滤波器,如果频域宽度为 σ_f 而时域宽度为 σ_t ,则 $\sigma_t\sigma_f \geq 1/4\pi$; Gaussian 型滤波器满足 $\sigma_t\sigma_f = 1/4\pi$)条件下,可以获得非平稳信号特定时刻的局部时-频域功率密度分布三维进化谱.进化谱及其算法详见文献[7,8].传统 Fourier 变换描述信号时域的全局频率特性,它将函数的时间参数变换为频域的频率参数,属于非时变功率谱,对非平稳信号失效.一般的小波变换可以分析非平稳信号,其中平移因子和变换尺度分别对应于时-频域的时间和频率参数,而变换尺度本身不是真的频率,它们使得小波变换中时间和频率分辨率随时-频域空间点的变化而变化^[14].进化谱是一种时变谱,其中有时间和频率两个参数,它也具有与通常平稳过程功率谱相同的物理解释,即进化谱描述信号功率在时-频域中特定时刻邻域的一种频率分布特性.在满足时-频域不确定性原理条件下,进化谱中各个频段的时间和频率分辨率一致^[8],所以,它

适宜于描述非平稳信号的时-频域特性.作为辅助诊断技术之一,目前医学和研究用心电图记录仪(含移动 Holter)获取的 ECG 数据,主要对 QRS 波群进行分类.因此,本文以 MCG 与 ECG 数据 QRS 波群进化谱特征参数作为识别心脏系统电磁信息的基本标志.

从正常人 MCG 信号中随机抽取的一段 QRS 波群样本数据及其进化谱,如图 1 所示,其中图 1(b)是由图 1(a)中 QRS 波群样本数据得到的三维进化谱,它有唯一的最高峰值^[8].它揭示了在一个心脏搏动周期内, MCG 信号中以 R 波对应时刻的局部邻域内, QRS 波群时间-频率-功率密度分布三者之间的内在联系,蕴涵心脏系统瞬时电磁状态的特征信息.图 1(c)是 QRS 波群进化谱图 1(b)在时-频平面上的投影.如果在图 1(b)上选取半功率点范围内的频谱密度分布并且向时-频平面投影,可得到图 1(d),称作进化谱半功率点频谱分布图,简称半功率点频谱分布.为了进一步说明 QRS 波群进化谱的基本特征,在图 1(b)中检测出进化谱峰值对应的瞬时频率(the instantaneous frequency) f_z, f_z 称为中心频率;在半功率点频谱分布图 1(d)中,识别出半功率点对应的上限频率 f_H 和下限频率 f_L .半功率点频带宽度定义为: $W_b=(f_H-f_L)$.进化谱的品质因数定义如下:

$$Q = f_z / W_b, \quad (1)$$

Q, f_z 称为 MCG 进化谱的时-频域特征参数(同样适合于 ECG),这些是 QRS 波群的一种生物物理参数.

2 正常人 MCG 与 ECG 数据的时-频域特征参数分析

本文使用的正常人 MCG 与 ECG 信号是北京大学物理学院人工微结构和介观物理国家重点实验室,利用北京大学研制的目前我国拥有自主知识产权的射频心磁测量系统,射频超导量子干涉仪(the superconducting quantum interference device, HTc rf SQUIDs)心磁图仪,在磁屏蔽条件下,分别由正常人获得的样本数据. MCG 信号是由胸前 36 点阵列采集记录的,由于 SQUID 系统的限制, ECG 信号是通过固定位置导联 II 与 MCG 同时记录的.胸前 36 点阵列是指将人体胸前区域划分为 a-f(行)×1-6 (列)方格,每个位点记为 a-1, a-2, ..., a-6; b-1, b-2, ..., b-6; ...; f-1, f-2, ..., f-6.这种划分方法被国际生物磁专题讨论会推荐为心磁图测量上的国际标准.心磁信号峰

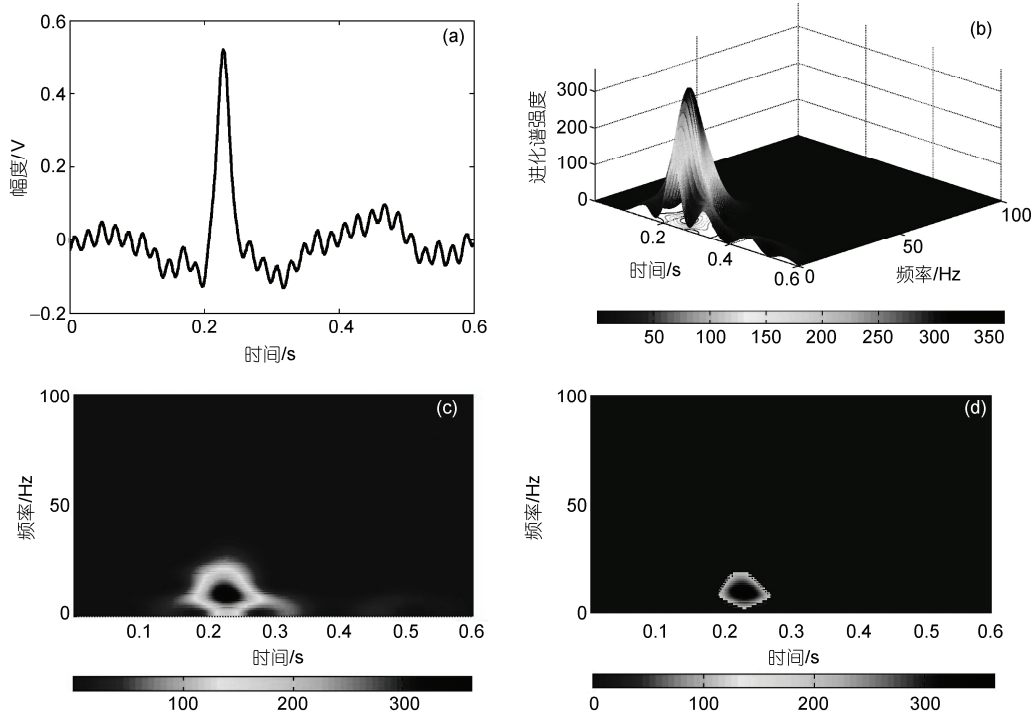


图1 正常人MCG信号中随机抽取的一段QRS波群样本数据及其进化谱

(a) MCG 样本数据时域波形片段; (b) QRS 波群的三维进化谱, 其中时间轴、频率轴、功率密度轴分别记为: t -轴、 f -轴、 p -轴; (c) QRS 波群进化谱(图 1(b))在 t - f 平面投影; (d) QRS 波群半功率点频谱分布

值一般是 50~100 pT 左右; 在普通的实验室或市区, 低频磁噪声干扰约为几个纳特斯拉(10^{-9} T), 是人体心脏信号的 100 倍左右, 特别是 50 Hz 市电及其谐波的干扰强度更大, 达到 10^{-8} T 甚至 10^{-7} T 量级, 是人体心脏磁信号的 $10^3 \sim 10^4$ 倍左右. 因此, 首先要对所有原始 MCG 与 ECG 信号进行降噪、消除基线漂移及 50 Hz 工频等预处理, 然后才能作为本文进化谱分析的样本数据, 此处略去数据预处理方法的说明.

2.1 不同正常人相同位点MCG与ECG信号QRS波群时-频域分析结果

我们计算了由不同正常人相同位点 e-3 记录的 MCG 和导联 II 同时记录的 ECG 数据中 QRS 波群进化谱特征参数 Q 和 f_z 的数值, 表 1 给出了由 19 位正常人 MCG 与 ECG 样本数据中分别选取的 36 s 时间区间(考虑数据的时变性并可排除偶然性的一种选择)数据的 Q 和 f_z 平均值及其统计分析结果.

由表 1 中可知, 同一对象的 MCG 与 ECG 数据的 QRS 波群进化谱特征参数, 中心频率差值 $\Delta f_z =$

$|f_{z-e} - f_{z-m}| = 0.10 \sim 4.70$, 其中 $\Delta f_z < 3.00$ 者为 89.47%; 品质因数差值 $\Delta Q = |Q_m - Q_e| = 0.0067 \sim 0.3041$, 其中 $\Delta Q < 0.1600$ 者为 84.21%. 这些结果表明每个正常人的 MCG 与 ECG 数据的 Q 和 f_z 在相同时间区间的平均值之间具有一致性; 不同个体之间的差异性也不大, 例如, 品质因数 Q_m 与 Q_e 的数值分布在区间 0.5784~0.9101, 其中在区间 0.60~0.90 者, Q_e 为 78.95%, Q_m 为 89.47%; 中心频率 f_{z-m} 的数值在区间 8.50~16.00/Hz; f_{z-e} 的数值在区间 8.00~13.90 Hz; 其中 $f_{z-e}, f_{z-m} \geq 9.00$ Hz 者为 94.74%. 这些结果表明, 以 Q 和 f_z 作为 MCG 与 ECG 的时-频域特征参数具有一定的典型性, 它们是人体心脏系统动力学状态的一种特征指标. MCG 与 ECG 作为同一心脏系统整体电磁信息的数据载体, 二者在时-频域具有的一致性, 体现了心脏系统瞬时电磁状态的基本生物物理属性的内在关系.

2.2 正常人MCG与ECG信号QRS波群时-频域特性在时间和空间上的差异

表 1 中的实验结果表明, 同一正常人的 MCG 与

表 1 正常人 MCG 与 ECG 数据的 QRS 波群 Q 和 f_z 的平均值及其统计分析结果^{a)}

正常人	MCG/e-3			ECG			参数差值	
	Q_m	$Q\text{-var}$	f_{z-m}/Hz	Q_e	$Q\text{-var}$	f_{z-e}/Hz	ΔQ	Δf_z
Volunt-1	0.5851	0.0035	8.50	0.5784	6.22×10^{-4}	8.00	0.0067	0.50
Volunt-2	0.7063	0.0029	9.50	0.6405	2.27×10^{-4}	9.10	0.0658	0.40
Volunt-3	0.7850	0.0052	11.50	0.6749	8.48×10^{-4}	11.90	0.1101	0.40
Volunt-4	0.5895	0.0022	9.10	0.6117	5.99×10^{-4}	9.00	0.0222	0.10
Volunt-5	0.7615	0.0066	13.30	0.6242	3.08×10^{-4}	12.20	0.1373	1.10
Volunt-6	0.7790	0.0120	12.10	0.6472	7.31×10^{-4}	10.20	0.1318	1.90
Volunt-7	0.7942	0.0031	13.20	0.6423	2.66×10^{-4}	10.90	0.1519	2.30
Volunt-8	0.8595	0.0089	12.60	0.7813	13.00×10^{-4}	11.00	0.0782	1.60
Volunt-9	0.7637	0.0274	11.80	0.7739	31.00×10^{-4}	13.10	0.0102	1.30
Volunt-10	0.6798	0.0079	9.20	0.7462	3.96×10^{-4}	13.90	0.0664	4.70
Volunt-11	0.6923	0.0724	10.80	0.7098	5.93×10^{-4}	10.00	0.0175	0.80
Volunt-12	0.8101	0.0556	16.00	0.9101	1.10×10^{-4}	13.50	0.1000	2.50
Volunt-13	0.7252	0.0038	11.50	0.7069	6.29×10^{-4}	10.00	0.0183	1.50
Volunt14	0.7441	0.0320	15.80	0.6948	1.70×10^{-4}	12.70	0.0493	3.00
Volunt-15	0.8830	0.0163	13.80	0.5789	5.24×10^{-4}	11.00	0.3041	2.80
Volunt-16	0.7500	0.0006	13.00	0.7660	3.00×10^{-4}	12.00	0.0160	1.00
Volunt-17	0.7644	0.0063	13.30	0.5885	2.39×10^{-4}	11.00	0.1759	2.30
Volunt-18	0.8077	0.0062	12.60	0.6027	2.59×10^{-4}	11.00	0.2050	1.60
Volunt-19	0.6869	0.0271	13.60	0.6043	1.42×10^{-4}	12.00	0.0826	1.60

a) 表中 Volunt= volunteer, Q_m 与 Q_e 表示平均值, $Q\text{-Var}$ 为均方差; $\Delta Q = |Q_m - Q_e|$, $f_z = |f_{z-e} - f_{z-m}|$ 为 MCG 与 ECG 二者参数的差值

ECG 信号的时-频域特征参数在相同时间区间的平均值具有一致性,但是,从时间和空间分布上,二者还存在一定的差异. 时间分布上,例如,将 Volunt-1 的 e-3 位点 MCG 的 Q 值按 36 s 时间顺序排列,如图 2(a) 所示,而相应的 ECG 的 Q 值如图 2(b)所示. MCG 的 Q 值均方差为 0.0035,而 ECG 的 Q 值均方差为 6.22×10^{-4} ,二者相差一个数量级. 这说明 MCG 的各个 QRS 波群的 Q 值在时间上的差异要比 ECG 大得多,蕴涵 MCG 对于心脏系统电磁状态的变化要比 ECG 更敏感,体现了人体心肌组织活性介质电磁场的时变性^[5,6]. 空间分布上,例如,将 Volunt-7 各位点

测得的 MCG 数据的 QRS 波群的 Q 和 f_z 数值按照 36 点阵列排列,其结果如表 2 可以看出,不同位点 MCG 的 Q 和 f_z 数值存在一定的差异,这反映出心脏系统电磁场的空间不均匀性. 空间平均值 $Q = 0.7614$, $f_z = 13.37$ Hz; 而 Volunt-7/e-3 的时间平均值 $Q = 0.7942$, $f_z = 13.20$ Hz,二者基本一致. 这是表 1 中选取 MCG/e-3 数据的基本依据.

依据实验结果,我们得出如下的经验结论: 正常人 MCG 与 ECG 的 QRS 波群进化谱特征参数之间具有一致性,而且存在阈值范围,建议的阈值范围为 $Q = 0.60 \sim 0.90$,中心频率 $f_z \geq 9.00$ Hz. 这是识别心脏系

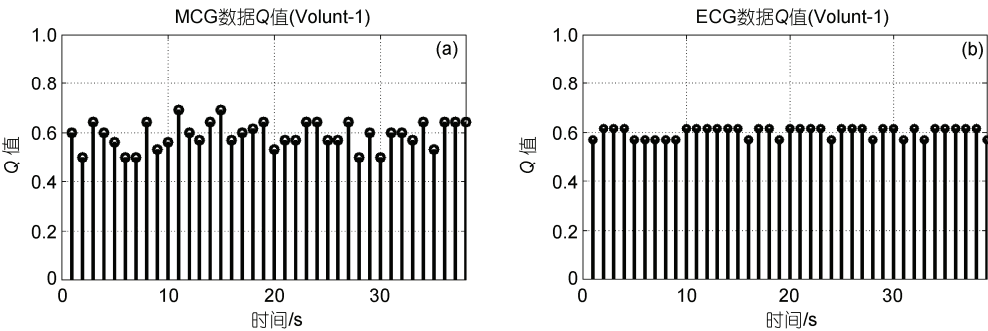


图 2 (a) Volunt-1/e-3 位点 MCG 数据 Q 值的时间区间分布; (b) ECG/II 数据 Q 值的时间区间分布

表2 Volunt-7 各位点 MCG 样本数据 QRS 波群进化谱的 Q 和 f_z 数值分布^{a)}

位点	MCG: 各位点 Q 值						MCG: 各位点 f_z 值					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
a	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
b	***	***	***	0.8994	0.8606	***	***	***	***	16.47	16.05	***
c	***	0.6667	0.6217	0.6393	0.6393	***	***	9.22	8.52	14.61	14.61	***
d	***	0.6757	0.6824	0.5973	***	***	***	11.06	10.68	9.45	***	***
e	***	0.7796	0.7644	0.8385	0.7804	***	***	12.63	13.32	14.73	15.95	***
f	***	0.7344	0.8488	0.8918	1.0232	***	***	13.03	14.18	15.39	17.42	***

a) “***”表示数据有缺失

统电磁状态正常或异常的基本判据之一。当 Q , f_z 小于这些阈值时, 蕴涵心脏系统失去了自我调节稳态能力, 心肌缺血比较严重或者患有早期心脏病。对于此阈值范围概念的合理性, 我们用 MIT-BIH 数据库中的部分数据进行了验证。

3 用病态 ECG 样本数据检验特征参数阈值范围概念

3.1 不同类别病态人群 ECG 数据的 QRS 波群时-频域特征参数分析

我们引用 MIT-BIH 数据库中一些病态 ECG 数据检验上述特征参数阈值范围概念的合理性。首先, 选

取 MIT-BIH 数据库中 Long-Term ST Database(<http://www.physionet.org>)的数据进行多样本统计分析。这些数据包含了 80 个冠心病、心绞痛、早期心肌梗死等患者的 ECG 样本数据, 每组数据采集的时间约为 21~24 h, 包含二或三个导联信号, 数据抽样频率为 250 Hz, 量化精度为 12 bit。每个样本数据都是通过三个专家独立辨认, 取得一致意见之后才准予加入数据库中。因此, 这些数据是可靠的。不同类别病态人群的 ECG 样本数据 QRS 波群的时-频域特征参数的计算和统计结果分别如图 3 所示。

图 3 中的冠心病患者, 13 人为导联 V4 和 MLIII 记录数据, 其中 $Q < 0.60$ 者约有 15.38%~23.08%, $f_z < 9.00$ Hz 者约有 76.92%; 15 人为导联 V1, V6 和 aVF

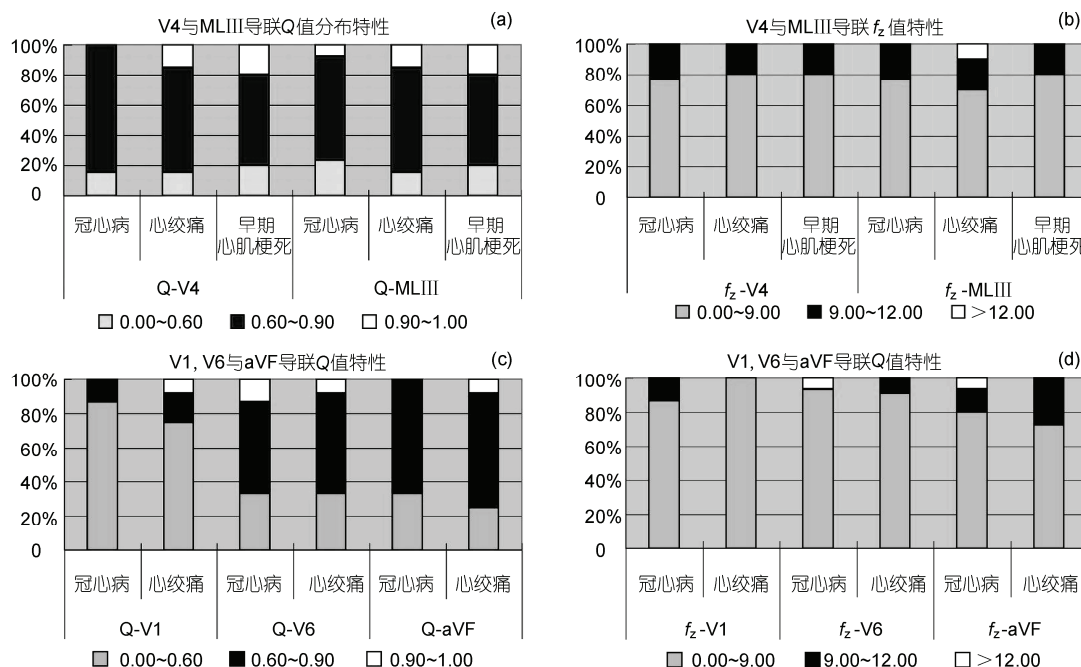


图3 不同类别病态人群的 ECG 样本数据的 QRS 波群时-频域特征参数的计算和统计结果

(a) 冠心病、心绞痛、早期心肌梗死 V4, MLIII 导联 Q 值; (b) 冠心病、心绞痛、早期心肌梗死 V4, MLIII 导联 f_z 值; (c) 冠心病、心绞痛 V1, V6, aVF 导联 Q 值; (d) 冠心病、心绞痛 V1, V6, aVF 导联 f_z 值。其中(b)和(d)中 f_z 的单位为 Hz, 正常人的 Q 值范围为 0.60~0.90, 中心频率为 $f_z \geq 9.00$ Hz

记录数据, 导联 V1 中 $Q < 0.60$ 者为 86.67%; V6、aVF 导联中 $Q < 0.60$ 者约有 33.33%, 而导联 V1、V6 和 aVF 中 $f_z < 9.00$ Hz 者约有 80.00%~93.33%。心绞痛患者, 12 人为导联 V1、V6 和 aVF 记录数据, 导联 V1 中 $Q < 0.60$ 者约有 75.00%, V6、aVF 导联中 $Q < 0.60$ 者约有 25.0%~30.0%, $f_z < 9.00$ Hz 者约有 72.73%~100.00%; 20 人为导联 V4 与 MLIII 记录数据, 其中 $Q < 0.60$ 者约有 15.00%, $f_z < 9.00$ Hz 者约有 70.00%~80.00%。早期心肌梗死患者 5 人为导联 V4 与 MLIII 记录数据, 其中 $Q < 0.60$ 者约有 20.00%, $f_z < 9.00$ Hz 者约有 80.00%。结果表明, 不同类别的心脏病患者的所有导联记录的 ECG 样本数据 QRS 波群时-频域特征参数, 凡 Q 值小于阈值时, 其 f_z 数值也同时小于阈值, 反之则不成立; 而且, Q 和 f_z 数值对年龄和性别不敏感。各种类别病态人群的中心频率 f_z 数值明显低于阈值 9.00 Hz 的比例为 70.00%~93.33%。尽管不同类别病态人群, 随着导联与病症的不同 $Q < 0.60$ 的比例有明显差别, 但是, 冠心病、心绞痛和早期心肌梗死患者的 Q 和 f_z 数值变化趋势表明, 上述关于正常人 ECG 的 QRS 波群进化谱特征参数的阈值范围概念, 即 $Q = 0.60 \sim 0.90$, 中心频率 $f_z \geq 9.00$ Hz, 是基本成立的。应当说明: 冠心病、心绞痛和早期心肌梗死都属于早期心脏病, 进而可能引发心肌梗死、心脏猝死等危重急症。然而, 通常早期心肌缺血病人并没有明显的症状, ECG 也较为正常, 甚至有些心肌梗塞前的病人在心绞痛过后做的 ECG, 和正常 ECG 相比也没有太多的异常, 因此往往会造成诊断和治疗的延误。这里所有各种类别病态人群的中心频率 f_z 数值明显低于阈值的比例为 70.00%~93.33%, 这可能为识别早期心脏病提供一种警示性指标。

3.2 心脏猝死者临终前 ECG 数据的时-频域特征参数分析

我们选取 MIT-BIH 数据库中 The Sudden Cardiac Death Holter Database 编号 No.52 的部分数据^[15], 以便识别心脏猝死者临终前 ECG 数据的时-频域特征参数随时间变化的过程及特点。选择的数据有两个导联, 分别记为 Chan-1 和 Chan-2, 数据持续时间 7.25 h, 每个时间点选取的数据长度为 1 min, 时间点之间的间隔为 15 min。图 4 中给出了 Chan-1 和 Chan-2 记录的 ECG 样本数据在不同时间区段 Q 值的平均值和中心频率 f_z 的统计结果。

由图 4 可知: 其一, Chan-1 和 Chan-2 数据的 Q 值随时间变化曲线的趋势是一致的, 其中 Chan-1, $Q < 0.60$ 者为 80.65%, Chan-2, $Q < 0.60$ 者为 67.74%。整体数据具有病态特征(参照图 4(b))。其二, Chan-1 和 Chan-2 数据的中心频率 f_z 都小于阈值(9.00 Hz), 而且当 Q 小于阈值时, 其 f_z 数值也同时小于阈值(Chan-2 数据的 Q 与 f_z 数值变化曲线与图 4(b)基本一致)。图 4(a)中, Q 和 f_z 二者整体上随时间逐渐变小, 随着时间的推移, 中心频率 f_z 数值的下降趋于一致, 而且能较早地反映心脏系统的病变趋势; 图 4(b)中, Q 数值存在起伏, 两个导联的 Q 值起伏趋势具有一致性。这反映出心脏系统自我调节稳态能力的变化过程。这个实例表明, 上述特征参数阈值范围概念具有合理性。由于 MCG 和 ECG 的特征参数具有一致性, 因此, 这种阈值范围概念同样适合于 MCG 数据。

4 讨论

本文对正常人 MCG 与 ECG 数据 QRS 波群的进化谱特性的分析结果表明, 同一对象的 MCG 与 ECG 的时-频域特征参数具有一致性。同时, MCG 与 ECG 相比较也存在一定的差异, MCG 对心脏系统电磁行为的时变性和空间分布的差异性更敏感, MCG 可以提供心脏系统电磁场源性质的更多重要细节。MCG 与 ECG 如同芭蕾的“两只脚尖”, 虽然二者在时间和空间上有差异, 但是, 作为同一心脏系统电磁信息的数据载体, 它们的时-频域特性却是一致的, 这是由“正常舞者”心脏系统瞬时电磁状态的基本生物物理属性确定的。

本文提出: 从心脏系统动力学层次上, 正常人 MCG 和 ECG 数据 QRS 波群进化谱的特征参数: 品质因数 Q 和中心频率 f_z 之间具有一致性, 而且存在阈值范围。当特征参数属于阈值范围时, 蕴涵心脏系统具有自我调节稳态能力, 属于正常状态; 当特征参数小于阈值时, 蕴涵心脏系统失去了自我调节稳态能力, 心肌缺血比较严重或者患有其他早期心脏病。本文通过对正常与病态样本数据的 ECG 信号进化谱特征参数的分析和对比验证发现, 这一阈值范围是存在的。建议正常人的阈值范围为: 品质因数 $Q = 0.60 \sim 0.90$, 中心频率 $f_z \geq 9.00$ Hz。这是识别心脏系统电磁状态正常或异常的基本判据之一。这是根据实验结果的经验结论, Q 和 f_z 是 QRS 波群的一种生物物理参数, 其生理学意义尚待认识。这里建议的阈值范围数值的可

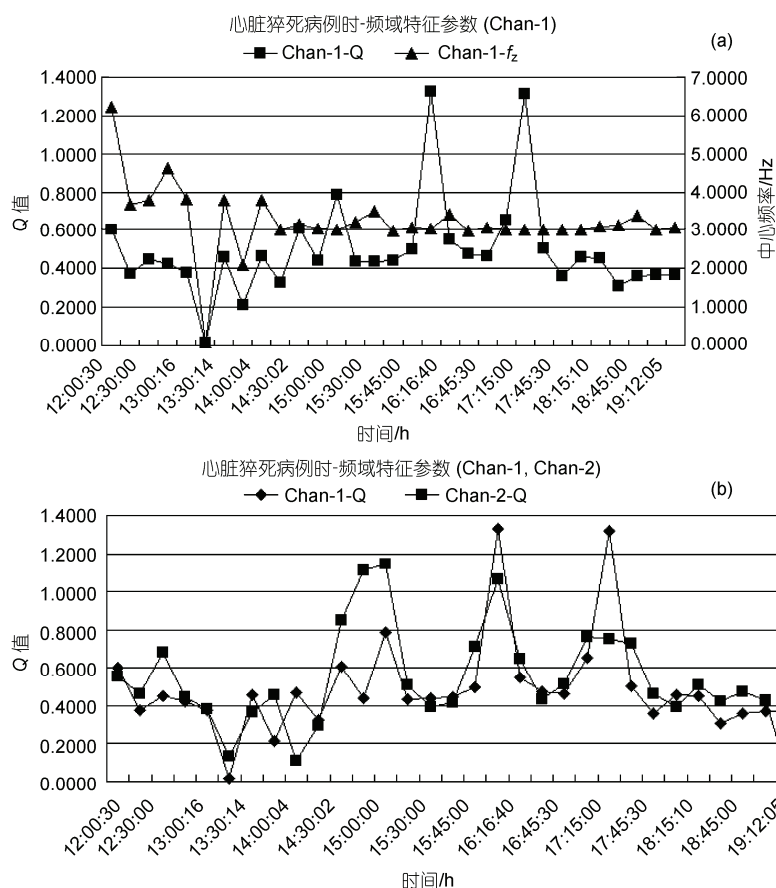


图 4 (a) No.52 病人 Chan-1 数据的 Q 与 f_z 数值变化曲线比较; (b) No.52 病人两个导联数据的 Q 值变化曲线比较

靠性,尚需要应用进化谱方法分析更多的实验和病例数据,尤其是大量临床 MCG 与 ECG 数据的对比检验和进一步修正;特别地,只有与医生的临床经验相结合,才可能得到对临床医学有用的技术参数。

致谢 在本研究工作中,北京大学物理学院马平教授提供了正常人 MCG 和 ECG 原始数据,从美国麻省理工学院(MIT)医学数据库中获得了部分心脏病患者 ECG 数据,作者谨致谢意。

参考文献

- 1 Holter N J. New methods for heart studies. Science, 1961, 134: 1214
- 2 Baule G M, McFee R. Detection of the magnetic field of the heart. Am Heart J, 1963, 66: 95
- 3 Cohen D, Edelsack E A, Zimmerman J E. Magnetocardiograms taken inside a shielded room with superconduction point-contact magnetometer. Appl Phys Lett, 1970, 16: 278
- 4 Karsten S, Alex I. Braginski, biomagnetism using SQUIDS: Status and perspectives. Supercond Sci Technol, 2006, 19: 160—170
- 5 Pola A, Macerata A, Emdin M. Estimation of the power spectral in nonstationary cardiovascular time series: Assessing the role of the time-frequency representations (TFR). IEEE Trans Biomed Eng, 1996, 43: 46—59
- 6 Friedman B H, Allen M T, Christie I C, et al. Validity concerns of common heart-rate variability indices addressing quantification issues in time- and frequency-domain measures of HRV. IEEE Eng Med Biol, 2002, 21: 35—40
- 7 Priestley M B. Wavelets and time-dependent spectral analysis. J Time Series Analysis, 1996, 17: 851—03
- 8 刘新元,何定武,裴留庆. 实验动物兔子心电图奇异性检测: 进化谱方法. 自然科学进展, 2009, 19: 446—455

- 9 刘新元, 谢柏青, 戴远东, 等. 射频 SQUID 心磁图数据自适应滤波研究. 物理学报, 2005, 54: 1937—1942
- 10 Kosch O, Meindl P, Steinhoff U, et al. Physical aspects of cardiac magnetic fields and electric potentials. In: The 12th International Conference on Biomagnetism, 2000, August 13—17, Helsinki, Finland
- 11 Goernig M, Liehr M, Tute C, et al. Magnetocardiography based spatiotemporal correlation analysis is superior to conventional ECG analysis for identifying myocardial injury. Inter J Bioelectromagne, 2009, 11: 107—111
- 12 王会武, 丁红胜, 张利华, 等. 用单通道直流高温超导量子干涉器磁强计测量人体心磁. 科学通报, 2002, 47: 1296—1296
- 13 李延军, 严洪, 王增丽. 心电波形变异性的研究. 中国科学 C 辑: 生命科学, 2009, 39: 1181—1187
- 14 Daubechies I. Ten Lectures on Wavelets. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 1992
- 15 Glass L. Multistable spatiotemporal patterns of cardiac activity. Proc Natl Acad Sci USA, 2005, 102: 10409—10410

科学出版社期刊出版中心招聘启事

科学出版社期刊出版中心是专业化科技期刊出版服务机构, 致力于打造中国科技期刊的集团军, 做大做强科技期刊产业. 现因业务发展需要, 招聘以下岗位:

一、编辑人员 5 人, 其中:

1. 出版管理编辑 1 人;
2. 医学专业编辑 3 人(医学中文编辑 2 人、医学英文编辑 1 人);
3. 工程技术专业编辑 1 人;

职位要求:

- (1) 硕士及以上学历, 理工科或医学相关专业, 年龄 35 岁以下;
- (2) 熟悉科技出版工作, 有期刊工作经验者优先, 在国内外专业刊物上发表过文章者优先;
- (3) 较好的语言、文字写作与审鉴能力, 较强的沟通、组织协调及执行力;
- (4) 电脑操作熟练, 工作认真, 积极向上, 具备较好的团队合作精神.

二、期刊业务拓展人员 2 人

职位要求:

- (1) 硕士及以上学历, 具有专业学科背景, 如地球科学、技术科学、生命科学等, 年龄 35 岁以下;
- (2) 具有出版行业 3 年以上相关经历; 熟悉期刊出版流程;
- (3) 较好的语言、文字表达能力, 较强的公关、组织协调及执行力;
- (4) 电脑操作熟练, 工作态度认真, 思维活跃, 具备团队合作精神.

三、计算机技术人员 1 人

职位要求:

- (1) 大学本科及以上学历, 计算机与网络技术等相关专业, 年龄 35 岁以下;
- (2) 有 2 年以上相关的计算机与网络技术工作经验; 熟悉期刊出版流程和数字出版流程者优先;
- (3) 良好团队合作精神, 时间观念强、讲求效率, 对待工作认真负责.

应聘者请将简历发至 zhuwei@mail.sciencep.com, 邮件主题请注明: “本人姓名+应聘职位”.