

# 心率变异性

## 测量标准, 生理释义与临床应用(三)

Measurement Standard, Physiological Interpretation and  
Clinical Application of Heart Rate Variability

北京红十字朝阳医院心脏中心 (北京 100020) 胡大一 郭成军 李瑞杰

The Heart Centre of the Beijing Red Cross Chaoyang Hospital

Hu Dayi, Guo Chengjun, Li Ruijie

### 5 节律模态分析

RR 序列的不规则性使时域和频谱方法遭遇许多限制。明显不同的信号经这些方法分析后会给出相同的结果。由于心率加速后通常是更快的减速, 实际心动周长的曲线其增减波动并不对称。在谱分析时, 结果是降低基频的峰高与加大其基底部。这就促成了设法测量 RR 间期的节律特性块, 并在不考虑内部间期变异度时研究节律块与块之间的关系。

为减小分析的难度, 采用了从时域和频域分析中演生的许多方法。间期频谱与计数频谱法最终有等同的结果, 均适合于研究 HRV 与其他生理指标变异度的关系。间期频谱已用于把 RR 间期与其他随逐次心动变化的变量(如血压)联系起来。如果将 RR 间期与连续信号(如呼吸信号)相关联、或与特殊事件(如心律失常)的发生相关联, 则更应采用计数频谱法。

“峰谷”措施以探测振荡的最高和最低点为基础, 或以探测心率的趋向为基础。这一措施可限于探测短时程的变化, 也可延拓至长时程的变化; 波动曲线的二次或三次峰与槽或者由反向趋势包围, 周期接连或增或减之顺序的阶梯增长。以心率的加速或减缓、波长或/和振幅为基础, 可确定各类振荡的特征。在短时程与中时程记录中, 其结

果与 HRV 的频谱成份相关。当振荡波长或记录时间加长时, 这种相关性消退。复合解调使用内插值与去趋势技术, 提供的时间分辨率足以探测心率短时程变化, 并可用时间函数描述特定频率成份的振幅和相位。

### 6 非线性方法

HRV 的产生中当然有非线性现象参与。非线性现象由血流动力、电生理与激素变量以及自主和中枢神经调节间复杂的交互作用所决定。推想用非线性动力学的方法分析 HRV, 将为 HRV 的生理解释和猝死危险度的估量发掘出重要的信息。用于测量 HRV 非线性特征的参数有富立叶谱的  $1/f$  幂级、H 指数级和粗粒谱分析 (CGSA)。为表达数据, 采用了 Poincare 截面、低维吸引子图、单值解调和吸引子规道。其他定量描述使用了 D2 相关维数、Lyapunov 指数和 Kolmogorov 熵。尽管已证明这些技术原则上是分析各类复杂系统的有力工具, 但它们在生物医学数据, 包括 HRV 分析中的应用并未取得大的突破。有可能积分复杂性测量对生理上与实际均重要的 RR 间期的非线性扰动太不敏感, 不适合分析生物系统。用差分而不是积分复杂性测量, 如层级指数法取得更令人鼓舞的结果, 但尚未用此法在大样本病人中作系统研究。

目前, 非线性方法代表了评估 HRV 有

## 技术介绍

潜在希望的工具,但尚缺乏标准,而且不能估量这类方法的全部范围。在非线性方法能用于生理和临床研究之前,需在技术和结果的解释上取得更多进展。

### 7 HRV 测量的稳定性和可重复性

数项研究表明,HRV 的短时程测量在瞬变扰动消退后可迅速恢复至基础参照数值。瞬变扰动由轻微运动、使用短效血管扩张剂、短暂阻塞冠脉等方法诱发。如果使用更强力的刺激,如极量运动、使用长效药物,则需要更长的时间才能恢复至基础值。

由 24h 动态心电图长时程测量 HRV 的稳定性的有关数据更少。从已知的数据提示,在正常人、心梗恢复后的室性心律失常的人群中,由 24h 动态心电图长时程测量 HRV 是稳定的。也有基本数据提示 HRV 测量的稳定性持续数月或数年。由于 24h 的指标看来稳定,且无安慰剂的作用,它们可能成为评估干预治疗的理想变量。

### 8 记录要求

#### 8.1 心电信号

在心电曲线上用确定的基点来标识 QRS 波群。基点或以波群的最高或分叉点为基准,或由插值曲线的最大值确定,或与模板或其他事件标志的匹配算法寻找。为准确确定基点位置,心电诊断仪器的强制工业标准在信/噪比、共模抑制、带宽等方面能够满足要求。如果上限截止频率低于诊断仪器确立的标准( $\sim 200\text{Hz}$ ),确认 QRS 波群基点时则会产生抖动,引入 RR 间期的测量误差。同理,有限的采样频率会在 HRV 的频谱中引入误差,且误差随频率升高而增大,因此更多地影响高频成份。对采样频率过低的心电信号作插值处理,可减少这类误差。用恰当的插值,即便  $100\text{Hz}$  的采样率也足以达到目的。如果使用固态存储器作记录,应仔细考虑数据压缩技术的抽样频率与恢复方法的质量。这些方法可能引起信号振

幅与相位的畸变。

#### 8.2 心电记录的时程和场景

在 HRV 的研究中,记录时程由各研究本身的性质所决定。有关 HRV 生理与临床潜力的研究中,尤其需标准化记录时程。

短时程记录的研究以选择频域方法为好。记录时程的长度应是欲研究成份低端频率之波长的 10 倍。为确保信号的平稳性,记录的时程不能过度延长。因此,估量 HRV 的 HF 成份,约需 1min 的记录;而针对 LF 成份则需 2min 的记录。为标准化短时程 HRV 的不同研究,除非研究性质需要其他设计,建议均采用 5min 的平稳记录。

短时段谱成份的序列平均处理,有助于减小短时段频谱分析的误差。但从一个时段到另一个时段的心动周期,其生理调控因素的性质与程度不断变动,时段平均谱成份的生理释义有着与长时程谱分析一样的内在问题。系列功率谱(如 20min)的层叠显示,有助于确认给定生理状态的平稳条件。

尽管时域方法,特别是 SDNN 和 RMSSD 法也可用于短时程研究,但通常是频域方法的结果更易于从生理调节上解释其意义。一般说来,时域测量是长时程记录的理想分析方法,长时程记录中的心率调控因素平稳性低,使频域方法的结果不易释义。经验表明,长时程 HRV 的值大部分来源于日-夜之差,因此,用时域方法分析长时程记录,最少要有 18h 的可分析数据,并需包含整个夜间。

对长时程记录中环境因素的作用所知甚少,如体力与情感活动的类型和性质对 HRV 的影响。在一些实验设计中,应控制环境变量,每项研究均应描述环境的特点。研究的设计应保证受试个体在相似的环境中记录。生理研究中比较不同设定组之间的 HRV,应适当表达心率的差异。

#### 8.3 RR 间期序列的编辑

NN 间期序列不精确所致的误差,明显影响时域统计分析和所有频域方法的结果。已知偶尔编辑 RR 间期数据,便足可用几何方法近似地从总体上估量 HRV,但却不知编辑到何等精度才可确保其他方法有正确的结果。因此,使用时域统计和频域方法时,RR 数据的手工编辑应达很高的标准,以确保每个 QRS 波群的正确识别和归类。自动“滤波”从原始 RR 序列中除去某些间期,例如除去与前赴间期相差 $>20\%$ 的后续间期。自动“滤波”的实际效果不令人满意,且其未卜作用导致潜在误差,不能替代手工编辑。

## 9 商品仪器的标准化建议

### 9.1 HRV 的标准测量

设计用于分析短时程 HRV 的商品仪器,应装备非参数谱分析技术,最好也装备参数谱分析技术。为减小用时-频成份来报告心跳次数的分析成份所引起的混淆,均应提供针对速率图规则采样的分析。非参数谱分析应使用 5min 至少 512 点、更好 1024 点的转换。

设计用于分析长时程 HRV 的仪器,应装配包括全部 4 项标准测量(SDNN、SDANN、RMSSD 和 HRV 的三角指数)的时域方法。除有其他选择外,应针对 5min 的节段实施频谱分析,并使用与短时程谱分析一样的精度。如果对约定 24h 的正常记录作频谱分析,以便计算 HF、LF、VLF 和 ULF 成份的全部范围,应使用与短时程谱分析一样的周期图采样精度,亦即  $2^{18}$  点。

获取 HRV 分析数据的规程应严格遵守图 4 所示的设计。

### 9.2 商品仪器的精度与检验

为保证不同仪器分析的质量,并恰当平衡研究和临床试验要求的基本精度与所需仪器的造价,须对所有仪器作独立检验。由于估量 HRV 的潜在误差中包括未准确确定 QRS 波群的基点,检验应包括记录、回

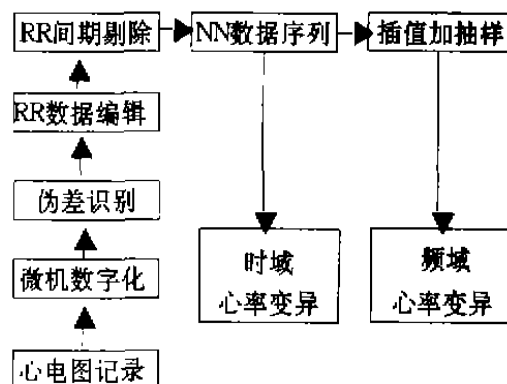


图 4 获取 HRV 分析数据的流程示意图

放和分析阶段的全过程。因此,似乎理想的作法是用已知 HRV 特征的信号(如计算机模拟的信号),而不是用现有已经数字化的心电数据库来检验各类仪器。当 HRV 的生理和临床研究中使用了商品仪器,应要求所用仪器的独立检验。附录 B 为检验商品仪器之可能策略的提议,应采用之或类似策略制定强制性工业标准。

## 10 小结和建议

为减少技术设计不当与使用错误导致的误差,推荐下列要点:(1)所用心电仪器在信/噪比、共模抑制、带宽等方面应满足现行的强制工业标准。(2)所用固态记录器应允许信号的恢复无振幅和相位的失真。使用磁性介质的长时程模拟记录器,应伴随锁相时间跟踪信号。(3)估量 HRV 的商品仪器应满足在 HRV 的标准测量中所列的技术要求,应独立检验实际效果。

为标准化生理和临床研究,应尽可能作两类记录:其一为生理条件平稳时的 5min 短时程记录,由频域方法分析;其二为约定 24h 记录,由时域方法分析。临床中用长时程心电记录时,受试个体、对象的记录条件 and 环境应基本类似。使用时域统计的频域方法时,应仔细目检和编辑整个信号,手工校正各 RR 间期与 QRS 波群分类。自动“滤波”以假想的 RR 间期序列逻辑为基础(如按期前度的某一阈值除去 RR 间期),确保 RR 间期序列的质量时不应依赖这种滤波。

## 技术介绍

### 附录 A: HRV 标准测量的正常值

由于尚未在大样本的正常人群中详尽研究 HRV 的所有指标,从一些小样本的研究中获取部分正常值如下。(1)约定 24h 时域分析;SDNN:141±39ms( $\bar{x} \pm S$ ,下同);SDANN:127±35ms;RMSSD:27±12ms;HRV 三角指数:37±15。(2)5min 平稳卧位记录的频谱分析:总功率:3466±1018ms<sup>2</sup>;LF:1170±416ms<sup>2</sup>;HF:975±203ms<sup>2</sup>;校正 LF:54±4n. u.;校正 HF:29±3n. u.;LF/HF:1.5~2.0。应认为这些数值最接近正常值,但不能以此为根据作出肯定的临床结论。很需要有按年龄、性别和环境校准的正常值范围,但因为数据来源有限,这里作了省略。这些测量可建议用于生理与临床进一步研究的标准化。

### 附录 B: HRV 商品测量仪器的检验规程与建议

**概念** 为使不同商品仪器报告的测量精度相匹配,每一装置应在制造商之外独立检验(如由学术机构实施)。如有可能,每个检验应包括数次短时程和长时程记录。这些记录具备已经确知的 HRV 参数和心电信号的不同形态特征。假如测试过程需要制造商参(如为了手工编辑 QRS 波群的标记),有关测试记录的真实 HRV 参数以及用于获取信号的特性条件应对制造商保密。尤其是为进一步改进仪器或其他目的已将测试结果告知制造商后,重新检验应使用一套全新的测试记录。

**技术要求** 应详尽检验每一装置的所有部件。检验尤其应包括仪器的记录和分析两部分。应使用恰当的技术来记录可完全重复、HRV 参数已确知的信号,例如,测试信号应由计算机或/和硬件产生。在检验中应使用崭新的记录器,如果可能,也应使用参与常规服务和维修、已近半衰期的记录器,但不应因此而拖延对新制品的检验。如果制造商宣称仪器可分析其他制造商所产记录器的心电记录(如 Holter 磁带),应独立测试每一搭配组合。可以预见,用体内植入装置分析 HRV 时,应进一步用上述措施产生模拟的心腔内信号。如果可能,应检验带有全可充电电池的植入装置和带部分放电电池的装置。

**测试记录** HRV 的参数依附于记录实际心电的仪器。离开了仪器,很难确知心电的 HRV 参数。因此,检验时选用模拟的心电信号更好。然而,这类模拟心电信号的形态与 HRV 特征必须密切反映实际心电的形态与 HRV 特征。用于产生模拟心电信号的离散频率必须大大高于被测仪器的采样频率。模拟测试信号也要引入影响或潜在影响 HRV 估量精度的各类已知因素,例如变动的噪音水平,变动的 QRS 信号形态可能引起的基点抖动,不同信号通道间随机变化的噪音,HRV 特征的渐变和突变,形态与真实信号相同、频发程度不同的房性和室性早搏。以磁带为基础的仪器,由于转轴控制、回放张力及其他因素的影响,长时程记录的结果可能不均衡一致。所有记录器的实际效果均受外部环境的影响。因此,应采用长时程(如 24h)而非短时程检验。

**检验规程** 应使用数次各类 HRV 特征与特性不同组合的记录来检验每个仪器或者每个仪器构件。每次检验或者每个检验部分,商品仪器所得的 HRV 参数应与原始信号已知的特征对比。任何不符合之处均应按引入记录中的特性编号,如提高噪音所致的误差、基点游动所致的误差等。应确立仪器引入的系统偏差及其相关误差。

**报告结果** 应在检验现场未受被检仪器的制造商影响时,当即准备检验的技术报告。

(收稿日期:1997-04-28)