

放射性核素时相分析法的原理与方法

上海医科大学附属中山医院核医学研究室

李铨生综述 赵惠扬 张金谷*审

摘要: 核素时相分析是应用傅里叶变换的基本原理, 对心血池显像中各心动周期每一象素的放射性时间曲线进行正弦或余弦的拟合, 通过重建振幅图、相位图及相位直方图, 可灵敏地反映心室各局部的收缩功能及其协调性变化, 在冠心病及传导异常等心脏疾患的诊断、疗效观察及预后判断中有重要意义。

Adam与Verba于1979年建立了心血池显像的时相分析法^[1, 2], 此后, 时相分析法的临床应用得以发展^[3]。本文对其原理与方法作重点介绍。

一、傅里叶分析

它是一种数学方法, 即以正弦或余弦函数来拟合任何一个周期性函数^[4]。

$$f(t) = A_0 + A_1 \cos(\omega t + \theta_1) + A_2 \cos(2\omega t + \theta_2) + \dots \quad (1)$$

式中 A_i 为 i 项的振幅, ω 为频率, t 为时间, θ_i 为 i 项的时相。

二、心室放射性时间曲线的傅里叶分析

心室放射性时间曲线并非对称曲线, 因而首次傅里叶变换不能达到较好的拟合效果。二次傅里叶变换对于收缩期曲线的拟合较为可靠, 但为了获得统计上可靠的舒张期参数, 则需要2~6次傅里叶变换^[5]。

对心室整个兴趣区引出的放射性时间曲线, 均可进行傅里叶变换, 以获得心室整体与局部、收缩期与舒张期的功能显像, 舒张期峰充盈率及峰充盈率时间(PFR、TPFR)显像, 提供了早期诊断冠心病的灵敏方法^[6~7]。

三、首次傅里叶变换的振幅与时相因子

对基本频率为心率的放射性时间曲线进

行首次傅里叶变换时, 除 A_1 项外, 其余项中 A 值很小, 故公式(1)可简化为: $f(t) = A_1 \cos(\omega t + \theta_1) \dots \dots (2)$, 此处 ω 为心率, A_1 为振幅因子, θ_1 为时相因子。

拟合曲线(图1)中, A_1 即振幅因子, 反映放射性时间曲线中放射性变化的幅度, 为每搏量放射性变化的一半。P即时相因子, 反映放射性时间曲线的峰相对于心电图R波的位置, 亦即反映心室内放射性开始降低的时刻^[8]。

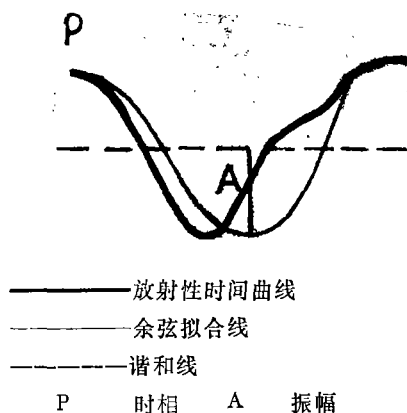


图1 首次傅里叶变换与振幅、时相因子

如果直接由放射性时间曲线本身来确定放射性开始降低的时刻, 将会导致较大的统计误差, 而且时间分辨率受限于心动周期内的收集帧数。通过对放射性时间曲线的傅里叶变换, 这些问题得以克服^[9]。

* 北京朝阳医院

四、相位与振幅显像的构成

由 64×64 的矩阵可获得4096个像素区。被检查者体内的放射性分布,通过探头在各个像素区中形成各自的放射性时间曲线。多帧门电路采集分割每一心动周期为16帧,则此放射性时间曲线由16点构成。通过计算机处理各像素区的时间曲线,获得具有不同时相与振幅因子的拟合曲线(图2)。其中1、2像素区时相相同、振幅不同;1、3像素区振幅相同、时相不同;2、3像素区则时相与振幅均不同。这些时相值与振幅值回复到原像素区,便形成了相位显像与振幅显像^[1]。

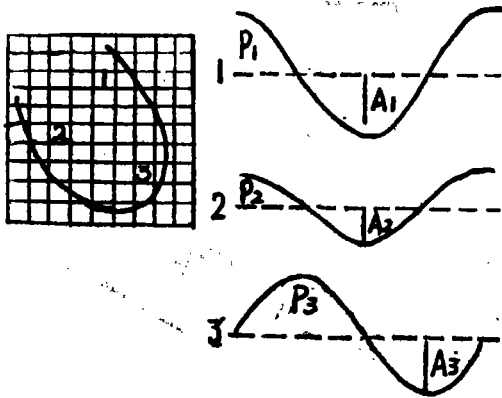


图2 不同像素区的不同时相值与振幅度

相位显像建立在像素区的放射性时间曲线基础上,傅里叶变换后取得较好的统计学效果。因而所需的收集时间,可缩短至一分钟之内。此一特点使之适合于运动试验和危急病例的检查^[10]。

五、时相的相位

按传导与收缩的先后顺序,各个像素区的P点距离心电图R波的间期不同。为了明确相对于R波的间距的长短,亦即相位,设心周期(R-R)相当于 2π 弧度或360度。如果某个象区的P点发生在R波后 $1/6$ (R-R)时,则其相位为 $2\pi/6 = \frac{1}{3}\pi$ 或 $360^\circ/6 = 60^\circ$,

后者较常用。

心周期某相位的弧度值 P ,可转换为时间(P_t)。 $P_t = R-R(\text{毫秒}) \times P_r \times 2\pi$ ^[11],同理,相角值亦可转换为时间。

从代表心肌兴奋的R波到心室腔放射性开始降低,亦即P点,有一固定的间期,包括兴奋-收缩耦联反应所耗费时间以及等容收缩期。因而,零相位并非与R波同时,为研究方便,可以人为地确定在心动周期的某一时刻,作为零参照点,比较各像素区相位间的关系。

六、振幅显像与相位显像的关系

尽管振幅显像的用处似乎不及相位显像,但却不是可有可无的。振幅显像对于选择心室兴趣区进行相位分析很重要。心脏舒缩活动时,大血管、肺与肝脾均有放射性的周期性起落,如不加以摒除,则会在时相分析时出现心脏外区域的“胡椒盐样时相的干扰”^[9]。为此,采取振幅遮盖法(Amplitude Mask),即选择一定的阈值(可为最大振幅值的10~15%),低于此阈值的放射性周期性波动便被遮盖,不再形成相影。选择适当的阈值,便可获得欲研究的心室兴趣区。

狒猴室壁瘤模型实验证明,为确定左室余留部份的性质,并对相位显像进行定量分析,必须首先对振幅显像规一化^[12]。为全面分析心室传导与收缩功能的异常,需要振幅显像与相位显像的配合^[13],或者将相位显像叠加于振幅显像上^[8]。

七、Technicare Omega 500/560

系统的时相分析^[14]

分三步骤显示振幅与相位显像

1, 相影建立图像:振幅显像显示的心室部位即为心活动的部位,而振幅框图是通过框图来选择适当的阈值。未被遮盖的兴趣区显示为初始的相位复合图像,将为后继

的直方图与电影显示所进一步分析。

2, 相位分布直方图: 为象素区相位的频率分布图, 它对上述相位复合图所包含的全部要素区进行相位统计。横轴为360度相角, 纵轴为具有相同相位的象素区的累加个数, 移动游标可任意测量心室的相角程。其值为右上方二个相角之差。选定的相角程内所包含的象素区的分布区域, 由左下方相位复合图中消失的部分来确定。应用此现成软件不能预先划定左、右心室兴趣区, 分别构成左室或右室的相位直方图, 因而不能准确测定左室或右室的相角程。

3, 电影显示: ①正弦显示, 依据振幅大小, 各象素区呈现不同的辉度; ②线性显示, 各象素区的辉度变化与收缩类型或线性关系; ③16帧显示, 各象素区的相位以黑点出现的顺序, 先后显示于16帧中; ④32帧显示, 由原16帧内插而得32帧, 故相位显示更细致。

八、相位显影可用于研究 传导异常的原因

由相影产生的原理可知, 相影仅仅来自心室的收缩, 它能反映传导是基于传导与收缩的固定顺序关系。尽管传导与收缩是分离的, 但正常情况下, 收缩总紧随着兴奋的传导, 即收缩反映了传导。故可通过反映收缩类型的时相来了解有关传导的情况。由此可见, 以时相评价传导的前提条件是传导与收缩的正常关系未被破坏, 并且不存在明显的室壁活动异常^[15]。

室壁活动减低 (Hypokinesis) 常常伴随着传导异常, 但它往往是散在分布的, 不影响对传导的评价。无活动与反常活动 (Akinesis、Dyskenisis) 明显地影响对同区域的传导异常的判断, 但却不影响其余心室区域传导顺序的显示^[16]。在传导与收缩的关系遭到破坏的病理情况下, 应用时相来评价传导便失去意义, 为本法应用的缺点。

九、相影分析存在的问题与改进

首先是方法学上的误差。心室放射性时间曲线本身不对称。静息时, 舒张期约为心动周期的2/3, 以对称的余弦曲线去拟合, 将造成较大误差; 运动时, 心率加快, 舒张期明显缩短, 使放射性时间曲线较为对称, 拟合的效果就好些。曾尝试先改造放射性时间曲线为对称曲线, 再以余弦曲线拟合, 但效果不明显。若取相等的收缩期与舒张期帧数 (如总共28帧, 弃去后3帧, 使第1帧到收缩末帧的间期等于收缩末到第25帧的间期), 则由曲线拟合与心率改变所造成的误差将减至最小^[16]。为达到最佳拟合所需除外的舒张后期的帧数, 可由心室放射性时间曲线计算得到^[17]。多次傅里叶变换可以得到更接近放射性时间曲线的拟合曲线, 但对于相影分析而言, 多次傅里叶变换并未取得较首次变换明显改进的效果。

其次是组织重叠干扰。傅里叶分析无法克服该问题。采用左前斜位45°收集, 可较好地分清左右室, 故最常用。动态结构因子分析法 (Factor Analysis of Dynamic Structure) 可对重叠组织中不同时相的生理因子进行分析, 自动产生此生理因子的空间分布图, 由此排除了重叠组织的干扰^[18]。

此外, 心脏随呼吸摆动, 亦影响相影分析。如在心电图生理门基础上复加呼吸生理门, 进行双重门电路采集, 将会有所改进。

十、时相分析与别的功能显像法比较

经计算机处理多帧门电路采集心血池影像, 可形成一系列功能显像, 如EF显像、局部EF显像、SV显像、收缩期显像等。但这些功能显像如未经傅里叶变换, 它们的时间分辨率则受限于帧采集时间, 其空间分辨率亦较差。时相分析有较好的时间与空间分辨率, 并且是唯一能连续观 (下转230页)

22. Geltman EM, et al; Am J Med 1983, 74 : 773~785
23. Schwaiger M, et al; Circulation 1984, 70 (suppl I) : I-249
24. Schon HR, et al; Am Heart J 1982, 103 : 532~547
25. Klein MS, et al; Am J Physiol 1979, 237 : H51~H58
26. Weiss ES, et al; Circ Res 1976, 39 : 24~32
27. Tewson TJ, et al; J Nucl Med 1978, 19 : 1339~1345
28. Kriyokapich J, et al; Am J Physiol 1982, 243 : H884~H895
29. Cohen MB; Int J Nucl Med Biol 1978, 5 : 201
30. Cohen MB, et al; Int J Appl Radiat Isot 1980, 31 : 45~49
31. Ropchan JR and Barrio JR; J Nucl Med 1984, 25 : 887~892
32. Selwyn AP, et al; Am J Cardiol 1981, 47 : 81
33. Gelbard AS, et al; J Nucl Med 1980, 21 : 988~991
34. Spann JF, et al; Circ Res 1966, 19 : 317~325
35. Fielde JZ, et al; J Biol Chem 1978, 253 : 3251~3258
36. Hanson RN, et al; J Med Chem 1978, 21 : 830~833
37. Gould KL, et al; Am J Cardiol 1978, 42 : 761~768
38. Gould KL, et al; Am J Cardiol 1974, 33 : 87~94
39. Liu P, et al; J Am Coll Cardiol 1984, 3 : 607
40. Deanfield JE, et al; Lancet 1983, 2 : 753~758
41. Deanfield JE, et al; Am J Cardiol 1984, 54 : 1195~1200
42. Fox KA, et al; Circ Res 1985, 57 : 232~243
43. Heiss HW (ed) Advances in Clinical Cardiology (Vol. I); Quantification of Myocardial Ischemia, 1980, p.437~447, Gehard Witzstrock Publishing House, New York
44. Marshall RC, et al; Circulation 1981, 64 : 766~778
45. Tillisch J, et al; New Engl J Med 1986, 314 : 884~888
46. Brunken RC, et al; Circulation 1984, 70 (suppl I) : I-341
47. Flameng W, et al; Am Heart J 1981, 102 : 846

(上接233) 察心室收缩类型的功能显像。

十一、结 语

由于核素时相分析基于可靠的基本原理,并能对心动周期中每一象素的放射性时间曲线进行较好的拟合,因此具有较目前常见的功能显像更多的优越性。但其仍存在方法学上的误差及组织重叠的干扰,这些将通过计算机更新等方法加以解决。

参考文献

1. Adam WE, et al; Radiol 1979, 2 : 161
2. Verba JM, et al; J Nucl Med 1979, 20 : 625
3. Links JM, et al; J Nucl Med 1980, 21 : 978
4. Osbakken MD; Techniques, Diagnostics, and Advances in Nuclear Cardiology 1983, P69. Thoma CC. publisher
5. Bacharach SL, et al; J Nucl Med. 1983, 24 : 1176
6. Miller TR, et al; J Nucl Med 1983, 24 : 2
7. Zatta G, et al; Eur J Nucl Med 1985, 10 : 198
8. Dae MW, et al; Int J Cardiol 1984, 5 : 244
9. Fraiss MA, et al; Am J Cardiol 1982, 50 : 95
10. Friedman J, et al; J Nucl Med 1981, 22 : p81
11. Nakajima K, et al; J Nucl Med 1984, 25 : 7
12. Pavel D, et al; J Nucl Med 1983, 24 : p26
13. Shosa DW, et al; J Nucl Med 1981, 22 : p63
14. Technicare Clinical Protocols, Manual No. 960104, 1981
15. Botvinick EH, et al; Am J Cardiol 1982, 50 : 289
16. Botvinick EH, et al; Circulation 1982, 65 : 551
17. Liehn JC, et al; J Nucl Med 1983, 24 : p92
18. Cavaillolles F, et al; J Nucl Med 1984, 25 : 1067