

用微机描记超声脉冲多普勒 血流频谱三维图

郁贤章 金元 李翔 张银 吕一凡

(中国人民解放军总医院)

(北京市新技术应用研究所)

1984年7月16日收到

超声脉冲多普勒技术是无损伤诊断心血管疾病的有效手段,但实时频谱显示由于不能用于频移谱的动态定量分析而使其作用受到限制。本文介绍以 Z80 单板机和日本 SR-6602 自动绘图仪组成的超声脉冲多普勒血流频谱三维描述系统的原理、结构、与 MK500 血流分析仪的连接及临床初步试用结果。本机准确采集 1.2 秒时间超声脉冲多普勒血流信息,可把此信息以三维频谱图描记或转录于磁带存储用作进一步分析处理。临床试用表明,这种技术可为临床提供更丰富的血流动力学资料,是心血管疾病定量分析研究的有用方法。仪器性能稳定,操作方便,具有临床推广价值。

一、前言

超声脉冲多普勒技术在近几年来采用微处理机技术以后,在临床获得更广泛应用并成为无损伤诊断心血管疾病的有力工具。微机的应用使得取样血流信息能以实时频谱(又称频移谱)的形式显示,并为用外部计算机对血流信号作进一步的分析处理提供了可能性。

解放军总医院引进了一台 MK500 双功能显象仪 (Duplex Imager)^[1],经临床使用证明,超声脉冲多普勒实时频谱显示 (M/Q) 可以提供心血管内某一点的血流速度、方向及血流流动性等血流动力学资料,对心脏内分流和返流疾病诊断准确率高、重复性好、展示了这种技术在临床的广阔用途^[2-6]。但实时频谱中,不同频移的回声强度是以灰阶(亮度)表示的,而人的肉眼对灰阶的差异是不敏感的。仪器纵然已产生了频移谱分布信息,人们仍难以用它来对频移谱分布进行动态的定量分析。这一缺点限制了脉冲多普勒系统对心血管疾病诊断作用的充分发挥。国外已有报道^[7],利用数字富里叶

技术实现血流信号的三维显示可以对主动脉瓣狭窄疾病的严重程度作出定量估计,并取得了满意的结果。为了进一步开发 MK500 显象仪的功能,我们利用单板计算机来采集超声脉冲多普勒频移谱信息,经处理后用绘图仪画出三维频移谱分布图,为临床提供更多的诊断信息;此外还可以通过磁带转储以便对数据进行后处理。

二、MK500 显象仪的用户 计算机通道概况

MK500 显象仪的脉冲多普勒血流分析仪每 10ms 对超声脉冲回波信号取样一次,数字化后进行快速富里叶变换 (FFT),产生多普勒频移谱信息,并存贮在一个 8 位先进先出的存贮堆栈 (FIFO) 中。MK500 后面板的用户通道 (USER PORT) 可把此信息输出到外部计算机中。一条完整的信息包括 127 个字节的频谱数据和一个状态字节。此通道提供了 8 根数据线 and 3 根联络线,其中: SELECT 信号线传递外部计算机发给 MK500 用户通道的启动信号,只

有此信号为低电平时, MK500 才可输出数据; STROBE 信号线传递用户通道发给外部计算机的同步选通信号, 上升沿触发, 脉宽 $12\mu\text{s}$, 此信号发出表示输出数据有效; STATUS 信号线用来表明数据线上所传输的内容, 低电平时表示数据线上为频谱数据, 高电平时表示数据线上为状态字节。

状态字节反映当外部计算机获得多普勒频谱数据信号时 MK500 血流分析仪所处的工作状态, 这些状态由面板旋钮设置, 有血流方向(正常或反向)、信号处理方式(对数或线性)、FFT 转换方式(粗或细)、壁滤波及最大取样深

度。由于频谱显示的最大频率(Nyquist 频率)受取样定理所限制, 故它与最大取样深度 $R_{\max}$ 有关系

$$\text{Nyquist 频率} = c/4R_{\max}$$

这里 c 是血液中的声速。频谱数据的传送为 8 位并行传送, 每 10ms 传送一组(包括 127 个数据字节和 1 个状态字节)。状态位在“细”时, 每个字节的传送时间是, 数据建立时间 T_s 为 $42\mu\text{s}$, 数据保持时间 T_H 为 $30\mu\text{s}$, 状态位在“粗”时, 字节 $(2n) =$ 字节 $(2n + 1)$, T_s 为 $24\mu\text{s}$, T_H 为 $12\mu\text{s}$ 。时序图如图 1。从时序看出外部计算机完成一个字节的输入时间是 $72\mu\text{s}$ 。

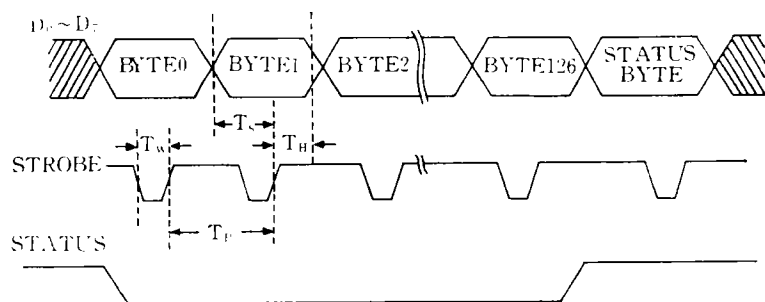


图 1 血流频谱数据传送时序图

符号	参 量	细	粗
T_w	读取脉冲宽度	$12\mu\text{s}$	$6\mu\text{s}$
T_p	读取脉冲周期	$72\mu\text{s}$	$36\mu\text{s}$
T_s	数据建立时间	$42\mu\text{s}$	$24\mu\text{s}$
T_H	数据保持时间	$30\mu\text{s}$	$12\mu\text{s}$

三、三维描述仪系统

1. 总体框图 如图 2 所示。本系统以 Z80-CPU 为中央处理器, 它与 EPROM、CTC、RAM、PIO 及 SIO 等一起构成了专用微处理机。各模块之间以总线连接, 分时传送信息。本机舍弃了原 Z80 单板机中对本系统无用的器件, 使系统结构紧凑, 同时也降低了造价。系统监控程序存于 EPROM 中, 它在系统启动后监视控制台输入命令、指挥系统输入多普勒频移谱信息、绘

制三维频谱图及把信号送磁带存储等。MK500 的用户通道信号经光电耦合电路与 Z80-PIO 连接, PIO 将接收到的多普勒频移谱信息送 Z80 RAM 中保存。此外, 时域心电信号经 A/D 转换电路也存于 RAM 中。存于 RAM 中的这二种信号一方面经 SIO 传送到绘图机绘制三维频谱图, 另一方面可通过磁带转储电路将信号存在盒式磁带中, 以便事后进行必要的数据处理。

2. 与 MK500 系统的连接 为了避免 MK500 显象仪与本系统之间的电干扰, 同时对 MK500 系统起保护作用, 保证 MK500 的完善

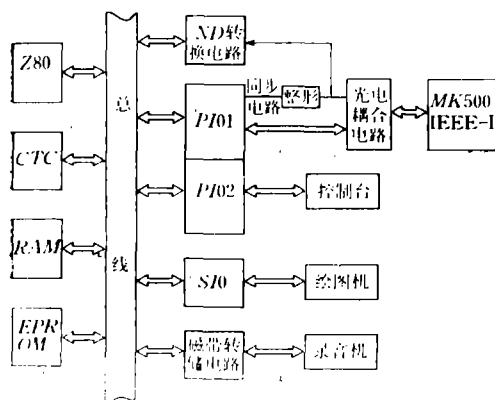


图2 三维描述仪系统总体框图

绝缘，在用户通道与外部计算机之间采用了光电耦合电路，光电耦合器件选用了GD313。

3. 三维频谱图的绘制 本系统选用了日本岩崎公司的SR-6602自动绘图机，它有两种接口：RS-232串行接口和IEEE-488并行接口，我们选用前者与Z80-SIO相连，传送绘图信息。由于本系统一次绘图量较大，而绘图机的机械动作时间是固定的，因此要缩短绘图时间就要尽量提高信号传送速率。

Z80-SIO是一个串行输入输出接口，它的接收时钟端RXC和发送时钟端TXC是由CTCO的ZC/TO提供的，CTCO的计数输入端

C/TO接在由主时钟 $\phi 2$ 分频后的 $\phi/2$ 上。系统主时钟为1.9968MHz，2分频后为0.9984MHz。CTCO工作在计数器方式，分频时间常数设为13，故ZC/TO端的输出频率为

$$0.9984\text{M}/13\text{Hz} = 76.8\text{KHz},$$

即SIO的接收发送时钟为76.8KHz。SIO的时钟率设为16，故SIO的传送速度为

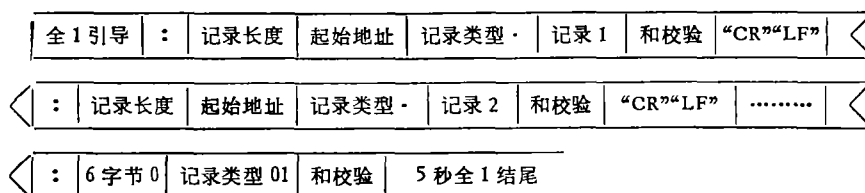
$$76.8\text{kHz}/16 = 4800\text{bit/s}.$$

传送数据格式为：7位数据位（ASCII码），1位启动位，1位校验位，1位停止位。

4. 同步心电信号的转换 时域心电信号每10ms由A/D转换器接收一个瞬时采样值，送入Z80RAM中，作为三维描述的同步时标信号。转换器选用ADCO804芯片，其分辨率为8位，转换时间为100 μs ，它与Z80微处理机电平兼容。

5. 磁带记录与读出 临床应用中常常需要先将若干个病人的信息保存起来，然后进行成批绘图处理或将有价值的病例送往计算机系统进行处理。因此本系统设置了信号转储与读出功能，它可将临床观测的频谱信息送往磁带存储器保存。

盒式磁带记录格式选用线性音频记录，记录格式为：



由于本系统一次记录的数据量较大(14K)，用KC标准记录速度太慢，因此将原KC标准进行适当修改，修改以后使记录与读出速率从300bit/s提高到1200bit/s，大大缩短了时间。

6. 控制键的设置 为了临床操作方便，三维描述仪面板只设置了5个控制键，即(1)启动键：启动系统管理程序，并从MK500采集数据。存储在RAM中，每1.2秒钟数据被刷新一次。(2)保留键：当操作人员想保留当前这一心动周期的心电信息和多普勒频谱信息时，按

下此键，则系统关闭数据输入，停止刷新。(3)

转录键：将RAM中保存的数据录入磁带中。

(4)校验键：读出磁带记录内容，并与RAM中内容校对，如有错立即指示。(5)绘图键：绘制三维血流频谱图。各键均与Z80PIO相连，PIO工作在位控方式，当某个键按下时，其相应的指示灯亮，此项工作完毕后指示灯灭。

7. 系统监控程序 系统监控程序在系统计算机上进行调试后，就把所有程序都固化在EPROM芯片中，系统监控程序框图如图3。

四、临床试用结果和讨论

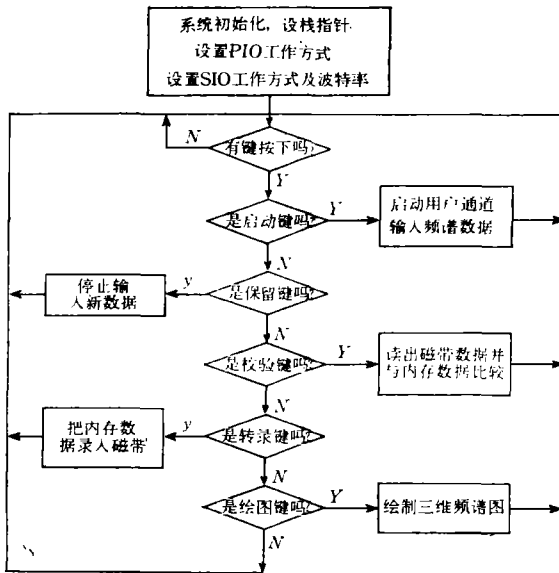


图3 系统监控程序框图

血流频谱三维描述仪研制完成后,成功地与 MK500 显象仪连机调试,并在临床对 15 例正常人和 15 例心脏疾病患者的各种血流频谱作了描记。三维频移谱如图 4 所示。由于单板机的 RAM 只有 16K,故连续采集的 120 次谱分布数据仅相当于 1.2 秒时间内的血流信号(大约 1 个半心动周期)。三维坐标标志为: x 轴表示时间, y 轴频率, z 轴相应回声强度。每两条迹线间隔时间为 20ms, 频移大小与 MK500 的血流频谱显示对应,基线右边是正频移,表示血流方向朝着换能器,基线左边是负频移,表示血流远离换能器。

图 5 是正常二尖瓣口血流频谱图。探头置

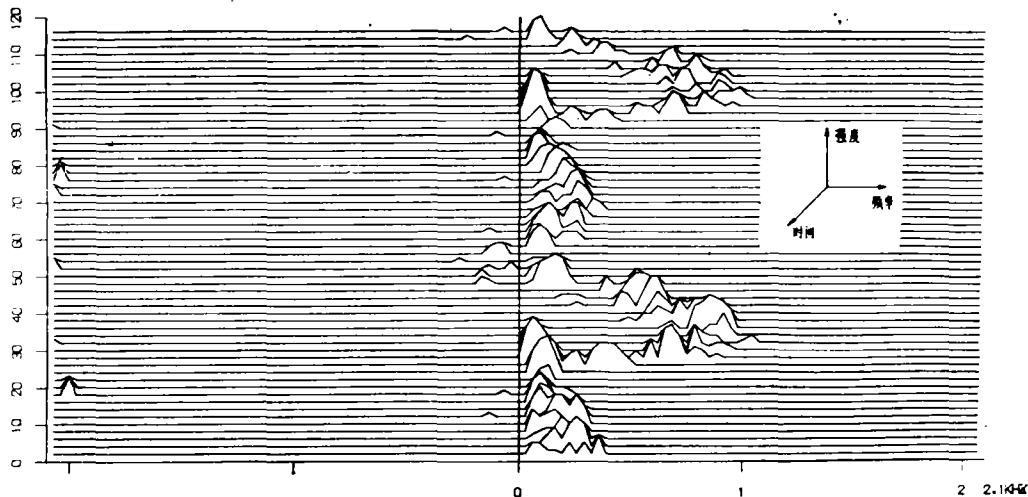


图4 超声脉冲多普勒血流频谱三维显示

于心尖部,取样容积置于二尖瓣口左室侧,可见正常二尖瓣口呈舒张期双峰图,频谱呈三角状。图 6 是二尖瓣狭窄合并闭锁不全的病人血流频谱图,用心尖四腔心,取样容积置于二尖瓣口左房侧,可见舒张期双峰消失,血流速度陡直上升,经过整个舒张期的缓慢上升运动又陡直下降。在收缩期记录到从左室向左房的返流信号,方向与舒张期血流信号相反,呈负频移。

由图 5 和图 6 可见,二维图所反映的心血

管内的各种血流特征,如正向血流和反向血流、层状血流和紊乱血流等,在三维频谱图上都可清楚显示,故利用二维图能准确诊断的心脏分流和返流疾病,三维图也可作出正确诊断。三维图显示的回声幅度与二维图的亮度对应性好。因此,三维图更直观更清楚地反映了流经取样容积的血流特点,为临床科研提供了更丰富的血流资料。

血流动力学的定量研究,有助于我们鉴别

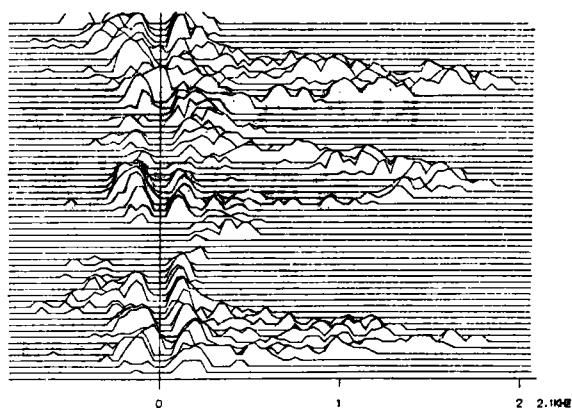
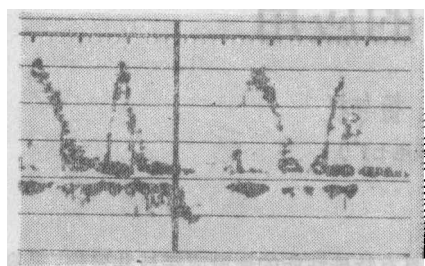


图5 正常二尖瓣血流频谱
左: 二维频谱 右: 三维频谱

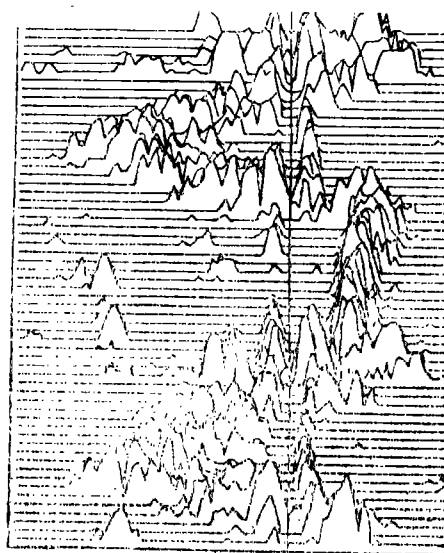


图6 二尖瓣狭窄合并闭锁不全的血流频谱
左: 二维频谱 右: 三维频谱

疾病及估计其严重性。超声脉冲多普勒技术的临床应用历史尚短,并且大都还是停留在定性阶段,对其定量和半定量的工作,还有待于深入探索。我们的工作为这方面研究提供了可能性。

引进一台仪器,能否充分地利用它的功能,发挥它在临床的效能,这是现代化医院建设中需要解决的一个重要课题。三维描述仪的研制成功,是我们在开发先进设备方面所作的一次尝试。这种技术亦有临床推广价值。

本工作得到解放军总医院秦炳启医生的大力帮助,在此表示感谢。

应用声学

参 考 文 献

- [1] 李 翔 金 元,应用声学, 2-3(1983),23.
- [2] 李 翔 金 元,中华物理医学杂志, 6-1(1984), 5.
- [3] 金 元 李 翔,中国人民解放军军医进修学院学报, 4-2(1983),155.
- [4] 金 元 秦炳启等,中国人民解放军军医进修学院学报, 5-2(1984),148.
- [5] 金 元,中国人民解放军军医进修学院学报, 5-4(1984), 369.
- [6] 金 元 李 翔,中国人民解放军军医进修学院学报, 4-4(1983), 413.
- [7] S. R. Cannon, et al, *J. Clin. Ultrasound* 10(1982), 101.