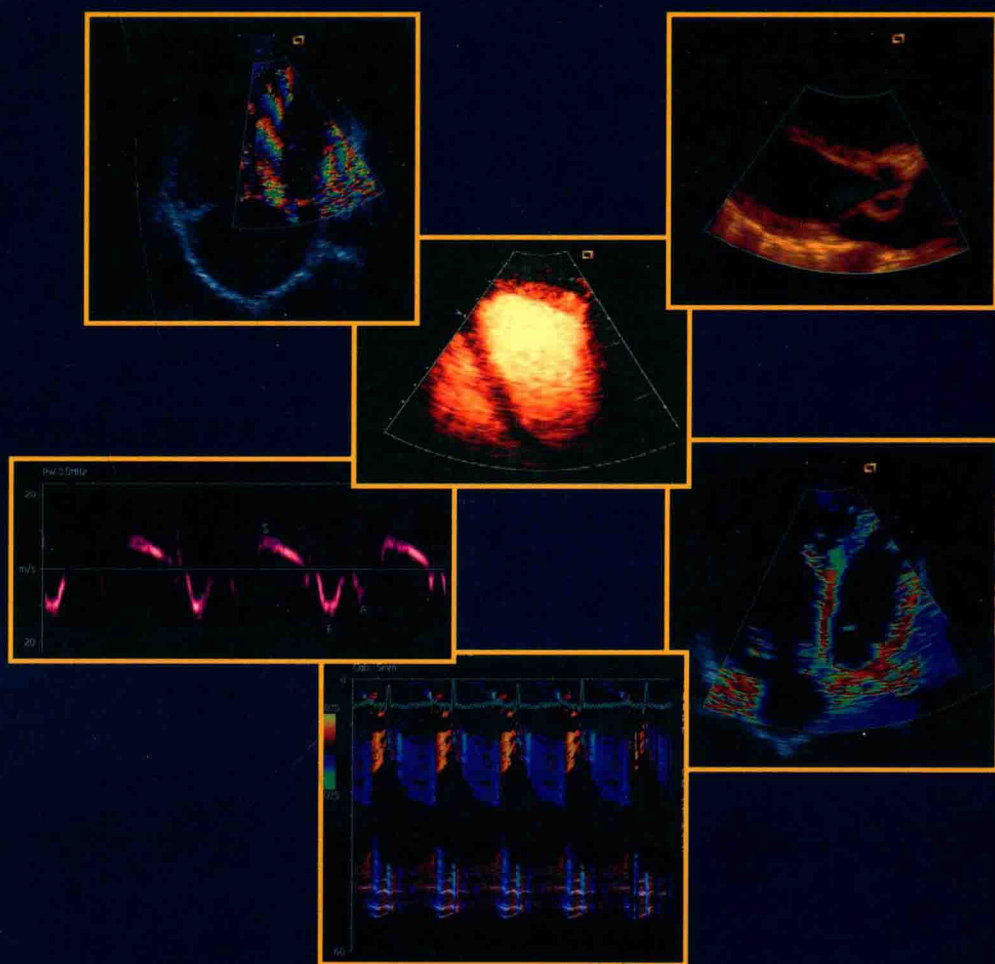


多普勒组织成像

DOPPLER TISSUE IMAGING



多普勒组织成像

DOPPLER TISSUE IMAGING

概述

多普勒组织成像实验研究

正常人的多普勒组织成像

冠心病

高血压

心肌病

心脏电生理

多普勒组织成像技术新进展



美中互利工业公司

CHINDEX INTERNATIONAL INC.

2000年5月19日

编委:(以姓氏笔画为序)

尹立雪 四川省人民医院

吴玉丽 北京医院

李治安 同济医科大学附属协和医院

杨澹宜 北京阜外医院

徐启彬 浙江医科大学附属第一医院

责任编辑:陈婉姿

编著者:(以第一作者姓氏笔画为序)

马小静 尹立雪 王静

牟芸 吕秀章 李治安

李峻 吴棘 陆兆龄

杨澹宜 陈婉姿 金超

张宏金 郑哲岚 姚磊

高峻 邵朝辉 曹静

智光 冀瑞平

出品人:美中互利工业公司

Acuson Corporation

目 录

一、前言	2
二、概述	
1. 多普勒组织成像的基本原理及分类	陈婉姿 4
2. 多普勒组织成像技术及其临床应用	李治安 11
3. 多普勒组织成像技术的方法及正常的特征	张宏金 17
4. 多普勒组织成像技术临床应用实例图解	尹立雪 29
三、多普勒组织成像实验研究	
5. 多普勒组织成像评价心肌正常激动起源及收缩顺序的实际研究	冀瑞平 35
6. 多普勒组织成像技术评价心室异位激动起源及收缩顺序的实验研究	冀瑞平 40
四、正常人的多普勒组织成像	
7. 203例正常儿童的彩色多普勒组织成像二尖瓣环及心肌运动速度正常值	金 超 45
8. 多普勒组织声像图评价正常人的室壁运动频谱特征	郑哲岚 49
9. 多普勒组织成像对正常人左心室功能分析	马小静 54
10. 多普勒组织成像技术对正常左室心肌舒缩运动特点的分析	高 峻 59
11. 多普勒组织成像技术对正常人左室心肌运动特点的研究	吕秀章 64
12. 应用多普勒组织成像脉冲技术对正常人左室前壁和下壁运动分析	马小静 68
五、冠心病	
13. 多普勒组织成像技术与二维超声心动图对冠心病诊断的对比研究	郑哲岚 74
14. 多普勒组织成像技术对冠心病室壁运动频谱的研究	郑哲岚 78
15. 多普勒组织成像技术对冠心病患者二尖瓣运动频谱的研究	姚 磊 83
16. 多普勒组织成像技术测定二尖瓣舒张期运动频谱评价左心舒张功能	郑哲岚 86
17. 多普勒组织成像技术在冠心病的冷加压负荷超声心动图中的应用研究	李 峻 90
18. 多普勒组织成像技术评价急性心肌梗塞溶栓疗效的临床研究	马小静 95
19. 脉冲多普勒组织成像测定冠心病病人二尖瓣环运动速度评价左室节段舒张功能	智 光 102
20. 应用多普勒组织成像技术检测下壁心肌梗塞	马小静 106
六、高血压	
21. 多普勒组织成像技术观察二尖瓣环运动评估高血压病人左室收缩功能	牟 芸 110
22. 多普勒组织成像技术对高血压病患者左室舒张功能的研究	牟 芸 113
23. 多普勒组织成像技术对原发性高血压不同左室构型改变的室壁运动分析	高 峻 117
24. 多普勒组织成像对原发性高血压所致不同左室构型改变的舒缩运动模式的评价	高 峻 124

25. DTI 检测二尖瓣环 E/A 比率评价高血压病人左室舒张功能价值的探讨	高 峻	129
---	-----	-----

七、心肌病

26. 多普勒组织成像技术评估扩张型心肌病心肌舒缩功能	吴 棘	134
27. 多普勒组织成像技术评估肥厚型心肌病心肌舒缩功能	吴 棘	139
28. 多普勒组织成像技术分析扩张型心肌病室壁运动	曹 静	144

八、心脏电生理

29. 彩色多普勒组织成像对室性早搏异常起搏点的定位	金 超	151
30. 彩色多普勒组织成像对室性早搏和左室假腱索关系研究	金 超	153
31. 多普勒组织成像技术对室性早搏异位起搏点部位和心室除极顺序的研究	吕秀章	156
32. 多普勒组织成像技术对右心起搏器除极状态的研究	王 静	159
33. 多普勒组织成像技术对显性预激旁道的定位研究	王 静	165
34. 多普勒组织加速度成像技术标测心肌收缩	尹立雪	171
35. 多普勒组织成像技术评价束支传导阻滞患者的心室肌除极状态	王 静	176
36. 多普勒组织成像技术对束支传导阻滞患者心室除极状态的研究	吕秀章	184

九、多普勒组织成像技术新进展

37. 多普勒组织成像技术联合在术中超声心动图检查应用的可行性临床研究	杨浣宜	188
38. D.T.I. 结合单光子发射断层扫描技术在静息下评估存活心肌的前瞻性研究	邵朝辉	194
39. 多普勒组织成像在心肌对比造影成像中的应用	陆兆龄	202
40. 应用具有多普勒成像功能的心腔内导管超声探头标测心肌兴奋性的研究	尹立雪	205

目 录

一、前言	2
二、概述	
1. 多普勒组织成像的基本原理及分类	陈婉姿 4
2. 多普勒组织成像技术及其临床应用	李治安 11
3. 多普勒组织成像技术的方法及正常的特征	张宏金 17
4. 多普勒组织成像技术临床应用实例图解	尹立雪 29
三、多普勒组织成像实验研究	
5. 多普勒组织成像评价心肌正常激动起源及收缩顺序的实际研究	冀瑞平 35
6. 多普勒组织成像技术评价心室异位激动起源及收缩顺序的实验研究	冀瑞平 40
四、正常人的多普勒组织成像	
7. 203例正常儿童的彩色多普勒组织成像二尖瓣环及心肌运动速度正常值	金 超 45
8. 多普勒组织声像图评价正常人的室壁运动频谱特征	郑哲岚 49
9. 多普勒组织成像对正常人左心室功能分析	马小静 54
10. 多普勒组织成像技术对正常左室心肌舒缩运动特点的分析	高 峻 59
11. 多普勒组织成像技术对正常人左室心肌运动特点的研究	吕秀章 64
12. 应用多普勒组织成像脉冲技术对正常人左室前壁和下壁运动分析	马小静 68
五、冠心病	
13. 多普勒组织成像技术与二维超声心动图对冠心病诊断的对比研究	郑哲岚 74
14. 多普勒组织成像技术对冠心病室壁运动频谱的研究	郑哲岚 78
15. 多普勒组织成像技术对冠心病患者二尖瓣运动频谱的研究	姚 磊 83
16. 多普勒组织成像技术测定二尖瓣舒张期运动频谱评价左心舒张功能	郑哲岚 86
17. 多普勒组织成像技术在冠心病的冷加压负荷超声心动图中的应用研究	李 峻 90
18. 多普勒组织成像技术评价急性心肌梗塞溶栓疗效的临床研究	马小静 95
19. 脉冲多普勒组织成像测定冠心病病人二尖瓣环运动速度评价左室节段舒张功能	智 光 102
20. 应用多普勒组织成像技术检测下壁心肌梗塞	马小静 106
六、高血压	
21. 多普勒组织成像技术观察二尖瓣环运动评估高血压病人左室收缩功能	牟 芸 110
22. 多普勒组织成像技术对高血压病患者左室舒张功能的研究	牟 芸 113
23. 多普勒组织成像技术对原发性高血压不同左室构型改变的室壁运动分析	高 峻 117
24. 多普勒组织成像对原发性高血压所致不同左室构型改变的舒缩运动模式的评价	高 峻 124

25. DTI 检测二尖瓣环 E/A 比率评价高血压病人左室舒张功能价值的探讨	高 峻	129
---	-----	-----

七、心肌病

26. 多普勒组织成像技术评估扩张型心肌病心肌舒缩功能	吴 棘	134
27. 多普勒组织成像技术评估肥厚型心肌病心肌舒缩功能	吴 棘	139
28. 多普勒组织成像技术分析扩张型心肌病室壁运动	曹 静	144

八、心脏电生理

29. 彩色多普勒组织成像对室性早搏异常起搏点的定位	金 超	151
30. 彩色多普勒组织成像对室性早搏和左室假腱索关系研究	金 超	153
31. 多普勒组织成像技术对室性早搏异位起搏点部位和心室除极顺序的研究	吕秀章	156
32. 多普勒组织成像技术对右心起搏器除极状态的研究	王 静	159
33. 多普勒组织成像技术对显性预激旁道的定位研究	王 静	165
34. 多普勒组织加速度成像技术标测心肌收缩	尹立雪	171
35. 多普勒组织成像技术评价束支传导阻滞患者的心室肌除极状态	王 静	176
36. 多普勒组织成像技术对束支传导阻滞患者心室除极状态的研究	吕秀章	184

九、多普勒组织成像技术新进展

37. 多普勒组织成像技术联合在术中超声心动图检查应用的可行性临床研究	杨浣宜	188
38. D.T.I. 结合单光子发射断层扫描技术在静息下评估存活心肌的前瞻性研究	郜朝辉	194
39. 多普勒组织成像在心肌对比造影成像中的应用	陆兆龄	202
40. 应用具有多普勒成像功能的心腔内导管超声探头标测心肌兴奋性的研究	尹立雪	205

前言

1992年McDicken等人率先提出的多普勒组织成像(Doppler Tissue Imaging,DTI)是近年来多普勒技术的重要进展。多普勒组织成像是在传统的彩色多普勒血流成像基础上,通过改变多普勒滤波系统,除去心腔内血流产生的高频低振幅频移信号,而检测心肌运动产生的低频高振幅频移信号,以彩色或脉冲多普勒的方式实时展现。此项技术被广泛用于分析心肌活动和无创监测心脏整体和局部功能等方面,在2000年国际心血管超声会议和ACC会议上,多普勒组织成像的文章和报告是会议的重要内容之一。

美中互利工业公司和ACUSON公司将国内同济医科大学附属协和医院、浙江医科大学附属第一医院、北京阜外医院、北京医院和四川省人民医院等单位有关多普勒组织成像临床和实验研究的论文近40篇汇集成册,以飨读者。有助于推动国内多普勒组织成像技术的开展。本论文集的内容涵盖了多普勒组织成像技术的原理、检查方法以及在正常人、冠心病、高血压病、心肌病、心脏电生理等方面的临床应用。由于本书汇编了多家兄弟医院的研究论文。因此内容上难免会所有重复,为了保证各自研究论文的完整性,本书未做过多的删改。从目前研究所揭示的结果表明这项新技术有着广阔的应用前景,随着多普勒组织成像各种自动定量分析技术的完善,进一步提高该项技术的时效性与动态三维成像、心肌声学造影、负荷超声、谐波成像和心腔内超声等新技术相结合是今后深入研究的热点和有价值的领域。

李治安

多普勒组织成像基本原理及分类

Basic Principle and Classification of Doppler Tissue Imaging

陈婉姿 Sergei Mirolioubov

多普勒技术在临床应用方面已积累了丰富的经验,将超声诊断从二维结构进展到了血液动力学方面。多普勒技术在临床上为显示血液动力学的应用已有五种模式:彩色多普勒速度图(Color Doppler Velocity, CDV);彩色多普勒能量图(Color Doppler Energy,CDE);彩色多普勒速度能量图(Convergent Color Doppler, CCD);脉冲多普勒(Pulsed Wave Doppler, PW);连续波多普勒(Continue Wave Doppler, CW)。基于多普勒的原理,无论声源或声源的接受体的运动,均将产生频移。以上五种模式是将红细胞作为二次声源,探头作为声源接受体,即探头发出超声波,血管内的红细胞接受超声波并将其再反射回探头。利用以下公式,即可计算出血流速度:

$$fd = \pm \frac{2f_0VC\cos\theta}{C}$$

fd = 多普勒频移

f_0 = 探头的频移

v = 血流速度

$$V = \pm \frac{fdC}{f_0VC\cos\theta}$$

c = 声速 (1540 m/s)

θ = 声速和血流之间的夹角

血流与运动的室壁这二种多普勒信号的来源
有著不同的物理性质:

	能量	频率
血流	低	高
运动的室壁	高	低

当然在信号的处理上尚有许多的区别,彩色多普勒速度图需进行彩色编码,得到的是采样范围内的平均血流速度,彩色多普勒能量图是获取多普勒频窗下所有背向散射的信号,它不存在角度的依赖,但也无方向性。彩色多普勒速度能量图则是综合以上两种技术,采取互补互存的方式,并有不同的后处理方式。脉冲波多普勒能精确获取采样点上峰值流速,但受纳奎斯特定律(Nyquist Limit)的限制,被测血流速度的高度受到限制。连续波多普勒可以测得很高的流速,但其获得峰值流速的定位区域是模糊的,因为,它是将沿著采样线上所有的信号收集回来。

根据多普勒原理,任何产生频移的现象也产生多普勒效应,也就是运动的物体是信号的来源。就人体心脏而言,多普勒信号应该是二种: 1. 血流, 2. 运动的室壁(图1-1)。按照多普勒公式,运动的室壁也可作为二次声源,利用它的频移,计算出速度(图1-2)。

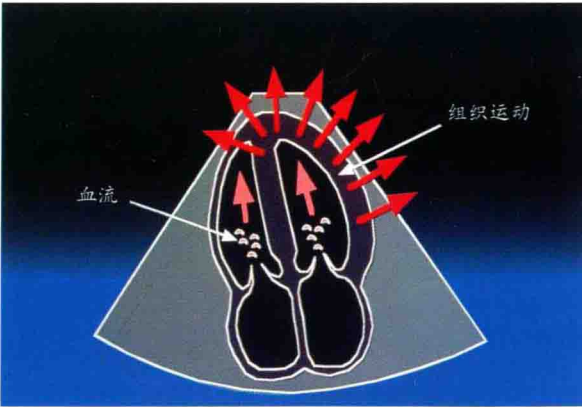


图 1-1 运动物体 - 多普勒信号的来源

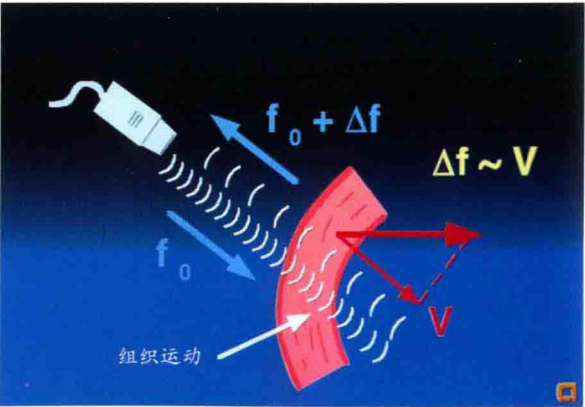


图 1-2 DTI - 多普勒技术

从下面二张插图(图 1-3 及图 1-4)中, 我们可以看到这二种信号的差别:

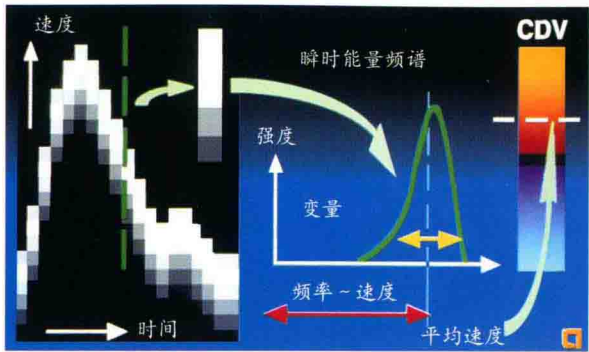


图 1-3 频谱多普勒和彩色多普勒数据。红细胞造成的频移, 频率高, 但能量是低的。

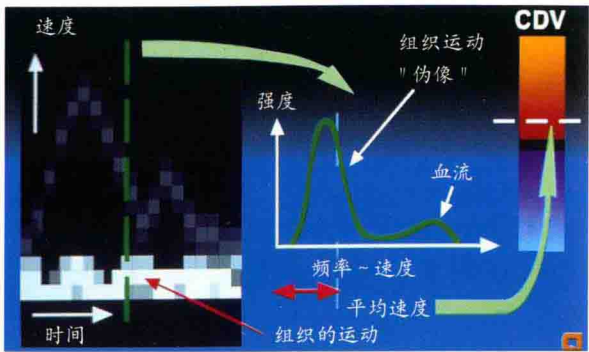


图 1-4 组织运动“伪像”。室壁运动造成的频移, 能量高, 但频率是低的。

在彩色多普勒速度图成像时, 室壁运动产生的频移信号是作为伪像(Artifacts)被滤掉的。因为它会在心脏切面上产生闪烁的片状彩色, 干扰对瓣膜及大血管血流的显示。这种滤波初始是采用高通滤波(图 1-5)。简单的速度滤波会造成很低流速的血流信号, 例如轻微的瓣膜返流, 心内的分流不能敏感地被显示出来。在身体其它部位的检查更是如此, 例如在肾脏扫描时, 由于呼吸造成膈肌及肾脏运动的频移信号, 从频率上来讲要比肾皮质内细小放射状动脉及分支血流造成的频移信号要高, 如果采用简单的速度滤波, 则会使肾皮质内低速的血流无法显示。

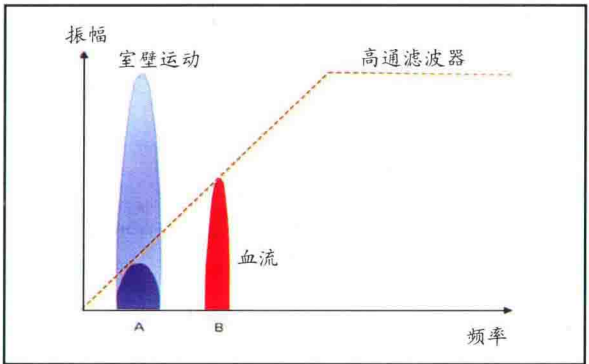


图 1-5 多普勒信号的频谱 A=低的频率成份(组织), B=高的频率成份(血流). 采用高通滤波器, 则将低频率成份滤掉。

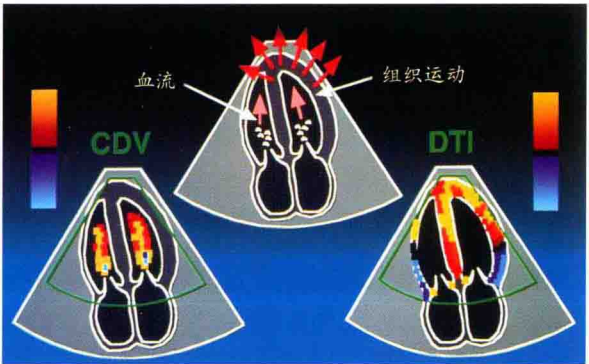


图 1-6 Acuson 运动鉴别能力—分离血流与组织的信号

Acuson 采用了一种称为多因子运动鉴别器(Multivariate Motion Discriminator)装置, 其主要的功能为:

1. 识别、分离、处理血流和室壁的不同物理性质的信号(图 1-6)。
2. 识别、分离、处理血流和运动室壁中不同速度的层次(图 1-7 及图 1-8)。

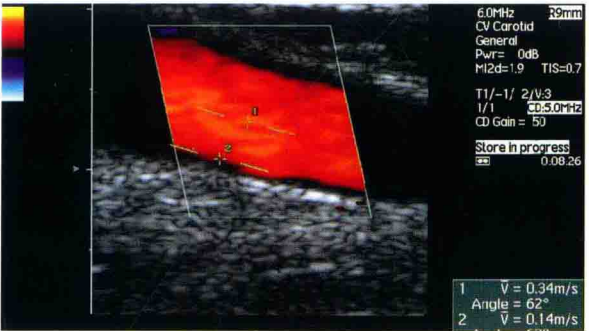


图 1-7 正常颈总动脉应当是层流状态, 中央流速高于周边流速;CDV应当能显示这种速度的差别。

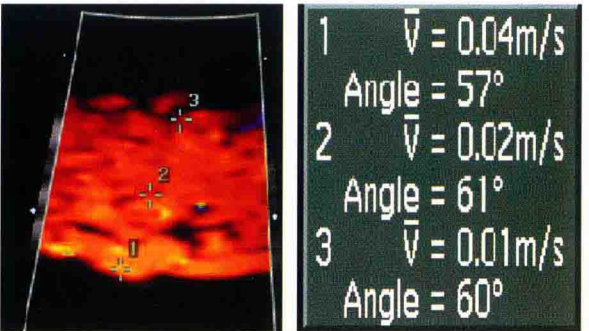


图 1-8 正常心室壁心内膜的速度要高于心外膜, 应当要显示这种速度梯度。

利用组织运动频移信号进行多普勒组织成像的方法，我们称之为多普勒组织成像(Doppler Tissue Imaging)简称DTI。DTI共有五种模式：多普勒组织速度图(Doppler Tissue Velocity, DTV)，多普勒组织能量图(Doppler Tissue Energy, DTE)，多普勒组织加速度图(Doppler Tissue Acceleration, DTA)，多普勒组织频谱图(Doppler Tissue Pulsed Wave, DT-PW)，多普勒组织M型(Doppler Tissue M-Mode, DT-M-Mode)。下面就这些模式分别阐述其原理及应用范围：

一、多普勒组织速度图(Doppler Tissue Velocity, DTV)

DTV 是采用实时编码，提供运动组织中平均速度的空间分布，从(图 1-9)中，我们可以看出在多普勒采样线(区域)方向上组织的成份：

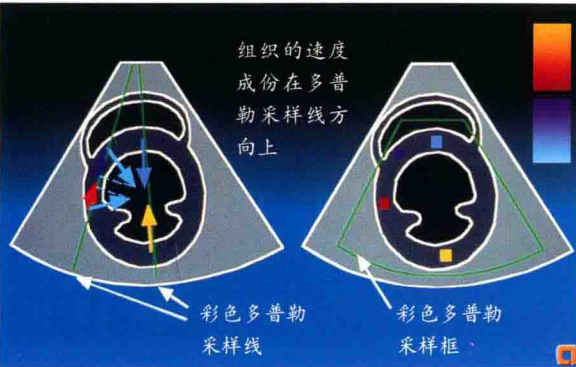


图 1-9 DTI 速度图模式

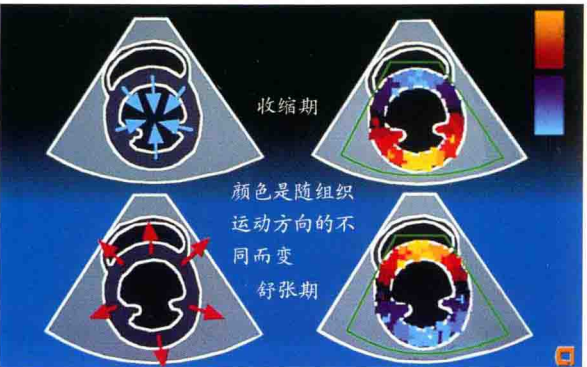


图 1-10 DTI 速度图模式，收缩期和舒张期实时的组织运动整体观。

依据多普勒原理，多普勒采样线与物体运动的方向，角度愈小，愈平行，得到的频移信号愈大，从上图我们可以看出左室后壁其运动方向与多普勒采样线几乎平行，所以编码的颜色呈黄红色，对应从彩色条上我们可以看出它是在较高速度的区域，而侧壁其运动方向与多普勒采样线不平行，存在一定的角度，所以编码成红色，对应从彩条上我们可以看出它是在较低的速度区域。

同常规彩色多普勒速度图(Color Doppler Velocity, CDV)一样，DTV 在处理将朝向探头方向的速度信息编码成红色，背离探头方向的速度信息编码成蓝色。这样在实时扫描时，就见到随著每个心动周期心脏的向心运动(收缩期)、离心运动(舒张期)在每一个节段上其相应颜色标码的变化，除了方向之外，还会因角度的关系产生颜色差别。从(图 1-10)中可以看出在收缩期与舒张期时 DTV 的显示。

然而，值得注意的是在实时病人的扫描中，由於心脏肌纤维不同层次的排列以及心脏呈“钟摆状”的运动，心脏各个节段的 DTV 颜色的编码并非如图 1-10 那样表现为高度的“均一”性。而是呈现为(图 1-11)那样的改变，只要在电影回放或实时扫描对照心电图，就会找到心肌各个节段运动速度规律性的变化，当发生运动减弱，甚至反向运动时便会一目了然。心肌由三层肌纤维组成，DTV 很重要的一个功能就是显示出心肌不同层次的运动模式，而不仅仅是显示心内膜的边界。DTV 能显示跨心室壁的组织速度的分布即跨壁梯度(图 1-12)。

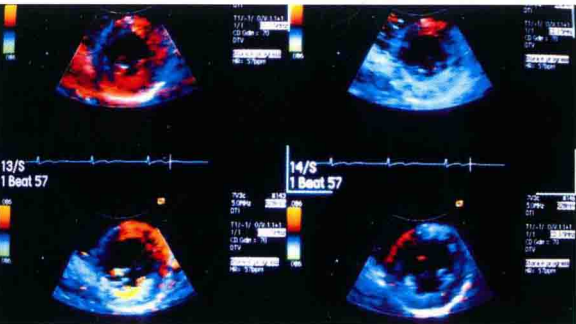


图 1-11 DTI 速度图模式，显示心肌各个节段运动速度规律性的变化。

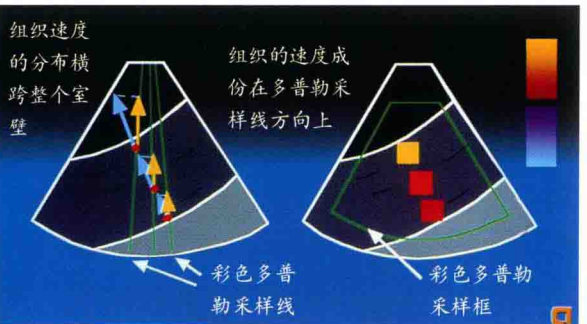


图 1-12 DTI 速度图模式，显示心肌不同层次的运动模式，而不仅仅是显示心内膜的边界。

从上图中，可以清晰显示出心内膜的速度要高于心外膜。这是正常的分布模式。

DTV 的临床用途可以归纳为以下几种：

- 1. 室壁运动的研究。
- 2. 组织活性的研究，缺血心肌的确认。
- 3. 负荷超声心动图的研究。
- 4. 显像困难病人心脏轮廓的确认。

因缺血所导致室壁运动减弱或无运动时，多普勒组织成像速度图(DTV)表现为缺血心肌局部的彩色改变(图 1-13)。

依据心肌缺血的程度，我们可以从整体观看出局部心肌彩色色彩的改变“与众不同”，从室壁运动减弱看到色彩减低，比正常区域呈现为较暗淡的颜色到室壁运动消失，局部彩色消失，反向运动时，则局部的彩色亦与相邻心肌反向，对显像困难病人的小室壁瘤的确认，DTV 也极为有帮助。因为 DTV 属于多普勒技术，所以二维(2-D)无法显示室壁边界时，DTV 则照常显示，这一点在负荷超声心动图上非常有帮助(图 1-14)。

DTV 除了能确定心肌运动减弱，运动消失，反常运动，反向运动。尚能反映局部心肌的主动收缩或被动牵拉反应，从微观上来看，局限的心肌缺血时亦可以被相邻正常心肌牵拉，形成同步的收缩和舒张。如何能识别正常心肌的主动收缩和缺血心肌的被动牵拉呢？前面我们已提到正常心肌其室壁存在有跨壁的速度梯度，即心内膜的速度最大，依次为中层、外层减慢，在 DTV 上通常彩色色差能反映这种现象。而处于缺血被动牵拉的心肌则无这种彩色色差的存在(图 1-15)。

临床上在主动收缩与被动牵拉心肌的交界处上可以见到异常加速区，这是因为与缺血心肌相邻的正常心肌需要额外“做功”才可能带动缺血心肌发生被动牵拉。这常常见于很小区域的缺血心肌。以上的观察方法在负荷超声心动图中很重要，这种 DTV 的负荷超声心动图测试方法要比单纯二维(2-D)的负荷超声心动图测试方法敏感许多。

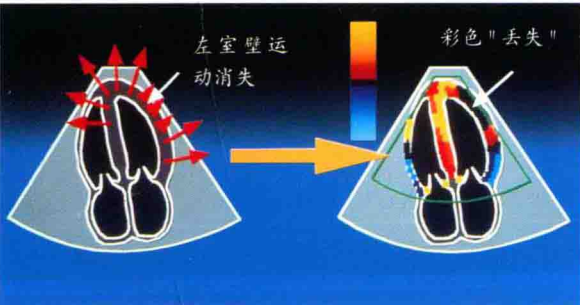


图 1-13 DTI 速度图—检测室壁运动的异常

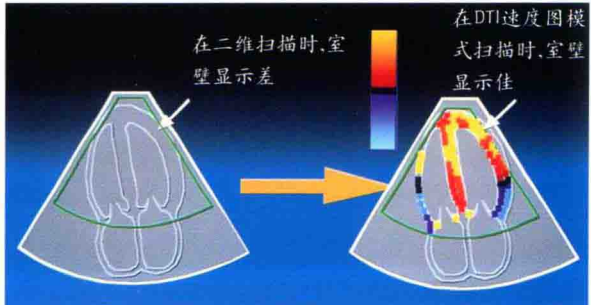


图 1-14 DTI 速度图模式是一能让技术困难的病人扫描室壁显示更佳途径

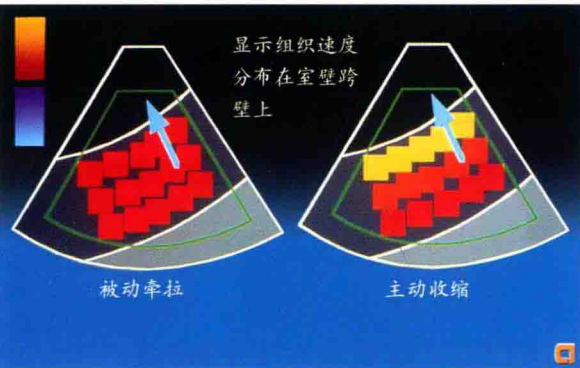


图 1-15 DTI 速度图模式 - 显示跨室壁的运动

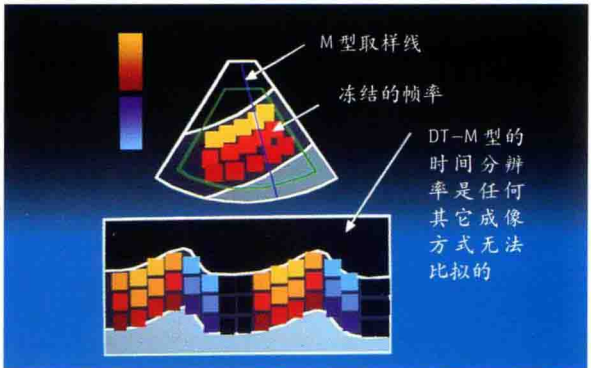


图 1-16 DTI 速度图模式 - 彩色 M 型

二、多普勒组织 M 型模式(Doppler Tissue M-Mode, DT-M-Mode)

M 型模式是所有超声多普勒成像方式中采样最高的，利用多普勒组织 M 型模式可以获得很好的空间分辨率及时间分辨率，特别是时间分辨率是任何其它成像方式无法比拟的。

- DT-M 型模式可以用于确定：
- 1. 相位速度变化及分布
 - 2. 速度梯度
 - 3. 运动异常
 - 4. 组织活性

为了显示不同时相上室壁运动的梯度和不同层次肌纤维的方向和速度,可以采用DTV的彩色M型模式(图1-16)。

DTV的彩色M型模式,在反映跨壁速度随时相变化的同时,也反映出不同层次肌纤维收缩运动速度及方向。当心肌发生缺血时,则这种速度梯度消失(图1-17)。反映出室间隔缺血的区域不发生随时相变化的跨壁速度梯度,而正常的左室后壁与其形成明显的对比。

图1-18,显示正常的室间隔与左室后壁DT-M型模式图,室间隔与左室后壁均反映出随心动周期时相改变的速度变化以及跨壁的速度梯度变化,左室后壁上心内膜M型曲线色彩要比心外膜的M型曲线色彩鲜艳明亮,提示前者的速度高于后者。

DT-M型用于确定心肌相位速度及分布也是非常有效的工具。例如图1-19,显示出房室交界区的房结区、结区、结希区在窦性激动下传时时序的变化,房结区最早、结区次之、最后为结希区,为心脏电生理研究提供了新的方法学。

三、多普勒组织脉冲频谱多普勒模式(Doppler Tissue Pulsed Wave Mode, DT-PW)

DT-PW可用于DTV及DTE模式中,直接获得心肌运动的频谱图,为此可以进行测量、计算,达到量化的目的。

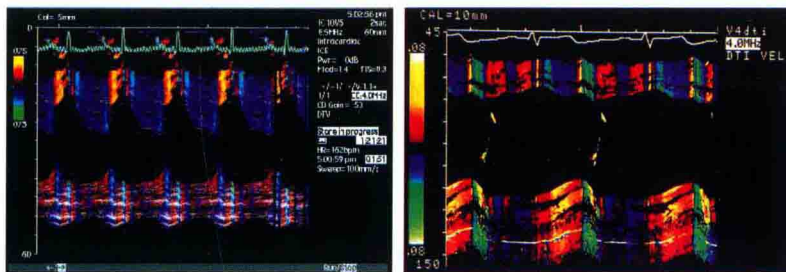


图 1-17 DT-M 型模式,显示缺血心肌和正常心肌的M型速度梯度显像。

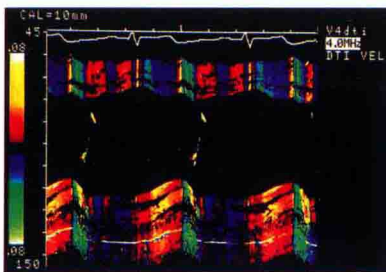


图 1-18 在短轴观显示DT-M型模式,反映出心肌组织速度和方向的相位变化。注意后壁在收缩期的显示,表现为不同层次肌纤维群的分离的速度。

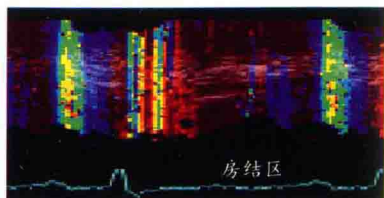
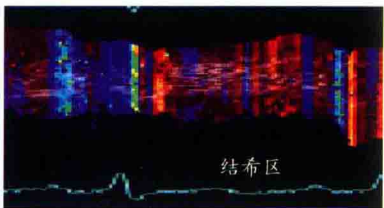
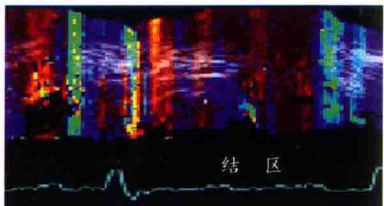


图 1-19 房室交界区的传导顺序



由于心肌运动的方向各异及在各个切面上多普勒采样角度的差异等因素的存在,所以每一个节段的心肌DT-PW均有自身的特点,无论从形状及振幅。这种特点为临床提供了很好的诊断依据,也许它粗略地与心电图相似,由于心电向量的变化,体表记录电极位置不同,故每一个导联心电图均有自身的特点,为我们诊断提供了依据。同样掌握了每一个节段心肌正常的DT-PW数据,我们也就有了临床上诊断和鉴别诊断的依据(图1-20)。

当心肌呈病理状态时(心肌病、心肌缺血等),DT-PW将出现形状与振幅的变化。这为临床提供了很重要的诊断依据,在某些鉴别诊断上会有很大帮助。例如,心包疾病与心肌病变在鉴别诊断上发生困难时,DT-PW将提供直接的信息,因为单纯的心包病变,心肌DT-PW正常;而心肌病变时,则DT-PW会发生异常。心脏瓣环运动的DT-PW为心脏收缩与舒张功能的评定提供了另一种无创的方法。

四、多普勒组织加速度图(Doppler Tissue Acceleration, DTA)

DTA采用实时彩色编码,提供运动组织中加速度的空间分布。DTA的原理(图1-21)。

DTA潜在的临床用途如下:

1. 心肌收缩传导的研究
2. 传导异常的研究(预激综合征、异位心律、传导阻滞等)
3. 起搏电生理的研究
4. 组织活性的研究
5. 心肌与非心肌组织的鉴别诊断
6. 室壁运动异常的研究

心肌在受到电刺激发生收缩前一定会先有收缩脉冲的传播,由于DTA能清晰显示出这种传播的路径及过程、时相,所以就能进行心脏传导方面的研究(图1-22)。例如,正常人体在心室激动从房室交界区向心尖部传导的加速度图的显示(图1-23),及位于左室后壁的预激旁路产生提前激动的加速度显示(图1-24)。

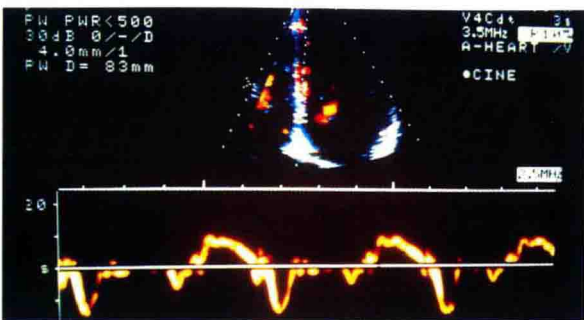


图 1-20 DT-PW 频谱多普勒

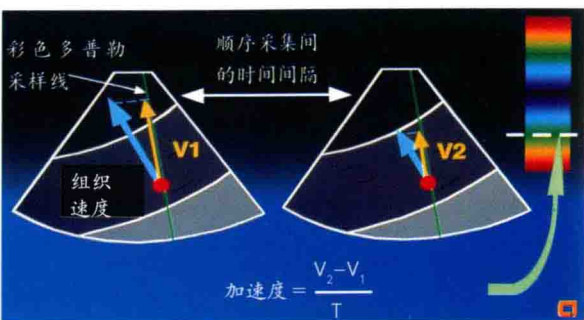


图 1-21 DTI 加速度图模式原理示意图

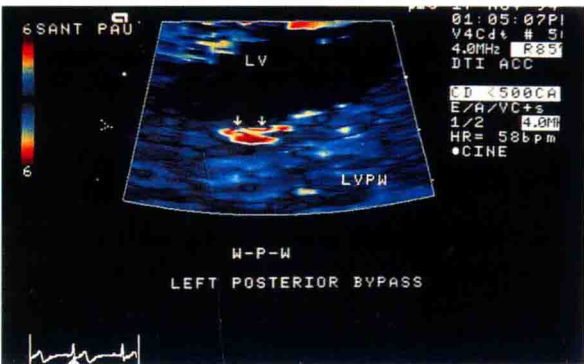


图 1-24 DTI 加速度图模式 - 预激综合征左室后壁预激旁路的显像

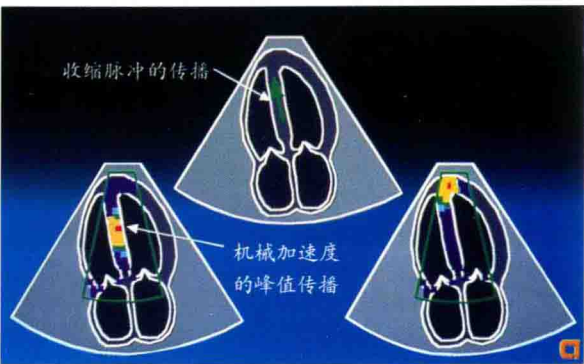


图 1-22 DTI 加速度图模式 - 收缩传播

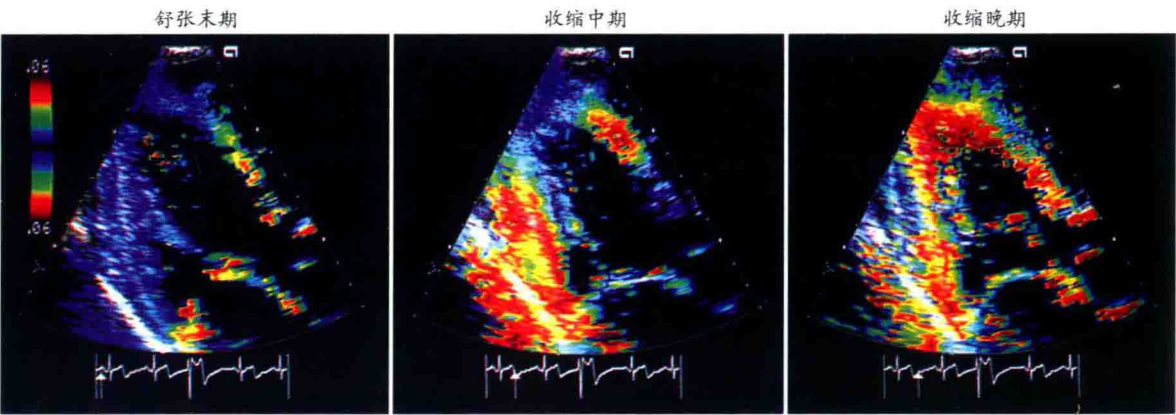


图 1-23 多普勒组织加速图(DTA)模式,按舒张末期、收缩中期和收缩晚期顺序地显示收缩脉冲通过左心室的过程。

从上图也可以看出,心肌在舒张期时由于无收缩传导波,所以呈现为蓝色的,但预激旁路或期前收缩发生时则呈现为明显的红色的加速度图谱改变,故有良好的定位性。由于正常心肌具有主动收缩而缺血心肌呈被动牵拉,所以DTA也能显示这种改变(图1-25)。DTA和DTV联合应用,更能用于鉴别心肌的活性。另外在鉴别心脏及大血管内心肌与非心肌组织,DTA亦能起到作用,非心肌组织同样由于等被动牵拉或摆动,所以不会显示出跨壁的高的加速度图变化,显示出位于左右肺动脉分叉处的肿物没有加速度的改变(图1-26及1-27)。

五、多普勒组织能量图(Doppler Tissue Energy, DTE)

DTE等采用实时的彩色编码,提供与运动组织背向散射力相关的多普勒信号中正常能量的空间分布(图1-28)。根据能量信号的强弱反映出心肌组织的灌注状态(图1-29)及正常人心肌的DTE图谱(图1-30)。

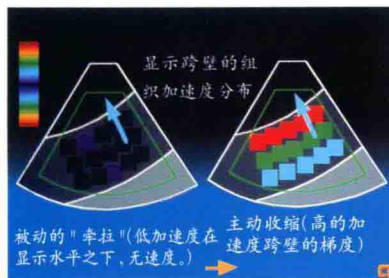


图 1-25 DTI 加速度图模式—室壁运动主动收缩



图 1-26 左右肺动脉分叉处肿物的二维显像



图 1-27 DTI 加速度图—左右肺动脉分叉处肿物无任何加速度变化

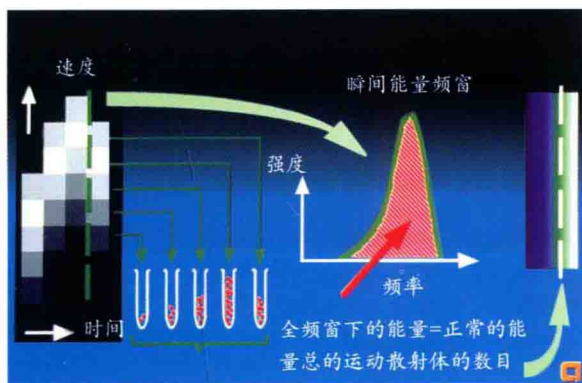


图 1-28 频谱多普勒和DTI能量图数据

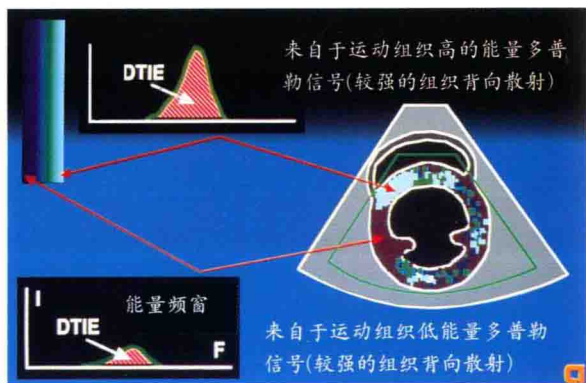


图 1-29 DTI 能量图模式

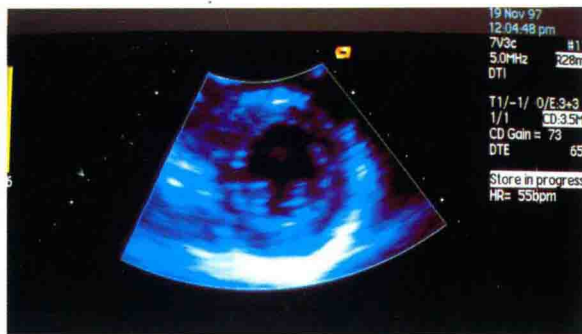


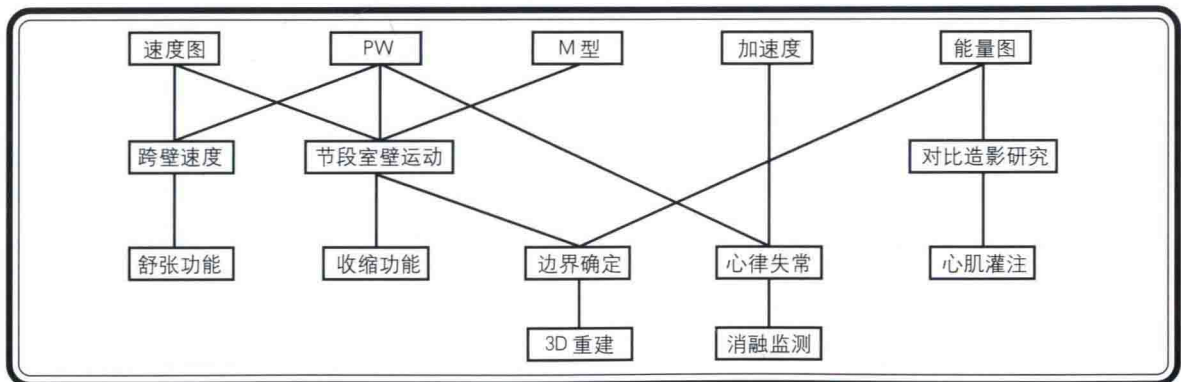
图 1-30 正常心肌的DTE显像

DTE 潜在的临床用途:

1. 组织活性的研究
2. 超声心肌对比造影剂的研究
3. 显像困难病人室壁轮廓的确认

心肌对比造影剂的注射可以增加心肌正常灌注区域DTE能量信号的水平。而非灌注的心肌节段则无这种DTE能量信号水平的提高, 因此, DTE是超声对比造影研究中心肌组织活性评估的重要工具。二次谐波DTE显像是评估心肌灌注的重要手段。

综合以上, DTI 的临床用途可以概括到以下示意图中:



二、多普勒组织成像技术及其临床应用

李治安^① 冀瑞平^②

Doppler Tissue Imaging and its Clinical Application

1992 年 McDicken 等人率先提出^[1]多普勒组织成像(Doppler tissue imaging, DTI)技术,随后此技术被广泛应用于临床分析心肌活动的功能,为临床心脏疾病的诊断与治疗提供了一种安全简便、无创的监测手段。现结合我们近期内的研究工作,将 DTI 技术及其临床应用现状简介如下。

一 DTI 技术原理及显示方法

1. DTI 技术原理

DTI 是在传统的检查心腔内血流的彩色多普勒基础上,通过改变多普勒滤波系统,除去心腔内血流产生的频移信号,只显示心肌运动产生的频移信号。心室壁运动与血流的多普勒信号主要有两点不同,首先,室壁运动速度($\leq 10\text{cm/s}$)明显低于心腔内血流信号($10-100\text{cm/s}$);其次,心室壁运动信号的振幅明显高于血流信号。传统的血流多普勒检测系统通过高通滤波器检测血流反射回来的高频低振幅频移信号,从而实现血流的检测(图 2-1)。而 DTI 则采用调节增益和低通滤波器,确定恰当的频率通过阈值,滤除血流反射回来的高频低振幅频移信号,只检测心室壁反射回来的低频高振幅频移信号(图 2-2),并进一步输入自相关和速度计算器,并进行彩色编码,通过数模转换器,将心脏室壁运动的信息实时展现。

多普勒组织成像技术原理(见图 2-3)。

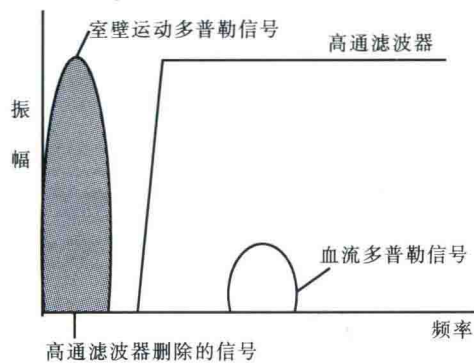


图 2-1 提取血流多普勒信号

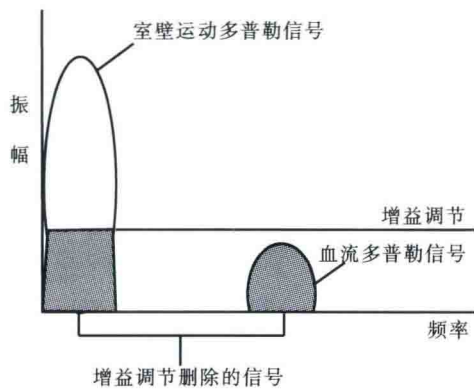


图 2-2 提取室壁运动多普勒信号

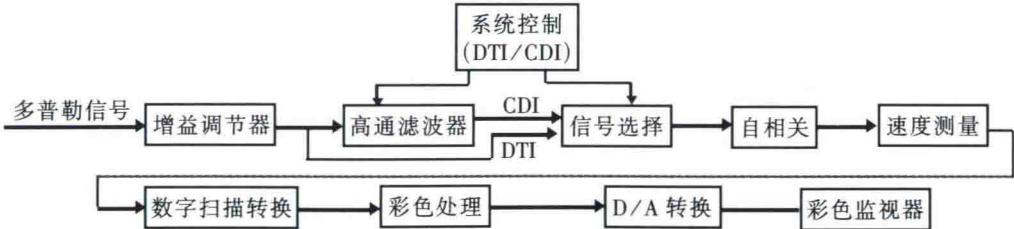


图 2-3 多普勒组织成像系统流程图(CDI:彩色多普勒血流成像 DTI:多普勒组织成像 D/A:数字模拟信号转换)

①同济医科大学附属协和医院超声影像科 430022
②博士研究生 同济医科大学附属协和医院超声影像科 430022

2. DTI 显示方法

通过低通滤波器的多普勒频移信号,经计算机处理后分别以不同的模式显示心肌运动信息。分别为速度模式(Velocity mode)、加速度模式(Acceleration mode)及能量模式(Energy mode)。三种 DTI 模式可用三种格式分别显示从点、线到面上的心肌运动信息。这三种显示格式为:脉冲、M 型及二维显示格式。

(1)速度模式:利用速度信息编码,可显示心室壁心肌的运动速度、分布和方向,显示速度范围多在 0.24m/s 内,速度分辨率可低至 0.026m/s 。显示方式有二维、M 型及脉冲多普勒频谱格式。其中二维显示格式主要表现断面上的速度分布情况;M 型显示格式主要表现心肌组织在一维结构上速度时相的变化。彩色编码为双向,以颜色的不同确定速度的方向,以色阶的不同区别速度大小。脉冲多普勒频谱显示格式主要用于定量检测局部心肌运动速度。同时可以在脉冲多普勒频谱检测基础上,将多普勒瞬时速度沿时间顺序展开形成多普勒速度描记图(Doppler Velocity Trace),以便实时追踪心肌运动速度的变化。

(2)加速度模式:利用特殊的电路逐帧记录速度变化,将前后的加速度编码成彩色图像,显示心室壁心肌加速度变化、分布和方向。显示方式为二维格式。彩色编码为单向或双向。

(3)能量模式:显示心室壁心肌在心动周期不同时相的多普勒能量值和分布,显示方式为二维格式,彩色编码为单向。

3. DTI 常用观测指标

(1)定性观察:主要采取二维图像进行定性观察。

①二维加速度图:以 ECG 为参照,观察心室壁运动加速度变化的起始点及分布范围。

②二维速度图:观察心室壁运动时色彩变化及强弱,反映室壁运动速度的方向及大小。

③二维能量图:以色彩亮暗反映多普勒信号能量的高低。

④M 型速度图:精确反映心动周期不同时相室壁运动速度的大小及方向。

(2)定量指标:主要采取脉冲多普勒频谱图进行定量观测。

①心肌运动速度(myocardial velocity):将多普勒取样容积置于室壁局部的“感兴趣区”内,可获得局部心肌等容收缩波(V_{IVC})、收缩波(V_s)、等容舒张波(V_{IVR})、舒张早期波(V_E)、舒张晚期波(V_A)的瞬时运动速度,由此可计算出峰值速度、平均速度、加速度、减速度及时间速度积分。

②心肌运动速度阶差(myocardial velocity gradient, MVG):心内膜与心外膜心肌运动速度之差除以室壁厚度,此值不受心脏空间位置移动及多普勒入射角的影响,更准确反映局部心肌的舒缩功能。

③二尖瓣环运动速度:测量二尖瓣环上 6 个位点平均峰值速度,受前负荷状态影响较小,更准确反映整体左室收缩、舒张功能。

④时间间期:以心电图为参照,应用脉冲多普勒频谱图测量局部收缩波及舒张波出现的时间及持续时间。也可应用 M 型 DTI 彩色速度图谱,清晰划分出心动周期的时相,用于准确测量时间间期。

二 DTI 技术的实验研究

为证实 DTI 技术的准确可靠性,国内、外学者进行了大量的实验研究,以期 DTI 技术的临床应用提供实验基础。

1. 组织模拟模块实验

1989 年 Isaaz 等人提出脉冲波技术可用于监测左室后壁运动,1992 年苏格兰学者 McDicken^[1]等用组织模拟模块实验,检测 DTI 技术对组织运动的时间和空间分辨能力。作者将一钻有小孔道的柱状泡沫塑料固定于马达上,置于水槽中以不同的速度进行旋转,同时采用多普勒组织显像速度模式检测柱状泡沫塑料横断面上的速度值、方向和分布,并与实际的旋转速度和方向进行比较,结果发现这一技术能够准确反映模拟组织的运动速度和方向。1994 年 Sutherland^[2]等人为评价 DTI 检测速度的空间分辨力,采用两块斜面胶体,使凸面胶条在相对应的沟槽内做滑动运动。结果发现 DTI 技术准确反映了速度在空间位置上的分布和数值,表明该技术具有同时反映器官组织解剖结构和运动信息的能力。Moran 等人^[3]应用模块实验进一步证实 DTI 能量模式可较准确评价组