维普资讯 http://www.cqvip.com

多普勒超声——非创伤性定量诊断主动脉瓣狭窄

第一医院内科心血管组 张 梅 综述 陈运贞 审校

中图分类法 R540.45

主动脉瓣狭窄（Aortic Stenosis)一般存在临床特征，如心绞痛、晕厥、左室肥厚、主动脉瓣区收缩期震颤、第二心音减弱及递增一递减型收缩期杂音，但狭窄程度与临床特征并不呈平均关系。心音图上杂音菱蜂后延及二维超声心动图收缩期最大主动脉瓣开放间距减小等，很难定量判断AS[1-3]。多年来估计AS程度的可信方法为左心导管术．但是，由于属创伤性检查，未能广泛应用于临床。

1956年Satomum首次将多普勒效应用于血流速度探测。1977年Holen[4]等以多普勒超声对二尖瓣狭窄作定量诊断。随后Hatle与Angelson等（1980年)用连续式多普勒超声获得主动脉瓣最大射血速度，并以简化Bernoulli公式预测主动脉瓣跨瓣压差[5]。从此，许多学者将多普勒超声测量的血流速度代入连续公式，计算心输量和主动脉瓣口面积，从而较准确地估计AS严重程度[6-15]。

原　理

一般认为，正常血液为层流，血流中央速度较快，周围较缓。当管腔某处变窄或扩张时，层流变为湍流，即血液向多个方向以不同流速移动，且流速加快。

管腔狭窄的程度和血流量的多少直接影响血流速度。两者关系是：平均流速＝血流量/（Cc×瓣口面积），（Cc是瓣口射血收缩系数）。即流速随流量增大，随瓣口面积减小而增大。根据这一流体力学原理，若测出流经主动瓣血流平均速度和心输量，则能预测主动脉瓣口射血面积。

经狭窄主动脉瓣口的血液为高速高密度层流，即射流。当射流保持一段距离后，变层流为湍流[16]。

血管内运动着的红细胞能够对高频声波产生反射，由于发射声源与血流（声波接受者）之间存在相对运动，从而可使声波的原始发射频率发生改变，这种现象称多普勒效应。当血流方向面对声源时音频增加，反之，当血流背离声源时则音频降低，这种改变称频移frequency shift以Δf表示）。声源与红细胞的相迎运动为正性频移，背离运动为负性频移。频移大小取决于发射频率（f_0）、红细胞运动速度（V）、声波在人体组织中的传播速度（C，大约1540m/s)及其与运动方向的夹角（θ)。以频移值获得血流速度的多普勒方程式为：$V=\Delta f\times C/(2f_0\times\cos\theta)$.AS的多普勒频谱示收缩期血流加速和频谱增宽。

测量方法及内容

1. 主动脉瓣口最大血流速度

用连续式多普勒（CW）能探测到主动脉瓣狭窄口的最大血流速度。与脉冲式多普

维普资讯 http://www.cqvip.com

勒相比，探测高速射流时，连续式不会出现频率混叠现象（aliasing），且其频谱较脉冲式清晰可辨。Otto等于心尖位探测48例AS的最大流速，88%获得成功，胸骨上窝成功者占12%Skjaerpe等于心尖、胸骨右缘及上窝，甚至左右锁骨上窝等窗位仔细探测，30例均获满意结果。Williams等研究了52例平均年龄63岁AS患者，51例获得至少一个探查窗的成功，其中93%在心尖位获得，69%在胸骨上窝，胸骨右缘探测最难，仅49%获得成功。他们还发现心尖位探测的流速（3.6±1.1 m/S）与胸骨右缘探测的流速（3.5±1.0 m/S）相近，胸骨上窝流速最低（2.3±0.9 m/S）。流速的探测还受年龄的影响，40—60岁患者的流速被低估19%，60岁以上者被低估31%[17]。也有报道极少数病例无满意的连续式多普勒流速信号[10 15]。因此，探测主动脉瓣口最大流速最常用心尖位。由于瓣膜畸形和狭窄后或老年性主动脉扩张，可使射血方向偏心，所以最好的探测方法是于心前各探测窗仔细探查，以便较准确地获得最高啸声频率。最清晰、无频谱分散和边缘连续光滑的频谱图，即最大血流速度频谱。

综上所述，连续式多普勒超声是当前探测主动脉瓣口最大血流速度的可靠方法。虽然技术要求高，但经过仔细、全面探查能获得满意结果。从最大血流速度频谱图中可测到峰速和平均流速。

（1）峰速即频谱图中绝对值最大的血流速度。正常成人主动脉血流速度为1.35 m/S(1.00—1.70M/S)[18]。AS的瓣口峰速与心导管的瞬时最大压差相关良好，主动脉瓣口峰速反映了左室—主动脉的最大压差，往往出现在收缩早期[7,19]。

Jae 等认为峰速与 AS 程度不一致；在他们的资料中峰速 ≥4.5M/S 对于严重AS（主动脉瓣口面积≤0.75cm²）的诊断具有高度特异性（9.3%），但敏感性低(44%)；峰速<4.5m/S的70例中严重AS占50%；心输量<4.0L/min的38例中76%为严重AS，其中峰速≥4.5m/S者仅34%；左室射血分数<40%的15例严重AS，73%峰速<4.5 m/s，其它研究结果也相似[6]。由此认为峰速随左室功能减退而减小，随心输出量增加而加速。故峰速不能准确预测AS程度。

（2）平均流速（Mean Velocity）：将满意的频谱图作不规则曲线积分（即求面积），并除以左室射血时间（ET），即为收缩期平均流速。学者们发现Vmean与心导管的左室—主动脉平均压差相关良好[15-19]。以平均流速预测平均压差是可靠的，但不能正确估计AS程度。

2. 左室流出道横断面积

左室流出道直径随心搏变化较小，易探测，在此处测量后计算心输量比在二尖瓣环，肺动脉及主动脉更准确而常用。

多数人采用胸骨旁长轴切面，于收缩中期或早期在主动脉瓣环下 0.5—1.5cm 处测量。用圆面积公式计算左室流出道横断面积：面积$=\pi\times(直径/2)^2$。

3. 左室流出道血流速度

脉冲式多普勒在二维超声显象指导下，于心尖五腔切面或心尖长轴切面，先将取样容积定位于左室流出道下部，逐渐上移至流速陡然上升以前[9]，也可以从主动脉瓣叶处往下移动以获得第一个左室流出道流速为止[13]。必须注意，左室流出道直径与其流速应在同一水平测量，因为当面积改变时，为了维持同样血流量排出，流速必然改变。左室流出道峰速一般不超过1.0m/s。

4. 左室射血时间

Ohlesson等发现多普勒射血时间与心导管压力曲线上射血时间无差异，但个别病例由于两种检查非同步进行，心率差异使两种射血时间相关性差。然而，两种方法的每分钟总收缩期射血时间（射血时间×心率）相关良好（$r=0.74$ SEE=1.9s/min）。[7]

维普资讯 http://www.cqvip.com

计算方法

1. AS口最大压差(Δp_{max})

狭窄的主动脉瓣口两端存在压差，根据能量守恒原理，即压力能量的变化等于射血时最大流速的动能，用 Bernoulli 公式计算此压差：

$$P_1-P_2=\frac{1}{2}\rho(v_2^2-v_1^2)+\int_1^2 dv/dt \times ds+R(v)^5$$

P_1-P_2为 $LVOT$ 和主动脉最大压力阶差ΔP_{max}(mmHg)，ρ为液体密度（当压差为mmHg，流速为m/s单位时，P为3.98，为了便于计算，大多数学者定为4.0，v_2为主动脉瓣口流速(m/s)，v_1为$LVOT$流速(m/s)，$dv/dt\times ds$为速度随时间和距离的变化，即血流加速度，$R(v)^5$为血液粘滞系数。[16]

Holen 等认为在稳定血流中，如果雷诺氏指数足够大，消耗在血液粘滞中的能量比消耗在血液流动中的能量小，可以忽略不计；当压差具有临床意义时，狭窄口的射流速度和能量最大，而射流下游的能量消失，所以压差可以简单地等于狭窄口的血流动能，忽略血流加速度作用；一般 $LVOT$ 流速不超过 1m/s，对压差影响小，仅 4mmHg 以下，故也可不计。所以简化 Bernoulli公式为：

$$\Delta P_{max}=4v_{2(max)}^2 \qquad (1)$$

($v_{2(max)}$为主动脉瓣口峰速)。

近年，学者们将此公式运用于 AS 口压差的预测。Zoghbi等对39例成年患者作了多普勒最大压差与心导管峰一峰压差比较，r=0.90 SEE=13mmHg。Lima等对16例儿童AS 的研究发现多普勒最大压差与心导管瞬时最大压差相关良好(r=0.94，SEE=7.5 mmHg)。Otto等还用 $4(v_2^2-v_1^2)$公式计算，所得压差与心导管峰一峰压差的相关系数r为0.77，与公式(1)计算的相关性(r=0.79)无明显差别。

据此可以认为，简化 Bernoulli 公式可以预测 AS 压差，但因忽略了血流加速度和粘滞度对压差的影响，常会产生低估现象。

2. AS口平均压差(ΔP_{mean})：

即在瓣口测得平均流速 (v_{mean}) 经简化 Bernoulli公式计算的压差。

$$\Delta P_{mean}=4\times v_{mean}^2 \qquad (2)$$

Cannon 等建立了一个搏动血流模型，用以观察在不同瓣口面积和不同心输出量情况下多普勒超声预测ΔP_{mean}的准确性，结果表明轻、中度AS的ΔP_{mean}较重度AS稳定和可靠，提出平均流速能预测AS程度，且不受心输量变化的影响。[20]

尽管如此，多普勒流速及压差均因简化的Bernoulli 公式的限制和受心搏量影响，只能对AS作定性或半定量诊断。

3. 心搏量(SV)和心输量(CO)

Otto 等研究认为正常人及 AS 者取 $LVOT$ 部位的流速能准确测得SV。因为AS常伴有二尖瓣环钙化和关闭不全，影响二尖瓣环直径的测量和经瓣流量，使二尖瓣血流量很难代表心输量。肺动脉血流量几乎等于心输量，但显象不够清晰。故测算 AS 程度时，测定心输量最好取 $LVOT$ 部位。若伴有主动脉瓣返流时，可在肺动脉瓣环或二尖瓣环处测量。

计算公式如下：

$$SV=LVOT_{area}\times V_{mean}\times ET \qquad (3)$$

(SV：为每搏量ml，$LVOT_{area}$为左室流出道横断面积cm²，v_{mean}为 $LVOT$平均流速m/s，ET为左室射血时间s)。在多普勒频谱图上，$V_{mean}\times ET$即 $LVOT$ 收缩期血流速度积分缩写为SVI，故公式可以改写为：

$$SV=IVOT_{area}\times SVI_{LVOT} \qquad (4)$$

4. 主动脉瓣口面积(aortic valve area, AVA)

狭窄的主动脉瓣口是固定的，不受血流

维普资讯 http://www.cqvip.com

速度和压差影响，因此预测主动脉瓣口面积是正确估计AS程度的可靠方法。80年代早、中期，有人用多普勒超声与侵入法结合预测主动脉瓣口面积[7,14,18]。1985年以后陆续有作者报道单用多普勒超声作非创伤性估计[8,9,10,16]。迄今，有以下两种方法预测主动脉瓣口面积。

（1）连续公式：

设想流体流过一个直径变化的管段AB，流入端A的总流量必然等于流出端B的总流量[21]。同理，在无分流存在的$LVOT$流量等于主动脉瓣口流量。故得连续公式：

$$SV=LOVT_{area}\times SVI_{LVOT}=AVA\times SVI_{AO} \quad (5)$$

$$\therefore AVA=(LVOT_{area}\times SVI_{LVOT})/SVI_{AO} \quad (6)$$

（SVI_{AO}为主动脉瓣口收缩期血流速度积分）。

许多研究表明，多普勒预测AVA与心导管预测值（用热稀释法或Fick法获得CO，Gorlin公式计算AVA）相关良好[8,9,10,16]。通常，用多普勒测算AVA比心导管法计算的AVA小。Requarth等于体外模型的研究发现多普勒对于较大主动脉瓣口面积预测准确，而由于不正确使用射血层流理论于高速非层流，预测小瓣口面积的偏差大[11]。相反，Jack等则认为AVA>1.0cm²时多普勒和心导管检测值差异较大[15]。Skjaerpe认为对于较大瓣口面积往往低估。以上差别可能与操作技术、病例数和狭窄程度，以及与侵入性检查是否同步有关。尽管如此，计算方便的(6)式仍常被采用。

由于收缩期血流速度积分复杂，且$LVOT$射血时间与主动脉瓣口射血时间相等，Zoghbi等将血流速度频谱图视为半椭圆形，即$SVI=ET\times V_{max}\times\pi/2$，(6)式可简化为：

$$AVA=LVOT_{area}\times(ET\times V_{max(Lvot)}\pi/2/(ET\times V_{max(AO)}\times\pi/2)$$

$$=LVOT_{area}\times V_{max(LVOT)}/V_{max(AO)} \quad (7)$$

（$V_{max(LVOT)}$为LVOT最大流速m/s，$V_{max(AO)}$为主动脉瓣口最大流速m/s）。

作者将(7)式计算的AVA与心导管AVA比较相关好（$r=0.94$，$SEE=0.16$）[13]。

（2）Gorlin公式和简化Gorlin公式：

1951年Gorlin R和Gorlin SG用两个物理公式推导出计算各瓣口面积公式，即著名的Gorlin公式[22]。30多年来被临床医生视为对瓣膜定量诊断的唯一可靠方法。公式如下：

$$A=F/(C\times 44.5\times\sqrt{P_1-P_2}) \quad (8)$$

（F为流经主动脉瓣口血流量ml/s，即等于CO/(ET×心率)或SV/ET；A为瓣口面积(cm^2)；Gorlin R和Gorlin SG将心导管AVA与尸解测量AVA比较，得出C的经验常数，定主动脉瓣C值为1.0。改写(8)式为：

$$AVA=SV/(44.5\times ET\times\sqrt{\Delta P_{mean}}) \quad (9)$$

多普勒超声能获得SV、ET和P_{mean}三个未知数，故学者们也用Gorlin公式于多普勒超声对AS的定量诊断。

综上所述，不难看出多普勒与心导管非同步检测AVA时因心输量变异大使结果各异，而同步检测相关良好。可以认为多普勒超声估价AS程度是可靠的。预测的AVA为射血柱面积，比侵入性的解剖面积更真实地反映了AS严重程度。

多普勒超声检测AS的限制性

多普勒超声对AS的定量诊断受操作技术的限制，高水平的操作技术方能获得最大血流速度，否则将低估AS程度。当声束与血流夹角θ不等于0°时，将低估血流速度。准确测量左室流出道收缩期最大直径对计算AVA也是很重要的。

计算中的若干假设条件也是多普勒超声预测主动脉瓣狭窄程度的限制之一。

人体血流动力学变化大，受许多因素影

维普资讯 http://www.cqvip.com

响，压差、流速及瓣口面积的精确判断无法以公式表示，但众多学者们将多普勒及其诊断主动脉瓣狭窄的有关计算与创伤性检查对照研究，表明多普勒能比较准确估价狭窄程度，且其非创伤性和能定期随访，弥补了导管术的不足。随着多普勒超声技术的逐步完善和广泛运用，该技术将有取代心导管对主动脉瓣狭窄程度判断的可能。

（收稿日期1989-10-11）

参 考 文 献

[1] Godley R W, et al. Chest 1981; 79:657

[2] Weyman A E, et al. Circulation 1975; 52:828

[3] Demaria A N, et al. Circulation 1980; 62:304

[4] Holen J, et al. Acta Med Sand 1977; 201:83

[5] Hatle L, et al. Br Heart J 1980; 43: 284

[6] Otto C M, et al. J Am Coll Cardiol 1986; 7:509

[7] Ohlsson J, et al. J Am Coll Cardiol 1986; 7:501

[8] Kosturakis D, et al. J Am Coll Cardiol 1984; 3:1256

[9] Skjaerpe T, et al. Circulation 1985; 72:810

[10] Teirstein P, et al. J Am Coll Cardiol 1986; 8:1059

[11] Requarth J A, et al. Am J Cardiol 1984; 53:1369

[12] Otto C M, et al. J Am Coll Cardiol 1987; 9:236A

[13] Zoghbi W A, et al. Circulation 1986; 73:452

[14] Warth D C, et al. Circulation 1984; 70:978

[15] Jae K O, et al. J Am Coll Cardiol 1988; 11:1227

[16] Goldberg S J, et al. Doppler Echocardiography. Philadelphia, 1985, Lea & Febiger, P114

[17] Williams G A, et al. Am J Cardiol 1985; 55:445

[18] Hatle L et al. Doppler Ultrasound in Cardiology. Philadelphia, 1982, Lea & Febiger, P72-89

[19] Shah P M. Doppler Echocardiography ——a practical manual. New York, 1985, John Wiley & Sons, P58

[20] Cannon S R, et al. Circulation 1985; 71:129

[21] Segal J S, et al. J Am Coll Cardiol 1987; 9:1249

[22] Gorlin R & Gorlin S G. Am Heart J 1951; 41:1

简 讯 使用全国自然科学名词审定委员会公布的科技名词

科技名词的审定和统一是一个国家科学技术发展的重要标志。1985年经国务院批准成立全国自然科学名词审定委员会，至1989年年底该委员会已经审定公布了《天文学名词》、《大气科学名词》、《土壤学名词》、《地理学名词》、《地球物理学名词》、《物理学名词（基础物理学部分）》、《微生物学名词》、《林学名词》、《医学名词（第一分册）》等九个学科的规范名词，今后还将陆续公布其它学科的名词。这些名词的公布为我国科学技术名词的规范化，促进中外学术交流将起到重要作用。

为此，国家科委、中国科学院、国家教委、新闻出版署于1990年6月23日联合会发文（90）科发出字0698号通知如下：

1. 各新闻单位通过各种传播媒介宣传名词统一的重要意义，并带头使用已公布的名词。

2. 各编辑出版单位今后出版的有关书、刊、文献、资料、要求使用公布的名词。特别是各科工具书，应把是否使用已公布的规范词，作为衡量该书质量的标准之一。

3. 凡已公布的各学科名词，今后编写出版的各类教材都应遵照使用。

使用过程中有何建议或意见，可及时反馈给该委员会办公室（地址：北京东黄城根街16号，邮政编码，100707）。

（科研处 周永华）