

经导管主动脉瓣置入术围术期超声心动图检查专家共识

中华医学会超声医学分会超声心动图学组《经导管主动脉瓣置入术围术期超声心动图检查专家共识》写作组

近年来开展的经导管主动脉瓣置入术（transcatheter aortic valve replacement, TAVR 或 transcatheter aortic valve implantation, TAVI）已成为不能耐受外科手术治疗的重度主动脉瓣狭窄患者的替代治疗方案^[1]。鉴于我国庞大的人口基数和日益加剧的人口老龄化趋势，重度主动脉瓣狭窄患者的患病率亦越来越高，该技术在我国有着广泛的应用前景。

超声心动图和 CT 技术被推荐作为术前评估主动脉瓣根部复杂解剖结构的主要影像学方法，而围术期超声心动图则起着至关重要的作用，其不仅能在介入手术中确定人工瓣膜支架置入位置是否正确，人工瓣膜功能是否良好，而且能在术中及术后即刻监测和评估 TAVR 相关并发症，为该手术保驾护航。针对即将在国内广泛开展的这项技术，并鉴于超声心动图在围术期中不可替代的作用，为了保证 TAVR 能顺利开展，我国心血管超声专家结合国内外相关指南、共识和最新研究进展，根据我国国情起草了《TAVR 围术期超声心动图检查专家共识》。

目前的指南均强调要顺利完成 TAVR 手术，必须要多学科的合作团队，其中超声心动图医师在术前筛查、术中监测以及术后即刻评估中都扮演着重要的角色，因此作为超声心动图医师必须要熟悉主动脉根部复杂的解剖结构、TAVR 手术过程、各种人工瓣膜的特点以及可能在术中任何环节出现的并发症等。

1 TAVR 人工瓣膜

自 2002 年 Cribier 等完成全球首例 TAVR 以来，该技术经过 10 余年的迅速发展，现已日趋成熟。据估计，全球已有约数十万名患者接受 TAVR 治疗，而适用于做 TAVR 的人工瓣膜也各式各样，多达几十种，目前最常见的为自膨瓣和球扩瓣。自膨瓣主要以 CoreValve™瓣膜为代表，球扩瓣以 SAPIEN™为代表。在我国目前上市的有两种瓣膜，一种是 Venus-A 瓣膜，也是自膨瓣，主要经股动脉途径置

入，用于主动脉瓣狭窄为主的患者；另一种是 J-Valve™瓣膜，属于球扩瓣，该瓣膜可以用于单纯主动脉瓣反流的患者，亦可用于主动脉瓣狭窄患者，经心尖途径置入。TAVR 术中根据主动脉瓣环径以及主动脉根部解剖特点选择人工瓣膜型号，不同厂家推荐适合的尺寸不一样，以自膨瓣（表 1）和球扩瓣（表 2）为例。

表 1 自膨瓣 CoreValve 人工瓣膜型号的选择

人工瓣膜 型号	主动脉瓣环相关径线		
	平均直径范围 (mm)	周长范围 (mm)	面积范围 (mm ²)
23 mm	18~20	56.5~62.8	254.5~314.2
26 mm	20~23	62.8~72.3	314.2~415.5
29 mm	23~27	72.3~84.8	415.5~572.6
31 mm	26~29	81.7~91.1	530.9~660.5

表 2 二代 (SAPIEN XT) 和三代 (SAPIEN 3) 球扩瓣人工瓣膜型号的选择

人工瓣膜 型号	主动脉瓣环相关径线		
	标准面积 (mm ²)	二代球扩瓣适用的 面积范围 (mm ²)	三代球扩瓣适用的 面积范围 (mm ²)
20 mm	314	257~310	273~345
23 mm	415	298~410	338~430
26 mm	531	420~530	430~546
29 mm	661	530~660	546~683

1.1 经股动脉“逆向”路径

根据瓣膜的尺寸，经股动脉植入技术应用内径为 22~24F 的引导鞘管^[2]。在建立股动脉血管通道后，在快速右心室起搏的同时进行主动脉瓣球囊扩张成形术。随后，将瓣膜支架套在输送球囊上，在 X 线透视引导下，应用可手动弯曲的导管，使瓣膜无损伤地顺利通过主动脉弓，并使引导钢丝从自身瓣膜交界的中央通过。然后在透视和（或）经食管超声心动图（TEE）的引导下将瓣膜放置在冠状动脉开口水平以下。一旦到达正确的位置，就在快速右心室起搏下将瓣膜展开。

1.2 经心尖路径

这种侵入性稍强的方法需要在左侧胸壁前侧方做小切口，理想条件是在杂交手术室实施。在局部消毒之前，首先要通过触诊确定心尖的位置，并用经胸超

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4477.2018.02.001
通信作者：张运，Email: yun-zhang@163.com；张梅，Email: daixh@vip.sina.com；唐红，Email: hxyyth@qq.com

声心动图（TTE）证实。随后，在近左心室心尖部切开心包，再将一根鞘管直接插入左心室腔，然后在透视和 TEE 的引导下将导引钢丝穿过主动脉瓣。其后在快速起搏下，进行主动脉瓣球囊扩张成形，然后插入 26F 鞘管，打开人工瓣膜^[2]。

1.3 经升主动脉路径和经锁骨下动脉路径

这两种路径相对应用较少，一般用于不能行常规的经股动脉路径和（或）经心尖路径时，例如患者下肢血管解剖条件不佳和（或）左室收缩功能下降。该方法特点是路径短^[3]，可操作性强，可放置脑保护装置，缺点是创伤相对较大，出血量较多。经锁骨下动脉路径与经股动脉路径类似，穿刺位置不同，路径相对较短^[4]。

2 TAVR 术的主要适应证

目前指南仍推荐 TAVR 适用于高风险的重度主动脉瓣狭窄患者，但 TAVR 的适应证有望逐渐扩大，包括中危的重度主动脉瓣狭窄的患者^[5]，部分研究发现 TAVR 亦可应用于二叶式重度主动脉瓣狭窄的患者^[6-9]和单纯主动脉瓣反流的患者^[10]。2017 年 ACC 专家共识^[1]提出应用胸科医师学会（STS）评分来评估死亡风险，<4%为低风险，4%~8%为中风险，>8%为高风险。其他可能增加介入风险和影响预后的情况包括左室收缩和舒张功能、重度二尖瓣反流或狭窄、重度肺高压，这些指标术前筛查均可通过超声心动图完成。对于临床适合行 TAVR 治疗的患者需要应用血管造影、多层螺旋 CT（MSCT）或磁共振成像等技术对外周血管的粗细、弯曲度和钙化等进行评估，以选择经股动脉、经心尖、经升主动脉或经左锁骨下动脉作为介入治疗路径。

3 TAVR 术前超声评估

术前筛查主要应用超声心动图来评估瓣膜的结构、功能以及心室的大小和功能，具体见表 3。

表 3 TAVR 术前超声评估要点

评估项目	评估内容
主动脉瓣和主动脉根部	
主动脉瓣叶形态	二叶式(分型)或三叶式 瓣叶钙化程度及分布
跨主动脉瓣血流动力学	跨主动脉瓣的压差和有效瓣口面积 每搏量
主动脉瓣环径	最大径和最小径 周长 面积
左室流出道	钙化程度及分布 有无室间隔基底段明显肥厚
主动脉根部径线和钙化评估	主动脉窦直径和高度 窦管交界直径和钙化程度 冠脉开口位置和高度,预估堵塞风险
二尖瓣结构和功能	二尖瓣反流程度 有无二尖瓣狭窄 有无二尖瓣前瓣钙化
左室结构和功能	左室壁运动评估 排除心腔血栓 左室质量,左室壁厚情况 收缩功能和舒张功能
右心结构和功能	右室大小和功能 三尖瓣形态和功能、反流程度 估测肺动脉收缩压

3.1 主动脉瓣狭窄程度

主动脉瓣狭窄程度的评估是能否行 TAVR 的第一步，对于主动脉瓣狭窄的评估 2017 年 ASE 指南^[11]在 2009 年指南^[12]的基础上做了更新。测量指标主要包括跨主动脉瓣压差、瓣口面积等（表 4，5）。

3.1.1 跨主动脉瓣血流速度、平均跨瓣压差的测量

使用连续多普勒在多个切面测量后取最大值（最大值一般在心尖五腔心、心尖三腔心、胸骨右缘或胸骨上窝切面获得，极少数在剑突下切面或锁骨上窝切面获得），在测量时尽量使跨主动脉瓣口的血流方向和超声声束平行，这样更容易获得最大值。特别需要注意的是二叶式主动脉瓣狭窄的患者，排列方式不一样则血流方向以及获得最大值的切面亦不一样（图 1）。

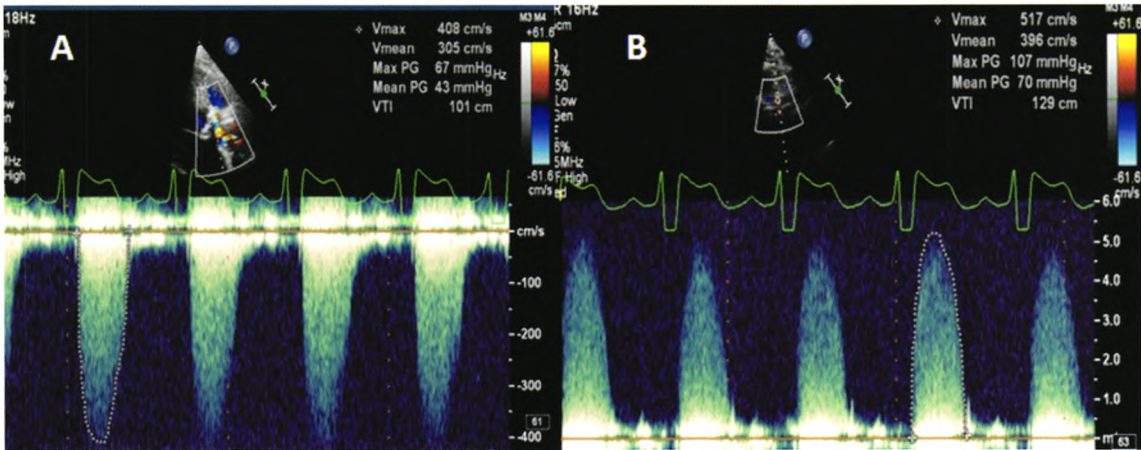


图 1 主动脉瓣重度狭窄患者，左图为心尖三腔心所测的主动脉瓣口血流速度及平均跨瓣压差（43 mmHg），右图为胸骨右缘升主动脉长轴切面测得更大的血流速度及平均跨瓣压差（70 mmHg）

表 4 超声心动图评估主动脉瓣狭窄程度主要指标的优势和局限性

指标	概念	优势	局限性
主动脉瓣狭窄射流速度	速度随着狭窄程度加重而增加	直观,临床预后的强烈预测因子	声束需与血流相平行,血流依赖性
平均压差	根据伯努利方程通过流速计算压力阶差	通过描计速度曲线得到平均压差与心导管方法得出的数据相关性好	其准确性依赖于流速数据,血流依赖性
瓣膜面积连续方程	通过狭窄口和狭窄口近端的血流量相同	测量有效瓣口面积;适用于几乎所有患者;血流依赖性相对较小	需要左室流出道直径和流速以及主动脉流速数据,可能存在测量误差
速度比值	以左心室流出道面积比例表示有效瓣膜面积	无需测量左室流出道大小,仅用多普勒法即可,比连续方程变异度更小	纵向数据有限,左心室流出道除了受体型大小影响外,该方法还忽视了流出道大小的变异性

表 5 主动脉瓣狭窄程度的分级标准

主动脉瓣狭窄程度	峰值流速(m/s)	平均压差(mmHg)	主动脉瓣口面积(cm ²)	主动脉瓣口面积指数(cm ² /m ²)	速度比值
轻度	2.6~2.9	<20	>1.5	>0.85	>0.50
中度	3.0~4.0	20~40	1.0~1.5	0.60~0.85	0.25~0.50
重度	≥4.0	≥40	<1.0	<0.6	<0.25

3.1.2 有效瓣口面积的测量

主要根据连续方程计算瓣口面积(证据级别 1 级): $AVA = (CSA_{LVOT} \times VTI_{LVOT}) / VTI_{AV}$ (CSA_{LVOT} : 左室流出道面积; VTI_{LVOT} : 左室流出道血流速度积分; VTI_{AV} : 主动脉瓣前向血流速度积分)或简化的连续方程 $AVA = (CSA_{LVOT} \times V_{LVOT}) / V_{AV}$ (V_{LVOT} : 左室流出道血流速度; V_{AV} : 主动脉瓣前向血流速度)。

左室流出道内径(LVOTd)的测量应在胸骨旁左室长轴局部放大切面,在收缩中期用内缘到内缘的方法从室间隔测到二尖瓣前叶,测量的位置推荐在主动脉瓣环下 5~10 mm 处(图 2),若室间隔基底段肥厚者, LVOTd 的测量位置推荐在主动脉瓣环下 1~2 mm 处^[13]。左室流出道面积的计算公式: $CSA_{LVOT} = \pi \times (LVOTd/2)^2$ 。左室流出道血流速度的测量推荐在心尖五腔心切面或心尖三腔心切面,与 LVOTd 的测量位置一致,用脉冲多普勒将取样容积放在近主动脉瓣环处获得较平滑的频谱曲线(图 3)。

连续方程计算 AVA 最大的缺陷在于左室流出道的形态默认是圆形,但往往真实的左室流出道是椭圆形的,所以左室流出道的面积会被低估,进而有效瓣口面积(EOA)亦会被低估。通过三维经食管超声心动图(3D TEE)或 MSCT 直接测量左室流出道的面积可以避免这种情况。另外可应用三维经胸超声心动图(3D TTE)测量每搏量(SV)来计算 EOA,公式为 $EOA = SV / VTI_{AV}$ ^[14]。

测量主动脉瓣口的解剖面积可以作为应用多普勒估测有效瓣口面积的替代方法,但解剖面积的直接测量有一定难度,特别是瓣叶钙化严重时。如果需要测量推荐应用 TEE 来测量,尤其是 3D TEE(图 4),

既往研究发现三维超声直接测量主动脉瓣口面积与导管测量和多普勒测得的有效瓣口面积相关性较好^[15]。

3.1.3 主动脉瓣狭窄严重程度评估

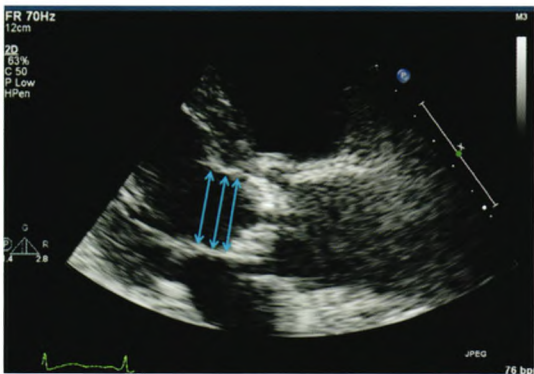


图 2 胸骨旁左室长轴局部放大切面,在收缩中期用内缘到内缘的方法从室间隔测到二尖瓣前叶(绿色箭头所示),在很多病例中(例如这例患者)主动脉瓣环下 1 cm 内的左室流出道横切面近似长方形,所以即使在不同部位(三个绿色箭头示)所测得的径线均可使用

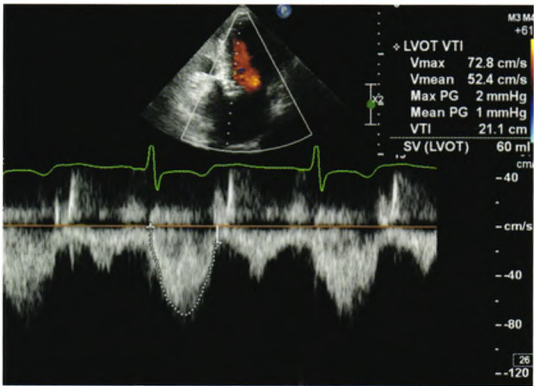


图 3 心尖五腔心切面,用脉冲多普勒(PW)将取样容积放在近主动脉瓣环处获得较平滑的频谱曲线,测量左室流出道的速度和速度积分

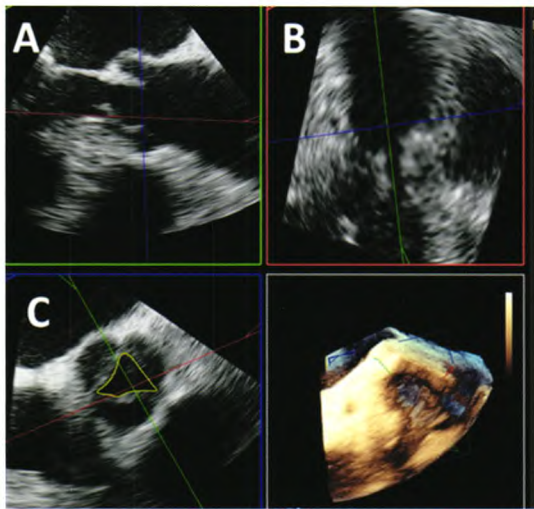


图 4 经食管三维超声心动图，采集三维图像导入三维分析软件后，调节矢状面（图 A）、冠状面（图 B）及横切面（图 C），使得图 A、B 中蓝色线刚好过主动脉瓣口平面，即为三维重建后获得的主动脉瓣口横切面图像（图 C），并在收缩中期测量主动脉口的解剖面积（图 D）

根据 2017 年 ESC/EACTS 关于瓣膜病管理指南^[16]，重度主动脉瓣狭窄的定义为：跨主动脉瓣最大速度（ V_{max} ） ≥ 4 m/s，或者跨主动脉瓣平均压力阶差（ $mean \Delta P$ ） ≥ 40 mmHg，或者 $AVA < 1.0$ cm^2 （ < 0.6 cm^2/m^2 ）。对于低流速低跨瓣压差低左室射血分数（ $EF < 50\%$ ）的患者，即 $AVA < 1.0$ cm^2 ， $V_{max} < 4$ m/s，或者 $mean \Delta P < 40$ mmHg，行多巴酚丁胺负荷试验后 $AVA < 1.0$ cm^2 同时 $V_{max} \geq 4$ m/s 即为重度狭窄。对于低流速低跨瓣压差正常左室射血分数（ $EF > 50\%$ ）的患者，即 $AVA < 1.0$ cm^2 ， $V_{max} < 4$ m/s，或者 $mean \Delta P < 40$ mmHg，若患者左室壁明显肥厚，左室心腔较小，每搏量（SV） < 35 ml/ m^2 ，且测量时患者血压正常，亦为重度主动脉瓣狭窄。对于超声不能判断为重度主动脉瓣狭窄的，可结合 CT 钙化评分进行评估（图 5）。

3.2 主动脉瓣环

主动脉根部复杂的解剖结构包括左室流出道（主要由基底段的室间隔和主动脉瓣下二尖瓣前叶构成）、主动脉瓣环、主动脉窦、冠脉开口，主动脉窦管交界及升主动脉。最复杂的解剖结构是主动脉瓣环，它并非一个简单的圆环，其实包括三个圆环和一个皇冠状的环。半月形瓣叶附着点构成了一个皇冠状的环，这个环贯穿了整个主动脉根部（图 6）。除了皇冠状的环，其他三个圆环分别为：a）皇冠底部是由瓣叶附着处最低点所构成的虚拟环，为左室流出道到主动脉根部的入口；b）瓣叶的半月形附着处跨过的环为解剖心室-动脉交界；c）每个瓣叶的最高点附着处构成解剖真实存在的环，即窦管连接处，是主动脉根部的出口。Ben 等^[17]曾应用三维超声重建主动脉瓣环

的三维解剖形态。在 TAVR 中需要测量的主动脉瓣环径指的是测量瓣叶附着最低点构成的虚拟环的径线。

在术前筛查时应用 TTE 测量主动脉瓣环径及主动脉根部的径线，推荐测量时连接同步心电图，左侧卧位获得胸骨旁左室长轴观，局部放大主动脉根部，在收缩期测量主动脉瓣叶附着最低点的直径（图 7A）。在介入术中如果是全麻的方式，建议使用 TEE 来测量相关径线，图像质量更佳。TEE 测量的方法：经食管探头进入食管深度约 35 cm，在左室长轴观（约 120°）得到主动脉根部二维放大图，在收缩期测量主动脉瓣叶附着最低点的直径（图 7B）。既往研究^[19-20]发现虚拟环常呈椭圆形，因此二维方法测量虚拟环的直径往往有一定偏差，加之严重主动脉瓣钙化产生尾影，从而导致超声测量主动脉瓣径有一定的误差。尽管二维超声测量的主动脉瓣环径在很多中心已不作为选择人工瓣膜型号的依据，但在大部分病例中只要超声测量方法得当，亦可作为依据之一。

尽管目前大部分中心应用 MSCT 测量主动脉瓣环相关径线来作为 TAVR 选择人工瓣膜型号的标准，但 MSCT 需暴露在射线下，且需要大量造影剂，不适于肾功能不全以及心律不齐的患者。随着三维超声技术的迅猛发展，在 TAVR 围术期应用经食管实时三维超声（RT 3D-TEE）可准确测量主动脉瓣环径，RT 3D-TEE 技术具有较高的重复性，且能实时测量，可作为 MSCT 的替代方法^[21-24]，亦能辅助预测 TAVR 术后的并发症^[22]。三维超声测量主动脉瓣环径时亦不能避免钙化声影以及超声伪影，这需要经验和反复的实践。

三维超声测量主动脉瓣环径推荐应用 TEE 来进行测量。具体方法：连接同步心电图，经食管探头进入食管深度约 35 cm，在左室长轴切面（约 120°）使主动脉根部清晰显像，得到主动脉根部二维放大图，全麻者阻断机械通气几秒钟或局麻者嘱患者屏气数秒，采集局部放大三维图像，并存储三维图像 DICOM 格式，使用定量分析软件，心电图确定收缩期，通过调节主动脉根部三个相互垂直的平面，使垂直于冠状面、矢状面的横切面刚好切割到主动脉瓣叶附着最低点平面，即虚拟环平面。确定该平面后，测量主动脉瓣环的最大径、最小径、主动脉瓣环面积，并通过圆形公式得到 RT 3D-TEE 主动脉瓣环平均径（图 8）。

3.3 主动脉瓣叶

评估主动脉瓣叶的解剖形态（图 9），二叶式还是三叶式，二叶式主动脉瓣是功能二叶还是解剖二叶，有部分二叶式主动脉瓣其中一个瓣叶上有嵴（1 型），易被误诊为三叶，检查时需仔细鉴别。评估

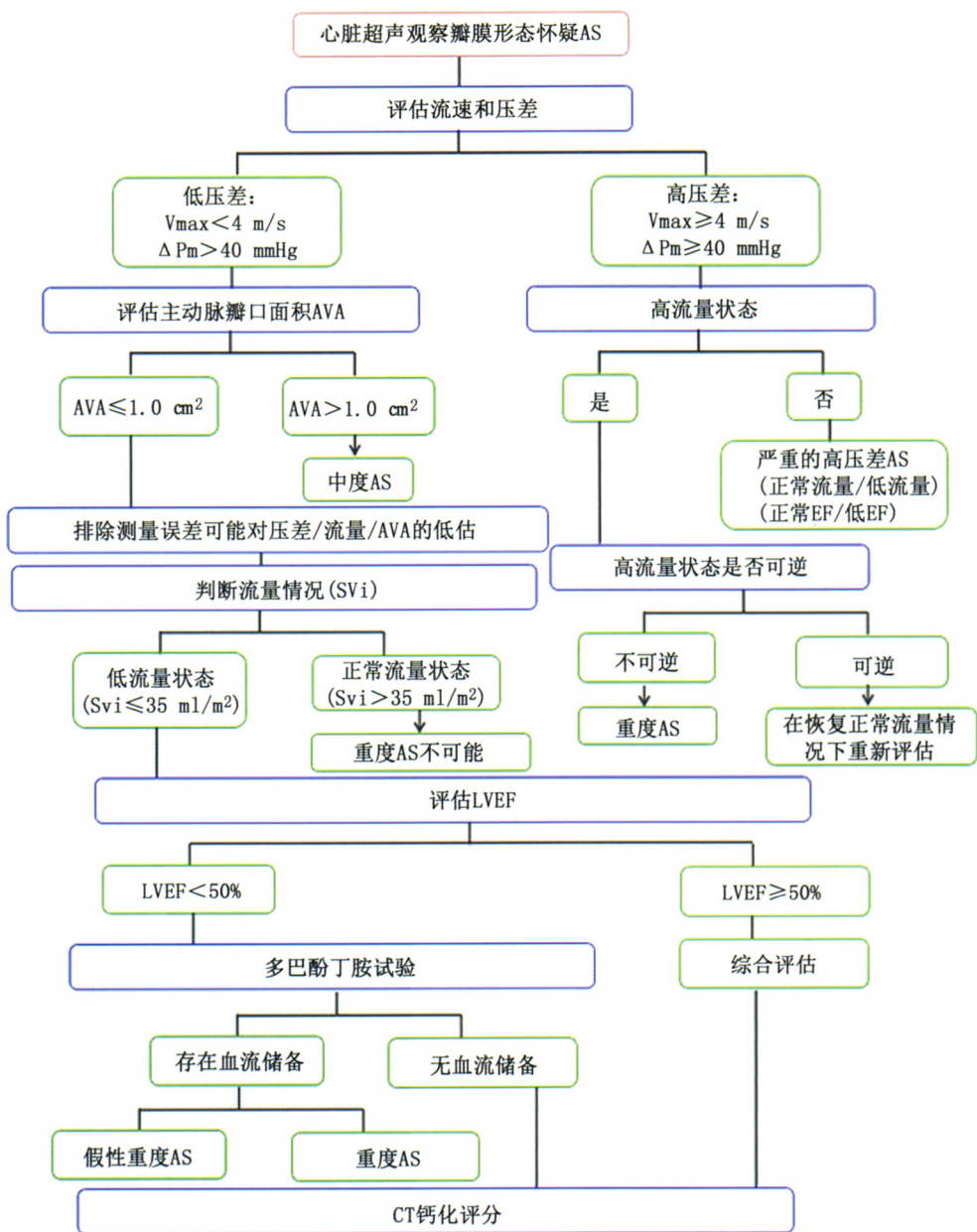


图 5 低流速、低压差的主动脉瓣狭窄评估方法（AS：主动脉瓣狭窄；SVi：每搏量指数；AVA：主动脉瓣口面积；LVEF：左室射血分数）（引自参考文献 [16]）

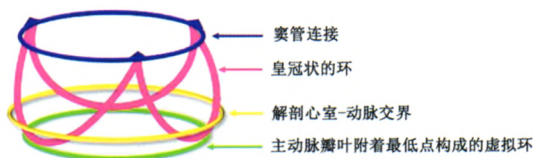


图 6 主动脉根部三个圆环与主动脉瓣叶附着点构成的皇冠状环的关系（引自参考文献 [18]）

主动脉瓣叶钙化的程度和分布，钙化是否延续至冠状动脉开口或左室流出道，较大的钙化斑块不仅可能影响人工瓣膜功能，导致瓣周反流^[25-26]，还可能导致瓣环破裂、主动脉根部穿孔、冠脉开口堵塞、主动脉壁内血肿和主动脉夹层^[27-28]，TEE 在主动脉瓣短轴切面能清晰显示瓣叶钙化与冠状动脉开口的关系（图 10），可预估人工瓣膜植入后阻塞冠脉开口的可

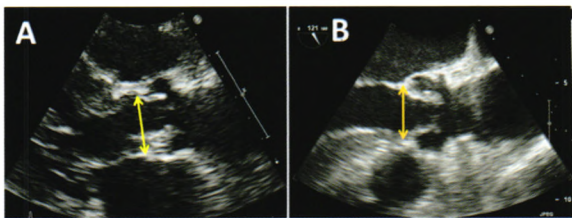


图 7 二维经胸超声心动图（A）和经食管超声心动图（B）测量主动脉瓣环

能性。

3.4 主动脉根部其他结构

左室流出道的径线测量方法见前述。左室流出道的形态特征，包括钙化分布以及室间隔基底段形态亦非常重要。室间隔基底段明显肥厚的患者其左室流出道角度会发生变化，可能会导致导丝、鞘管以及瓣膜

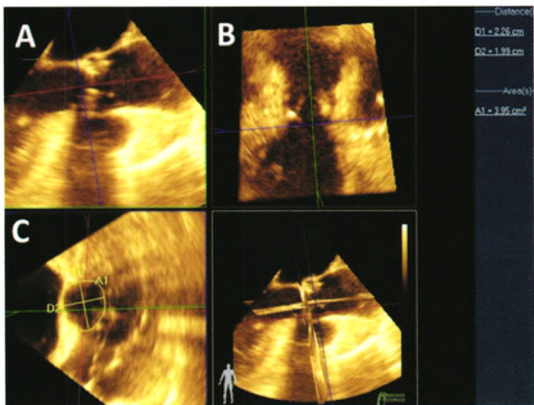


图 8 经食管实时三维超声采集三维图像导入三维定量软件后，调节矢状面（图 A）、冠状面（图 B）及横切面（图 C），使得横切面（即 A、B 图中蓝色平面）刚好为主动脉瓣叶附着最低点平面，在横切面（图 C）上测量主动脉瓣环面积、最大径及最小径

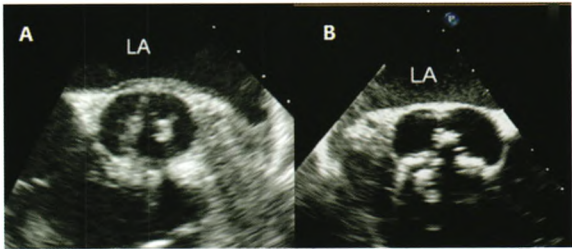


图 9 经食管超声心动图主动脉瓣短轴切面局部放大图分别显示两例重度主动脉瓣狭窄患者的主动脉瓣形态和数目：主动脉瓣二叶式畸形（图 A）及三叶式主动脉瓣钙化、狭窄（图 B）（LA：左房）



图 10 经食管超声心动图主动脉瓣短轴切面局部放大图，显示明显钙化的二叶式主动脉瓣狭窄患者主动脉瓣钙化与左冠状动脉开口的位置关系（箭头为左冠状动脉开口）

输送系统不能维持在一条直线上，进而增加 TAVR 人工瓣膜置入的难度，特别是在经心尖 TAVR 时。另外，室间隔基底段肥厚引起左室流出道前向血流加速的这类患者，在球扩时可能导致人工瓣膜往上移位或者脱落。另一方面，如果室间隔基底段较薄，尤其是合并钙化时，可能导致严重的并发症，例如室间隔穿孔^[29]。左室流出道存在钙化时亦是导致 TAVR 术后瓣周反流^[30]和瓣环破裂^[31]的重要预测因子。主动脉根部径线测量还包括主动脉窦部的直径和高度、窦管交界直径、冠脉开口距主动脉瓣环的距离，这些测

值均会影响人工瓣膜型号的选择以及瓣膜置入的决策。主要径线的测量方法如图 11，升主动脉内径的测量一般选择距主动脉瓣环上 40~45 mm 处进行测量。测量冠脉开口距主动脉瓣环的高度难度相对较大，二维超声大多只能测量右冠脉开口距主动脉瓣环的距离（图 12），而左冠状动脉开口堵塞将是致命的。既往研究^[32]发现左冠开口堵塞的机率明显高于右冠状动脉，主要影响因素包括左冠瓣的钙化、女性、较小的主动脉窦部 [平均 (27.8 ± 2.8) mm] 以及冠脉开口位置低 [平均高度 (10.3 ± 1.6) mm]。冠脉开口高度的测量主要应用 MSCT 来进行，在 CT 图像质量不佳时可应用三维超声测量冠脉开口高度，三维超声能同时测量左、右冠脉开口的距离，左冠状动脉开口距主动脉瓣环距离的测量方法如图 13 所示，右冠状动脉开口高度的测量类似^[32]。

4 介入术中超声心动图的应用

TAVR 术中监测和评估推荐应用 TEE，具体监测和评估要点见表 6。TEE 不仅能对于 TAVR 术前评估要点（表 3）进行精确的评估和测量，而且在球扩过程中能实时观察主动脉瓣叶活动情况、反流程度，在瓣膜植入术后亦能清晰显示人工瓣叶、评估瓣周反流程度以及有无手术相关并发症（表 7）。患者

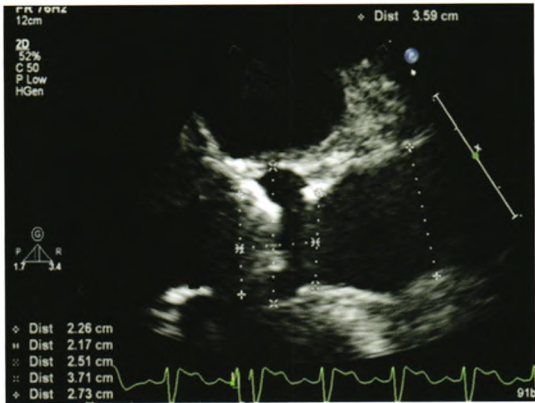


图 11 经胸超声心动图胸骨旁左室长轴切面主动脉根部局部放大图，测量主动脉窦部直径和高度、窦管交界内径以及升主动脉内径

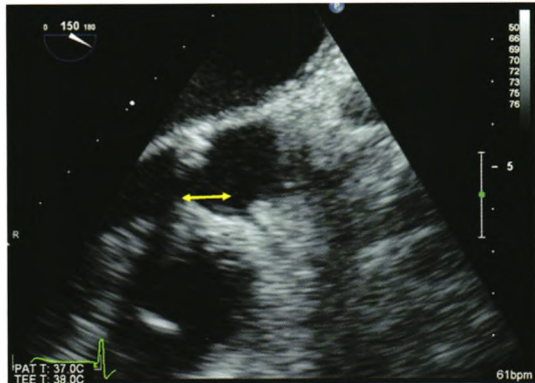


图 12 经食管二维超声心动图主动脉长轴切面局部放大图，显示右冠状动脉开口与主动脉瓣环间距离的测量方法（黄色箭头所示）

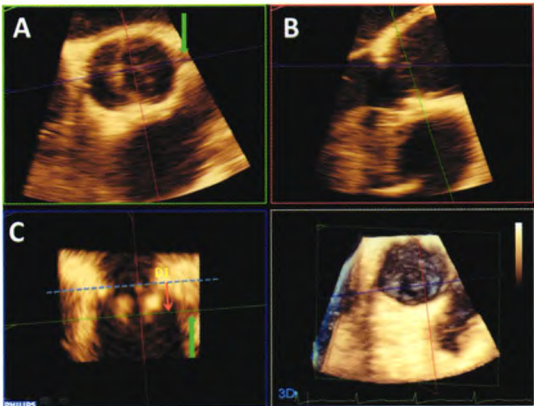


图 13 经食管实时三维超声心动图多平面重建图，显示左冠脉开口距主动脉瓣环距离的测量。在长轴切面（图 B）调节绿线的位置，从而改变图 A 的层面，在主动脉短轴（图 A）中找到左冠状动脉开口（绿色箭头所示），在冠状位（图 C）中可同时显示左冠状动脉的开口（绿色箭头所示）和主动脉瓣环平面（图 C 中蓝色虚线），红色箭头（D1）即左冠状动脉开口距主动脉瓣环的距离

表 6 TAVR 术中超声监测和评估要点

介入步骤	监测和评估要点
起搏导线位置	1. 确定其在右心室的位置 2. 排除穿孔和心包积液
超硬导丝的位置	1. 确定导丝在心尖部正确的位置，没有影响二尖瓣装置或增加二尖瓣反流的程度 2. 排除穿孔和心包积液
球囊扩张	1. 球囊扩张过程中和扩后即刻观察主动脉瓣叶活动情况以及主动脉瓣反流程度 2. 观察冠脉开口（尤其是左冠状动脉开口）有无被钙化的瓣叶堵塞 3. 观察移位的钙化瓣叶的位置，可能引起主动脉壁变形以及瓣环破裂的风险 4. 观察有无心包积液
人工瓣膜置入	1. 球扩瓣 a. 二代球扩瓣，置入过程中支架在左室流出道的定位应定在主动脉瓣环下 5~6 mm 处，完全释放后最佳位置在主动脉瓣环下约 2 mm 处并覆盖完全覆盖自身瓣叶 b. 三代球扩瓣，人工瓣膜应覆盖自身瓣叶，且升主动脉侧支架位置应低于窦管交界 2. 自膨瓣 植入后支架位置一般在瓣环下 4~6 mm 处，低于 10 mm 较好，过低则可能引起房室传导阻滞 3. J-Valve 瓣膜 确定定位器在主动脉窦底，再释放瓣膜
经心尖 TAVR	1. 显示心尖图像确定心尖部穿刺的位置（可以通过食管中段或经胃底切面或经胸超声），较好的位置可以避免穿到右心室，且导丝进入后距室间隔较远
人工瓣膜置入后即刻	1. 评估支架的位置、形态、人工瓣瓣叶的活动度；测量跨瓣的血流动力学指标，包括前向流速、平均跨瓣压差和有效瓣口面积 a. 左室流出道的测量，若瓣叶置入位置较好则测量支架在左室缘的直径（外缘到外缘），若置入位置过低，则测量支架在人工瓣瓣叶水平的直径（内缘到内缘） b. 测量对应位置左室流出道的流速和血流速度积分 2. 评估瓣周反流的程度，主要应用左室流出道（支架左室缘）的短轴切面来进行评估，并在其他切面（经胃底等）进行确认 3. 评估冠脉血流情况和心室功能，与基线情况对比 4. 评估二尖瓣形态和功能，反流程度有无增加 5. 测量三尖瓣反流速度，估测肺动脉收缩压 6. 排除穿孔和心包积液

表 7 TAVR 相关并发症

并发症	TEE 评估要点
血流动力学不稳定	
严重的主动脉瓣口或瓣周反流	1. 评估反流的位置（瓣口或瓣周） 2. 评估人工瓣膜的位置及关闭情况 3. 评估反流程度
严重的二尖瓣反流	1. 评估二尖瓣反流的程度和二尖瓣装置情况：有无瓣膜穿孔、腱索断裂或瓣叶脱垂
心包填塞	1. 评估心包填塞的情况以及可能的病因（例如心腔穿孔、主动脉夹层）
心功能不全	1. 评估左室或右室局部或整体室壁运动异常 2. 评估冠脉开口：应用彩色多普勒显示冠脉血流灌注情况
主动脉破裂或夹层	1. 检查主动脉根部及升主动脉，有无主动脉内血肿，主动脉夹层或主动脉破裂 2. 评估心包积液，有无心包填塞
大出血	1. 评估心室大小和功能（心室呈低容量表现）
其他过程中相关并发症	
球囊扩张时相关并发症	1. 评估主动脉瓣反流程度 2. 检查主动脉根部及升主动脉，有无主动脉内血肿，主动脉夹层或主动脉破裂 3. 评估冠脉开口：应用彩色多普勒显示冠脉血流灌注情况
人工瓣膜置入过程中	1. 置入人工瓣膜位置过高或过低导致血流动力学不稳定，此时可能需快速置入第二个人工瓣膜 2. 人工瓣膜脱落（到左室或主动脉），可能需要外科开胸手术
穿孔或瘘	1. 室间隔穿孔 2. 主动脉腔瘘（典型的是右室流出道或右心房瘘）

推进手术室后，在介入术前仍建议应用 TEE 把表 3 中的要点再次进行一一核实，除此以外还应包括评估左心耳有无血栓（如果有血栓需要安置保护装置），主动脉壁内有无斑块。对于不能行 TEE 检查的中心，术前即刻应用 TTE 留存最基本的基线资料，包括心室功能、室壁运动、主动脉瓣前向血流速度、平均跨瓣压差、有效瓣口面积、室间隔基底段形态、二尖瓣反流程度、三尖瓣反流程度，估测肺动脉收缩压以及有无心包积液。手术过程中或术后即刻二尖瓣反流程度明显增加提示有以下可能性：超硬导丝、输送鞘或人工瓣膜支架影响了二尖瓣装置；左室功能不全（尤其是起搏后）；收缩期二尖瓣前叶出现 SAM 现象（瓣膜置入后后负荷显著减少）；血压增加；重度主动脉反流。手术过程中或术后即刻左室或右室收缩功能降低或节段性运动异常提示冠脉堵塞。

4.1 导丝和穿刺置管的评估

偶尔需要评估起搏导线的位置，导线的头端应放置在右室心尖部。任何导丝置入心脏均需要监测有无心包积液，排除穿孔。猪尾导管的位置一般放置在右冠窦里。经股动脉逆向置入左室的导丝通过超声很容易被观察到（图 14），置入过程可能会影响周围的其他结构，包括二尖瓣装置、室间隔等，此时应用 RT 3D-TEE 观察导丝与其周围解剖结构的关系很有帮助（图 15）。

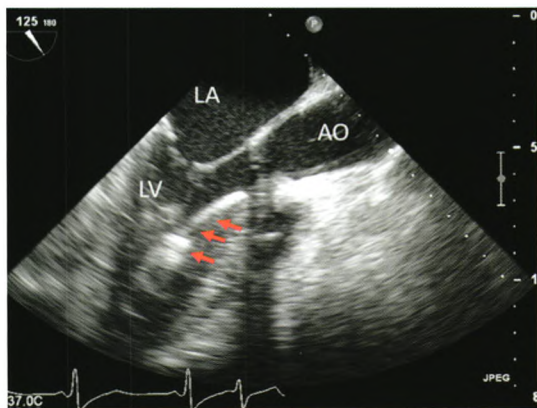


图 14 经食管超声心动图主动脉长轴切面显示导丝（红色箭头）过主动脉瓣口后进入左心室，同时显示其与二尖瓣的位置关系（LA：左房；LV：左室；AO：升主动脉）

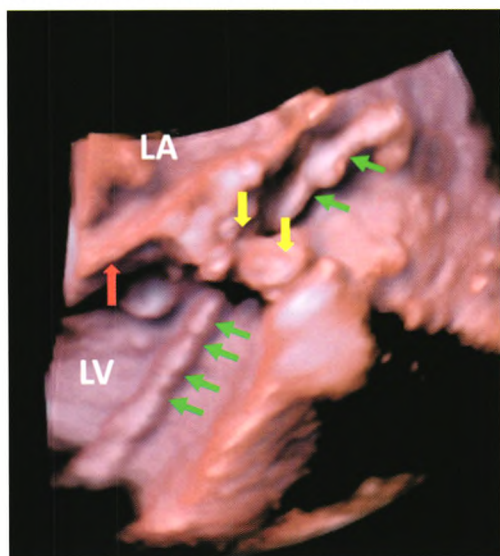


图 15 经食管实时三维超声心动图显示经股动脉路径的超硬导丝过主动脉瓣口进入左心室，以及其与周围解剖结构的关系（黄色箭头为增厚、狭窄的主动脉瓣，红色箭头为二尖瓣，绿色箭头为超硬导丝；LV：左心室；LA：左心房）

经心尖 TAVR 需要额外的超声辅助。通过 TEE 或 TTE 确定心尖穿刺部位，较好的心尖前壁穿刺点能使导丝顺利通过主动脉瓣口，人工瓣膜置入角度好，不影响二尖瓣装置、室间隔以及右室游离壁。可以通过 TEE 食管中段切面或经胃底切面显示心尖部，同时让外科医生用手指或镊子推动穿刺点，观察穿刺点与主动脉根部的位置关系，假设从此点穿刺能否顺利置入人工瓣膜，角度是否合适，来确定穿刺点位置（图 16）。穿刺成功置入导丝后仍需评估二尖瓣的情况。

4.2 球囊扩张成形术

球囊扩张成形术（简称球扩）常用于 TAVR 人工瓣膜置入前扩张主动脉瓣口以及确保人工瓣膜置入时有足够的输出量。超声用于评估球扩后的结果以及可能的并发症（表 7）。在球扩时 TEE 监测常在主动脉长轴切面进行观察（图 17），必要时可应用双平面

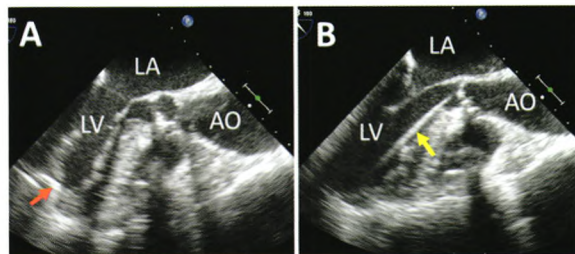


图 16 经心尖 TAVR，心尖穿刺点的位置通过观察外科医生手指的推动来确定合适的穿刺点（图 A，红色箭头所示）；心尖穿刺成功后，进一步观察导丝的位置（图 B，黄色箭头所示）（LV：左室；LA：左房；AO：主动脉）

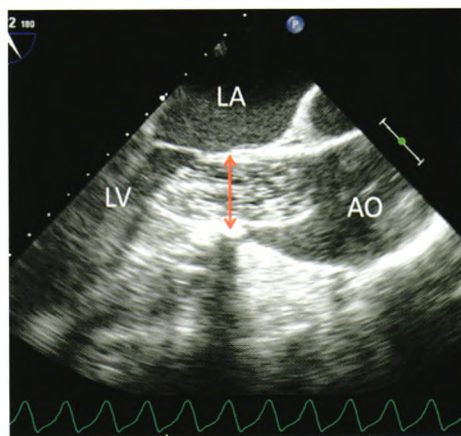


图 17 经食管超声心动图左室长轴切面显示球囊扩张过程，同时应用扩张的球囊测量主动脉瓣环径（红色箭头所示），下方心电图是起搏心电图

同时观察主动脉长轴和短轴切面，因球扩时需要快速起搏，可以将图像存储的时间设置稍长（5~8 s 或 5~10 个心动周期）以采集球扩过程完整的图像。

球扩时的超声评估不仅可用于主动脉瓣环径的测量，也可用于预测 TAVR 人工瓣膜置入术后自身钙化瓣叶被推动后的位置。球囊扩张后的超声图像可用于测量主动脉瓣环径，为人工瓣膜型号的选择提供依据（图 17）。主动脉短轴切面可用于评估左冠状动脉开口在球扩时是否被堵塞，用以预测人工瓣膜置入后左冠状动脉开口被堵塞的风险。球扩时并发症的发生率可达 16%，超声可用于评估可能的原因，包括冠脉堵塞、严重的主动脉瓣反流和心包填塞。

4.3 自膨瓣人工瓣膜置入

术中评估人工瓣膜位置十分重要，尽管主要应用 X 线透视来进行评估^[33]，但 TEE 可以作为辅助手段，并有可能减少造影剂的用量以及射线暴露时间。自膨瓣的置入过程相对缓慢和可控。由于升主动脉的弯曲程度不一，人工瓣膜置入路径和主动脉长轴不一定平行。人工瓣膜释放过程中前、后侧的支架位置不一定在同一水平，完全释放后大部分患者前、后侧支架位于同一水平（图 18），极少数（尤其是二叶瓣患者）可不在同一水平。完全释放后人工瓣膜支架的理

想位置应在主动脉瓣环下 4~10 mm (图 18)。每个病例都需根据所选的人工瓣膜大小、主动脉根部的解剖结构、冠脉开口的位置来综合评估置入后的位置是否合适。人工瓣膜释放位置过高会导致瓣周反流、人工瓣膜移位或冠脉开口堵塞,释放位置过低会导致瓣周反流以及传导阻滞的发生。

J-Valve 人工瓣膜支架置入需缓慢释放 J-Valve 定位器,超声多平面确定三个定位器均位于主动脉窦,后再引导释放支架瓣膜(图 19)。

4.4 球扩瓣人工瓣膜置入

球扩瓣同自膨瓣一样,置入过程主要是依赖 X 线透视引导,但 TEE 可以作为辅助手段,减少患者

射线暴露时间和造影剂的用量。对于瓣环或瓣叶钙化不严重,或二尖瓣瓣环以及左室流出道严重钙化者,单纯依靠 X 线透视来引导定位有一定难度,此时 TEE 就更为重要。球扩瓣释放后的理想位置是在瓣环下 1~2 mm,每个病例都需根据所选的人工瓣膜大小、主动脉根部的解剖结构、冠脉开口的位置来综合评估置入后的位置是否合适。TEE 监测和引导球扩瓣置入过程如图 20。

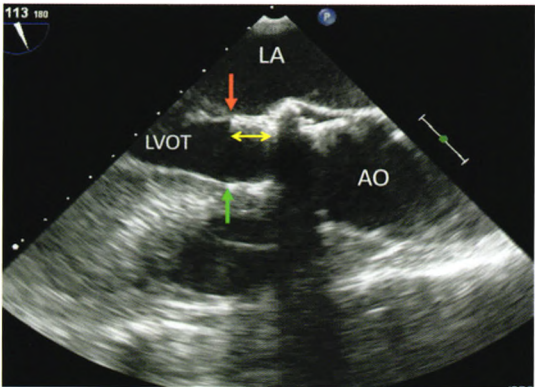


图 18 经食管超声心动图主动脉长轴切面显示自膨瓣置入完成后,人工瓣膜支架最下缘前侧(绿色箭头所示)和后侧(红色箭头所示)位于同一水平,同时可测量人工瓣膜最下缘距主动脉瓣环的距离,即置入深度的测量(黄色箭头所示)

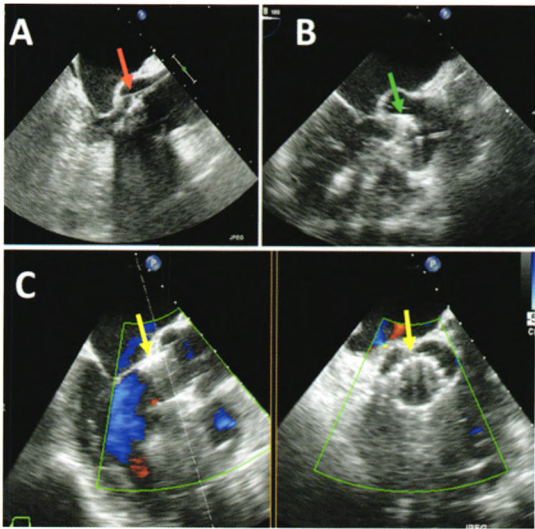


图 19 经心尖 TAVR,应用 J-Valve 人工瓣膜,经食管超声心动图确定其定位器(图 A,红色箭头所示)位于主动脉窦底,再释放人工瓣膜(图 B,绿色箭头示释放过程),完全释放后无瓣周反流,位置良好(图 C,黄色箭头示完全释放后的人工瓣膜支架)

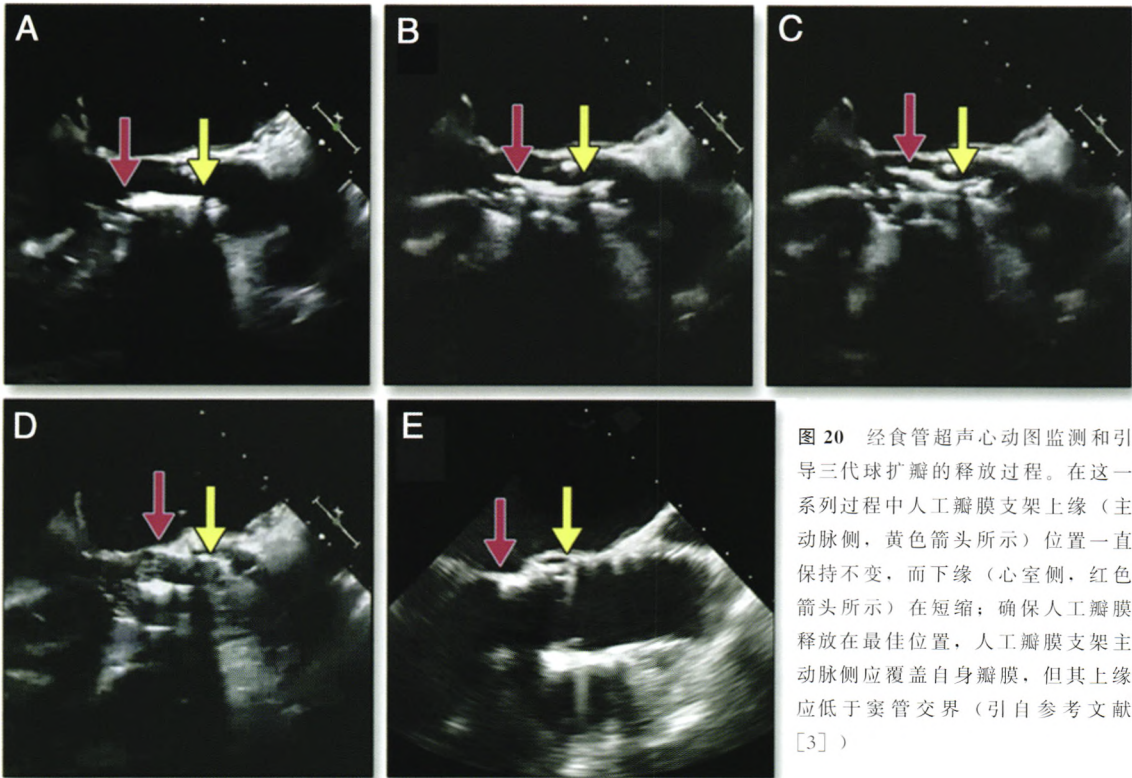


图 20 经食管超声心动图监测和引导三代球扩瓣的释放过程。在这一系列过程中人工瓣膜支架上缘(主动脉侧,黄色箭头所示)位置一直保持不变,而下缘(心室侧,红色箭头所示)在短缩;确保人工瓣膜释放在最佳位置,人工瓣膜支架主动脉侧应覆盖自身瓣膜,但其上缘应低于窦管交界(引自参考文献[3])

4.5 人工瓣膜置入术后即刻评估

TAVR 术后即刻评估主要依赖于超声心动图，它不仅能快速评估人工瓣膜位置、形态、功能，而且能准确评估人工主动脉瓣反流情况（源于瓣口还是瓣周，X 线透视不能鉴别两者），监测有无并发症以及血流动力学不稳定时快速寻找病因。

4.5.1 人工瓣膜功能评估

TAVR 术后即刻应用多个切面评估人工瓣膜支架的位置、形态、人工瓣叶的开闭情况。主动脉长轴切面是用来评估人工瓣膜支架位置、置入深度的最佳切面，而多层面的主动脉短轴切面用于评估人工瓣膜支架的形态，是否成圆形（图 21），鉴别瓣口反流和瓣周反流，以及评估冠脉开口血流灌注情况（图 22）。推荐使用任意平面的双平面显示主动脉短轴，在长轴固定不变时，移动任意取样线，获得从左室流出道到升主动脉不同层次的短轴图像，更利于快速观察支架形态、人工瓣叶活动度、瓣口/瓣周反流以及冠脉开口情况（图 23）。单平面的二维短轴切面帧频高，有利于观察细微的解剖结构，时间允许以及心率过快时推荐使用。三维超声可以清晰显示人工瓣膜及支架的形态和活动度（图 24）。

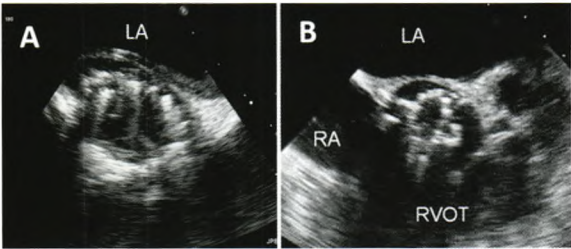


图 21 经食管超声心动图主动脉短轴切面观察人工瓣膜支架形态，图 A 中患者支架呈圆形；图 B 患者支架形态不佳，呈椭圆形，需再次行球囊扩张

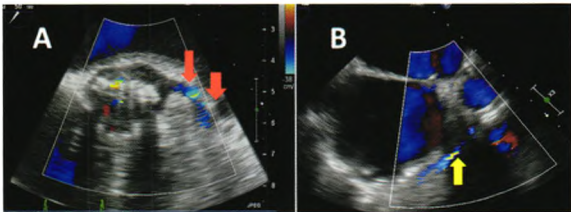


图 22 经食管超声心动图主动脉短轴切面彩色多普勒，图 A 显示左冠状动脉血流（红色箭头所示）灌注良好；图 B 显示另一患者右冠状动脉血流（黄色箭头所示）灌注良好

4.5.2 评估主动脉瓣反流

TAVR 和外科换瓣不同，因此反流的解剖因素和病因亦完全不一样。外科换瓣时会将主动脉瓣剪掉，然后将人工瓣膜缝合到主动脉瓣环上。而 TAVR 没有缝合环，因此选择的人工瓣膜型号会比自身瓣环大，所以不存在缝合环裂开引起瓣周反流，反而会出现多处瓣周反流和人工瓣膜的移位。引起瓣

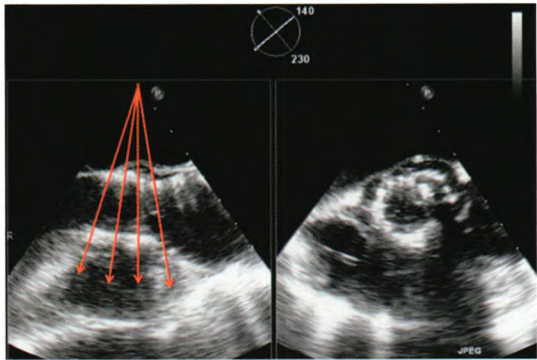


图 23 经食管超声心动图任意平面的双平面，左图为左室长轴切面，固定不变，移动任意取样线（红色箭头所示），可获得从左室流出道到升主动脉不同层次的短轴图像（右图所示），有利于快速观察支架形态、人工瓣叶活动度、瓣口/瓣周反流以及冠脉开口情况



图 24 经食管实时三维超声心动图主动脉短轴显示人工瓣膜（蓝色箭头所示）及支架。该患者置入了 2 枚人工瓣膜支架，可见“双环征”（绿色箭头显示外面的第一个支架，红色箭头显示里面的第二个支架）

周反流的原因很多，主要有：选择的人工瓣膜型号不匹配，瓣膜置入位置过低或过高，瓣环或瓣叶较大钙化斑块^[34]。然而人工瓣膜瓣口反流常见于导丝未退出时影响瓣叶的关闭，此种情况瓣口反流程度往往不严重，退出导丝后瓣口反流消失或明显减少（图 25）；另可见于人工瓣膜支架形态不正常或支架向内折叠，影响瓣叶的关闭，引起瓣口反流（图 26）^[35]；极少见于人工瓣膜设计本身的问题。

由此可见，鉴别瓣口反流和瓣周反流尤其重要，反流起源不同，下一步的处理原则亦不同。最好鉴别这两者的切面是主动脉短轴切面，观察反流起源于瓣口还是瓣周。大部分瓣口/瓣周反流易于鉴别，有两种情况鉴别较困难，一种是瓣口偏心反流很接近支架边缘时，另一种是自膨瓣最下方 4 mm 处没有裙边包绕，有些瓣周反流的血流束通过支架最下方的网状间隙到左室流出道的中心，不仔细观察易误认为中心性反流（图 27）。这两种情况的鉴别需结合多个切面综合观察，必要时应用三维超声进行鉴别诊断。

很多类型的人工瓣膜下方都设计有裙边包绕，目

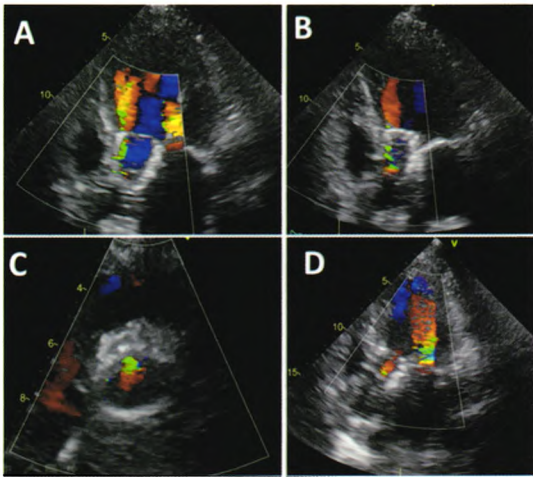


图 25 自膨瓣完全释放后，造影显示中量主动脉反流，但不能鉴别其源于瓣口/瓣周，图 A~C 经胸超声心动图显示反流源于主动脉瓣口（图 A 心尖五腔心切面还不能判断反流束源于瓣口或瓣周，因其为偏心反流，通过稍旋转探头方向得到图 B，基本可确定反流源于瓣口，最终在主动脉短轴切面进行确定），与术者沟通后，首先排除超硬导丝引起的反流，拔出导丝后瓣口反流明显减轻（图 D，微量瓣口反流），结束手术

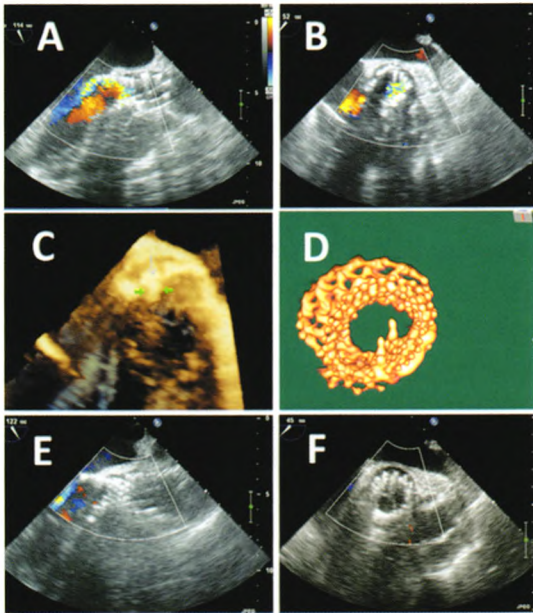


图 26 经食管超声心动图左室长轴切面（图 A）和主动脉短轴切面（图 B）显示置入人工瓣膜后瓣口中量反流；经食管实时三维超声心动图（图 C）显示可疑的人工瓣膜支架折叠（绿色箭头所示）；CT 三维重建后显示人工瓣膜支架部分折叠突入管腔（图 D）；置入第二个人工瓣膜以及后扩后经食管超声心动图，左室长轴切面（图 E）和主动脉短轴切面（图 F）显示瓣口及瓣周未见确切反流

的是为了减少瓣周反流。TAVR 术后即刻瓣周反流的评估主要应用彩色多普勒超声，结合左室长轴切面及主动脉短轴切面（主要是支架在左室流出道的短轴切面）确定反流束进入左心室，需要鉴别的是在主动脉短轴切面看到的瓣周反流可能是由于金属支架的干扰，不一定反流入了左室（图 28）。确定真正的瓣周反流后，再评价其严重程度。根据 ASE/EAE 指

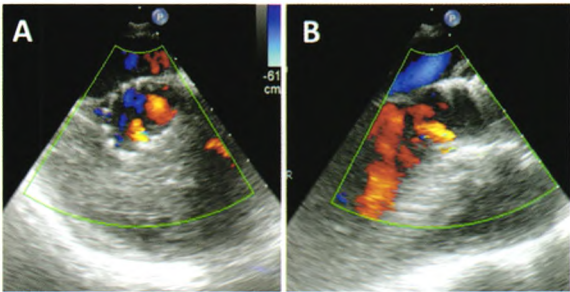


图 27 经食管超声心动图左室流出道短轴切面（图 A）显示似源于瓣口的反流，主动脉长轴切面（图 B）显示反流源于主动脉瓣周，其原因就是瓣周反流的血流束通过支架最下方的网状间隙到达左室流出道的中心

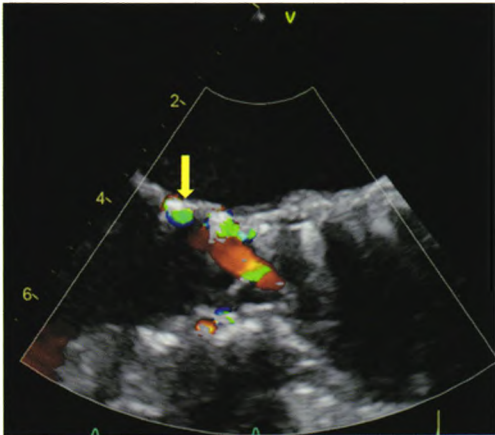


图 28 经食管超声心动图主动脉长轴切面显示人工支架旁的血流干扰影（黄色箭头所示），并未进入左室流出道，仅查见瓣口微量反流

南^[36]建议，对瓣周反流束，在主动脉短轴切面，反流束长度占缝合环周长的比例（图 29）可以作为严重程度的半定量指标： $<10\%$ 缝合环为轻度， $10\% \sim 20\%$ 为中度， $>20\%$ 为重度。通过这种方法计算时必须保证主动脉短轴切面正好显示反流束的正短轴，而不是反流束长轴或近似长轴切面，否则会高估瓣周反流程度（图 30）。但是，这种方法假设前提是反流束是连续的，这可能与有些经导管植入的人工瓣膜情况不一致，所以就可能高估那些多发较小反流的严重程度。较小的瓣周反流在 TAVR 术后 $10 \sim 15$ min 可能会自发消失（因为人工瓣膜支架会进一步自膨扩张），不需要进一步的干预^[37]。瓣周反流的评估推荐多个切面、多参数来综合评估，评估时需考虑反流束长度占支架周长的比例、反流起源处紧缩口的宽度、反流束的路径等。支持明显人工瓣膜反流诊断的其他征象包括人工瓣膜过度摇摆（提示松动分离范围 $>40\%$ ），连续多普勒测量主动脉瓣反流压力降半时间缩短，脉冲多普勒记录到降主动脉（在胸骨上窝检查）或腹主动脉（剑突下切面）舒张期血流呈反向。若使用上述方法仍不能很好评估时，可考虑应用多普勒定量指标（计算反流容积和反流口面积）或三维彩色多普勒计

算反流紧缩口的面积。三维超声可避免二维超声和标准多普勒测量方法的局限性，能较准确地评估瓣周反流的程度（图 31）。

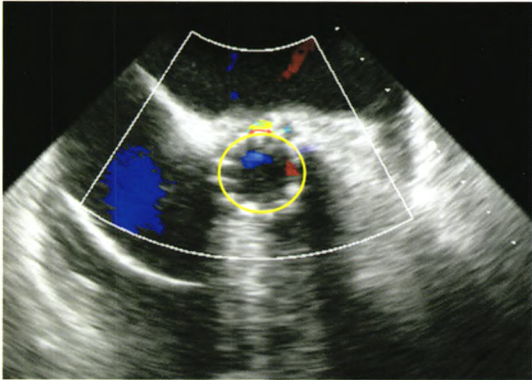


图 29 经食管超声心动图主动脉长轴切面显示瓣周反流（红色箭头所示），其反流程度的评估应用反流束长度占人工瓣膜支架周长的比例：（红色箭头长度/黄色圆环的长度）×100%

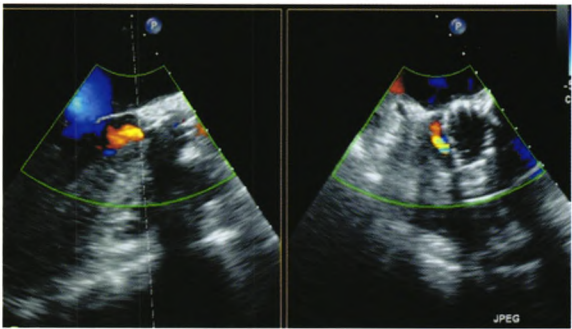


图 30 经食管超声心动图双平面显示瓣周反流，左图为左室长轴切面，右图为主动脉短轴切面，而非瓣周反流束的短轴切面（而是接近长轴切面），若根据这个图来计算反流束长度占人工瓣膜支架周长的比例，则会高估瓣周反流的程度。从左图左室长轴切面来看，反流束进入左室的血流量仅为微量或极程度的反流

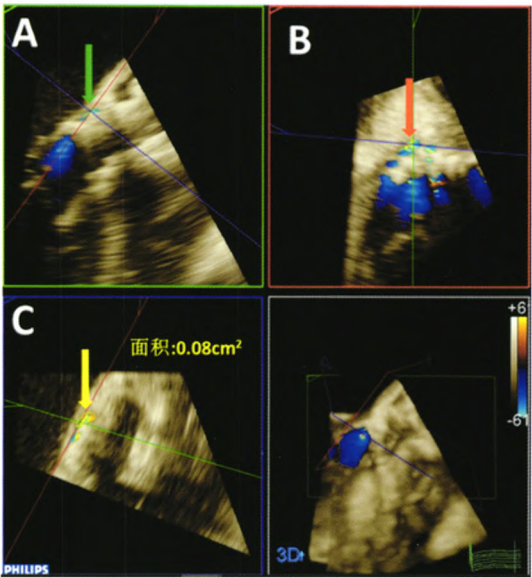


图 31 经食管三维超声心动图，通过调节矢状面（图 A）、冠状面（图 B）及横切面（图 C），在横切面（图 C）得到反流紧缩口的面积（黄色箭头所示）来评估瓣周反流的程度

4.5.3 EOA 的测量

介入术中，TEE 多普勒的测量应该在经胃底切面进行，这样才能保证取样线和超声声束尽量在同一条线上。测量 EOA 时需测量主动脉瓣的最大流速、平均跨瓣压差。EOA 的计算方法同前文所述应用连续方程进行计算。瓣膜学术研究协会^[38]更新了 TAVR 术后人工瓣膜功能障碍的评估标准（表 8），球扩瓣和自膨瓣均适用。

表 8 TAVR 术后人工瓣膜功能障碍的评估标准^[38]

评估参数	人工瓣膜狭窄程度		
	正常	轻度狭窄	中-重度狭窄
定量参数(血流依赖 ^a)			
前向血流速度(m/s)	<3	3~4	>4
平均跨瓣压差(mmHg)	<20	20~40	>40
定量参数(非血流依赖)			
血流速度指数	≥0.35	0.35~0.25	<0.25
EOA(m²),BSA≥1.6 m² 时	>1.1	1.0~0.8	<0.8
EOA(m²),BSA<1.6 m² 时	>0.9	0.9~0.6	<0.6
评估参数	人工瓣膜不匹配程度		
	不明显	中度	重度
EOA 指数(cm²/m²),BMI<30 kg/m² 时	>0.85	0.85~0.65	<0.65
EOA 指数(cm²/m²),BMI≥30 kg/m² 时	>0.70	0.90~0.60	<0.60

注：^a 这些参数更多的会受血流影响，包括了合并的主动脉反流。EOA：有效瓣口面积；BSA：体表面积；BMI：体质指数

对于球扩瓣，TAVR 术后应用连续方程，通过测量左室流出道计算的每搏量较准确，因球扩瓣测量左室流出道血流频谱时脉冲多普勒取样点刚好放置在人工瓣膜支架最下缘，而左室流出道直径亦刚好在人工瓣膜支架最下缘进行测量（外缘到外缘，图 32）。若人工瓣膜置入位置过深，支架最下缘未能贴合于左室流出道，此时测量左室流出道直径（内缘到内缘）和血流速度积分时应尽量靠近人工瓣叶下方进行测量。

对于自膨瓣，因人工瓣膜支架在左室流出道的长度较球扩瓣更长，在测量左室流出道直径的位置不

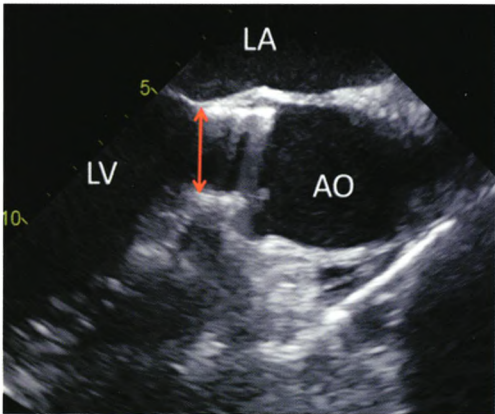


图 32 经食管超声心动图测量左室流出道直径在球扩瓣支架最下缘进行测量（外缘到外缘）（红色箭头所示）

同，或即使在同一个位置，但测量左室流出道血流速度积分取样点放置的位置不一致，亦会导致 EOA 测量的不准确（图 33）。推荐 EOA 测量原则同上述球扩瓣，若人工瓣膜支架与左室流出道周围结构贴合紧密，则在支架最下缘测量左室流出道直径（外缘到外缘），测量左室流出道血流速度积分应在对应位置进行。若人工瓣膜支架与左室流出道周围结构未贴合（图 34），则此时测量左室流出道直径（内缘到内缘）和血流速度积分时应尽量靠近人工瓣叶下方进行测量。

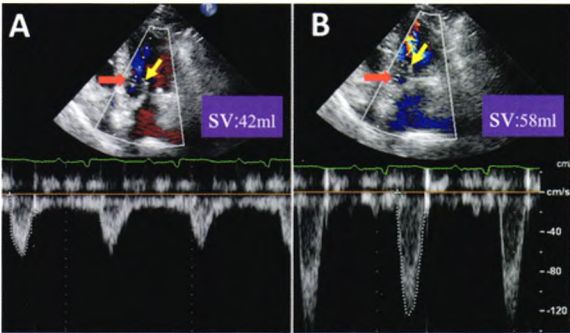


图 33 经胸超声心动图心尖五腔心切面，测量左室流出道血流速度积分取样点放置的位置不同（红色箭头所示，图 B 中取样点更靠近人工瓣叶的位置），获得的每搏量则不同，对应计算的 EOA 亦有差异

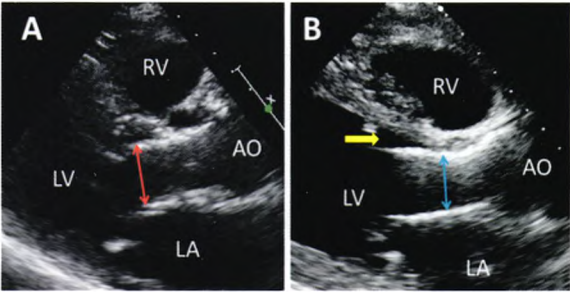


图 34 经胸超声心动图左室长轴切面显示，人工瓣膜支架与左室流出道周围结构贴合紧密（图 A），则在支架最下缘测量左室流出道直径（外缘到外缘）（红色箭头所示），测量左室流出道血流速度积分应在对应位置进行（见图 33 中 A 图）；图 B 为另一患者人工瓣膜支架与左室流出道周围结构未贴合（黄色箭头示），此时测量左室流出道直径（内缘到内缘）应尽量靠近人工瓣叶下方（蓝色箭头所示），测量左室流出道血流速度积分应在对应位置进行（见图 33 中 B 图）

4.5.4 TAVR 并发症的评估

超声心动图在 TAVR 介入术中最重要的作用是并发症的评估（表 7）。尽管 TAVR 并发症相对较少见，但一旦出现将会引起致命的血流动力学紊乱，包括血压急剧变化（过高或过低），肺动脉压力增加。此时需要超声医师快速评估血流动力学不稳定的原因，主要包括严重的主动脉瓣口或瓣周反流、严重的二尖瓣反流、心功能不全、冠脉堵塞、心包填塞、主动脉夹层/主动脉壁内血肿（图 35）等。心包填塞时寻找可能出血的部位：经心尖 TAVR 心尖穿刺点出

血、主动脉瓣环破裂、临时起搏器安置时刺穿右心室壁等。很多 TAVR 患者左室肥厚，心腔较小，较少量的心包积液亦不能承受，所以在介入术中需多个切面仔细观察心包积液情况。

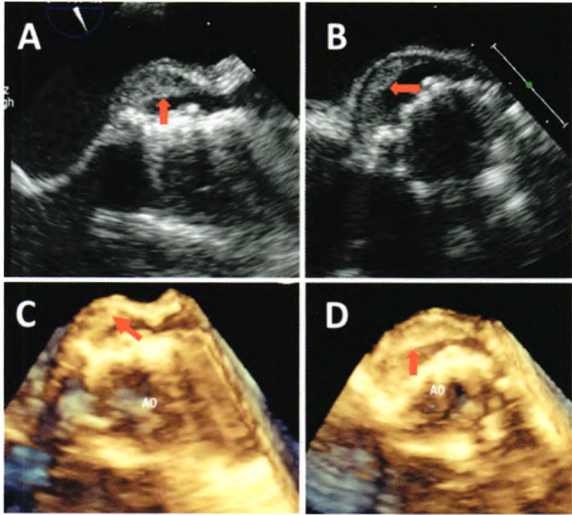


图 35 经食管二维（图 A）和三维（图 C）超声心动图左室长轴切面以及二维（图 B）和三维（图 D）超声心动图主动脉短轴切面分别显示 TAVR 术后并发症：主动脉壁内血肿（红色箭头所示）（AO：主动脉）

总结

超声心动图在 TAVR 围术期中起着多方面的作用，精确的评估需要有经验的超声医师熟悉 TAVR 相关器械和操作步骤，以及能熟练应用 TTE 和 TEE 以获得优质的超声图像。熟悉掌握三维超声技术在 TAVR 围术期起着非常重要的作用。TAVR 术前，超声心动图作为首选的检查方法，评估主动脉瓣病变的严重程度，判断是否适合行 TAVR 手术。目前 TAVR 手术选择方式仍然以 CT 检查评估为标准，但是，TAVR 介入术前，TEE 也可准确评估瓣膜结构和测量主动脉根部内径，并且准确测量心功能及其他瓣膜情况；TAVR 介入术中，TEE 引导导丝过瓣口、球囊扩张以及人工瓣膜的置入，监测上述过程中是否有心包填塞、冠脉堵塞、影响二尖瓣装置等并发症的发生；TAVR 介入术后即刻，超声心动图评估人工瓣膜功能、形态、瓣周/瓣口反流程度、测量 EOA 等。超声心动图在 TAVR 治疗中不可或缺，在术前评估、术中监测及术后即刻评价中均起着极其重要的作用。

- 专家组名单
- 名誉组长：张运（山东大学齐鲁医院）
- 组长：张梅（山东大学齐鲁医院）；唐红（四川大学华西医院）
- 副组长（按姓氏笔画顺序排序）：尹立雪（四川省人民医院）；田家玮（哈尔滨医科大学附属第二医院）；许迪（江苏省人民医院）；袁建军（河南省人民医院）；康春松（山西医科大学第一医院）；穆

玉明 (新疆医科大学第一附属医院)

专家组成员 (按姓氏笔画顺序排序): 马小静 (武汉亚洲心脏病医院); 王浩 (北京阜外心血管病医院); 方理刚 (北京协和医院); 邓又斌 (华中科技大学同济医学院附属同济医院); 任卫东 (中国医科大学附属盛京医院); 朱天刚 (北京大学人民医院); 杨娅 (首都医科大学附属北京安贞医院); 段云友 (第四军医大学唐都医院); 郭瑞强 (湖北省人民医院); 姚桂华 (山东大学齐鲁医院); 游向东 (浙江大学医学院附属第二医院); 舒先红 (复旦大学附属中山医院); 谢明星 (华中科技大学同济医学院附属协和医院)

学术秘书: 魏薪 (四川大学华西医院); 张瑜 (山东大学齐鲁医院); 张鹏飞 (山东大学齐鲁医院); 徐明俊 (山东大学齐鲁医院)

参 考 文 献

- [1] Otto CM, Kumbhani DJ, Alexander KP, et al. 2017 ACC expert consensus decision pathway for transcatheter aortic valve replacement in the management of adults with aortic stenosis: a report of the american college of cardiology task force on clinical expert consensus documents [J]. J Am Coll Cardiol, 2017, 69 (10): 1313-1346. DOI: 10.1016/j.jacc.2016.12.006.
- [2] Zamorano JL, Badano LP, Bruce C, et al. EAE/ASE recommendations for the use of echocardiography in new transcatheter interventions for valvular heart disease [J]. J Am Soc Echocardiogr, 2011, 24 (9): 937-965. DOI: 10.1016/j.echo.2011.07.003.
- [3] Bapat V, Attia R. Transaortic transcatheter aortic valve implantation: step-by-step guide [J]. Semin Thorac Cardiovasc Surg, 2012, 24 (3): 206-211. DOI: 10.1053/j.semthor.2012.06.004.
- [4] Caceres M, Braud R, Roselli EE. The axillary/subclavian artery access route for transcatheter aortic valve replacement: a systematic review of the literature [J]. Ann Thorac Surg, 2012, 93 (3): 1013-1018. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2011.10.056.
- [5] Leon MB, Smith CR, Mack MJ, et al. Transcatheter or surgical aortic-valve replacement in intermediate-risk patients [J]. N Engl J Med, 2016, 374 (17): 1609-1620. DOI: 10.1056/NEJMoa1514616.
- [6] Zhao ZG, Jilalawi H, Feng Y, et al. Transcatheter aortic valve implantation in bicuspid anatomy [J]. Nat Rev Cardiol, 2015, 12 (2): 123-128. DOI: 10.1038/nrcardio.2014.161.
- [7] Mylotte D, Lefevre T, Sondergaard L, et al. Transcatheter aortic valve replacement in bicuspid aortic valve disease [J]. J Am Coll Cardiol, 2014, 64 (22): 2330-2339. DOI: 10.1016/j.jacc.2014.09.039.
- [8] Perlman GY, Blanke P, Dvir D, et al. Bicuspid aortic valve stenosis: favorable early outcomes with a next-generation transcatheter heart valve in a multicenter study [J]. JACC Cardiovasc Interv, 2016, 9 (8): 817-824. DOI: 10.1016/j.jcin.2016.01.002.
- [9] Yousef A, Simard T, Webb J, et al. Transcatheter aortic valve implantation in patients with bicuspid aortic valve: a patient level multi-center analysis [J]. Int J Cardiol, 2015, 189: 282-288. DOI: 10.1016/j.ijcard.2015.04.066.
- [10] Zhu D, Chen Y, Zhang J, et al. Transapical implantation of a new second-generation transcatheter heart valve in patients with pure aortic regurgitation: a preliminary report [J]. Interact Cardiovasc Thorac Surg, 2015, 20 (6): 860-862. DOI: 10.1093/icvts/ivv049.
- [11] Baumgartner H, Hung J, Bermejo J, et al. Recommendations on the echocardiographic assessment of aortic valve stenosis: a focused update from the european association of cardiovascular imaging and the american society of echocardiography [J]. J Am Soc Echocardiogr, 2017, 30 (4): 372-392. DOI: 10.1016/j.echo.2017.02.009.
- [12] Baumgartner H, Hung J, Bermejo J, et al. Echocardiographic assessment of valve stenosis: EAE/ASE recommendations for clinical practice [J]. Eur J Echocardiogr, 2009, 10 (1): 1-25. DOI: 10.1093/ejehocard/jen303.
- [13] Hahn RT, Little SH, Monaghan MJ, et al. Recommendations for comprehensive intraprocedural echocardiographic imaging during TAVR [J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2015, 8 (3): 261-287. DOI: 10.1016/j.jcmg.2014.12.014.
- [14] Gutiérrezchico JL, Zamorano JL, Prieto-Moriche E, et al. Real-time three-dimensional echocardiography in aortic stenosis: a novel, simple, and reliable method to improve accuracy in area calculation [J]. Eur Heart J, 2008, 29 (10): 1296-1306. DOI: 10.1093/eurheartj/ehm467.
- [15] Golland S, Trento A, Iida K, et al. Assessment of aortic stenosis by three-dimensional echocardiography: an accurate and novel approach [J]. Heart, 2007, 93 (7): 801-807. DOI: 10.1136/hrt.2006.110726.
- [16] Baumgartner H, Falk V, Bax JJ, et al. 2017 ESC/EACTS guideline for the management of valvular heart disease. The Task Force for the Management of Valvular Heart Disease of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association of Cardio-Thoracic Surgery (EACTS) [J]. Eur Heart J, 2017, 38 (36): 2739-2791. DOI: 10.1093/eurheartj/ehx391.
- [17] Ren B, Tang H, Kang Y. Visualisation of the aortic annulus using the real-time three-dimensional transesophageal echocardiography [J]. Heart, 2011, 97 (10): 862-863. DOI: 10.1136/hrt.2011.222802.
- [18] Kapadia SR, Schoenhagen P, Stewart W, et al. Imaging for transcatheter valve procedures [J]. Curr Probl Cardiol, 2010, 35 (5): 228-276. DOI: 10.1016/j.cpcardiol.2010.01.002.
- [19] Tzikas A, Schultz CJ, Piazza N, et al. Assessment of the aortic annulus by multislice computed tomography, contrast aortography, and trans-thoracic echocardiography in patients referred for transcatheter aortic valve implantation [J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2011, 77 (6): 868-875. DOI: 10.1002/ccd.22761.
- [20] Koos R, Altioek E, Mahnken AH, et al. Evaluation of aortic root for definition of prosthesis size by magnetic resonance imaging and cardiac computed tomography: implications for transcatheter aortic valve implantation [J]. Int J Cardiol, 2012, 158 (3): 353-358. DOI: 10.1016/j.ijcard.2011.01.044.
- [21] Jilalawi H, Doctor N, Kashif M, et al. Aortic annular sizing for transcatheter aortic valve replacement using cross-sectional 3-dimensional transesophageal echocardiography [J]. J Am Coll Cardiol, 2013, 61 (9): 908-916. DOI: 10.1016/j.jacc.2012.11.055.
- [22] Khaliq OK, Kodali SK, Paradis JM, et al. Aortic annular sizing

- using a novel 3-dimensional echocardiographic method: use and comparison with cardiac computed tomography [J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2014, 7 (1): 155-163. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.113.001153.
- [23] 魏薪,陈丽萍,陈茂,等.三维超声测量经导管主动脉瓣植入术患者主动脉瓣环径的研究[J]. *中华超声影像学杂志*, 2014, 23(3): 185-189. DOI:10.3760/cma.j.issn.1004-4477.2014.03.001.
- [24] 黄朝旭,蒲朝霞,夏向阳,等.eSie Valves 三维自动定量分析在经导管主动脉瓣置换术前评估主动脉根部的应用价值[J]. *中华超声影像学杂志*, 2017, 26(6): 478-483. DOI:10.3760/cma.j.issn.1004-4477.2017.06.004.
- [25] Haensig M, Lehmkühl L, Rastan AJ, et al. Aortic valve calcium scoring is a predictor of significant paravalvular aortic insufficiency in transapical-aortic valve implantation [J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2012, 41 (6): 1234-1240; discussion 1240-1241. DOI:10.1093/ejcts/ezr244.
- [26] Feuchtnr G, Plank F, Bartel T, et al. Prediction of paravalvular regurgitation after transcatheter aortic valve implantation by computed tomography: value of aortic valve and annular calcification[J]. *Ann Thorac Surg*, 2013, 96(5): 1574-1580. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2013.06.049.
- [27] Colli A, D'Amico R, Kempfert J, et al. Transesophageal echocardiographic scoring for transcatheter aortic valve implantation: impact of aortic cusp calcification on postoperative aortic regurgitation[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2011, 142(5): 1229-1235. DOI:10.1016/j.jtcvs.2011.04.026.
- [28] Genereux P, Reiss GR, Kodali SK, et al. Periaortic hematoma after transcatheter aortic valve replacement: description of a new complication[J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2012, 79 (5): 766-776. DOI:10.1002/ccd.23242.
- [29] Masson JB, Kovac J, Schuler G, et al. Transcatheter aortic valve implantation: review of the nature, management, and avoidance of procedural complications[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2009, 2 (9): 811-820. DOI:10.1016/j.jcin.2009.07.005.
- [30] Ewe SH, Ng AC, Schuijf JD, et al. Location and severity of aortic valve calcium and implications for aortic regurgitation after transcatheter aortic valve implantation[J]. *Am J Cardiol*, 2011, 108(10): 1470-1477. DOI:10.1016/j.amjcard.2011.07.007.
- [31] Kasel AM, Cassese S, Bleiziffer S, et al. Standardized imaging for aortic annular sizing: implications for transcatheter valve selection[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2013, 6: 249-262. DOI: 10.1016/j.jcmg.2012.12.005.
- [32] 孔令秋,康斌,魏薪,等.经导管主动脉瓣植入术患者冠状动脉开口位置的三维超声研究[J]. *中华超声影像学杂志*, 2013, 22 (10): 847-850. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4477.2013.10.007.
- [33] Dvir D, Lavi I, Eltchaninoff H, et al. Multicenter evaluation of Edwards SAPIEN positioning during transcatheter aortic valve implantation with correlates for device movement during final deployment[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2012, 5 (5): 563-570. DOI:10.1016/j.jcin.2012.03.005.
- [34] Sherif MA, Abdel-Wahab M, Stocker B, et al. Anatomic and procedural predictors of paravalvular aortic regurgitation after implantation of the Medtronic CoreValve bioprosthesis[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2010, 56 (20): 1623-1629. DOI: 10.1016/j.jacc.2010.06.035.
- [35] Chen M, Feng Y, Tang H, et al. Strut fractures of CoreValve frames[J]. *Int J Cardiol*, 2013, 163(3): e42-43. DOI:10.1016/j.ijcard.2012.09.004.
- [36] Zoghbi WA, Chambers JB, Dumesnil JG, et al. Recommendations for evaluation of prosthetic valves with echocardiography and Doppler ultrasound: a report from the American Society of Echocardiography's Guidelines and Standards Committee and the Task Force on Prosthetic Valves, developed in conjunction with the American College of Cardiology Cardiovascular Imaging Committee, Cardiac Imaging Committee of the American Heart Association, the European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, the Japanese Society of Echocardiography and the Canadian Society of Echocardiography, endorsed by the American College of Cardiology Foundation, American Heart Association, European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, the Japanese Society of Echocardiography, and Canadian Society of Echocardiography [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2009, 22 (9): 975-1014. DOI: 10.1016/j.echo.2009.07.013.
- [37] Daneault B, Koss E, Hahn RT, et al. Efficacy and safety of postdilatation to reduce paravalvular regurgitation during balloon-expandable transcatheter aortic valve replacement [J]. *Circ Cardiovasc Interv*, 2013, 6 (1): 85-91. DOI: 10.1161/CIRCINTERVENTIONS.112.971614.
- [38] Kappetein AP, Head SJ, Genereux P, et al. Updated standardized endpoint definitions for transcatheter aortic valve implantation: the Valve Academic Research Consortium-2 consensus document [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2012, 60 (14): 1438-1454. DOI: 10.1016/j.jacc.2012.09.001.

(收稿日期:2018-01-24)