

2015 成人胸主动脉疾病多方法成像：美国超声心动图学会（ASE）及欧洲心血管影像学会（EACVI）

并获得心血管 CT 学会 (SCVCT) 及心血管 MR 学会 (SCVMR) 的认同

中文版翻译：四川大学华西医院心脏内科 黄鹤

中文版审阅：Shumin Gao, Cardiovascular Core Lab, Morristown Medical Center, Atlantic Health System

Steven A. Goldstein, MD, Co-Chair, Arturo Evangelista, MD, FESC, Co-Chair, Suhny Abbara, MD, Andrew Arai, MD, Federico M. Asch, MD, FASE, Luigi P. Badano, MD, PhD, FESC, Michael A. Bolen, MD, Heidi M. Connolly, MD, Hug Cuellar-Cabrera, MD, Martin Czerny, MD, Richard B. Devereux, MD, Raimund A. Erbel, MD, FASE, FESC, Rossella Fattori, MD, Eric M. Isselbacher, MD, Joseph M. Lindsay, MD, Marti McCulloch, MBA, RDCS, FASE, Hector I. Michelena, MD, FASE, Christoph A. Nienaber, MD, FESC, Jae K. Oh, MD, FASE, Mauro Pepi, MD, FESC, Allen J. Taylor, MD, Jonathan W. Weinsaft, MD, Jose Luis Zamorano, MD, FESC, FASE, Contributing Editors: Harry Dietz, MD, Kim Eagle, MD, John Elefteriades, MD, Guillaume Jondeau, MD, PhD, FESC, Hervé Rousseau, MD, PhD, and Marc Schepens, MD, *Washington, District of Columbia; Barcelona and Madrid, Spain; Dallas and Houston, Texas; Bethesda and Baltimore, Maryland; Padua, Pesaro, and Milan, Italy; Cleveland, Ohio; Rochester, Minnesota; Zurich, Switzerland; New York, New York; Essen and Rostock, Germany; Boston, Massachusetts; Ann Arbor, Michigan; New Haven, Connecticut; Paris and Toulouse, France; and Brugge, Belgium* (**J Am Soc Echocardiogr 2015;28:119-82.**)

缩写词表：

AAS = Acute aortic syndrome 急性主动脉综合征

AR = Aortic regurgitation 主动脉瓣反流

ASE = American Society of Echocardiography 美国超声心动图学会

BAI = Blunt aortic injury 主动脉钝性损害

BSA = Body surface area 体表面积

CT = Computed tomography 计算机断层扫描

CTA = Computed tomographic aortography CT 主动脉造影成像

CXR = Chest x-ray 胸部 X 线

EACVI = European Association of Cardiovascular Imaging 欧洲心血管影像学会

EAU = Epiaortic ultrasound 主动脉外超声

GCA = Giant-cell (temporal) arteritis 巨细胞性 (颞) 动脉炎

ICM = Iodinated contrast media 碘造影剂

IMH = Intramural hematoma 壁内血肿

IRAD = International Registry of Acute Aortic Dissection 急性主动脉夹层的国际注册

MDCT = Multidetector computed tomography 多排探测器螺旋 CT

MIP = Maximum-intensity projection 最高强度投影

MR = Magnetic resonance 磁共振

MRI = Magnetic resonance imaging 磁共振成像

PWV = Pulsewave velocity 脉搏波传播速度

STJ = Sinotubular junction 窦管交界处

TA = Takayasu arteritis 多发性动脉炎
TEE = Transesophageal echocardiography 经食管超声心动图
TEVAR = Transthoracic endovascular aortic repair 经胸血管内主动脉修复
3D = Three-dimensional 三维
TTE = Transthoracic echocardiography 经胸超声心动图
2D = Two-dimensional 二维
ULP = Ulcerlike projection 溃疡样投影

目录

前言 121

I. 主动脉解剖与生理 121

A. 正常主动脉图像参考值 121

1. 正常主动脉内径 122

B. 如何测量主动脉 124

1. 主动脉测量的界面，定义及时相 124

2. 不同主动脉节段的空间结构对测量的影响 126

a. 主动脉瓣环 126

b. 主动脉窦和窦管交界处 126

c. 升主动脉及更多远端节段 126

C. 主动脉生理和功能 127

1. 主动脉功能的局部指数

2. 主动脉硬化的局部指数：脉搏波传播速度（PWV）128

II. 成像技术 129

A. 胸片（CXR）129

B. 经胸超声心动图（TTE）129

C. 经食道超声心动图（TEE）130

1. 主动脉影像

D. 三维超声 131

E. 血管内超声 131

1. 限制 131

F. CT 131

1. 方法 132

a. CT 主动脉造影成像（CTA）132

i. 主动造影术前的普通 CT 133

ii. 心电门控 CTA 133

iii. 主动脉造影术后的胸腹部 CT 133

iv. 电离辐射暴露 134

v. 测量 134

G. MRI 135

1. 黑血序列 135

2. MRI 电影序列 135

3. 血流谱 135

4. 增强 MRA 135

5. 伪影 136

- H. 介入性主动脉成像 136
- I. 影像技术的比较 137
- III. 急性主动脉综合征 138
 - A. 简介 138
 - B. 主动脉夹层 138
 - 1. 主动脉夹层分类 138
 - 2. 超声心动图（经胸和经食道超声心动图） 139
 - a. 超声心动图的发现 140
 - b. 并发症的观察 141
 - c. 经食道超声的局限性 141
 - 3. CT 141
 - 4. 主动脉夹层的 MRI 143
 - 5. 成像法则 144
 - 6. 经食管超声在指导 A 型主动脉夹层外科手术中的应用 144
 - 7. 成像操作在指导血管内治疗中的应用 146
 - 8. 主动脉夹层的系列随访（检查方法选择） 147
 - 9. 影像技术对并发症的预测指标 148
 - a. 主动脉内径的最大值 148
 - b. 未闭的假腔 148
 - c. 部分假腔血栓 149
 - d. 撕裂破口大小 149
 - e. 真腔受压情况 149
 - 10. 随访策略 149
 - C. 壁内血肿 149
 - 1. 简介 149
 - 2. 成像标记与特征 149
 - 3. 成像法则 151
 - 4. 壁内血肿的系列随访（方法选择） 151
 - 5. 并发症的预测 151
 - D. 穿透性主动脉溃疡 151
 - 1. 简介 151
 - 2. 影像特征 151
 - 3. 影像方式 152
 - a. CT 152
 - b. MRI 152
 - c. TEE 152
 - d. 主动脉造影成像 152
 - 4. 成像法则 153
 - 5. PAU 的系列随访（检查选择） 153
- IV. 胸主动脉瘤 153
 - A. 定义及术语 153
 - B. 动脉瘤的分类 154
 - C. 动脉瘤的形态学 154
 - D. 动脉瘤系列随访（检查选择） 154

- 1. 随访原则 155
- E. 经食管超声在指导胸主动脉瘤外科手术中的应用 155
- F. 特殊情况 156
 - 1. 马方综合征 156
 - a. 未手术马方综合征患者的主动脉影像 156
 - b. 马方综合征患者的术后主动脉影像 157
 - c. 马方综合征患者夹层形成后的主动脉影像 157
 - d. 家族筛查 157
 - 2. 成年人的其他主动脉遗传性疾病 157
 - a. 特纳综合征 157
 - b. 洛伊斯-迪茨综合征 157
 - c. 家族性胸主动脉瘤 157
 - d. 埃勒斯-当洛斯综合征 157
 - 3. 二叶式主动脉瓣相关的主动脉疾病 157
 - a. 二叶式主动脉瓣相关的主动脉疾病 157
 - b. 未手术的二叶式主动脉瓣患者的主动脉影像 158
 - c. 未手术的二叶式主动脉瓣患者的主动脉影像随访 158
 - d. 二叶式主动脉瓣相关的主动脉病患者术后主动脉影像学检查 58
 - e. 家族筛选 159
- V. 胸主动脉外伤 159
 - A. 病理学 159
 - B. 影像方法 160
 - 1. 胸片 160
 - 2. 主动脉造影术 160
 - 3. CT 160
 - 4. TEE 161
 - 5. IVUS 161
 - 6. MRI 162
 - C. 成像法则 162
 - D. 血管内修复术的影像学 162
- VI. 主动脉缩窄 162
 - A. 未手术主动脉缩窄患者的主动脉影像 163
 - B. 主动脉缩窄术后的主动脉影像 164
- VII. 动脉粥样硬化 164
 - A. 斑块形态及分类 164
 - B. 影像方法 165
 - 1. 超声心动图 165
 - 2. 主动脉外超声 165
 - 3. CT 166
 - 4. MRI 166
 - C. 成像法则 166
 - D. 动脉粥样硬化的系列随访 (检查的选择) 167
- VIII. 主动脉炎 167
 - A. 主动脉感染性动脉瘤 167

B. 非感染性主动脉炎	168
IX. 主动脉根部及主动脉的术后影像	169
A. 获取图像须知	169
B. 常见主动脉手术技术	169
1. 嵌入手术	169
2. 包裹技术	169
3. 复合的人工血管	169
4. 主动脉弓人工血管	169
5. 象鼻手术	169
6. Cabrol 分流术	170
7. 技术辅助	170
C. 正常术后特征	170
D. 主动脉修复后的并发症	170
1. 假性主动脉瘤	170
2. 假腔扩张	170
3. 主动脉分支受累	171
4. 感染	171
E. 系列影像技术及日程安排的建议	171
X. 总结	171
注意和免责声明	171
参考文献	171

前言

主动脉疾病病理种类繁多，临床表现也多种多样，可能在多个学科就诊，涉及到包括家庭医生，急诊科医生，心内科医生，心脏外科医生，血管外科医生，超声心动图医生，放射科医生，CT 及 MRI 技术员以及重症监护室的医生等。许多主动脉疾病发病紧急，除非被迅速、准确的判断和检出，有可能会造成灾难性的后果。这些情况的最佳处理取决于多种影像学检查结果，包括超声心动图、CT、MRI 及较少使用的介入性的主动脉造影。

在过去的十年中，主动脉疾病非介入性影像学检查已经有了巨大的进展。本文旨在对这些非介入性影像方法在主动脉疾病中的应用做一个全面综述。重点将放在每种技术在用于不同主动脉疾病时的优缺点上。目前，对于这些影像方法的相对作用（比对应效应）还缺乏共识。大家已经开始尝试着对于一些特定情况确定一线及二线选择。很重要的是，我们已经强调了统一术语及测量技术的必要性。这些建议都是源于严格的文献综述，尽可能地做到有据可循。对于某些情况，这些建议反映了专家撰写组的共识，也包括来自其他支持影像学会的专家们的审定。

由于快速识别病情对于成功治疗至关重要，本文将重点放在急性主动脉综合征 (AAS)，如主动脉夹层及变异型（例如壁内血肿），升主动脉瘤的破裂，主动脉创伤以及穿透性溃疡这些疾病上。对其它情况，如多发性大动脉炎，巨细胞性动脉炎，感染性主动脉瘤，仅作简述。比较少见的主动脉疾病如主动脉肿瘤（因为其罕见）和冠状动脉、主动脉弓的先天性异常，以及乏氏窦瘤就不再赘述。其他一些论题，包括基因在评估处理主动脉疾病中的重要作用也已超出本文的范围。而且本文亦无意取代或延伸之前对决策和处理上述情况的优秀的指南建议¹。

总之，本文的着重点是多数非介入性影像技术的基本作用。临床的敏锐判断和怀疑，加上影像技术知识对于评估和处理常危及生命的主动脉疾病是至关重要的。

I. 主动脉的生理及解剖

A. 正常主动脉及参考值

主动脉是人体最大最坚韧的动脉，它的壁包含有三层：薄的内层或者内膜，厚的中层或称肌层，和稍薄的外层或外膜。内皮细胞排列的主动脉内膜菲薄、易损，很容易因外伤而破损。肌层包括平滑肌细胞以及多层弹力板，这样不仅能提供力量支撑，还有可扩张性及弹性，有利于主动脉的循环功能。外膜主要包括胶原及营养主动脉壁外层及大部分中膜的滋养血管。

主动脉的回弹特性对它的正常功能很重要。主动脉壁的弹性可以让它接受左心室在收缩期的搏动性输出，并在舒张期保持持续的前向血流。随着年龄的增长，主动脉的弹性纤维变薄或者破碎。弹力板通常的向心性走向将被打乱。这些退化性改变也伴随着胶原及基质的增加。主动脉壁的弹性以及顺应性减低导致在老年人中常见的脉压增大，也可能伴随着进展性的主动脉扩大。

主动脉是一个结构复杂的器官，始于球状根部（图 1 中的 D），循着身体长轴，呈拐杖型，走行于胸部及腹部，直达髂动脉分叉。主动脉包括 5 个主要解剖节段：主动脉根部，升主动脉管部，主动脉弓，降胸主动脉以及腹主动脉。升主动脉的最近端，主动脉根部（图 1 中的 I），包括主动脉瓣环，主动脉瓣叶，冠状动脉口，以及主动脉窦。主动脉根部的远端有一个很明显的标记即窦管接合部延伸形成升主动脉的管状部分（II）。升主动脉的管部从窦管接合处延伸到头臂干开口处。这段相对长的部分又分为 IIa（即从窦管结合处到肺动脉水平）和 IIb（肺动脉水平到头臂干开口处）。主动脉弓（III）从头臂干延伸至左锁骨下动脉。降胸主动脉（IV）可分为近端部分（IVa，即从左锁骨下动脉开口处至肺动脉水平）和远端部分（IVb，即从肺动脉水平至膈肌）。腹主动脉（V）也分为近端（Va，即从膈肌至肾主动脉开口处）和远端（Vb，即从肾动脉开口处至髂动脉分叉处）。

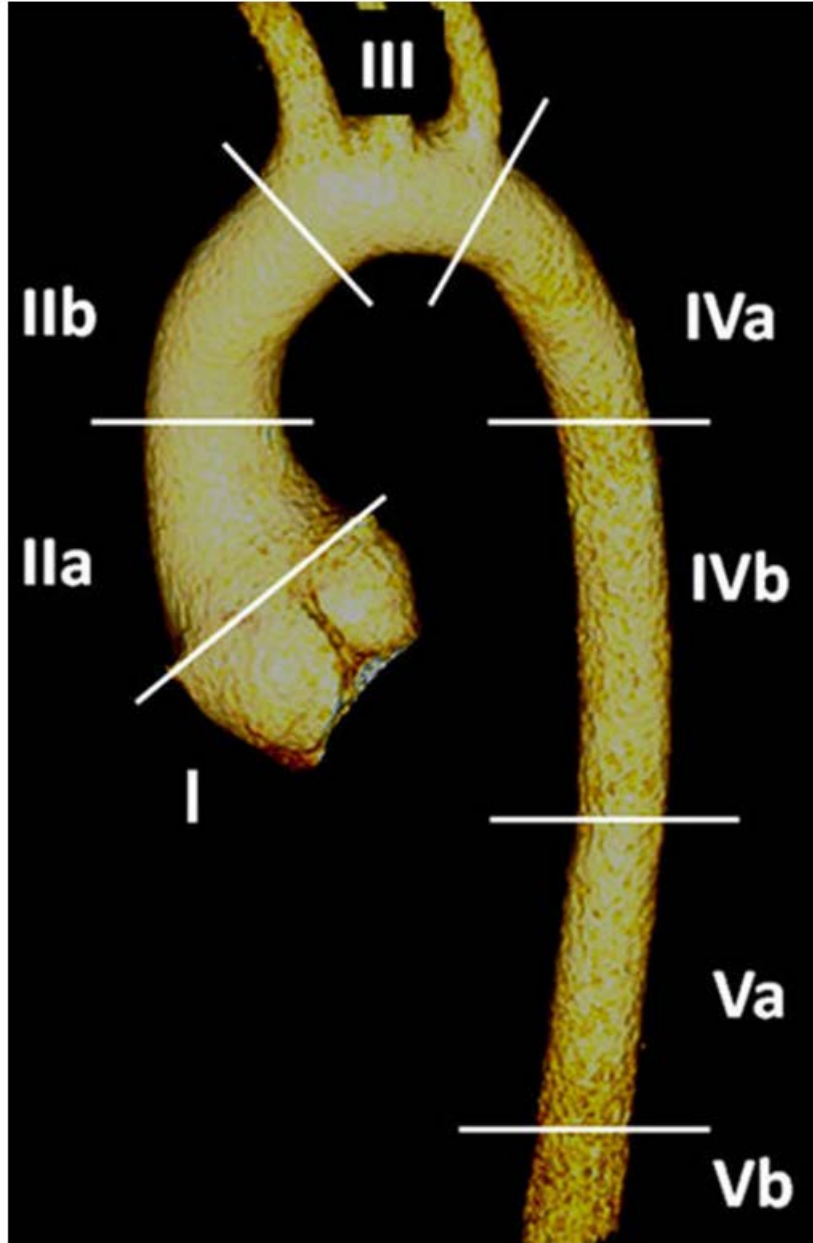


图 1 正常主动脉的 CT 三维重建，其组成部分如下：I= 主动脉根部，II= 主动脉管部（分为 IIa [窦管交界处到肺动脉水平] 和 IIb [从肺动脉水平至头臂干水平] ），III= 主动脉弓，IV= 降胸主动脉（分为 IVa [从左锁骨下动脉水平至肺动脉水平] 和 IVb [从肺动脉水平至膈肌水平]）以及 V= 腹主动脉（分为）Va [从膈肌至肾动脉开口的上腹主动脉] 和 Vb [从肾动脉开口至髂动脉分叉处] 。

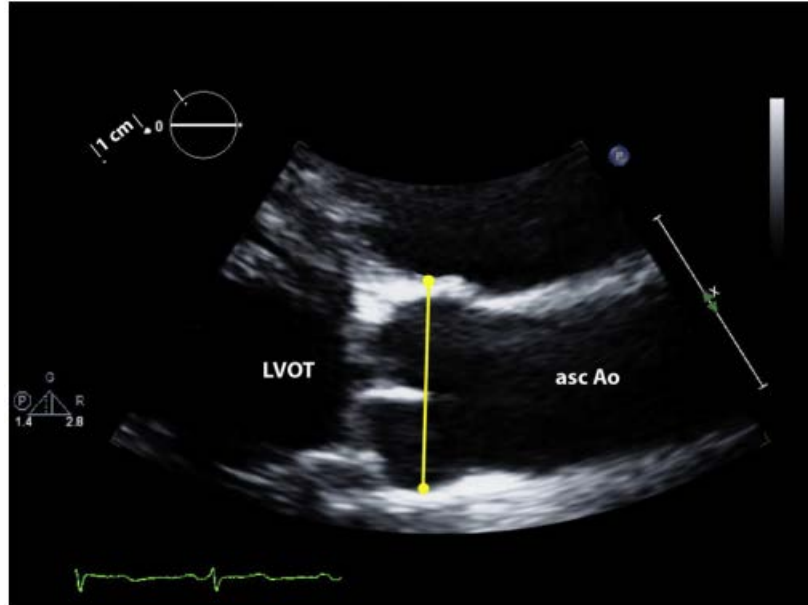


图2 常规经胸超声心动图的胸骨旁长轴切面 (放大的主动脉根部及升主动脉) 用前缘至前缘测量方法在舒张末期于乏氏窦水平测量主动脉根部内径。Aso Ao 升主动脉; LVOT 左室流出道。

1. 正常主动脉内径

由于主动脉根部的易于观察及其临床价值^{2,3}，关于主动脉根部的数据最多。一些大型研究都报道过用二维超声心动图测量的胸骨旁左室长轴切面的主动脉根部内径⁴⁻¹⁰。尽管主动脉长轴定位稍不同，但是主动脉根部的内径应该在垂直于主动脉轴处测量。标准测量是测量从右冠窦到后窦（通常叫无冠窦）的最大内径。许多研究报告的主动脉内径是在舒张末期利用前缘至前缘测量方法获得（表2）。

在成人，主动脉内径明显与年龄及体格大小呈正相关，同样的年龄^{5-8,10,11}及体格^{4-6,8,10,11}，男性主动脉内径要比女性大^{6,12,13}。尽管在很多报道中，主动脉内径都用体表面积（BSA）^{10,13,14}标准化，但这种方法也不是完全让人满意，因为主动脉内径在体格小的正常成年人会比体格大的成年人普遍偏小。幸运的是，在儿童中，主动脉内径与身高（而不是体表面积）的回归线有一个接近于0的干扰，也就是说在成长中的儿童中¹⁵，以身高来标准化内径是最常见最精确的。这个指南的标准值^{1,16}来自 Roman 等的工作⁹，他们报告了三个年龄组的正常主动脉根部内径。（见表3）

正常主动脉内径的上限定义为大于平均预期内径的两个标准差（SD）。Z值（平均预测正常内径上下的SD数）是定量主动脉扩大的一个有效的方法。在正常人，95.4%的Z值在-2与2之间。所以，当Z值 ≥ 2 时，即可认为主动脉扩大。Z值可以用来比较不同的时间点患者的主动脉内径，衡量年龄及体表面积增长的影响，这样能区分出正常生长和病理性生长。Z值对成长中的儿童是尤其有用的。

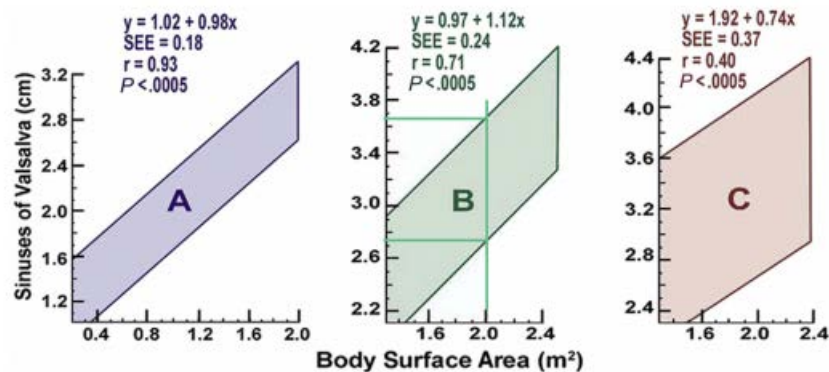


图3 正常个体主动脉根部内径（纵轴）与体表面积（横轴）的关系，1到15岁（左图，蓝色），20到39岁(中间图，绿色)，以及超过40岁(右图，橘色)。例如，两条绿色的水平线与绿色区域相交区所示，一

个在 20 至 39 岁的个体（中间图），体表面积为 2.0m^2 （垂绿线），其主动脉根部内径正常值（2SDs）在 2.75 到 3.65cm 之间。

表 1 体表面积为 2.0m^2 的不同年龄男性的正常主动脉根部内径

	年龄 (y)					
	15-29	30-39	40-49	50-59	60-69	≥ 70
正常平均值 (cm)	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8
正常值上限 (cm) (95%CI)	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2

体表面积大于 2.0m^2 的每增加 0.1m^2 主动脉内径增加 0.5mm ，或者是小于 2.0m^2 每减少 0.1m^2 主动脉内径减少 0.5mm ⁶

CI 可信区间

表 2 体表面积为 1.7m^2 的不同年龄女性的正常主动脉根部内径

	年龄 (y)					
	15-29	30-39	40-49	50-59	60-69	≥ 70
正常平均值 (cm)	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4
正常值上限 (cm)	3.3	3.4	3.6	3.6	3.7	3.9

体表指数大于 1.7m^2 的每增加 0.1m^2 主动脉内径增加 0.5mm ，或者是小于 1.7m^2 每减少 0.1m^2 主动脉内径减少 0.5mm ⁶。

值得一提的是，主动脉根部的内径可能会受到竞技运动员的耐力及力量训练所产生的血流动力学效应的影响而增大。这种主动脉根部的增大¹⁷⁻¹⁹在冠状窦部要比在主动脉瓣环及窦管结合处更明显。然而，需要强调的是，运动训练对主动脉内径的影响是很小的，所以很明显的增大则提示是一个病理过程^{17,18}。

近来，研究者运用一个包括多种族的，年龄大于 15 岁的正常的青少年及成年人构成的 1207 人的群体数据库，设计了方程式，由此来根据年龄，体格大小（体表面积或身高）以及性别来推测主动脉根部内径的正常均值及其上限⁶（表 1 是男性，表 2 是女性）。这些方程也曾以图表的形式来推测正常主动脉根部内径 95% 可信区间的上限，用断面来描述年龄及体格的相互影响（图 4 是男性，图 5 是女性）。

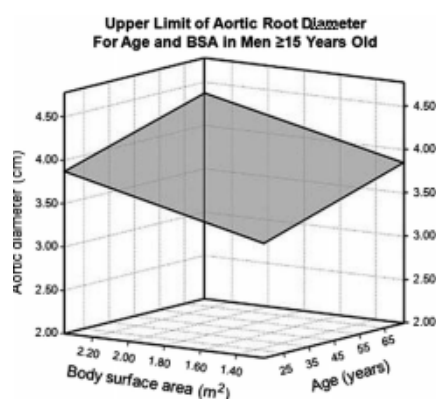


图 4 断面代表以年龄及体表面积预测的 ≥ 15 岁男性的主动脉内径的 1.96Z 值（即 95% 可信区间）的上限。（引自 Devereux 等⁶）。

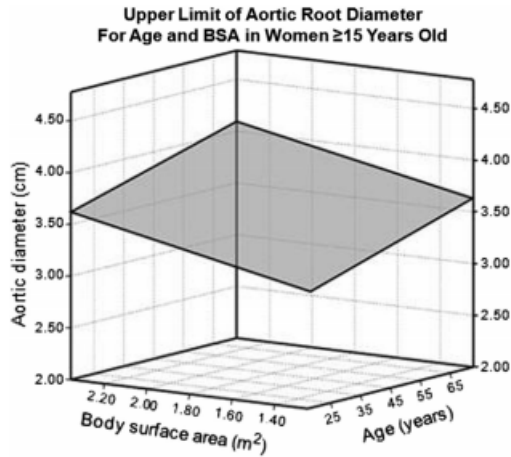


图5 断面代表以年龄及体表面积预测的≥15岁女性的主动脉内径的1.96Z值（即95%置信区间）上限。（引自Devereux等⁶）。

一项包括了4039个成年患者的无造影剂的门控²⁰心脏CT研究，显示性别、年龄、体表面积以及高血压与垂直于主动脉长轴的胸主动脉内径直接相关。而且这些相关性与超声研究结果是一致的。近期另一个应用类似方法的大型研究中得到的升主动脉内径均值为 $1.8 \pm 0.2 \text{ cm/m}^2$ ，降胸主动脉内径为 $1.4 \pm 0.2 \text{ cm/m}^2$ ，正常上限分别为 2.1 cm/m^2 及 1.8 cm/m^2 ²¹。然而，更加精准的胸主动脉内径正常值可能需要通过心电门控的多排探测器螺旋CT的经解剖矫正的主动脉双斜位短轴图像或者MRI的经轴向定位的主动脉段来获取。CT⁸测得的主动脉正常上限，根窦部是3.7cm，升主动脉是3.6cm，降胸主动脉是2.5cm；MRI²²测得的正常上限在降胸主动脉是2.5cm，腹主动脉上部是2.0cm。与超声心动图所测值一样，CT及MRI所测的主动脉根部及升主动脉随年龄及体表面积而显著增大。主动脉根部的内径在男性每10年增加0.9mm，在女性每10年增加0.7mm⁴。

考虑到性别、年龄的正常值及参考范围的建立对于诊断、预后、动态监测、以及外科手术时机的抉择是至关重要的。使用不同影像技术测得的正常值与近端主动脉的内径已经报道，这些方法包括从最早的M型及2D超声心动图^{9,10}到最近的CT^{7,8,20,23-25}及MRI^{5,26}。尽管各种影像采集方法、时间、空间分辨率、信号的信噪比不同，CT、MRI、TTE及经食管超声心动图（TEE）在主动脉根部内径评估上同等重要。上述已经讨论过，每种影像方法都有其优缺点。应该强调的是，正常主动脉内径随着性别、年龄、体格变化，这些参数的参考值已有提供。最后需要强调的是，不仅存在方法学差异也存在观察者之间和观察者个人的差异。在几项研究中，主动脉近端内径的测量差异在1.6到5mm^{8,23,24,27,28}之间。基于这样的测量差异，系列CT测量主动脉近端内径的细小变化可能只在测量误差范围之内。因此，对于所有的影像技术，我们推荐当心电门控CT检查变化小于3mm，无心电门控检查变化小于5mm时，应该谨慎观察。

B. 如何测量主动脉

准确、可重复地测量主动脉内径对于检测及分类主动脉疾病以及指导治疗策略是非常必要的。现代影像技术比起传统的唯一方法即有创的血管造影技术，可以提供更加精确地测量。

超声心动图、CT、MRI都有独特的长处及限制，但都可以获取用以测量不同节段的主动脉内径或横截面积的图像（图1）。

1. 主动脉测量的界面、定义及时相

美国超声心动图学会（ASE）在1978²⁹年提出主动脉根部测量的标准。ASE建议应该在舒张末期，从主动脉根部前壁的前缘到主动脉后壁的前缘测量。大家相信这样测量可以使强反射的强化效应对测量的影响最小化。ASE^{10,13}建议的这种方法在许多重要的临床及流行病学研究中被应用，报告了不同身材、年龄的个体的正常界限，而且这种正常界限也被纳入成人影像的多种指南中。而且，成人主动脉根部正常值及成

人主动脉扩大 (图 4 和 5)^{1,9,16} 的患病率及预后的数据资料已由超声心动图产生^{6,10,13}。

CT 及 MRI 的测量目前还没有来自学会的指南。因此，测量方法缺乏统一。许多用这些方法的研究及临床检查中，在心电门控或者是非心电门控影像中，采用从主动脉内缘至内缘测量主动脉内径。对于胸主动脉疾病诊断治疗的 2010 指南采取了相反的方法，推荐主动脉内径的测量应该采用外缘到外缘，以避免通常在腹主动脉常见（而在升主动脉）的主动脉内血栓及主动脉粥样斑块对测量带来的影响。另外，目前对图像的采集时间（收缩末期或舒张末期）也没有标准化。因此，多种影像方法的应用，例如：CT、MRI、2D 及 3D 超声心动图也导致了测量方法的不统一¹。而且，目前也没有一个标准的方法来统一不同的影像方法（超声心动图，CT，MRI）在采图时间（收缩末或舒张末）和边缘选择（前缘，内缘到内缘，外缘到外缘）上对主动脉测量的一致性。写作组希望能够推荐一种统一的测量技术，来使这些测量方法之间的差异最小化。然而，经过深思熟虑，这个团队还是建议超声心动图测量方法继续采用这个标准：即垂直于主动脉长轴，在舒张末期，测量主动脉前缘至前缘。舒张末测量的优点包括更好的可重复性（因为主动脉压力在舒张末期最稳定）和舒张末期的易识别性（QRS 波起点）。尽管其他技术应用内缘到内缘测量方法，但是目前尚没有充足的数据来改变超声心动图的测量方法。目前所得的数据显示超声心动图前缘至前缘的测量方法所得到的数值，与 CT 及 MRI 的内缘至内缘的测量数据具有可比性，结果亦具有可重复性，而且关联到长期以来用以指导临床决策的有关病史及预后的大量数据。

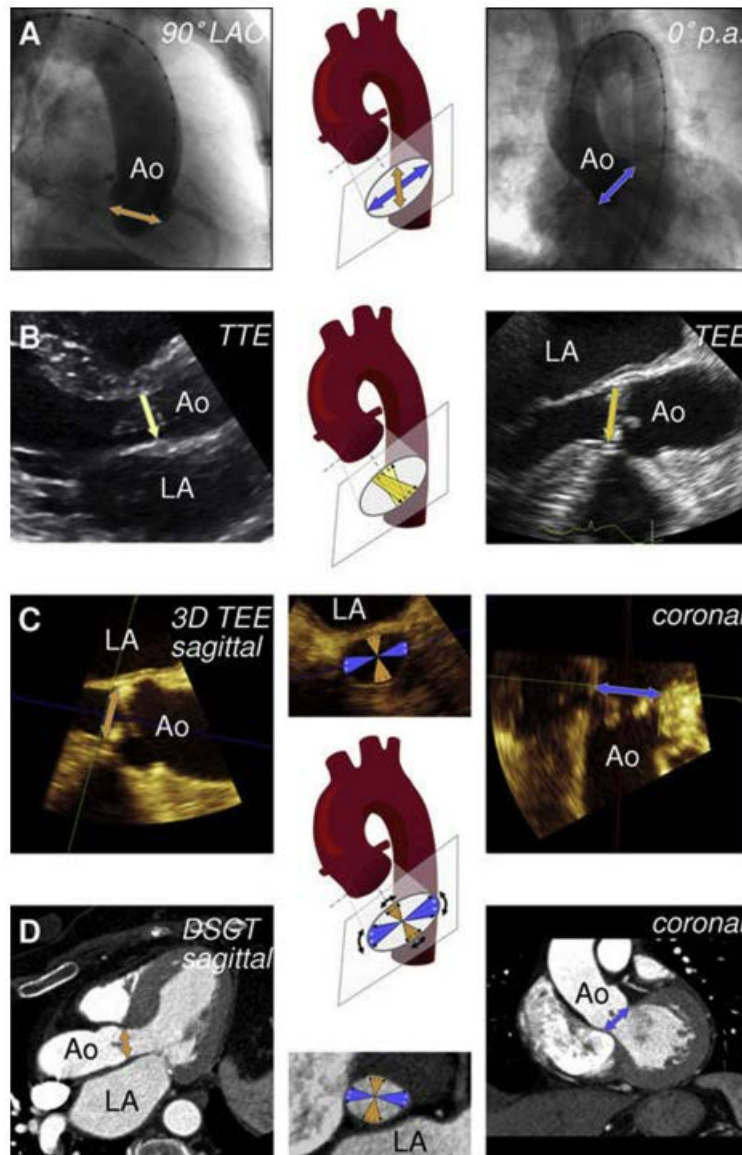


图 6 胸主动脉模型显示每种所用影像技术的主动脉瓣环切面

(A) 在 90°左前斜 (LAO) 的血管造影中, 橘色箭头示矢状内径 (左), 在 0°后前位图像里蓝色的箭头示冠状内径。

(B) 经胸超声心动图 (左) 和 2D 经食管超声心动图 (右) 经主动脉瓣环的左室流出道切面。因为经胸和食道中部的声窗不同, 获得切面略有差异。经胸及经食道超声的左室流出道均为矢状切面 (分别由亮黄和暗黄箭头指向)。在主动脉弓模型及超声心动图图像上箭头的方向都指扫查方向。扫查切面方向的个体调整也都在模型上显示出来。

(C) 3D 经食管超声心动图相交的矢状面 (左) 和冠状面 (右) (橘色或蓝色箭头)。主动脉弓模型和解剖短轴切面 (中) 上描述了矢状及冠状切面。

(D) 双源 CT (DSCT) 重建的矢状面 (左) 和冠状面图像 (右) 及相应的矢状和冠状内径 (橘色及蓝色箭头所指)。主动脉弓模型和解剖短轴切面 (中) 上描述了矢状及冠状切面。AO, 升主动脉; LA, 左房。(From Altiok et al.⁴¹⁸)。

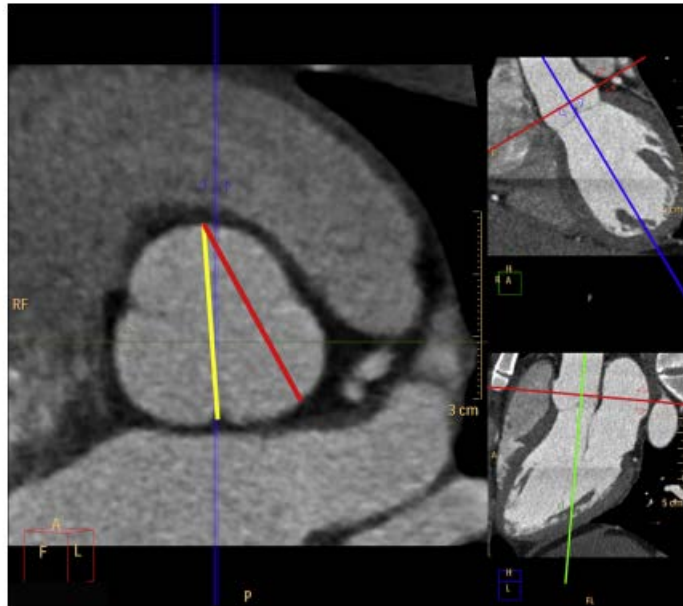


图 7 CT 测量的主动脉根部。主动脉根部的内径一般是从窦窦联合处的内边至对侧窦来测量（黄线），或者是从一个窦至另一窦测量（红线），如大图所示（左）是局部放大的主动脉根部在乏氏窦水平横断面图像。用双斜图像来定位（如右图所示）。

对于所有的技术都要求，在任何可能情况下，通过显著标记指定测量位置。例如：在食管超声中，对升主动脉内径最大值的测量应指出距窦管结合处的距离。在降主动脉胸段，则以距门齿距离来指明测量或异常部位。CT 和 MRI 的测量和异常发现也应同样进行标明。

2. 不同节段的构造：对测量的影响

对于一个给定部位的主动脉内径或者横切面的准确及可重复的测量需要三次垂直于长轴的测量。在大多数病例中，都采用一个最大且方向最好的一次测量。

a 主动脉瓣环 尽管主动脉瓣环在儿童和青年人中是接近圆形的，在老年人中它却可能是椭圆形的。因此，需要采用 CT、超声心动图的 3D 图像、及多平面 2D 图像（比如：长轴、矢状面、冠状面）测量一个足够准确的内径，以便进行经导管主动脉瓣置换术选择病人时使用。（图 6）。

b 乏氏窦和窦管结合处 主动脉根部内径可以在超声心动图 2D 图像垂直于长轴时测量，也可以在 MRI 和 CT 中于近似于冠状和矢状面测量。这种因主动脉根部走向带来的测量差异可以通过选择测量从右乏氏窦到后窦（通常叫无冠窦）最大径来克服。这个径线在几个角度稍微不同的长轴切面上与主动脉瓣环平行，与主动脉近端长轴垂直。没找到最大径可能低估主动脉根部内径。CT 及 MRI 测量的主动脉根部内径通常是在内缘之间，从窦窦联合处至对侧窦（图 7）。用窦-窦测量方法通常会比窦-窦联合处测量平均大 2mm^{4,7}（图 8）。但是，窦-窦测量方法也有诸多优点，其中包括在 CT 和 MRI 横断切面上，瓣叶边缘容易识别，与超声心动图测量方法接近一致，在主动脉二叶瓣时更可行。因此，CT 和 MRI 测量主动脉时，建议采用在舒张末期窦平面上三次窦-窦之间测量的平均值。当窦部明显不对称时，最好分别报告这三个窦-窦的测量值。

c 升主动脉及其远端部分 同样的原则适用于主动脉其他部分的测量。传统的方法技术适用于测量走向沿身体长轴的主动脉节段的径线。但是，在主动脉弓、降主动脉、腹主动脉部位，由于主动脉走行可能迂曲，避免斜向测量引起的对主动脉内径的高估非常必要。（图 9）。

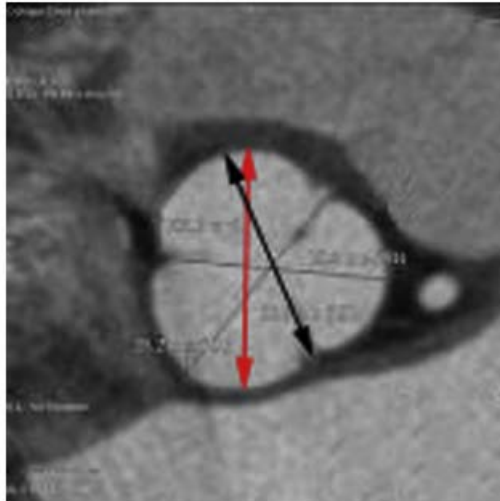


图8 主动脉根部的 CT 扫描图像表明前后径（窦-窦）测得主动脉内径（红色箭头所示）大约比窦-窦联合测得的内径（黑色箭头）大 2mm。

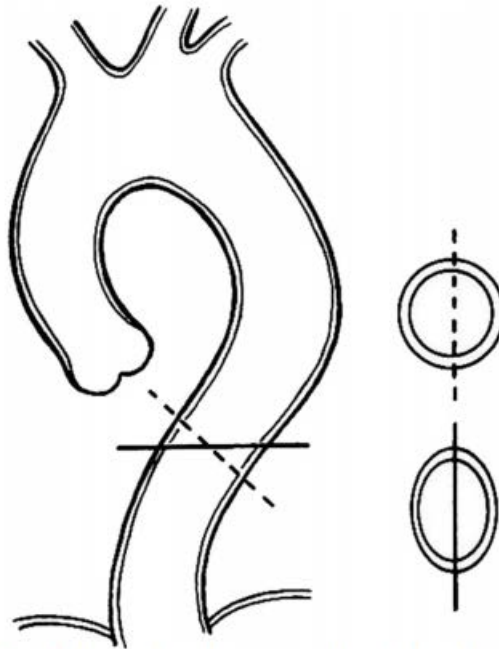


图9 示意图显示因获取斜切面导致椭圆形横截面并高估真正的内径的潜在缺陷，特别是当降主动脉走行迂曲时该问题更为突出。

我们强调了没有标准的方法来规范对于主动脉的测量（包括超声心动图、CT、MRI、主动脉造影术）。尽管写作组的目的是提供一种统一的、广为认可的方法来使这些影像方法的差异最小化，但是目前还没有达到共识。经过讨论思考，超声心动图的测量继续沿用前缘至前缘的测量方法。尽管其他技术采用内缘之间或者外缘之间的方法，但没有足够数据来改变超声心动图的测量。现存的数据显示超声心动图的前缘至前缘的测量方法比 CT 的内缘至内缘测量的值大（平均差异 2mm），而且这个前缘至前缘测量方法与大量既往的，更重要的是那些判断预后，影响着制定临床决策的测量资料相关联⁸。考虑到应用新方法会得到较小的测值，而这可能对患者治疗方案产生不利的影响（比如临床处治被延迟，导致可怕的并发症-主动脉破裂或者夹层），所以决定继续沿用前缘至前缘的测量方法。

C. 主动脉的生理和功能

主动脉既是一个管道也是一个存贮器，它的弹性使其在收缩期扩张，在舒张期回缩。因此，在正常情况下，收缩末期时左室输出量的很大一部分（至少 50%）储存在主动脉里（大部分在升主动脉）。舒张期

主动脉储存的血液会向前推进至外周循环。这种存贮器的作用对于维持整个心脏周期中血流及动脉压是很重要的。因为胸主动脉中层比腹主动脉拥有更多的弹性蛋白，所以它有更大的扩张性。主动脉的可扩张性会随着年龄衰退，起因于一些疾病状态有关的弹性蛋白和胶原蛋白提前退行变性³⁰。在左室收缩期，主动脉壁顺应性的缺失会导致收缩压及脉压的增加，继之主动脉扩张及延长。主动脉顺应性可以通过测量主动脉的容量随着与其同步变化的主动脉压力的变化来估计。也可通过测量随主动脉压力变化（比如可扩张性）而产生的心脏周期中局部主动脉内径及面积变化来评估，或者通过区域性的脉搏波传播速度来评估。

1. 主动脉功能的局部指标

任何准确评估主动脉在收缩期和舒张期内径或者容量的方法可以用来估计主动脉的弹性。临床最常用的指数是主动脉可扩张性及受血压影响较小的硬化指数。主动脉可扩张性及硬化指数可以由收缩期至舒张期的主动脉内径变化得出。也可通过以下公式算出的主动脉压的变化得出：

$$\text{可扩张性} (10^{-3}/\text{mmHg}) = 1000 \times [(\text{面积}_{\text{收缩期}} - \text{面积}_{\text{舒张期}}) / (\text{面积}_{\text{舒张期}} \times \text{脉压})]$$

对于这些计算，脉压理想测量水平应与主动脉内径的测量位置在同一水平。然而在临床上采用的脉压都是自肱动脉测得，即使肱动脉测得的压力由于放大效应，会比主动脉内压力稍大，而这种现象在年轻人身上尤为明显³¹。

2. 主动脉硬化的区域指标：脉搏波传播速度(PWV).

PWV 定义为主动脉内脉冲波的纵向速度，它与主动脉弹性是成反比的。因此，硬化血管的脉冲波要比顺应性好的主动脉传播更快。升主动脉水平的中心压力，是由左心室前向波和外周血管的反射逆行波共同产生的。在年轻个体，因为主动脉弹性好，脉冲波的速度比较低，所以外周的逆行波在舒张期到达主动脉近端。而主动脉硬化会使 PWV 增加，外周血管的逆行波则更早地在收缩期到达主动脉近端，因而导致左室后负荷增加，舒张压降低。

报道的有创方法测得的中年人的 PWV 正常值在主动脉根部为 $4.4 \pm 0.4\text{m/s}$ ；在降胸主动脉部近端为 $5.3 \pm 0.2\text{ m/s}$ ；在胸主动脉远端为 $5.7 \pm 0.4\text{m/s}$ ；在肾动脉以上腹主动脉为 $5.7 \pm 0.4\text{m/s}$ ；在肾动脉以下腹主动脉为 $9.2 \pm 0.5\text{m/s}$ ³²。

颈动脉-股动脉 PWV 被认为是动脉硬化测量的金标准，因为它易于测量而且很多流行病学研究证明了它对心血管事件的预测价值。然而，应用个体给定的 PWV 值来预测主动脉事件的能力之前尚没有被测定³³。最近的一个专家共识用直接颈-股动脉距离将 PWV 阈值调整到 10m/s ³⁴。PWV 分析的主要限制是它显著受动脉血压影响。多种影像技术提供了一个公式来估测主动脉 PWV：

$$\text{主动脉 PWV} (\text{m/s}) = \text{距离} (\text{mm}) / \text{通过时间} (\text{ms})$$

超声心动图可以在研究的两个水平，通过 QRS 波时相与血流的起始时间差，精确地估测血流通过的时间。距离可在体外用卷尺粗略地估计。

MRI 可以在相位对比影像中，利用血流曲线的通过时间来测量 PWV。血流通过时间可以用上升波段计算，这在前面已经描述过。和点对点方法（比如说足对足和半最大方法）相比，这种方法与年龄和主动脉硬化指数更为相关。距离也可以在研究的主动脉水平段的主动脉中心线处精确地测得³⁵。

正常大小的主动脉功能也可能会异常。因此，主动脉功能的测定有助于确定疾病的特性，提供某些疾病的预后信息。Vriz 等强调过这点⁴，他阐述过当测量到主动脉内径增宽时应该考虑动脉硬化。

总之，影像技术，特别是多普勒超声心动图和相位对比磁共振，可以简便、可靠地评价主动脉生物物理特性。这些评价可提供重要的病理生理及预后信息，进而对于疾病状态和正常人群均可提供临床建议。

II. 成像技术

A. 胸部X线检查 (CXR)

大部分文章在描述用于评估可疑为急性主动脉综合征患者（AAS）的影像技术时将重点放在阐述CT、MRI、超声心动图、主动脉造影术的作用上。尽管常规的CXR难以提供确切的诊断，但能为主动脉疾病的诊断提供一些有用的线索，以引导进一步的评估。表3列出了CXR对主动脉疾病的一些常见的和不常见的发现。

表 3 主动脉夹层的胸部 X 线发现

- 1.纵膈增宽
- 2.主动脉结区域的异常
 - (1) 增大（主动脉内径的膨胀）
 - (2) 存在双密度影（由于假腔的扩大）
 - (3) 不规则轮廓
 - (4) 主动脉结模糊（主动脉边界模糊）
- 3.内膜钙化移位
- 4.升主动脉与降主动脉内径差异
- 5.气管，左主支气管或食道的移位
- 6.胸腔积液（左侧比较常见）

此外，对于一些无症状或慢性的主动脉疾病的病例，CXR实际上可为主动脉病变提供第一线索。更重要的是，CXR能够鉴别其他导致患者不适的胸部疾病（比如：肺炎、气胸、肋骨骨折）。然而，尽管CXR可能有一定价值，但它对AAS既不敏感，又无特异性³⁶⁻³⁸。胸片提示主动脉正常不应该延迟或阻碍对可疑急性主动脉综合征患者作进一步的诊断检查。

总的来说，尽管CXR对于提示主动脉疾病有帮助，但它的低敏感性、低特异性和观察者间的共识限制了CXR的应用。

B. 经胸超声心动图（TTE）

TTE³⁹⁻⁴² 应常规地用来检测胸主动脉。对于大部分患者，TTE能很好地显示主动脉根部，较好地显示升主动脉和主动脉弓部；对一些患者，TTE可较好显示降主动脉，而且很好显示腹主动脉近端的图像。成像质量的提高及谐波成像技术明显改善了TTE对于主动脉的评估能力。

在左侧胸骨旁长轴切面，主动脉根部和升主动脉近端显像最好。左肺和胸骨常常影响从该探头位置对升主动脉远段的显示。对某些患者，特别是主动脉扩张的患者，右侧胸骨旁长轴切面能够提供额外信息。升主动脉也可能在心尖长轴切面（心尖三腔心）、心尖五腔心切面以及非常规的剑下切面（尤其儿童）探测到。

通常升主动脉窦部和升主动脉管部之间没有明确超声心动图界限，但是在窦管交界（STJ）处，偶而探及到一个纤维或硬结性的嵴。这个嵴可能会很明显，不应该和赘生物、脓肿、肿块、粥样斑块、撕裂内膜、或者主动脉瓣上狭窄等混淆。正常情况下，主动脉最大的内径位于根部（窦部的位置），刚刚在主动脉瓣远端。

同一患者的主动脉根部的超声心动图测量值在不同水平是不同的（图10）^{3,43,44}。主动脉瓣环处内径最小，乏氏窦中部内径最大。典型地，升主动脉管部内径比窦部水平内径小10%⁴⁵。主动脉弓部通常在胸骨上窝切面容易探测到。升主动脉及降主动脉部分能够同时显像。主动脉弓三支分支中的一支或多支通常能

够显像：大于90%的个体中左颈总动脉，左锁骨下动脉及高达90%个体的头臂干能够被显示（图11）。在左锁骨下动脉远端恰好是动脉韧带水平，动脉粥样硬化常发生在该部位，细小隔嵴或凹陷（导管憩室）有时也能在此处探测到。

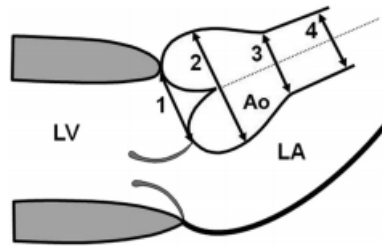


图10 主动脉根部及升主动脉测量部位的图示。该示意图显示了四个推荐测量的部位: 1 = 主动脉瓣环 (主动脉瓣叶的附着连接处), 2 = 乏氏窦处的主动脉根部 (最大径, 通常是中间点), 3 = 窦管结合处 (STJ), 4 = 升主动管的近端。



图11 经胸主动脉的胸骨上窝切面：升主动脉远端（Asc Ao），主动脉弓上血管（箭头）和降主动脉近端（Desc Ao）。

在经胸超声心动图中，降主动脉往往不能被完全显示出。降主动脉的横切面可能会在胸骨旁长轴切面显像，它位于左房的后面，临近房室沟处。降主动脉短轴也可能在心尖四腔心切面探测到。将旋转探头90°，降主动脉中段的长轴切面可能会获得。部分降主动脉也能够胸骨上窝切面获得。在左胸膜腔积液的患者中，从背部探查，可能也会显示出满意的降主动脉的图像。然而，由于远场分辨率的衰减，降主动脉的远端常常不能很好的显示。而且，有些患者的体格特征超出了声束穿透力的范围。

正常的降主动脉比主动脉根部及升主动脉内径要小。随着向下延伸，降主动脉的内径从2.5cm变窄到2.0cm⁴⁶。有报道在高血压、主动脉瓣膜疾病以及冠状动脉粥样硬化的患者中，降主动脉内径要大一些。女性的主动脉内径通常比男性要窄2mm⁴⁷。

腹主动脉的上段能够很好地在剑下显像，其位于下腔静脉的左侧。在2D超声心动图检查中应该常规探测¹⁶。腹腔干近端和肠系膜上动脉常常能显示。如有存在扩张的动脉瘤，外部的挤压情况，主动脉内的血栓、突出的动脉粥样斑块及撕裂的内膜均能够显像，同时腹主动脉的血流情况也能评估。作为腹部超声检查的一部分，肾动脉水平以下的腹主动脉用线阵探头观察效果最好。

总的来说，为了更可靠地评估可疑主动脉疾病的患者，全程胸主动脉都应很好地显像。但靠标准化的经胸超声心动图，可能只对部分患者，而非所有患者都可以做得到。经胸超声心动图在评估主动脉根部显得

尤为有用，升主动脉及主动脉弓在声窗条件好时，也可以充分地显像。TTE在评估降主动脉时帮助不大。但是，TTE是探测腹主动脉上段的动脉瘤的很好方式。

C. 经食道超声心动图（TEE）

TEE，在80年代末期引入临床，对累及到主动脉的诸多种疾病的评估已经产生了重大的影响。TEE比起TTE有两点明显的优势。第一，TEE应用高频率探头取得高质量图像，对于TTE则仅为可能。第二，由于食道近段与胸主动脉毗邻，TEE能够清楚观察到几乎全部的升主动脉及降主动脉⁴⁸⁻⁵⁰。TEE涵盖了所有TTE的功能特性，包括3D成像，它能可靠地探测心血管解剖、功能、血流动力学和血流信息。目前多平面TEE的探头是由单阵列的晶体组成，能够在180°弧面上绕着声束的长轴电动或机械驱动旋转。探头阵列晶体的旋转使得多平面TEE探查到连续一体的横向及纵向平面的图像。

1、主动脉的图像：如前所述，胸主动脉及食道在解剖学上的毗邻，使得TEE能获得极好的主动脉图像。多平面的经食道超声心动图检测主动脉应该按以下步骤进行：建议将食道探头放入食道中，升主动脉在100°~140°切面显示最好：图像和经胸超声心动图的胸骨旁长轴切面相似（只需将图像上下颠倒过来）。在100°~140°间，轻微地转动探头即可获得最佳的图像。主动脉根部和升主动脉的短轴切面能够在45°~60°间获得，探头通常是前屈的。食道中段0°时，只需轻微地向后转动探头即获得降主动脉短轴图像。保持胸主动脉图像的同时，探头退回可显示降主动脉的上胸段水平，或者继续地向下插入可逐次显示胸主动脉下段和腹主动脉上段。在探头在90°时，能够获得主动脉纵向图像。

探头向前进入胃里，可见腹主动脉的近端及腹腔干。由于探头很难与胃粘膜良好贴合，腹主动脉的中段及远段常常不能被看见。为了获得主动脉弓图像，探头需要朝后，并从食道中段退回。探头在90°时，能够获得主动脉弓横段的短轴切面。左锁骨下动脉的起始处往往能看见，但是左颈总动脉和头臂干动脉的图像很难或不可能获得，往往需要细心地顺时针旋转探头。由于气管位于其间，升主动脉远端和主动脉弓近端部分可能不会被显像。这个“盲点”能够通过纵向的切面部分地被解决。其它切面，如较深的经胃的切面，有时显示全部的升主动脉和经常显示主动脉弓近端（图12）。

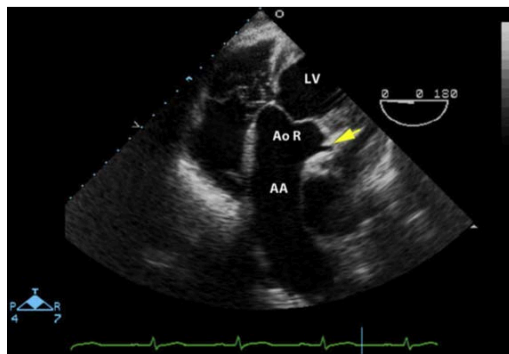


图12 经食道超声心动图深的经胃视野，显示主动脉根部（Ao R），整个升主动脉（AA）和近端主动脉弓部（没有标出）。左冠状动脉也可显像（黄箭头）。

D. 三维超声心动图

实时3D TEE是一个相对比较新的技术，随着临床应用病例数量的增多，3DTEE显示出了一些相对于2DTEE的优势⁵²⁻⁵⁶。然而，就像写的那样，3DTEE这种新技术在临床上提供胸主动脉信息方面也有限⁵⁷。

而且, 3D TEE也有一些局限性。像2D TEE一样, 由于气管影响, 往往不能充分地显像升主动脉远段、主动脉弓及其分支。另外, 胸主动脉的空间显像也受限制, 因为90°图像的扇区太窄而不能包括一长段的胸主动脉, 因此限制了图像定位。总的来说, 3D TEE技术上新的提升为重新考虑用TEE来诊断和监测主动脉疾病的患者提供了一个机会。尚需要更多的经验来证实其益处并确定其相对于CT和MRI的价值。

E. 血管内超声 (IVUS)

IVUS是将一个小巧的、高频的(10–30 MHz)超声探头安装于一次性的导管上, 在透视引导下, 通过大的动脉(通常是股动脉)鞘, 借助常规的导丝引导置入血管内。少数情况下把IVUS导管插入股静脉内, 进入下腔静脉, 观察毗邻主动脉。IVUS可获得360°实时成像的轴向切面。连续的轴向图像能够在回撤超声导管时获得。这项检查能够在几分钟内安全地完成⁵⁸。

由于探头在管腔内, IVUS能够从血管内观察主动脉管壁。管腔内的观察能够提供补充其他图像技术的信息⁵⁹⁻⁶²。使用“回撤”技术, 能够测量腔内直径、横截面积及管壁厚度。除测量外, IVUS几乎能为所有的主动脉疾病提供定性的信息, 包括主动脉瘤、主动脉夹层、动脉粥样硬化、穿透性溃疡和创伤性的损伤(图13、14)。不同于TEE, IVUS还能够确定腹主动脉夹层的特点。

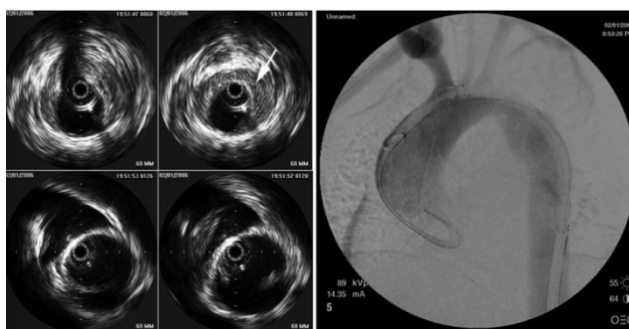


图13 IVUS记录的IMH(壁内血肿)演变成完整的夹层(左图), 而主动脉造影仅显示管腔受压(右图)。

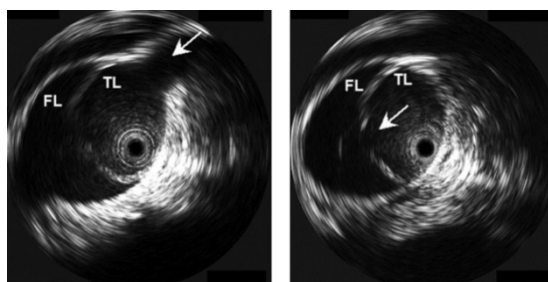


图14 IVUS评估左肾动脉水平的主动脉夹层(左图, 箭头所示); 真腔中的IVUS区分出开口水平的肾动脉开口及夹层撕裂破口的位置(右图, 箭头所示)。FL, 假腔; TL, 真腔。

1、局限性: 正常主动脉在IVUS中表现为内壁完整、管腔清楚的圆形横截面。在管腔中能够看见超声导管和导丝。在某些病例中, 由于难于将超声导管维持在中心及轴向位置, 同时由于高频探头有限的穿透力, 所以很难在单帧图像内显示主动脉弓的完整的横截面以及主动脉明显扩张的部位。这种局限性可以通过超声导管的间歇性重新定位得到部分克服。对IVUS的测量也存在顾虑。偏离中心的测量或对主动脉扭曲部位的测量(弯曲部位的偏向测量)不能反映真实的中心线直径。IVUS可能产生一个斜切面, 没有CT测量的中心线精确⁶³。IVUS的另一个主要的限制是因为它缺乏多普勒能力(彩色多普勒能够检测到流向小血管的血

流，假腔血流和内漏）。最后，除了引导血管内操作，一次性探头的昂贵费用及其介入性技术大大限制了IVUS的临床应用。

F. CT

目前倾向于用多排探测器螺旋CT（超过64排）来作主动脉成像。CT主动脉造影成像（CTA）是诊断和随访急慢性征象时主动脉状况的最常用的影像技术之一。CT使用的普遍程度反映了其大范围的普及性、精确性及适用性，甚至对危重的病人或者对MRI有相对禁忌的比如有永久起搏器和除颤器的患者也适用。多排探测器螺旋CT（MDCT）提供了延伸的Z轴（即：身体的长轴）覆盖范围，且在几秒钟的扫描时间内，于最适当的放射线暴露下，即可获得高空间分辨率的图像^{1,64}。而且，CTA可以使血管结构同时显像，包括血管壁及实质脏器⁶⁵。操作者间最小的差异性及图像的延后再处理能力让CTA成为对比性随访研究的一种理想技术^{1,64}。

临床实践，包括心电门控⁶⁶的主动脉CT研究中的新技术更新提供了高质量、精确的升主动脉图像，以及同时获取的对冠状动脉的评估⁶⁷（图15）。在对累及到主动脉根部及瓣膜的主动脉病变和在先天性心脏病⁶⁹的研究中⁶⁸，对于主动脉和冠状动脉的同时评估⁶⁶，计划血管内治疗方案^{68,70}，手术后升主动脉的显示⁷¹，以及对主动脉夹层中真腔受压程度的动态变化的显示⁷²，心电门控CTA都增加了许多有价值的信息。



图15 升主动脉瘤患者术前的的心电门控的胸主动脉CT血管成像的立体图像。主动脉及冠状动脉显示极好，可见冠状动脉上钙化的粥样斑块。

CT的主要缺点是使用电离的放射物及碘造影剂（ICM）。使用优化的采集技术，可大大地减少电离辐射的剂量。这些技术包括使用管电流的调制，设定心电图触发的采集，或者将管电压减少到80~100KV。放射剂量多与年轻男性及绝经前的女性有关。患者通过大量补水或使用最小剂量的低渗或等渗的ICM⁷⁵，可以避免或明显减少与造影剂相关的肾脏损害⁷⁴。在CT中使用低渗的ICM出现副作用的概率约为0.15%，大多数患者可自行恢复或仅有轻微症状⁷⁶。在肾功能不全的患者中，出现造影剂有关的肾损害的概率很低。近期发表的前瞻性研究综合数据已经表明在1075名肾功能不全的患者中静脉注射ICM后总共有5%的患者出现造影剂有关的肾损害，没有严重的副反应（如透析或死亡）⁷⁴。

目前的计算机断层扫描技术能够明显地减少放射物的剂量和主动脉成像需要的ICM总量⁷⁷。此外，用CT随访主动脉扩张可以在没有ICM的条件下进行，可以只用无造影剂的图像。

1、方法学：a. CTA 大于64排探测器的计算机断层扫描仪将广谱的多探测器阵列和较短的扫描机架旋转时间结合，产生标准的采集时间，采集胸主动脉图像只需3-4秒，胸腹主动脉和髂股动脉也在10秒内。

高端CTA的最简单的技术特征是每一个断层的厚度小于1mm以及主动脉管腔内均匀的造影剂突显。在行经胸主动脉血管内主动脉修补术（TEVAR）之前，完整地检查主动脉，即从主动脉上部的血管到股动脉是非常必要的，但是按照惯例，CTA扫描的长度（解剖扫描范围）应该依每个个体来定，以避免不必要地暴露于电离辐射之下¹。

i. 在主动脉造影之前的无对比CT：在可疑急性主动脉综合征的紧急情况下，开始用非造影的胸部CT扫描作为起始步骤来排除壁内血肿（IMH）是非常重要的。这种CT扫描能够识别主动脉管壁内近期溢出血液中的浓缩的血红蛋白，即显示出高的CT密度（40-70H）⁷⁸，便于识别血肿⁷⁹，也能够辨别血管壁的钙化以及为造影后的评估提供基线值。

ii. 心电门控的CTA：在大多（92%）标准的非门控计算机断层血管显影中，涉及到胸主动脉的运动伪像非常明显。由于CT的时间分辨率有限，因心脏舒缩运动、脉冲波环性扩张、主动脉的扩张性以及血流动力学状态所造成的图像伪像可使主动脉在标准非门控CTA中呈现出“双主动脉壁”^{8,23,24,80,81}。这个发现可导致对主动脉夹层剥脱内膜的假阳性诊断^{64,67,80}，也影响对主动脉根部及升主动脉的准确测量^{67,82}。

用心电图描示使前后图像数据采集同步化可消除这些伪像，因而提高了诊断的精确性及主动脉大小测量的可重复性⁶⁷。未来低剂量的心电门控CT操作与标准的CT技术相比具有减少放射暴露的优势⁸³。

iii. 主动脉造影后的胸腹部CT：对胸腹主动脉的延迟扫描（静脉注射后大约50ms）能提高对主动脉夹层急性期中灌注不良的内脏器官的检测⁶⁵，能够探测血管内人造血管缓慢的渗漏⁸⁴，并区分假腔内缓慢的血流和血栓⁸⁵，以及在无急性主动脉病变的情况下，提供可选择性的腹部诊断。

iv. 电离辐射暴露：放射性最小化原则包括：减少扫描的范围，未来的心电图触发采集⁶⁶，以及在不冒险丧失图像诊断质量的情况下对体重较轻（<85 kg）的患者使用小剂量的管状电流（80-100 kV）⁷⁷。重复的重建算法的应用有可能大幅减少扫描采集参数。尽管辐射量在不断减少，但在系列研究中，MRI和超声心动图仍然是值得考虑的、可选择的方法。

v. 测量：与其它主动脉的成像技术相比较，CTA能观察到主动脉管壁，因此能够测量主动脉的内缘至内缘（腔内直径）及外缘至外缘（管壁总径线）。充满造影剂的管腔在成像时产生的伪影，常常干扰对升主动脉薄而正常的管壁的观察²⁴。

轴向参数多平面的重建能产生垂直于主动脉管腔平面的主动脉图像（双斜面或真正的主动脉短轴图像，见图16和17）。这个方法纠正了由于主动脉的扭曲而引起的图像失真^{8,86,87}。对非圆形的主动脉，长径和短径都应该测量。人工的双斜位成像非常耗时，同时可能会加大观察者之间的差异⁸⁸。许多单位都有自动化的主动脉切面成像软件，但是也像其他自动操作软件一样存在局限性，同样需要人工做调整。

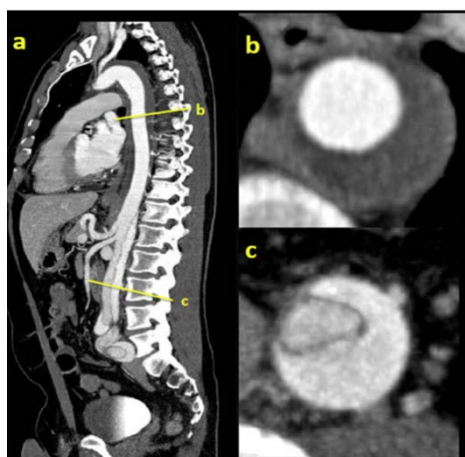


图16 AAS患者中CT血管成像矢状位多平面的重建(A)及双斜面的图像(B,C)。平面B和C的解剖位置都标注在(A)中。显示累及到降主动脉的B型急性IMH演变成累及到腹主动脉的B型主动脉夹层。

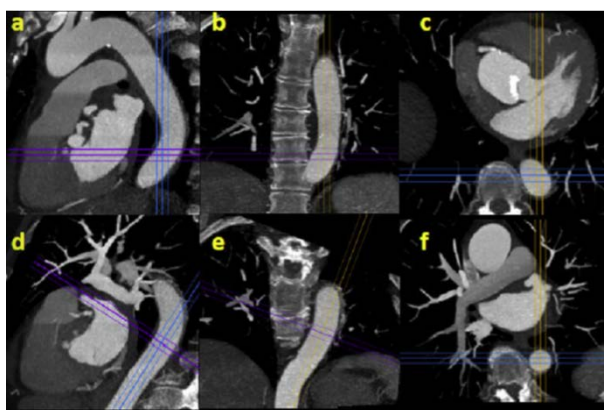


图17 双斜面主动脉成像的方法学。从CT血管显像(C)中获得的不同平面的多平面再重建图像(A-F)与轴向原始参考图像一致,显示椭圆降主动脉。矢状(A)和冠状(B)显示与参考平面(C)一致,并显示导致图像中异常形状的扭曲的主动脉节段。为了与主动脉血流垂直,图像在矢状位(D)和冠状位(E)加以矫正,得出真正的主动脉管腔的横截面,在该例中呈圆形。

测量技术必须有很好的可重复性,才能准确地做随访评估。应用同样的解剖学标志及小于1mm的薄层扫描技术,通过对两次或多次主动脉CT检查中的轴向图像的旁-旁对照,可实现主动脉形态变化的精确评估。心电门控或心电触发显像是进一步的优化,能够进一步减少差异,使升主动脉的观察者间的最大差异为 $\pm 1.2\text{mm}$ ⁸⁹。对于主动脉的轴向平面的测量,只有在主动脉呈圆形和头尾走向的节段(如升主动脉中段和降主动脉)上的测量才可采用¹。由主动脉扭曲导致的轴向图像中主动脉的偏向可以通过测量较小内径来减少误差⁹⁰。观察者间的差异总是高于观察者内的差异^{91,92},意味着同一主动脉疾病的患者随访应由同一个有经验的观察者来完成^{88,89}。

总的来说,CTA是评估主动脉疾病最有用的技术之一。相对于其他的图像方式,CTA的优势包括图像采集和分析过程耗时短,能获得整个主动脉完整的3D数据,同时还有它应用的普及性。MDCT能准确评估冠状动脉及主动脉分支疾病。其主要的缺点是放射暴露及需要注射造影剂。

G. 磁共振(MRI)

MRI是用于评价主动脉和主动脉相关疾病的多用途的手段。MRI这种影像技术可用来确定动脉瘤、主动脉壁溃疡及夹层的位置及程度，同时也可显示由主动脉炎或主动脉壁内血肿所致的管壁增厚的区域。MRI也能在术前或术后评估主动脉及其毗邻结构。另外，MRI能够提供功能性的数据，包括量化前向、逆向主动脉血流、主动脉壁的僵硬性及顺应性，及主动脉瓣的形态及运动（图18）。所有的信息都可以在没有电离辐射的压力下获得，甚至在某些病例中，无需静脉注射造影剂。

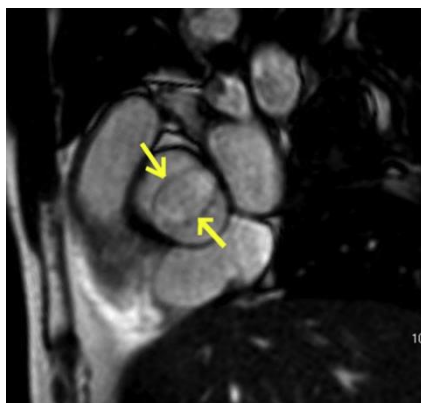


图18 44岁男性患者，主动脉瓣二叶式。从电影稳定状态自由运动序列（SSFP）中获得的单个收缩末期图像显示二叶式主动脉瓣（黄色箭头），瓣叶厚度正常，开放未受限。

MRI的成像原理是收集氢核信号⁹³，当患者进入扫描区域时，这些氢核沿着磁场轴向排列和前进。这种运动能够以可控制的形式改变磁场脉冲来产生“脉冲序列”。运用这些脉冲序列后，由氢核产生的信号可以被测量，经处理产生磁共振图像。MRI的多功能性源于脉冲序列的多样性，可用来鉴别结构、组织特性和功能的定量。

1、黑血序列。黑血MRI信号，应用旋转超声技术及反转恢复脉冲，不需要血管内造影剂，对主动脉疾病谱的形态学鉴定非常有用⁹⁴⁻⁹⁷。在这些序列的基础上，应用多重射频脉冲使流动的血液产生的信号被阻断，从而产生黑血图像；而不动或缓慢移动的结构（比如，主动脉壁）中运动的质子能够在图像上产生信号。T1和T2加权的序列及其变化的序列包括T2加权的黑血技术、T2涡轮旋转超声及短tau反转恢复序列能够鉴定主动脉壁的形态及组织特性（图19）⁹⁸⁻¹⁰⁰。这些显像方法都有它相对的优势及不足；比如，T2加权的MRI对水分增加的区域敏感，正如它常常能够显示病理状态，但是受相对较低的信噪比限制。主动脉的MRI有较高的空间分辨率，典型的平面内分辨率能达到1.5*1.5 mm的范围，同时，用更特殊的MRI序列能够实现亚毫米图像的采集^{101,102}。

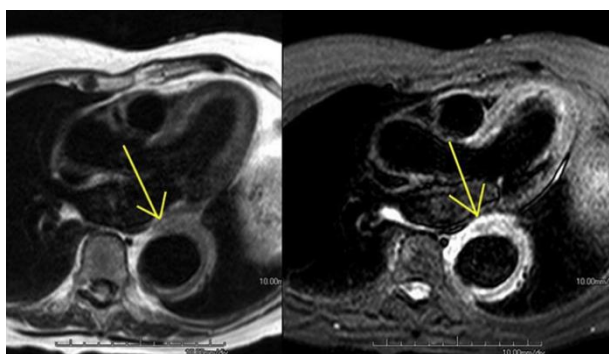


图19 血沉升高、降主动脉扩张的54岁的女性。黑血图像显示增厚的管壁（左边，黄箭头）。短tau反转恢复（STIR）图像（右边）显示主动脉壁的高信号（黄色箭头），水肿所致。行外科修补术，组织学结果与巨细胞性动脉炎（GCA）一致。

2、电影磁共振序列 亮血成像结合稳定自由运动方法及梯度声学技术，有利于获得高时间分辨率的主动脉血流电影图像。在这些图像中，与附近的主动脉壁相比，血池是明亮的，为典型的中等信号。电影能够显示主动脉管腔（真腔或假腔）内的血流，体素内移相产生的低信号区域见于与瓣膜狭窄或反流相关的复杂血流状态（图20）¹⁰³。

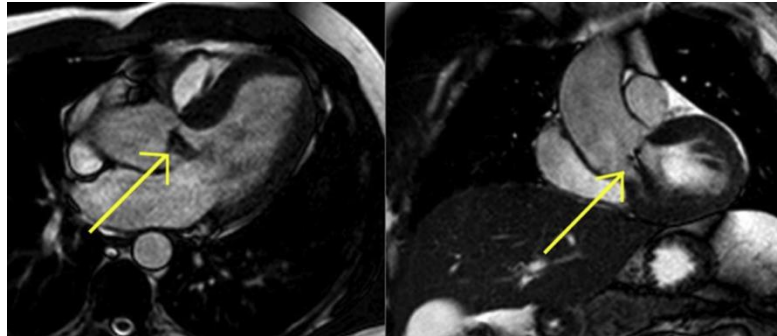


图20 60岁的男性伴重度的主动脉瓣关闭不全。三腔心切面（左边）及冠状斜面（右边）的电影稳定状态自由运动（SSFP）图像，显示黑色信号（黄箭头），由体素内移相产生，与关闭不全所致向后的反流束相关。

3、血流谱 流速编码相衬显像能够用来定量主动脉的血流。这种相衬技术基于这样一个事实：当质子穿过一个由极向相反，时相大致相抵的相同脉冲所组成的磁场梯度时产生一种与速度成正比的时相改变。通过对主动脉管腔内整个心动周期的速度进行积分整合，血流能被定量，所得值与虚拟模型和其他的测量结果有很强的一致性¹⁰⁴。主动脉的相衬显像能够用来评估前向血流、狭窄和反流的瓣膜^{105,106}，同时也能帮助评估先天性心脏病¹⁰⁷。相衬显像典型地在单个平面内或穿过平面的方向上采集的，借助某些血流编码的应用程序可以多方向地采集图像^{108,109}。

4、造影增强的磁共振血管显像（MRA）

造影增强MRA能够提供主动脉及其分支血管的3D数据，通过最大信号强度投影和多层面重建后处理技术可以显示复杂的解剖以及手术后的改变（图21）。对造影剂有禁忌症或很难建立静脉通道的患者，主动脉的3D血管成像仍然能够通过未增强的分段稳态自由运动血管成像来获得¹¹⁰。当需要准确测量主动脉根部和升主动脉近端内径时，可使用心电门控技术^{101,110}。提高扫描速度可获得时间分辨的MRA¹¹¹。尽管对增强MRA来说造影时间是个考验，特别同时评估主动脉和肺动静脉时，使用新的血池造影剂可以避免传统的间隙含钆造影剂的限制，结合心电门控和呼吸门控已经显示可以增加血管的清晰度和减少伪像¹¹²。

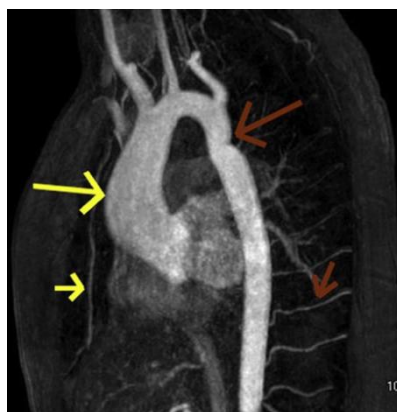


图21 最大强度投影 (MIP)的图像源自60岁伴有升主动脉扩张的男性(大的黄色箭头)。在体表超声心动图图像中怀疑降主动脉缩窄;然而,MRA显示了峡部轻度扭曲,没有明显的狭窄(大的红箭头),而肋间动脉(小的红箭头)及乳房内动脉(小的黄箭头)的大小正常,这种表现与假性缩窄一致。

MRI也可用来研究主动脉的生理。僵硬,心血管事件的重要预测指标,其定量可通过高时间分辨率的电影显像测量脉搏波传播速度来获取¹¹³。MRI能够显示主动脉的弹性,量化总的血流¹¹⁴及评估主动脉壁的切应力¹¹⁵。

5、伪像 与超声心动图一样,MRI也会出现伪像。因此,一贯性地识别伪像能够减少误诊。推荐读者应该参考两篇详细讨论伪像的综述^{116,117}。

H. 有创性的主动脉造影

曾经一度被认为是诊断急性主动脉疾病金标准的导管介导的主动脉造影现在大幅度地被创伤性小的影像技术包括CT、MRI和TEE所替代^{42,118-124}。这些无创的显像方法能敏感和特异地检查AAS,也能够评估主动脉壁的疾病,这些在腔内成像(如主动脉造影成像)中是无法看到的。此外,CT、MRI和TEE也能更敏感地检出如心包或胸腔出血或积液等支持征象。还有主动脉造影非常耗时而且有引发造影剂肾病的风险。因此,有创性的主动脉造影不再是诊断AAS的首选方法^{42,120-122,124}。

尽管在诊断方面,有创的主动脉造影技术已经被替代,但是它仍然用于引导血管内的操作和筛查血管内漏。在血管内操作中,主动脉造影对鉴别主动脉上的分支以及提供重要的血管标志是很有用的。图22显示的是B型主动脉夹层支架植入术后远端动力性主动脉梗阻的造影显像。在血管内操作时,IVUS也是一个可选择的成像技术^{59,60,62,125,126}。

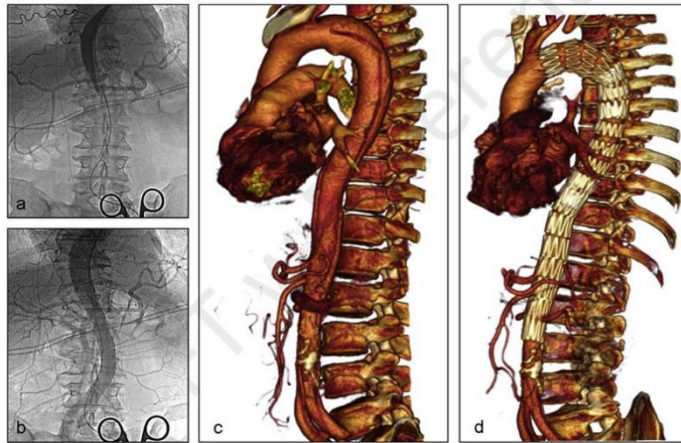


图22 在血管内修复前 (A) 后 (B) 的血管造影成像 (左边) 显示灌注不良综合征的缓解。三维CTA (右侧) 显示对应的修补前 (C) 后 (D) 的CT血管重建图像。

I. 成像技术的比较

随着影像技术的不断提高, 现在有多种影像技术用于胸主动脉成像, 包括CTA、MRA、超声心动图和主动脉造影^{1,127}。没有一个单独的技术适合所有的患者或所有的临床病例。相反, 对影像技术的选择要根据病人的临床情况、诊断存在的问题及医疗机构等因素 (比如技术经验和所拥有的设备) 实行个体化。一些中肯的建议如下述。

当广泛地筛查胸主动脉瘤或需要测量瘤的大小时, CTA和MRA因能够很好地显示胸主动脉全部节段当属首选。而且, 主动脉及其分支可在多个平面显示良好, 比轴向显像测量得更准确。另外这两种方法都能提供重建的主动脉表面成影的3D图像, 这有助于显示主动脉及其分支的解剖关系。相反地, TEE一般不用于常规主动脉成像, 这是因为TEE是半介入性的, 检查过程中病人会有不适, 而且TEE不能很好地显示主动脉弓的血管, 在对比系列检查来评估主动脉随时间的变化时, 不能提供对解剖标记的快速识别。

当临床上感兴趣区在主动脉根部, 比如对马方综合症的筛查或随访, TTE可作为首选。因为TTE一般能很好地显示及测量主动脉根部, 而传统的非门控CTA, 由于主动脉角度的问题以及心脏跳动产生的明显的运动伪像, 主动脉根部可能显示欠佳。另外, 超声心动图并不总能显示升主动脉远端、主动脉弓部和降胸主动脉。显像这些节段时, 首选CTA和MRA。选择影像技术的另一个考虑是采用既往的影像手段。随访扩张的主动脉瘤患者时, 最好选择同样的影像技术, 这样两次之间的比较才是可行的。

对于怀疑AAS患者的成像, 首先需要考虑的是成像技术的准确性, 应考虑到假阳性, 尤其是假阴性的严重后果。过去的20年多年来, 大量的研究来比较CTA, MRA, TEE和主动脉造影对主动脉夹层的诊断, 最近由Shiga等人¹²²的Meta分析结果表明CTA, MRA和TEE都非常不错, 如图23所示敏感性为98%-100%。而主动脉造影的敏感性只有88%, 可能反映出用这种技术对IMH患者常常漏诊的事实。在这篇Meta分析中, 四种成像技术的特异性大概相当, 94%到98%, 正如图24所显示。因此, CTA, MRA和TEE都是合理的诊断主动脉夹层影像技术的一线选择。

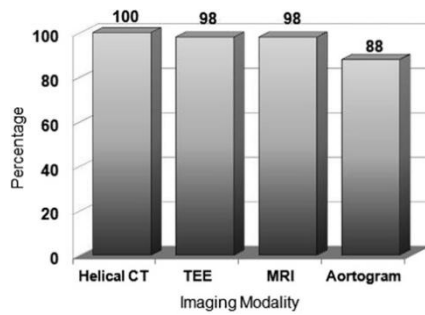


图23 在1139例患者的meta分析中，评估怀疑主动脉夹层患者成像方式的敏感性。马萨诸塞州大众医院胸主动脉中心；经允许复制。

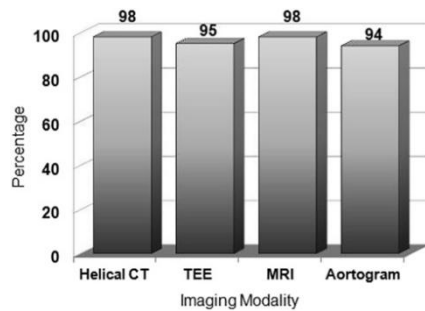


图24 在1139例患者的meta分析中，评估怀疑主动脉夹层患者成像方式的特异性。马萨诸塞州大众医院胸主动脉中心；经允许复制。

然而，值得注意的是，用于评估成像技术准确性的研究往往是在条件完善的中心，图像由指定的主动脉影像方面的专家解读，因此，认为同一种成像技术运用在“现实世界”中的准确性会降低也是合理的。的确，急性主动脉夹层的国际注册机构探索了这个问题，报道结果显示在图25¹²⁰。CTA和TEE在现实生活中的敏感性都要比上面meta分析的低，反映出读片医生较低的经验水准。有趣的是，现实生活中MRA的敏感性能达到100%，这反映出磁共振血管图像一般由专科医生（比如，血管放射专家）阅读，而不是一般的放射科医生（比如，急诊室的放射专家）。这五种较常见的显像技术的诊断性及实践特征总结在表格4和5中。

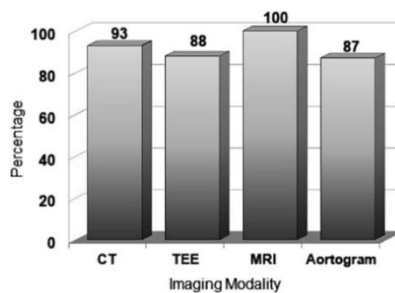


图25 在IRAD中评估618例怀疑主动脉夹层患者的成像方式实际的敏感性。马萨诸塞州大众医院胸主动脉中心；经允许复制。

表4 比较急性主动脉综合征在五种影像学方法的诊断特征

诊断性能	CTA	TTE	TEE	MRA	Angiography
敏感性	+++	++	+++	+++	++
特异性	+++	++	+++	+++	+++
检测IMH的能力	+++	+	++	+++	—
内膜破口的位置	+++	—	++	+++	++
AR	—	+++	+++	++	+++
冠状动脉受累	+	—	++	+	+++
心包积液	++	+++	+++	++	—
分支血管受累	++	—	+	++	+++

CTA: 计算机断层扫描血管造影; +++, 强阳性; ++, 阳性; +, 弱阳性; —, 阴性。

摘录于Cigarroa等人¹⁸²及isselbacher²⁴³。

表5 评估疑似急性主动脉综合征患者五种方法的临床评价

方法的优点	CTA	TTE	TEE	MRA	Angiography
实际可获得性	+++	+++	++	+	+
快速操作性	+++	+++	++	+	+
床旁操作性	—	+++	+++	—	—
无创性	+++	+++	+	+++	—
无碘造影剂	—	+++	+++	+++	—
无辐射性	—	+++	+++	+++	—
费用	++	+	++	++	+++

CTA: 计算机断层扫描血管造影; +++, 强阳性; ++, 阳性; +, 弱阳性; —, 阴性。

摘录于Cigarroa等人¹⁸²及isselbacher²⁴³。

III. 急性主动脉综合征

A. 引言

急性主动脉综合症（AAS）¹²⁸所指的主动脉疾病谱，包括经典的主动脉夹层、壁内血肿（IMH）、穿透性主动脉溃疡（PAU）和主动脉瘤破裂（包含或不包含）。尽管不同疾病的病理生理不同，但将其划分为一组疾病，原因在于它们有下列共同特点：（1）相似的临床表现（“主动脉痛”），（2）主动脉壁的完整性受损，（3）需要急诊观察的潜在的主动脉破裂的危险¹²⁸⁻¹³³。而且，上述某些情况可能代表了同一疾病发展进程中的不同阶段。像一些作者那样，我们没有将主动脉炎和外伤性主动脉破裂列进来，因为它们有完全独特的临床和病理生理表现¹²⁸。比如像IRAD的临床数据资料大大地提高了我们对于这些急性主动脉病变的认知¹³⁴。

由于这些疾病有生命危险，所以快速、准确的诊断是非常重要的。对这些疾病的误诊，通常由于与心肌缺血混淆，会导致不应该的死亡。表格6列出一些可能类似于AAS但不甚紧迫的疾病。

表6 影像学上类似于AAS的良性状态或发现

大动脉炎
主动脉粥样斑块
既往主动脉手术
心包隐窝
残留闭合的动脉导管
CT伪像（线条或运动）
TEE中升主动脉上反射的伪像
无名静脉
主动脉周围脂肪及半奇静脉鞘可能与壁内血肿混淆

无创显像技术包括CTA、TTE、TEE和MRI在诊断和处理AAS患者中起重要作用。有些患者可能需要不只一种无创检查，少数病例，可能需要有创的主动脉造影。影像检查用来明确或排除诊断，判断受累位置，显示受累范围及检测出并发症，以作出最恰当的处理方案。

B. 主动脉夹层

1、主动脉夹层的分类 对主动脉夹层的准确分类非常重要，因为夹层位置和范围不同，其临床表现、预后及处理都明显不同。图26显示的是两种常用的分类方式，DeBakey分类（I、II、III型）^{124,125}和Stanford分类（A、B型）¹²⁶。累及主动脉弓但未累及升主动脉在Stanford分类中是B型。不管是A型还是B型，大多数的夹层穿过横膈延伸至髂动脉。

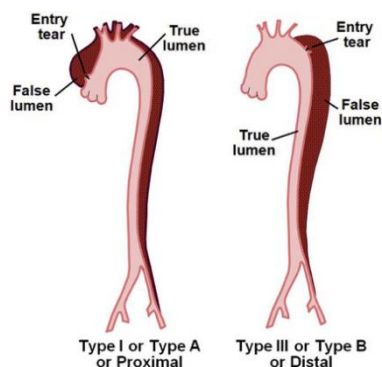


图26 图示两种常用的主动脉夹层的系统分类方法。两种中较老的分类方法，DeBakey，I型夹层起源于升主动脉，向远端延伸至少包括主动脉弓，典型地延伸到降主动脉。II型夹层图中没有显示（最少见的一种），起源于升主动脉并局限在升主动脉。III型夹层起源于降胸主动脉段（常常在左锁骨下动脉远端）并延伸到更远，常常在膈肌平面以下。Stanford分法，更简便，将夹层分为两类：只要涉及到升主动脉，不管起始点的位置则被归为A型，起始部在主动脉弓血管以远则归为B型。不管A型还是B型，大多数夹层超过膈肌水平延伸到髂动脉。

主动脉夹层恰当的处理不仅仅依靠夹层发生的位置，同时也取决于夹层开始形成到患者就诊之间的时间。尽管我们常常用急性、亚急性和慢性来形容，但没有明确的标准来界定这些时间¹³⁵⁻¹³⁸。在24小时的超急性时间内，累及到升主动脉的夹层有每小时近1%的破裂风险。研究表明75%的与夹层有关的死亡发生在最初2周。极端病例是有些陈旧性夹层是在主动脉显像或外科手术中偶然发现的。很明显这些属于慢性期。Hirst、Levinson和DeBakey等人认为急性主动脉夹层应该是症状开始到诊断之间的时间小于两周，两周之后到两个月的时间被诊断为亚急性，超过两个月则为慢性期。我们认同这种分类，因为有病理学观察的基础。极高的初始死亡率在两周后降低。然而，脆弱的主动脉组织在2周之后会扩张¹³⁹⁻¹⁴³。到6-8周时，血管壁的外面大部分已愈合，局部疤痕已形成，标志着慢性期的开始¹⁴⁴。一定要说明的是，基于任何时间的分界点，急性期到亚急性期或亚急性期到慢性期的区分都是主观的。尽管如此，这种划分对分析后果是必要的。再者，急性和慢性夹层的有些图像特征是不同的。在慢性夹层中，撕裂内膜显得更厚、回声更强及相对活动度小（与急性夹层摆动的内膜不同）。

2、超声心动图（TTE和TEE）以前报道过2D TTE基础成像检出A型主动脉夹层的敏感性仅有70%-80%。然而，最近Cecconi¹⁴⁵和Evangelista¹⁴⁶等人的数据显示，由于新探头提高了分辨率、有谐波成像及造影增强的功能，TTE的敏感性增加到近85%。因此，TTE在一些情况下可以作为首选的显像方法，特别是在急诊室内（图27）。此外，TTE可以评估左室收缩力、心包积液、主动脉瓣的功能、右室大小及功能和肺动脉压，这些有助于由于心肌缺血或梗死、肺栓塞、心包疾病所致胸痛的诊断，同时还可以在早期判断主动脉夹层的并发症如主动脉瓣反流。而且，造影剂的使用能进一步提高准确性，如图28所示¹⁴⁶。然而，由于A型主动脉夹层潜在的致命危险性，TTE显示阴性结果时不能认为是确定的结果，需要做进一步影像检查。

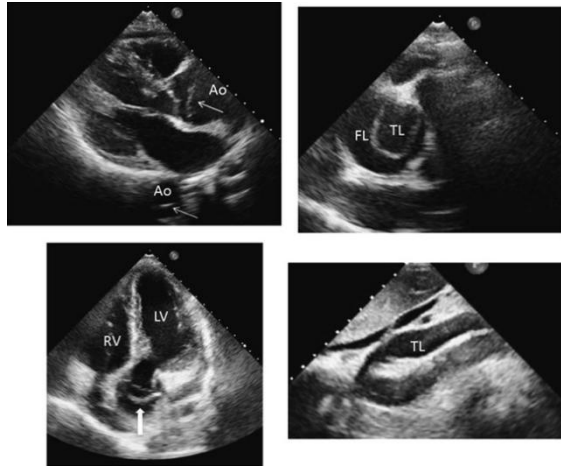


图27 TTE评估急性主动脉夹层。（左上）胸骨长轴切面显示的是升主动脉（Ao）近端的撕裂内膜（箭头所示）及降胸主动脉段的撕裂内膜（箭头所示）。（右上）升主动脉近端的胸骨旁短轴切面显示了典型的被撕裂内膜分成的真腔（TL）及假腔（FL）。（左下）心尖五腔心切面升主动脉近端的撕裂内膜（箭头所示）。（右下）剑突下切面，显示了腹主动脉腔内清晰的撕裂内膜。LV，左心室；RV，右心室。

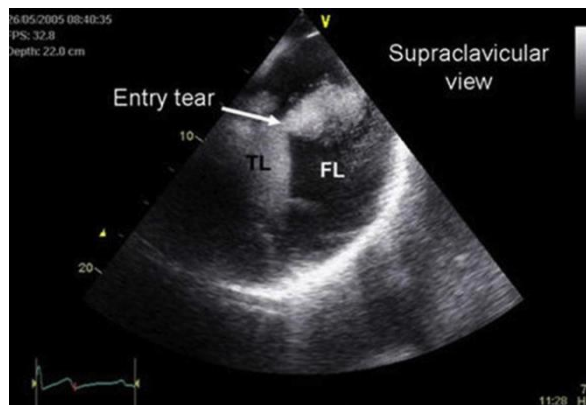


图28 胸骨上窝平面降胸主动脉段的近端，通过显示造影剂从真腔（TL）进入假腔（FL），应用造影超声心动图来显示破口（箭头所示）。

此外，TTE诊断B型夹层不太敏感，因为降主动脉（位置远离探头）不易准确地显示。因此，尽管在大多数情况下，TTE都能够很好地诊断，但它仅在筛查中起主导作用。相应地，TEE能准确诊断急性期的A型和B型主动脉夹层。自从里程碑式的多中心欧洲协作研究以来¹¹⁹，几项其他研究也表明TEE的高准确性，敏感性高达100%^{42,147-150}。

a. 超声心动图所见：主动脉夹层具有诊断性的特征是活动的撕裂内膜，将管腔分为真、假两腔（图29）。撕裂内膜重要的特征包括在多切面可见，与主动脉无关的摆动或运动，与其他结构比如钙化的主动脉壁、右室流出道的导管、起搏器导线或横斜窦中的心包积液等反射的回声明显不同。

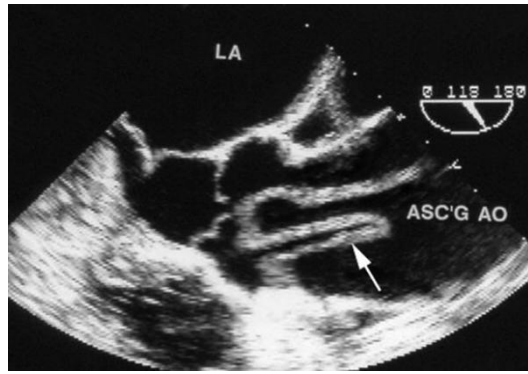


图29 主动脉根部及升主动脉（ASC’G AO）的经食道超声心动图长轴切面显示了折叠的、卷曲的撕裂内膜（箭头所示），实时条件下可看见明显的摆动。LA，左房。

几乎所有的真、假腔总能被区分开来。在降主动脉，假腔一般比真腔大。典型地，撕裂内膜在收缩期向假腔移动（收缩期真腔扩张），舒张期朝向真腔（舒张期假腔扩张），有时甚至挤压真腔。此外，真、假两腔内的血流特征不同，真腔中，前向的收缩期血流快，在彩色多普勒显示明亮红色或蓝色影。相反的，假腔中的血流缓慢，彩色较暗。事实上，假腔中可能没有血流，或者与真腔中的血流方向相反（逆向）。假腔中缓慢的血流可能导致自发显影，有时候被认为“烟雾”。假腔中也可能包含不同程度的血栓。主动脉夹层患者其他征象包括扩张的主动脉、受挤压的左房、主动脉瓣反流（AR）、心包和/或胸腔积液和冠状动脉受累。表格7总结了主动脉夹层主要的超声心动图表现。3D的TEE能获得比2DTEE更多的信息¹⁵¹。比如，对撕裂内膜破口的大小及其与周围结构的关系可能会显示得更详细，能够对主动脉夹层的形态及血流动力学做出更好地评估（图30）。当撕裂内膜沿主动脉长轴盘旋时，这些信息变得尤为重要。3D TEE显示的撕裂内膜不是线性结构，而是在长轴、短轴或斜面上有着不同厚度的一片组织。在撕裂内膜相对不动的情况下，3DTEE有可能区分真的撕裂内膜和伪像。另外，比起2DTEE，多平面3DTEE能够更快速，更准确地评估主动脉弓。

表7 超声心动图在检出主动脉夹层征象中的作用及主要的超声心动图发现

诊断目标	超声心动图表现
识别撕裂内膜	撕裂内膜将管腔分成两个
界定主动脉夹层程度	撕裂内膜的延伸及主动脉根部（升主动脉/主动脉弓/降腹主动脉）内的真/假两腔
识别真腔	收缩期扩张，舒张期塌陷，收缩期射流方向远离管腔，没有自发显影，前向收缩期血流
识别假腔	舒张期直径增加，自发显影和/或血栓形成，逆向、延迟或无血流
识别假腔中的血栓	在假腔中团块将撕裂内膜与主动脉壁分开。
定位破口	连续性中断，摆动的内膜，或内膜边界断裂；彩色多普勒可显示通过破口的血流
评估AR的存在、程度及机制	瓣膜的解剖学定义（二叶式主动脉瓣，退化，正常伴或不伴脱垂的瓣叶；主动脉不同节段的扩张；撕裂内膜陷入瓣膜中；经典超声心动图标准的严重程度
评估冠状动脉是否受累	撕裂内膜陷入冠状动脉开口；内膜阻塞冠脉开口；无冠脉内血流；新的局部室壁运动异常

评估分支是否受累	撕裂内膜陷入主动脉分支内
检测心包和/或胸腔积液	心包或胸腔内无回声区域
检测心脏填塞征象	经典的心脏填塞的超声心动图及多普勒征象

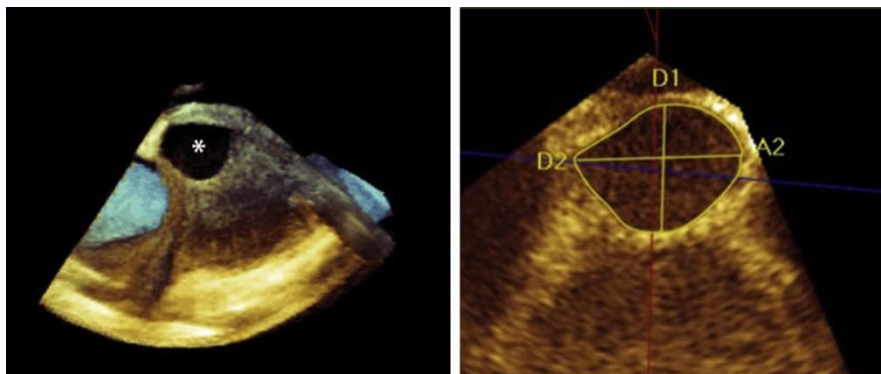


图30 3DTEE显示B型主动脉夹层中的破口位于降主动脉近端。（左图）实时3D图像显示了较大的破口（星号所示）。（右图）最大的垂直相交的径线（D2 和D1）分别为17mm和11mm，同时全容积测得的面积为1.5 cm²。

b. 探查并发症：A型主动脉夹层的患者中，AR发生几率接近50%。AR的出现、严重程度及机制可能影响外科决策的制定，同时可帮助外科医生决定是否保留、修补或置换主动脉瓣^{148,152,153}。AR的机制列在表8中，其中一些在图31中也有阐述。这些机制将会在III.B.6“运用TEE指导A型主动脉夹层外科手术”中更详细地探讨。

表8 A型主动脉夹层中AR的发生机制

1. 主动脉根部的扩张导致主动脉瓣叶对合不完全
2. 瓣叶脱垂（不对称的夹层压迫瓣叶至瓣环下）
3. 主动脉瓣环支撑中断导致连枷状的瓣叶
4. 舒张期撕裂内膜内嵌或脱垂入主动脉瓣
5. 已存在的主动脉瓣疾病（比如，二叶式主动脉瓣）



图31 主动脉夹层中主动脉瓣反流的发生机制：(A) 经食道超声心动图显示由于主动脉根部的扩张而导致瓣叶对合不好（与A型主动脉夹层相关的最常见的主动脉关闭不全机制），箭头指向撕裂内膜。(B) 主动脉根部的经食道超声心动图显示主动脉瓣的脱垂（小箭头所示），由于夹层延伸到瓣环水平导致AR（未显示）。FL，假腔；LA，左房；TL，真腔。(C) 主动脉根部及升主动脉 (Ao) 的经食道超声心动图显示撕裂内膜经主动脉瓣脱入左室流出道 (LVOT)，导致患者的主动脉瓣反流。

在升主动脉夹层中，心包积液是较差预后的一个指标，提示假腔破入心包腔。超声心动图是评估心包填塞的存在及其严重程度的最好的诊断技术。主动脉周的血肿及胸腔积液则用CT诊断最好。主动脉周的血肿与增高的死亡率有关^{154,155}。

TEE能够显示几乎所有患者的冠状动脉开口及近端部分，同时可以显示主动脉夹层所致的冠状动脉受累情况（内膜自假腔陷入冠状动脉开口和冠状动脉的开口起始处）¹⁴⁸。彩色多普勒有助于证实正常、异常、或没有血流进入近端的冠状动脉内。通过TTE或TEE检出左室壁的节段性运动异常有助于辨认这个并发症。彩色多普勒还可显示再破入的位置（一般是多发的，如图32），这正好解释了为什么假腔常常未随时间而闭合。

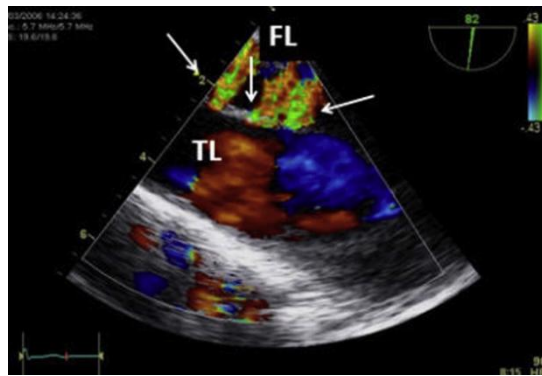


图32 经食道超声心动图纵向切面，彩色多普勒显示多处再破口的位置（箭头所示），血流从真腔（TL）流入假腔（FL）。再破口入点是一段时间后假腔不闭合的主要原因。

c. TEE的局限性：用TEE来评估主动脉夹层患者的限制较少，但也值得提出。位于升主动脉与食道间的气管限制了升主动脉远端及近端主动脉弓的显像。对于少数患者，主动脉夹层可能仅局限在这个部位，就很难被检出。此外，TEE很难探测到供应大脑的血管（特别是头臂动脉和左颈总动脉）。TEE不能总显示腹腔干和肠系膜上动脉，而CT是探测膈面下并发症的金标准。最后，TEE很大程度上依赖操作者的采集图像及分析图像的技能水平。尤其在升主动脉的反射伪像，可能很像撕裂内膜而导致假阳性诊断¹⁵⁶⁻¹⁵⁹。认识纵膈及主动脉旁组织是非常重要的（比如，半奇静脉鞘，胸部静脉的解剖及常见的解剖变异等）。

3、CT 2000年IRAD组织发表的数据显示464名主动脉夹层患者中（62%是A型），接近三分之二的患者使用CTA作为最初的诊断方法。这个研究中的CT数据是从老一代的扫描仪中获得的，这就解释了为什么大多数的患者会进行几项影像学检查（平均1.8项检查）¹²⁹。

IRAD最近的报告包括894名患者，表明当CT是初始检查时，则可获得“最快的诊断时间窗”，然而当初始选择MRI或者基于导管的主动脉造影则明显需要更长的诊断时间窗¹⁶⁰。

如今，新一代现代化的多层螺旋CT 扫描仪目前在全美国或欧洲偏远地区的医院都普遍使用，并且24小时待机。根据来自经济合作和发展组织的2011年的健康数据，2007年，在美国每1百万人就有34.3台CT扫描仪，同时在美国的医院，每1000名患者中就有185名行CT检查。

CT血管成像方案健全、相对不依赖操作者。用于排除夹层的CT血管成像方案，典型地，先用低剂量的无造影剂CT显像来排除IMH，接着再用造影增强的CT血管成像。CT要覆盖整个胸部、腹部及盆腔，以显示剥脱内膜的范围，分支血管受累的程度，以及评估终末器官的缺血（比如，肠或肾脏）和可能的血管渗血¹。图33和34均显示CT血管成像的实例。

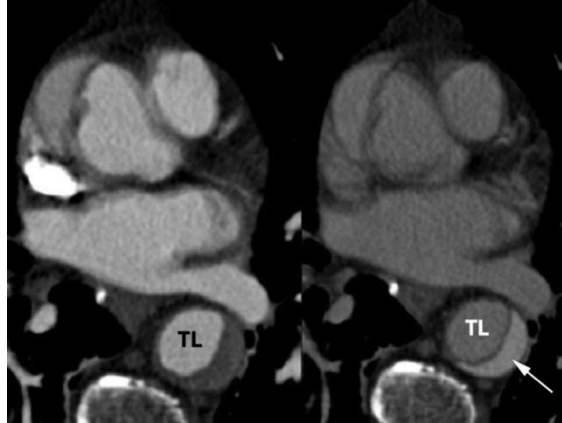


图33 AAS患者CT主动脉成像的轴向图像（左侧）及延迟相的CT图像（右侧）。额外的延迟图像采集排除了假腔中的血栓，显示了延迟增强及假腔中造影增强的血液滞留。

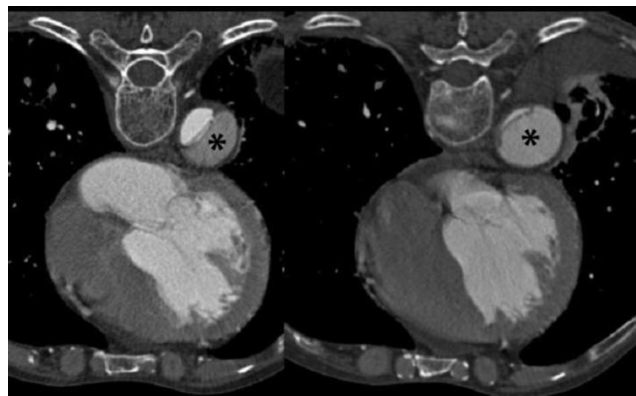


图34 B型慢性夹层的演变。用CT主动脉成像来比较基线和随访中同步薄层（0.75mm）的轴向图像。图像展示了扩张的假腔（星号所示）及受压的真腔，伴随着整个撕裂的降胸主动脉段轻度扩张。注意纵膈及胸后壁的解剖标志相似。

排除主动脉夹层的诊断精确性极高（98%-100%）^{122,161,162}。然而检测靠近主动脉弓部的A型主动脉夹层时，假阳性偶尔会发生在用老一代的CT扫描仪时，这种假阳性可能会导致不必要的手术操作¹⁶³⁻¹⁶⁶。单层螺旋CT扫描仪和早年的多探测器CT经常在升主动脉上显示出搏动伪像，这偶尔会被误认为是A型夹层（假性撕裂内膜）^{80,164,165}。然而，用心电图门控的CT采集主动脉图像^{167,168}可以完全消除主动脉搏动伪像及假性撕裂内膜。因此，如果怀疑升主动脉病变，建议使用心电图门控或触发的成像技术^{80,167,169,170}。因CT假阳性结果导致的不必要的外科手术在使用新一代心电图门控多探测器CT血管成像扫描仪后，就没有再报道过。

B型夹层动脉瘤外科手术或经导管介入治疗的适应症是有主动脉主要分支的阻塞，导致终末器官缺血或有主动脉内径的扩张或有夹层撕裂内膜的间歇性延伸扩展¹⁷¹。MDCT可使整个主动脉及髂血管在几秒内显像，同时可观察内膜延伸进入主动脉弓部的血管、腹主动脉及其分支以及髂动脉，由此来决定支架植入的

可行性^{170,172}。多平面多层CT的重建可以明确破口及再破口的位置，主动脉的内径及真、假腔的关系。MDCT也可以判断终末器官的灌注，比如在肾动脉阻塞时肾脏的不对称增强或无增强^{72,167}。

CT拥有多平面重建功能（不同于MRI，该功能可以后期应用）和3D成像功能，这使得CT在随访扫描中重复测量主动脉内径时具有极高的可靠性。多平面重建有利于血管内治疗方案的制定，可以确定近端血管内的可能适合于血管内修补的开口¹⁷³。对于这些特征的确定非常重要，因而报告主动脉夹层和主动脉瘤的延伸、进入分支血管，继发终末器官的低灌注被认为是主动脉显像报告中的“必要部分”¹。门控的MDCT可判定近端的撕裂内膜伸入冠状动脉开口或主动脉瓣的程度以及心包积液或心包积血的存在¹⁶⁸。

门控的MDCT可同时排除急性夹层中阻塞性冠状动脉疾病¹⁷⁴及冠状动脉夹层或主动脉瓣的撕裂的存在^{167,170,175}。另外，应用较低的放射剂量，将门控或触发的胸部CT血管成像采集和非门控的腹部及盆腔图像采集相结合，也具有可行性^{172,176-178}。

使用轴向前瞻性心动触发的CT血管成像（和螺旋式回溯性触发相对比），其管状电位为100kV，可在不影响主动脉或冠状动脉图像质量的前提下，使放射剂量进一步地减少¹⁷⁹。

急诊室用来评估急性胸痛的“三步排除法”在常规情况下几乎不需要，技术上不适合，医疗上也不必要。对于冠状动脉CT血管成像、肺动脉血栓和主动脉夹层这三者合适的检查原则是不同的，“三步排除法”的CT并不适合所有这三种情况。考虑到增加放射剂量和造影剂暴露而且缺乏诊断主动脉夹层的准确数据，那么就没有理由推荐使用“三步排除法”CT。如果临床上理由怀疑主动脉夹层，就应该采用针对这一特别适应症的最高质量的影像技术^{180,181}。

总的来说，CT血管成像在全美和欧洲都很普遍；当怀疑急性主动脉夹层时，CT血管成像技术往往是首选的检查；它有极高的诊断准确性；可评估整个的主动脉及其分支、冠状动脉、主动脉瓣及心包；与其它诊断技术相比，具有最短的诊断时间，因此可以快速启动治疗方案。CT的缺点包括需要碘造影剂及电离放射物，尽管使用新的硬件技术及影像技术已经大大减少了放射剂量。但是这一问题在AAS情况下可能不用太注重。

4、主动脉夹层的MRI 及早的诊断主动脉夹层及确定详细的解剖学特征对其临床和外科手术的处理非常重要¹⁸²。怀疑主动脉夹层的影像技术不仅应该指出撕裂内膜的存在及范围，同时还要显示出破口、再破口的位置、主动脉瓣反流的存在及程度、进入主动脉弓及内脏分支血管的血流。通过20-30分钟的图像采集，MRI能够无创地解决所有上述的这些问题，提供较高的空间及对比分辨率和功能性评估。而且，MRI对于诊断夹层有非常高的敏感性（97%–100%）和特异性（94%–100%）^{161,183,184}。MRI成像无电离辐射的顾虑，这对于一个要进行系列的评估的已知的主动脉夹层的患者来说是非常值得考虑的。

MRI对于这一病人群也有潜在的限制。尽管MRI扫描时间相对较短，但也明显地比CT血管成像长。另外，在MRI扫描环境下，同时获取生理波形是具有挑战性的^{185,186}。即使心律、血压及血氧饱和度能够用MRI相关设备监测，但在MRI扫描中监测与主动脉夹层有关的紧急或临床表现不稳定的患者则会非常困难。

在沿主动脉的轴向切面或斜切面上结合黑血或亮血序列图像，可以检出并观察撕裂内膜特点。真、假两腔可以通过血流的类型及解剖学特征来区分（图35、36）¹⁸⁵。假腔通常能够通过旋转-回声图像中缓慢的血流所致的较高的腔内信号来鉴别，也可通过撕裂层的网状残余物特征来识别¹⁸⁷。电影亮血系列图像也能用于直接地观察真、假两腔内的血流类型。MRI上在主动脉外的相关解剖上的发现也值得注意，比如黑血系列图像中，心包积液内的高信号强度提示升主动脉可能破入心包腔内¹⁸⁸。相衬成像能够定量分析由于夹层所致的主动脉瓣反流，也能够鉴别破口和再次破口的位置，区分假腔中缓慢的血流及血栓。新的3D相衬成像已经显示出有望提供与主动脉夹层相关的参数及血流特征的能力，比如管壁剪切力¹⁸⁹。

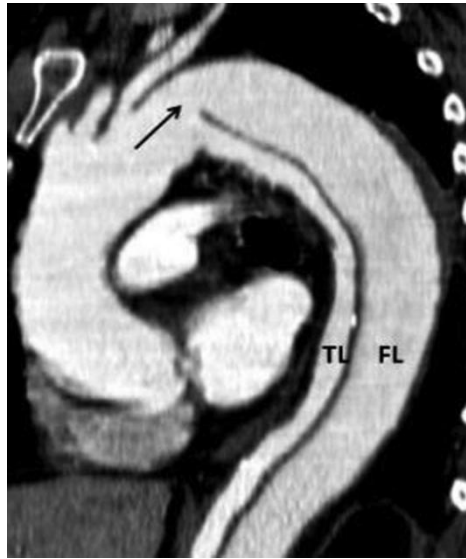


图35 B型夹层患者动态的电影稳态自由运动序列（SSFP）磁共振图像，夹层起源紧邻左锁骨下动脉开口。箭头显示的是破口。FL，假腔；TL，真腔。

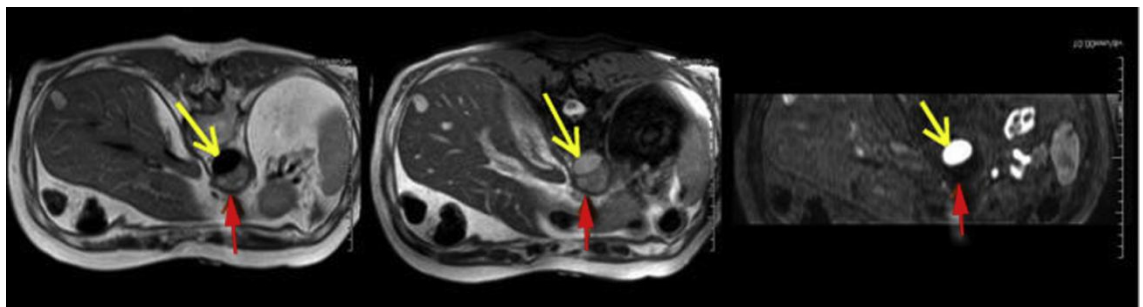


图36 55岁慢性B型主动脉夹层的女性患者的MRI图像。真腔（黄色箭头所示）在黑血图像中无信号（左图），在单次激发的稳态自由运动序列（SSFP）图像中呈明亮信号（中图），在MR血管成像的图像中呈高信号（由充填的造影剂产生）（右图）。假腔（红箭头所示）在黑血和单次激发SSFP的序列中呈中等信号，有血栓的假腔在MRA中无信号。

对比增强的3D MRA提供了3D数据，可以对数据进行后处理，并详细评估夹层患者中主动脉及较大分支血管的解剖结构¹⁹⁰。时间分辨的MRA¹⁹¹可以评估主动脉血流的动力学变化。借助血池中造影剂成像，可实现稳态时相的扫描，提高空间分辨率，能更好地显示假腔中血栓的多少¹⁹²。

5、成像法则 主动脉夹层是一种威胁生命的疾患，其早期死亡率高，因此需要快速及准确的诊断。大量的报道已表明CT、TEE、MRI作为一线影像技术的相对优越性。实质上，如前讨论，每个诊断方法都有其优势及缺点。在给定的医疗机构中，合适的影像技术的选择不仅根据影像技术的准确性（三种技术准确性都较高），而且要根据现有的技术以及具体操作和读片医生对于某项技术所具有的自信及经验来进行选择。CT已成为第一时间最常用的检查方法，部分原因在于24小时都能够使用¹²⁹。如果有经验丰富的心血管医生，TEE可能是急诊室倾向于使用的影像技术，因为它能提供即刻及充分的信息来决策是否需要急诊手术。尽管CT对评估AR的程度及机制准确性较低，但是AR可以经TTE和/或术中的TEE来评估。表格9总结了各种成像技术的优点和缺点。

表9 主动脉夹层推荐使用的影像学方法

方法	推荐	优点	缺点
CT	一线	<ul style="list-style-type: none"> -大于70%的患者的首选检查 -使用广泛，诊断时间最短 -非常高的准确性 -相对不依赖操作者 -可评估整个主动脉，包括主动脉弓、肠系膜血管及肾动脉 	<ul style="list-style-type: none"> -电离辐射暴露 -需要碘造影剂 -升主动脉搏动伪像（能通过ECG门控改进）
TEE	一线及二线	<ul style="list-style-type: none"> -对胸主动脉的诊断准确率较高 -使用广泛、便于携带、方便、快速 -能很好地检测心包积液、AR的出现、程度及机制、左室功能 -能检查受累的冠状动脉 -在危重患者操作也安全，即使使用呼吸机 -指导OR的理想操作 	<ul style="list-style-type: none"> -操作者依赖性（依赖于有经验的操作者） -升主动脉及主动脉弓近端是“盲点” -反射伪影可能混淆撕裂内膜（能区分大多数患者撕裂内膜） -半创伤性
TTE	二线	<ul style="list-style-type: none"> -在急诊室(ER)中常常是首选的检查方法 -可评估左室的收缩能力、心包积液、右室大小及功能，肺动脉压 -AR的出现及严重程度 	<ul style="list-style-type: none"> -主动脉根部远端的敏感性欠佳 -降胸主动脉段图像不易获得且准确性较低 -易漏诊IMH和PAU
MRI	三线	<ul style="list-style-type: none"> -3D多平面，分辨率高 -非常高的诊断准确性 -不需要电离辐射及碘造影剂 -适用于长期系列的成像 	<ul style="list-style-type: none"> -使用较少 -危重病人监测困难 -在紧急和不稳定的临床状态中不可行 -检查时间较长 -对肾衰患者中谨慎使用造影剂
血管造影	四线	<ul style="list-style-type: none"> -极少需要 	<ul style="list-style-type: none"> -经常漏掉IMH（ADs中达10%-20%） -较长的诊断时间 -需要ICM -致病性 -不如 CT、TEE、MRI敏感

AD, 主动脉夹层; ECG, 心电图; ER, 急诊室; ICM, 碘造影剂; IMH, 壁内血肿; OR, 手术室; PAU, 穿透性动脉粥样硬化性溃疡。*In IRAD: 来自急性主动脉夹层的国际注册。

有些情况下单独的影像学检查不能充分地确定或排除主动脉夹层的诊断。临床上高度怀疑但初始检查结果为阴性的患者应该行第二项检查，或者第一次检查不能做出诊断时，也应作第二项检查。这可能是由于技术的限制或读片时难以确定（比如，伪像和撕裂内膜的鉴别）。在这种有潜在威胁生命的情况下，建立一个正确的诊断显得尤为重要，应该考虑应用第二种或第三种影像技术。

总的来说，CT是诊断主动脉夹层非常不错的影像技术。由于其准确性、广泛使用性、而且能对全部主动脉及其分支做出快速的评价，所以在怀疑主动脉夹层时，CT常常是首选的检查方法。TTE可作为急诊室首选影像技术，特别是当主动脉根部受累时。造影剂可能提高它的准确性。TTE也可作为CT的补充，显示AR是否存在、其程度及机制，心包积液和左室功能等信息。当CT获取的信息有限时（有时不能确定升主动脉是否受累），TEE可作为二线选择。TEE能够明确破口的位置及大小，AR的机制及严重程度以及冠状动脉是否受累。TEE应该在手术前即刻在手术室中进行，并用来监测手术结果。所有的检查技术都有助于识别主动脉瓣水平相关的病变（比如，二叶式主动脉瓣），这些病变可能需要一个专门的手术策略。

6、运用TEE指导A型主动脉夹层外科手术 在A型主动脉夹层的修复术中，所有患者在手术室都应做TEE检查。即使在术前的显像中诊断已确立，但在心肺分流术体外循环开始之前，TEE检查可减少假阳性诊断的可能性。一旦主动脉夹层的诊断被证实，术中TEE的主要目的在于详细显示夹层的解剖结构及更好地明确其生理状态。撕裂内膜的起始部位及近端累及的范围，主动脉瓣环、窦部及窦管交界处的内径对于决定单独置换升主动脉还是同时置换主动脉根部非常重要。

高达50%的A型主动脉夹层患者伴有中度或重度的主动脉瓣反流，有几种不同机制导致主动脉瓣反流的发生¹⁹³。最常见的原因是主动脉扩张（不管是急性还是慢性）导致主动脉瓣叶受牵拉，形成主动脉瓣不完全关闭而继发AR¹⁹⁴。当撕裂内膜向近端延伸而进入到主动脉窦时（比如，窦管交接部的下方），会导致一个或多个主动脉瓣与主动脉外壁分离；主动脉瓣不再悬挂在窦管交界处，而是在舒张期脱垂，形成明显的反流。较少见的是，夹层范围广泛，产生一个冗长而结构复杂的撕裂内膜，部分撕裂的内膜在舒张期可能通过主动脉瓣而脱入左室流出道，阻止了正常的瓣膜关闭，而导致AR¹⁹⁵。不寻常的是，在某些患者，撕裂内膜导致主动脉瓣的脱垂，本来应产生重度反流，然而冗长的撕裂内膜在舒张早期落在主动脉瓣上，盖住瓣口而阻止了反流。在这样的病例中，即使主动脉瓣已严重受害，多普勒仅仅显示轻微的反流。另外，升主动脉的环形夹层可以整个剥脱而形成一个管形的近端撕裂内膜，在舒张期脱向主动脉瓣，类似于“肠套叠”，导致严重的AR¹⁹⁶。这种病人可能不需要主动脉瓣本身的修复或置换。

有些主动脉夹层的患者可能同时有多个解剖学进程的变化。幸运的是，造成AR的大部分解剖学原因都是可以在外科手术中矫正，所以将详细的解剖结构的信息及AR的发生机制告知外科医生，可能使主动脉瓣得以成功地修复而不用进行瓣膜置换。A型主动脉夹层有时会影响到一个冠状动脉的血流，其中右冠状动脉比左冠状动脉要多。尽管冠状动脉受累在术前就显示为心电图的缺血性改变，但疾病的发展是动态的，所以超声心动图检查者应该检查两个冠脉开口，以确定它们是否都受累（图37）。彩色多普勒对评估每个冠状动脉的血流是否正常、紊乱甚至无血流灌注非常有用。

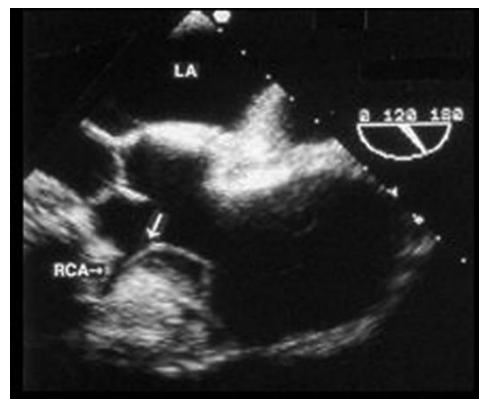


图37 A型主动脉夹层患者的经食道超声心动图显示撕裂内膜（箭头所示）进入右冠状动脉开口。LA，左房。

在大多数患者中，A型主动脉夹层的急诊手术常局限于主动脉近端。然而，当主动脉夹层延伸至腹主动脉时，患者即有灌注不良的危险，这可由以下两种发生机制之一引起：1）静态性的阻塞是当撕裂内膜延伸到动脉分支，限制了动脉的前向血流而发生的；2）动态性阻塞是由于膨胀的假腔明显地挤压真腔，导致真腔灌注尚开放的分支动脉的前向血流受损而发生的。由于TEE通常不能显示腹部的分支动脉，所以静态性的梗阻不易被检测到。然而，TEE能够检测降胸主动脉远端真腔的受压情况，同时通过多普勒来证实受影响的收缩期血流。尽管这些发现不能必然地表明临床上的灌注不良，但至少显示了动态的灌注不良发生的可能性，所以通知并引起外科医生重视非常重要。

有时，扩张的假腔会挤压真腔，导致器官或肢体¹⁹⁷的灌注不良。通常，对升主动脉的标准手术修补即会将血流部分或全部地引入真腔。如果真腔持续受压，出现灌注不良，那么采取进一步的介入措施（比如，血管内支架植入或者经皮撕裂内膜开窗术使假腔减压）可能非常必要¹⁹⁸。有时，对伴有器官灌注不良的患者，血管内支架的置入可以在升主动脉修复之前进行。

术前TEE也应该评估心包腔，判断是否有心包积液。在某些病例中，主动脉夹层会伴随轻度的浆液性积液，但更多的情况下，心包积液是由于血液流入到心包腔内。在这样的病例中，心包腔内急性的血流淤积会产生血块，超声心动图表现为有团块物在一层心包积液中来回滑动。心包积液中血凝块的发现预示着潜在、致命的主动脉的破裂，应该快速地联系外科医生。

在A型主动脉夹层修复后，超声心动图检查者应该再次系统地检查主动脉瓣膜及主动脉近端的解剖特征以确定外科手术纠正已充分完成（包括闭合破口及所有邻近的交通）及确定主动脉瓣的功能是完善的。此外，当夹层延伸到主动脉远端时，超声心动图检查者应该再次检查降胸主动脉段以判断真腔内血流是否足够。

7、使用成像技术来引导血管内的治疗 胸部血管内主动脉修补术（TEVAR）的成功依赖于支架置入术前、术中及术后高质量、精确的成像检查¹⁹⁹。尽管有创的经导管血管造影成像（图14）是引导主动脉支架置入的首选方法⁴²，但对有经验的检查者来说^{59,60,62,200,201}，TEE有着明显的优势。TEE在手术室中显得尤为有用，在手术的不同阶段都有作用。对B型主动脉夹层患者，荧光透视法及TEE都可以指导导丝的前进及放置位置。然而，不同于荧光透视法，TEE能够区别真、假两腔，并确保导丝在真腔中正确地置放，在装置释放之前防止导管或导丝被放在不当的位置。在动脉粥样硬化性动脉瘤中，主动脉近端颈部中突出的斑块可能阻碍支架与主动脉管壁间的紧密贴合，导致危险的近端漏。这些斑块很容易通过TEE而不是血管造影或荧光透视检测到。因此，在主动脉近端支架放入之前，运用TEE来选择一段没有突出斑块的主动脉管壁并且确定支架的大小选择是至关重要的^{59,60,62}。

经TEE的定位及导向可以靠使用导丝引导的IVUS（常常是应用10MHz的探头）来加以完善，从而证实或矫正真腔中的导向，甚至可达腹主动脉及髂动脉水平。此外，当怀疑灌注不良时，术中的IVUS可以弄清楚分支血管受累的机制（比如，血管分支动态及静态的梗阻）^{125,126}。假腔血栓可以通过自发回声显影观察到，IMH则显像为新月形或环形的血管壁增厚。由于真腔可能受到影响，所以主动脉夹层支架的大小很难确定。在血管内支架植入术后，IVUS也能动态地评估手术是否成功^{200,202-204}。

血管成像、TEE和IVUS都可用来评估植入支架的张开程度，确定分支的吻合、假腔血栓的起始及再评估已经改善的灌注不足。在术中，TEE能较好地评估逆向A型夹层，且可以即刻提供左室心功能的信息。应用彩色多普勒，TEE在检测支架植入术后血管内漏时优于血管造影，尤其优于IVUS^{59,62,125}。一些研究表明，TEE能够提供比血管造影及荧光透视更多的决定性信息，使40-50%的病人因而成功地更改了手术方案^{59,60,62}。支架打开后，TEE的彩色多普勒对探测持续性存在的漏口非常有用，这些漏口可即刻经球囊扩张或进一步支架植入来解决²⁰⁵。大多数的血管漏口通过血管造影看不见。为了最大限度地增加对持续性漏口检测的敏感性，降低多普勒的速度范围（25 cm/sec）能提高对彩色信号的探测。然而，降低多普勒的速度范围本身，会导致血管漏的假阳性诊断。这是因为在支架植入后的即刻，涤纶的多孔性可能产生通过支架的暂时性的低速血流（被低速的彩色血流多普勒所探及），特别当收缩压高于120 mmHg时。为避免血管漏的假阳性诊断，对脉冲多普勒速度的测量可以区别经涤纶孔的低速血流（通常速度小于50 cm/sec）及真正的持续渗漏的较高速血流（通常速度大于100 cm/sec），其敏感性较血管造影更高¹²⁶。在主动脉夹层中，TEE对探测在血管造影中不能显示的远端较小的内膜再破口也非常有用；胸主动脉段内膜的再破口可以随即另加支架植入来封堵^{59,62,125}。TEE在显示头臂动脉及左颈总动脉开口时有一定的局限性，而这一信息对

主动脉近端的支架置放至关重要。应该提出的是，当植入涤纶支架时TEE是非常有用的，然而，当植入聚四氟乙烯或膨体聚四氟乙烯植入体时，TEE不能发挥作用，因为聚四氟乙烯会屏蔽超声波。

最近的小型研究证实管腔内相控阵超声显像在检测主动脉夹层真、假两腔之间的交通时比IVUS和TEE更优越²⁰⁰。然而，IVUS和管腔内相控阵超声所用导管都是一次性的，所以比TEE昂贵，且不能在支架植入的同时操作，相反TEE适合同时成像及术中监测。

总的来说，TEE和IVUS在引导需要联合监测技术的血管内操作中非常有用，比如，支架植入术联合开放内脏旁路搭桥术^{59,62,206}。TEE对外科治疗方案的选择及检测需要处理的并发症中至关重要。因此，术中TEE认为是必须的。TEE在降主动脉夹层患者的经血管内操作中也非常有用，TEE可区分真、假腔，引导导丝在真腔中的正确放置，有助于指导支架位置的正确置放并识别出不理想的手术结果及检出血管漏。

8、主动脉夹层的系列随访（检查的方法选择）在诊断和处理急性主动脉夹层后，影像技术在随访中对预后的评估和对并发症的诊断起着重要的作用。形态学及动态信息可能对预测主动脉夹层的进展及甄别有较大形成主动脉重度扩张趋势的患者组非常有用。常规的主动脉评估应该在急性事件发作后的1、3、6、12个月时各进行一次，以后每年检查一次。

出院后，影响主动脉扩张的因素包括破口大小、亚急性期降主动脉的最大内径以及假腔内的高压状态。在亚急性期中主动脉的最大内径是进行性主动脉扩张的重要预测因子，因为根据拉普拉斯法则，增大的主动脉内径与增加的管壁压有关。

相对于临床危险因素，TEE为A型主动脉夹层提供了更多的预后信息。局限在升主动脉的撕裂内膜和完全形成血栓的假腔已经证明起保护作用²⁰⁷。最后，增高的假腔内压力是另一个预测假腔将会扩张的重要因子。在大多数病例中，假腔内的高压力与破口较大且远端无处排空血流或有相似大小的再破口有关。识别远端再破口的血流交通可能比较困难，因此，有较大破口存在时，高压假腔的间接征象，如真腔受压，部分假腔血栓或假腔中心脏超声造影剂的显现速度类型等应该予以考虑。

CT是在主动脉夹层的随访中使用最频繁的技术。CT广泛的视野范围允许辨认识别解剖学标志，使得测量可以在与之前相同的测量水平上进行。CT对于主动脉大小的测量有极好的重复性，对识别破口及远端再破口的部位有极高的准确性，也可评估血管的灌注不良。在随访药物或手术治疗的AAS患者时，MRI是一项非常好的可选择性技术。MRI避免了电离辐射及在CT血管造影中使用的肾毒性造影剂，且比起TEE，其有创性更小。而且，对血流的解剖学及生理学的完整的检查可以提供能够解释主动脉扩张机制的信息。具有时间分辨的MRA能够提供更多的破口处血流的动态资料。通过定量分析真、假两腔的血流以及识别出主动脉进行性扩张风险的血流动力学表现类型的可能性，速度编码的电影MRI序列对主动脉夹层的功能评估是很有前景的。在计划外科手术或血管内修复时，显示内膜撕裂的行程、破口的位置、假腔中的血栓、主动脉内径、主要动脉干的受累情况非常有用。CTA和MRA充分利用所具有的后处理软件功能，进行多平面的重建、最大信号强度投影及容量绘制重建等。

9、成像技术对并发症的预测因素的监测

a. 主动脉最大内径：随访中急性期后主动脉扩张的最大值是并发症的一个主要的预测因子。CT和MRI在测量主动脉根部以远主动脉内径上都优于TEE。B型主动脉夹层幸存的患者中，有25%到40%的患者会发生主动脉瘤样扩张。主动脉夹层随访中继发的主动脉扩张是预测主动脉破裂的重要因子。急性期后降主动脉内径大于45 mm及开放假腔的存在预示假腔动脉瘤（大于60 mm）形成和需要外科再次干预。主动脉内径大于60 mm或者每年内径增长超过5 mm则预示有很高的主动脉破裂的风险²⁰⁸。其它的研究表明在降主动脉近端假腔的最大内径是并发症的预测因子²⁰⁹。然而，由于撕裂内膜的移动，该径线的可重复性较差。

b. 开放的假腔: 除了主动脉内径外, 另一个预测急性B型主动脉夹层患者结局的一致性预测因子是假腔的血流动力学状态, 经典地分为血栓化假腔或开放性的假腔。在两种类型的夹层中, 降主动脉假腔的持续存在都比较常见, 而且预示着较差的预后。假腔的全血栓化被认为是自然愈合的先兆, 即使在外科对A型主动脉夹层修补之后, 也是很少见发生的。持续性的开放假腔可见于大多数B型主动脉夹层患者的随访过程中或高于70%的手术修复后的A型主动脉夹层患者¹⁹⁷。在A型夹层修复术后, 降主动脉开放的假腔与五年生存率相关。因此, 在应用术中TEE来指导消除破口, 不仅仅是对升主动脉的修复, 而是有着更为重要的意义。

c. 假腔的部分血栓化: 研究表明假腔的完全血栓化有着改善的预后, 而开放的假腔则增加了主动脉扩张及死亡的风险^{197,210}。然而在IRAD的系列研究中, 假腔的部分血栓化, 见于三分之一的患者中, 定义为血流和血栓同时存在, 是随访死亡率的最强的独立预测因子, 与开放的假腔中没有血栓形成的患者相比, 其死亡的风险增加了2.7倍¹⁹⁹。需要运用CT和MRI评估整个主动脉的前瞻性研究来证实这些结果。

d. 破口的大小: Evangelista²¹¹ 等人研究了破口大小的预后价值, 资料表明大的破口是晚期死亡和需要主动脉手术治疗的预测因子。破口大于10mm是预测与夹层相关的不良反应的合适的临界值, 具有85%的敏感性及87%的特异性。在评估破口的大小及位置时, TEE和CT优于MRI。最近有报道显示3DTEE和CT所测得的破口的面积之间有很好的的一致性¹⁵¹。破口小, 进入假腔的血流容积较小, 因此假腔中的压力较低。所以, 成像技术可识别的, 大破口结合假腔高压的间接征象应该被认为是主动脉扩张及不良事件的预测因子, 需要密切随访。

e. 真腔受压: 真腔受压是假腔高压的间接征象。然而, 心动周期中撕裂内膜的移动以及可降低结果可重复性的螺旋形夹层等局部因素均可能使对受压真腔的评估受到限制。具有明确的整个真腔明显受压的患者有较高的假腔快速扩张和更多主动脉并发症的风险。

10、随访策略 出院后3、6、12月及随后每年一次的CT或MRI的随访检查, 建议根据现有的技术、想要获取的信息以及患者的特征如年龄、肾功能和对检查的耐受性等来选定。

C. 壁内血肿 (IMH)

1、引言 包括TEE、CT和MRI等主动脉成像技术的进步已经提高了对急性主动脉综合征患者中主动脉壁内血肿 (IMH) 的认知。壁内血肿, 一般认为是主动脉夹层的变异, 在AAS中约占10%-25% (表10)。壁内血肿在1920年第一次被描述成“没有撕裂内膜的夹层”²¹², 且相信是由于滋养血管破裂, 使血流淤积在主动脉中膜弹性层^{79,212,213}。然而, 最近的研究表明至少有些壁内血肿可能是由目前的影像技术检测不到的小的内膜撕裂所引发的, 而且在手术或尸检时对主动脉的大体检查中常常会被忽视²¹⁴⁻²¹⁷。壁内血肿不是单独存在的, 往往与以下好几种情况相关联: 包括自发的 (典型的) 主动脉夹层、穿透性溃疡、主动脉创伤和医源性夹层 (如心导管或心脏手术)。

表10 壁内血肿的患病率 (占主动脉夹层或非外伤性AAS的百分比)

作者	年份	n	%	资源
Mohr-Kahaly	1994	27/114	23%	420
Nienaber	1995	25/195	12.8%	421
Keren	1996	10/49	20%	422

Harris	1997	19/84	23%	423
Vilacosta	1997	15/88	17%	229
Nishigami	2000	59/130	45%	424
Ganaha	2002	66/725	9%	425
Evangelista	2003	68/302	22%	154
Attia (meta-analysis)	2009	—	17%	426
	总计	289/1687	17%	

2、成像标志及特点 典型的主动脉夹层的影像标志—撕裂内膜和双腔主动脉的存在，二者在IMH中是不存在的（图38）。而且壁内血肿也常常没有再破口。壁内血肿总体的影像特点列在表格11中。典型的壁内血肿表现为主动脉壁呈新月形或同心圆形增厚，厚度大于5mm（图39和40）。如前所述，没有活动的撕裂内膜，主动脉腔的形态保持完整，管腔壁是成曲线形的，通常很光滑，与动脉粥样硬化和穿透性溃疡中所看到的粗糙、不规整的边界相反，尽管动脉粥样硬化和穿透性溃疡两者可能同时存在。在血肿和真腔之间没有多普勒血流信号相通的证据，但是在血肿中可能有一些彩色多普勒信号。在主动脉管壁血肿内也可能有回声透亮区域。比起典型的主动脉夹层，壁内血肿一般来说是一个更为局部性的进程，典型的夹层往往会沿整个主动脉撕裂延展到髂动脉。壁内血肿可能会削弱主动脉壁张力，要么向外进展，主动脉向外膨出和/或破裂；要么向内进展，致内、中膜断裂，导致典型的主动脉夹层。Evangelista等人描述了7种演变方式：消退、纵向扩展成典型的夹层、发展成局限性夹层、形成梭形动脉瘤、形成囊状动脉瘤、形成假性动脉瘤和持续性壁内血肿。因此，系列的成像是非常有必要的，用来排除只接受药物治疗的患者的进展恶化，因为临床表现和症状不能预测疾病的进程情况。尽管还没有明确的指南来指导对壁内血肿患者进行密切的影像学监测的理想频次和长期持续时间，Evangelista等人¹⁵⁴根据壁内血肿显著的动态变化建议从诊断时起1、3、6、9和12月时进行影像学检查。一旦病变稳定，影像监测可一年一次。

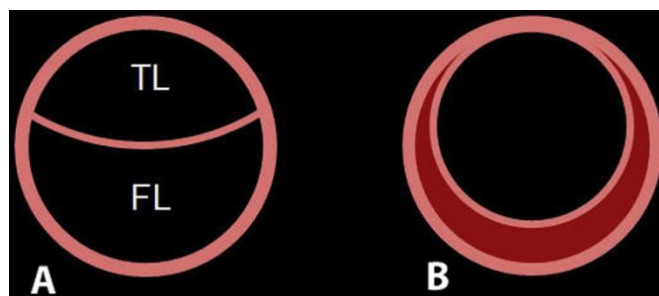


图38 （A）左侧典型的主动脉夹层图像显示撕裂内膜将真、假两腔分开。（B）没有撕裂内膜及真假两腔的壁内血肿，代之以增厚的主动脉管壁，在本图中呈典型的新月形增厚。注意主动脉管腔是完整的（圆形及光滑的管壁）。

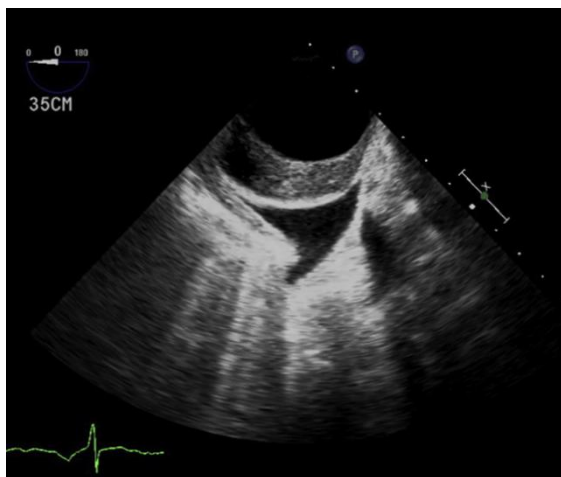


图39 距门齿35cm的降主动脉横截面，经食道超声心动图图像显示新月形的壁内血肿。

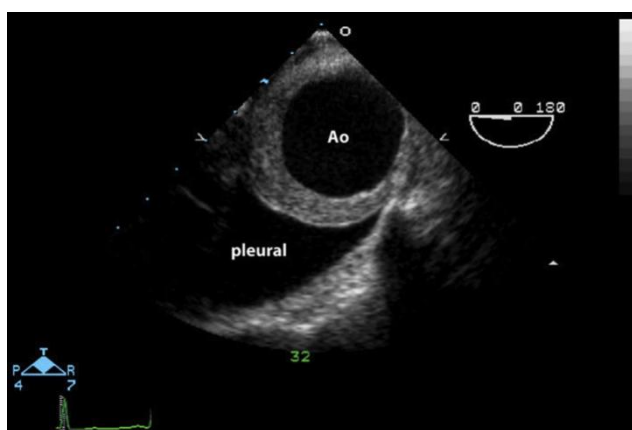


图40 降胸主动脉横截面的经食道超声心动图像显示向心性的壁内血肿。伴有少量右侧胸腔积液。

表11 壁内血肿的图像特点

- | |
|-----------------------|
| 1. 局部性主动脉壁增厚（新月形多于圆形） |
| 2. 保持完整的管腔形状伴有光滑的管壁 |
| 3. 没有撕裂内膜和假腔 |
| 4. 主动脉壁中可能呈现无回声区 |
| 5. 内膜钙化的中心性移位 |

因为缺乏血流信号和摆动的撕裂内膜，壁内血肿的诊断比典型的主动脉夹层更难。由于壁内血肿的厚度可能是进展变化的，要确定壁内血肿的诊断可能需要观察时间和重复成像。Evangelista等人²¹⁸证实了最初的影像学检查在超过12%的患者是阴性，要在几小时或几天后重复检查。壁内血肿很难与典型主动脉夹层中血栓化的假腔相区别，因为他们都呈现出新月形的主动脉壁增厚。然而，在主动脉夹层中，血栓化的假

腔的直径常常大于大多数的壁内血肿的厚度，但不是所有壁内血肿。相反的，壁内血肿在周长上的范围往往比主动脉夹层要大。新月形的主动脉壁增厚类似于一种正常结构，即半奇静脉鞘，它是主动脉周的脂肪垫²¹⁹。这一脂肪垫典型地显现在探头顶端距门齿30-35cm处的TEE图像上。主动脉粥样硬化会导致主动脉壁增厚，但其形成的不规则的管腔内面可以与管腔内膜光滑I壁内血肿相鉴别。而且，动脉粥样硬化“凸凹不平”的腔内表现沿主动脉每一个厘米都不同，而壁内血肿在相当长的主动脉中都是光滑的。主动脉腔内附壁血栓可能表现为胸主动脉瘤的内衬，大多数位于降主动脉，但典型的附壁血栓有不规则的管腔内膜使管腔变窄，不会像壁内血肿一样纵向延伸。图41显示了这几种疾病与壁内血肿不同的特征。主动脉炎导致主动脉管壁增厚，典型地呈向心性且受累部位中间穿插有正常节段。



图41 显示半奇静脉鞘（一种正常结构）、动脉粥样斑块、含附壁血栓的动脉瘤与壁内血肿的不同表现

CT探查壁内血肿，显示增厚的主动脉管壁，造影增强CT其衰减比管腔内血液要高（从40 Hu到 70 Hu）（图42）。用CT成像评估可疑的AAS时首先用不增强的CT是至关重要的，因为管腔内的造影剂可能遮掩了壁内血肿。在壁内血肿的影像随访中，常常观察到类似溃疡的影像，可能是内膜断裂形成主动脉管腔和壁内血肿间的交通²²⁰。MRI提供诊断超急性期壁内出血的可能性，因为血肿成像在T1加权中是等信号，T2加权上是高信号。在最初的24小时内，从氧基血红素到高铁血红蛋白的改变决定了其在T1和T2加权上都是高信号，结合脂肪抑制，对区分主动脉外周脂肪和壁内血肿非常有用。尽管在急性期使用CT更易获得且具有检查时间较短的好处，但MRI对诊断壁内血肿可提供补充信息。组织间更高的对比度能让MRI检测到更小的壁内血肿，而这在CT中可能是不能被发现的。另外，MRI更易区别TAA中的附壁血栓和壁内血肿，因为附壁血栓在T1和T2加权序列中显示的是低信号或等信号。



图42 CTA显示壁内血肿。箭头指向由于壁内血肿产生的新月形增厚的管壁。注意管腔（L）是完整的。

3、成像法则 CT被认为是壁内血肿的一线诊断方法，特别是急性期。急性期的检测是基于非对比增强条件下急性出血的高衰减信号。当CT或TEE的检查结果模棱两可时，MRI可能非常有价值，因为主动脉壁的高信号有利于正确的诊断。

4、壁内血肿系列的随访（检查的选择）如上所述，壁内血肿可能的演变是再吸收、动脉瘤的形成或转化成典型的夹层¹⁵⁴。在一系列研究中，壁内血肿有34%完全消退，20%形成动脉瘤，24%形成假性动脉瘤，同时也有12%进展成主动脉夹层。由于广泛的可视范围、可以识别诊断标志，在界定壁内血肿动态的演变上，MRI和CT优于TEE。在监测壁内血肿的图像上，溃疡样投影很常见，这些溃疡可能会撕裂，产生主动脉管腔与壁内血肿间的交通^{221,222}。MRI为诊断壁内出血的演变以及新发生的无症状的再次壁内出血提供了可能性。

5、并发症的预测 大多数预测因素可以通过成像技术来界定：

1. 急性期主动脉的最大内径是B型壁内血肿进展的重要预测因子，所以应该在报告中提及。若患者的最大内径大于40-50mm，不管在降主动脉的哪个位置，都有较高风险形成主动脉夹层^{216,223-229}。

2. 壁的厚度被认为是疾病进程的预测因子；然而不是所有的研究都支持这项发现。已报道用来预测进程的厚度阈值变化较大，有10、12或者15mm²²⁸。

3. 在壁内血肿中主动脉周的出血及胸腔积液的发生率比主动脉夹层高；在一些研究中，发生率高达40%。一些系列研究指出胸腔积液的出现与壁内血肿不良预后有关；然而，这一结论尚存在争议。有两种机制描述如下：通过微孔，血液从主动脉漏出；病灶部位的炎症反应，从壁内血肿近端到外膜的非出血性渗出液^{210,230}。这两种不同致病理论的不同的预后价值可能解释了医学文献的不一致。

壁内血肿的相关要点如表12所述。

表12 壁内血肿：关键点

-壁内血肿代表出血到主动脉中膜层
-主动脉双管腔中没有撕裂的内膜
-新月形或环形增厚的主动脉壁
-可能进展成局限或明显的夹层或破裂
-壁内血肿的厚度及主动脉的最大内径是危险因素的预测因子
-在非造影的图像中，CT显示高衰减的新月形或环形增厚的管壁
-管壁细微的增厚在经验少的影像中心可能会被漏掉

D. 穿透性主动脉溃疡 (PAU)

1、引言 穿透性主动脉溃疡这一术语描述的是动脉粥样硬化病灶的溃疡穿透主动脉内层的弹性纤维层到主动脉中膜的状况（图43）²³¹。尽管穿透性主动脉溃疡的临床表现与典型的主动脉夹层相似，不过穿透性主动脉溃疡被认为是内膜的疾病（比如，动脉粥样硬化），但是主动脉夹层及其变异体（IMH）从根本上是中膜疾病（弹性纤维的退行性改变，而以平滑肌细胞为主），同时大多数典型主动脉夹层的患者却几乎没有动脉粥样硬化性疾病²³²。穿透性主动脉溃疡可能发生在主动脉的任何部位，但是出现最多的部位是胸主动脉的中段及远段，在升主动脉、主动脉弓及腹主动脉则不常见。穿透性主动脉溃疡有时是多病灶性的，而这也在意料之中，因为主动脉粥样硬化是弥散性的。他们可能发生在具有正常内径的主动脉，但常常出现在内径增宽的主动脉²³²⁻²³⁵。

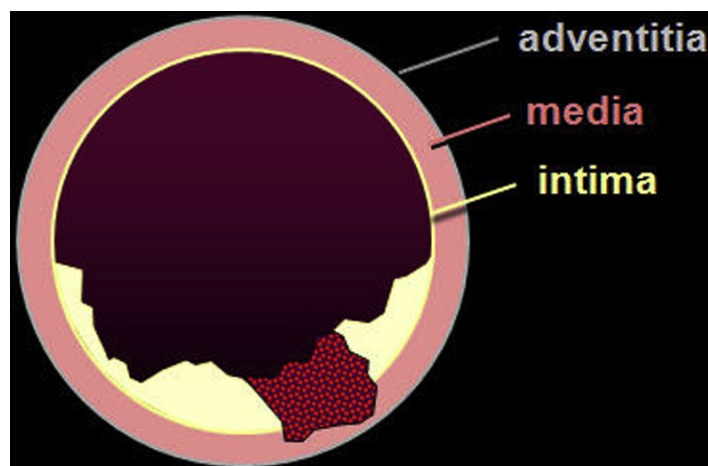


图43 示意图显示的是穿透性动脉粥样斑块溃疡的特征：严重的粥样斑块、穿透性的溃疡或“外翻”入中膜。

典型地，当溃疡穿透入中膜时，就形成一个局部的壁内血肿（图44）。在大多数患者中，这种壁内血肿是局部性的，但是偶尔会涉及到整个降主动脉²²³。罕见的是，中膜的血肿破裂后流回主动脉管腔内，形成典型表现的夹层，两个腔内都有血流。一旦形成，穿透性主动脉溃疡可能处于静止状态，但是薄弱的主动脉壁为形成囊性、梭性或假性动脉瘤提供了基础^{231,233,224-227}。穿透性主动脉溃疡向外破入纵膈或左、右胸膜腔可能会发生，但不常见^{233,234}。溃疡处脱落的血栓或粥样硬化碎片对远端动脉循环造成栓塞也有可能发生。

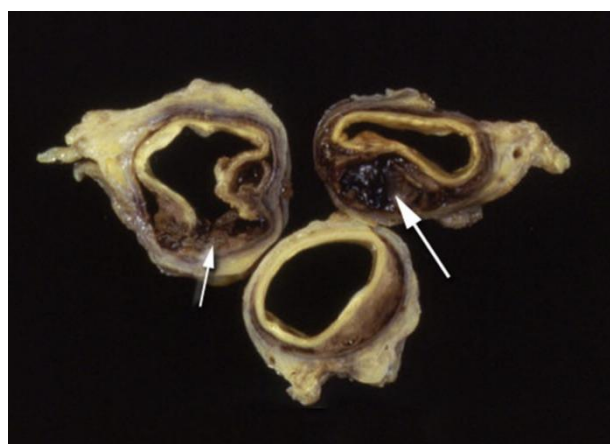


图44 大体病理标本: 来自一个破裂的动脉粥样硬化溃疡（小箭头所示）患者，伴有IMH，血液向外到主动脉壁（大箭头所示）。

2、成像特点 诊断穿透性主动脉溃疡需要显示有溃疡样或火山状的外翻进入主动脉壁（在成像中，内层弹性纤维层是看不见的），如图45所示。由于穿破内层弹性纤维层不能被识别，所以穿透性主动脉溃疡只有在向外突出主动脉管腔轮廓时才被检测到。没有进入中膜的粥样硬化溃疡很难与穿透性主动脉溃疡区分。因此诊断穿透性主动脉溃疡必须非常谨慎，特别是偶然间发现的可疑性主动脉病损。

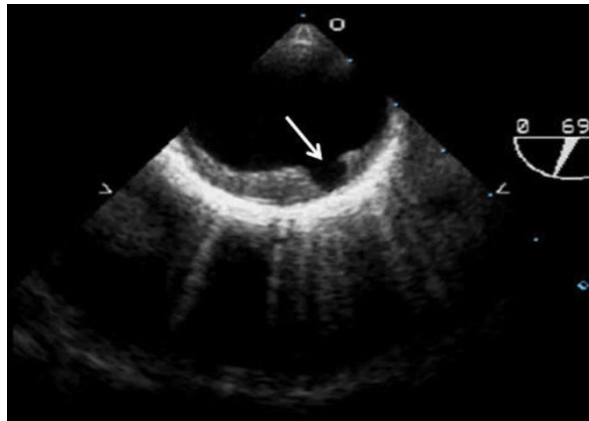


图45 穿透性动脉粥样斑块溃疡患者的经食道超声心动图（箭头示溃疡），注意突出的主动脉粥样斑（没有标出）。

另一个可能被误诊为穿透性主动脉溃疡的情况是溃疡样投影（ULP）。如上所述，溃疡样投影可能是从壁内血肿演变而来。这些局部性的、充满血液的囊袋伸进壁内血肿，交通孔径大于3mm。溃疡样投影被认为是这样一种结果：由局灶性的夹层和短小的撕裂内膜导致的假性动脉瘤所产生。与穿透性主动脉溃疡相鉴别可能很困难。通常来说，穿透性主动脉溃疡有锯齿状的边缘，伴有内膜层多处不规则，且可能会伴有局部血肿。

TEE，CT和MRI都可检测出穿透性主动脉溃疡及其并发症。一旦识别出来，关注点应放在评估以下几个方面：（1）从主动脉管腔开始测量的：溃疡穿透的最大的深度；（2）破口处的最大宽度；（3）相关的中膜血肿的轴向长度。需报告的观察点列在表13中。

表13 需要报告的穿透性主动脉溃疡图像参数

损伤的位置
损伤的宽度、长度、深度
损伤水平的主动脉内径
有无壁内血肿及程度
主动脉壁中向外溢出的造影剂的范围
纵膈血肿

3、影像技术

a. CT—穿透性主动脉溃疡典型的CT发现是局限性的、造影显像一样的主动脉壁的袋状外翻，且与管腔相交通。这个现象被比作“领扣”²²⁸。如上述，穿透性主动脉溃疡常见于降胸主动脉的中远段²²⁶。对应钙化内膜之外部出现增厚（增强）的主动脉壁提示局限性的IMH。这些发现通常与严重的粥样硬化有关联。CT比TEE有更多的优势。它能检测到TEE探查不到的主动脉区域，因而能更完整地识别穿透性主动脉溃疡产生的外翻。而且，它也能鉴别围绕溃疡的钙化的动脉粥样斑块。CT血管造影成像也比TEE更能显示管腔外的异常情况，包括假性动脉瘤或者纵膈、胸腔的积液。

b. MRI—MRI是检测局灶性或广泛的壁内血肿很好的方法，壁内血肿在T1加权上表现为主动脉壁内的高信号区域^{79,229}。Yucel等人²³⁶证实在鉴别急性壁内血肿与动脉粥样斑块和慢性管腔内血栓时，MRI优于传统的CT。MRI所具有的额外优势是在不使用造影剂的情况下也能提供多平面图像。

c. TEE—TEE在诊断穿透性主动脉溃疡时不如CT和MRI应用的多，但当CT和MRI的结果不能定论时TEE也许有其价值。与CT和MRI所看到的相似，TEE对穿透性主动脉溃疡的特征发现火山状的主动脉壁袋状外翻，常常伴有锯齿状的边缘，通常与广泛的主动脉粥样斑有关。尽管不常见，但局限性的主动脉夹层可能会发生，如果出现有撕裂内膜，一般是厚而不规则、不摆动且通常长度有限²³⁷。而夹层长度有限的原因可能是由于中膜的疤痕或萎缩以及继发于动脉粥样硬化的进程导致夹层平面的丢失。

d. 主动脉血管造影—基于导管的血管造影成像很少用来诊断穿透性主动脉溃疡，这是因为目前的轴向成像技术的优越性及TEE高分辨性。这些方法也能够较好地显示周围的管壁，更易鉴别相关的壁内血肿。主动脉造影的特征性的发现是：造影剂充填的袋状外翻类似于胃肠道的溃疡，同时在溃疡区内可见与弥散的粥样硬化相一致的主动脉壁鹅卵石样改变，但却没有撕裂内膜或假腔。

4、成像法则 CTA被认为是一线的影像学诊断方法^{226,234,238-240}。它可用范围广，可同时评估其他的胸部结构，且提供对于计划外科手术及TEVAR非常必要的3D重建图像。而且，在检测小溃疡时，CT优于TEE。它也可以有效地评估溃疡穿透的程度以及出血进入主动脉壁内或到主动脉壁外。MRI在鉴别穿透性主动脉溃疡和壁内血肿、动脉粥样斑块及腔内慢性附壁血栓方面作用突出^{241,242}。然而MRI没有CT那么普遍，而且不能检测出常常伴随着穿透性主动脉溃疡的内膜钙化的移位。推荐的对穿透性主动脉溃疡影像技术的选择总结在表14中。

表14 推荐的穿透性主动脉溃疡成像方式

方式	推荐	优点	缺点
----	----	----	----

CT 一线	-检测PAU优于TEE，特别是小的PAU -能评估整个主动脉及其它的胸腔结构 -检测管腔外异常优于TEE（比如假性动脉瘤、纵膈积液） -推荐CT随访	-电离辐射暴露及含碘造影剂
MRI 二线	-无造影剂时也可提供多平面图像 -能很好地检测PAU并发的IMH -能很好地鉴别原发IMH和动脉粥样斑块及腔内血栓	-没CT应用广泛 -操作者依赖性
TEE 三线	-鉴别PAU和ULP	-没CT或MRI研究得多 -半介入性 -操作者依赖性

尽管对穿透性主动脉溃疡的自然病程和处理的观点不同，但都一致认为所有的穿透性主动脉溃疡，即使偶然发现的，也常需要作密切的临床和影像学的随访（通常选用CTA）。考虑有进程恶化可能的发现包括：增加的主动脉内径、管壁厚度或出现薄壁的囊袋样动脉瘤。主动脉壁外的血液提示破裂。

5、穿透性主动脉溃疡的系列随访（检查的选择）穿透性主动脉溃疡的自然病程尚不知道。正如壁内血肿，已有几种结局被描述出来。许多穿透性主动脉溃疡的患者不需要立即行主动脉修补术，但是需要用系列的影像学研究，如CT或MRI，来进行密切地随访，以记录疾病的进程。尽管许多作者记载主动脉溃疡有演变成进展性瘤样扩张的倾向，但这过程往往很慢。自发的主动脉完全破裂不常见但可能会发生。有些穿透性主动脉溃疡是偶然发现的，在这些病例中溃疡的大小及主动脉进展性的扩张是对并发症的仅有的预测因子。在穿透性主动脉溃疡的随访中，CT和MRI的评估都优于TEE。图像监测的间隔时间应该与为主动脉夹层所推荐的相似。

IV. 胸主动脉瘤（TAA）

A. 定义和术语

主动脉瘤是一种与主动脉夹层明显不同的独立的病理类型。大部分主动脉夹层（中膜的纵向分离）发生前并没有动脉瘤。真性动脉瘤产生于主动脉管壁全层的拉伸扩张；因此，动脉瘤的管壁包含了主动脉壁三层结构（内膜、中膜和外膜）。胸主动脉瘤可能累及主动脉的一个或多个节段（主动脉根部、升主动脉、弓部或降主动脉）。60%的胸主动脉瘤累及主动脉根部和/或升主动脉管部，40%累及降主动脉，10%累及主动脉弓，10%累及胸腹主动脉²⁴³。1991年，血管外科协会与国际心血管外科协会北美分会的联合委员会任命了一个特别委员会来制定报告动脉瘤的标准²⁴⁴。动脉瘤被定义为动脉局部性的永久性扩大，与该段动脉预期的正常内径相比，动脉内径增加 $\geq 50\%$ 。该定义也被2010年美国心脏病学会基金会、美国心脏协会、美国胸外科协会、美国放射学会、美国外科协会、心血管造影介入协会、造影放射协会、胸外科医师协会和血管医学学会所采用，来指导胸主动脉疾病患者的诊断和处理¹。

尽管我们的编写委员会基本上认同该定义，但我们想指出一些实际问题。首先，目前的定义缺乏相关联的结果；其次，许多已发表的文章中使用‘主动脉扩大’这一术语时却用不同的任意的界定值来判定主动脉扩大的严重性²⁴⁵⁻²⁴⁸。最后，如果常用的升主动脉内径超声上限是37 mm的话（参考正常解剖及参考值章节），那么当升主动脉内径 > 55.5 mm (37+18.5 mm) 时即为扩大，这一标准似乎是给得过大，已大于需要手术的典型界限值。笼统的描述，如“有一个升主动脉瘤”是不够的²⁴³。更好的描述应该是“有一个5 cm宽

的升胸主动脉瘤”，因为它表达了预后、随访和处理的含意。应尽量避免使用描述性术语比如小、大、巨大来描述动脉瘤。

其他常用的术语都包含在 2010 年指南中¹：扩张是指动脉扩大<正常动脉内径的 150%；主动脉肥大是指累及几个动脉节段的弥漫性动脉扩大，与预期正常的动脉内径相比，内径增加>50%。

主动脉扩大是可以接受的非特异性术语，涵盖了扩张和瘤。再次重复，影像学报告必须包含有受累主动脉节段的内径。另外，理想的是在同一中心使用同一技术行连续影像学检查，这样可以直接进行对比²⁴³。当这一方案不切实际时，应该与之前的检查直接对比以确定连续的变化是真实的。

B. 主动脉瘤的分类

主动脉瘤可根据其形态学、位置（如上所述）和病因学进行分类。胸主动脉瘤的病因学如表 15 所示。这些将在本文其他部分讨论。

表 15 胸主动脉瘤的病因学

-
1. 马方综合征
 2. 二叶式主动脉瓣相关的主动脉病
 3. 家族性胸主动脉瘤综合征
 4. IV 型 Ehlers-Danlos 综合征（血管型）
 5. Loeys-Dietz 综合征
 6. 特纳氏综合征
 7. Shprintzen-Goldberg（马方综合征样-颅缝早闭）综合症
 8. 非感染性主动脉炎（如：巨细胞性动脉炎、多发性动脉炎、非特异性动脉炎）
 9. 感染性主动脉炎（霉菌综合症）
 10. 梅毒性主动脉炎
 11. 创伤
 12. 特发性
-

C. 形态学

主动脉瘤的形态学类型可分为两种：梭型和囊状（图 46）。梭型动脉瘤比囊状动脉瘤更常见，因主动脉壁的弥漫性变弱而产生。这个过程使主动脉整个呈环形扩大，形成两端细小的纺锤形状。囊状动脉瘤的产生是当主动脉周壁的某个部位变弱，产生一个非对称性、相对局灶性的气球状的向外膨出。主动脉根部和升主动脉也有不同的形态学形状，其中一些形状提示其特殊的病因学（图 47）。

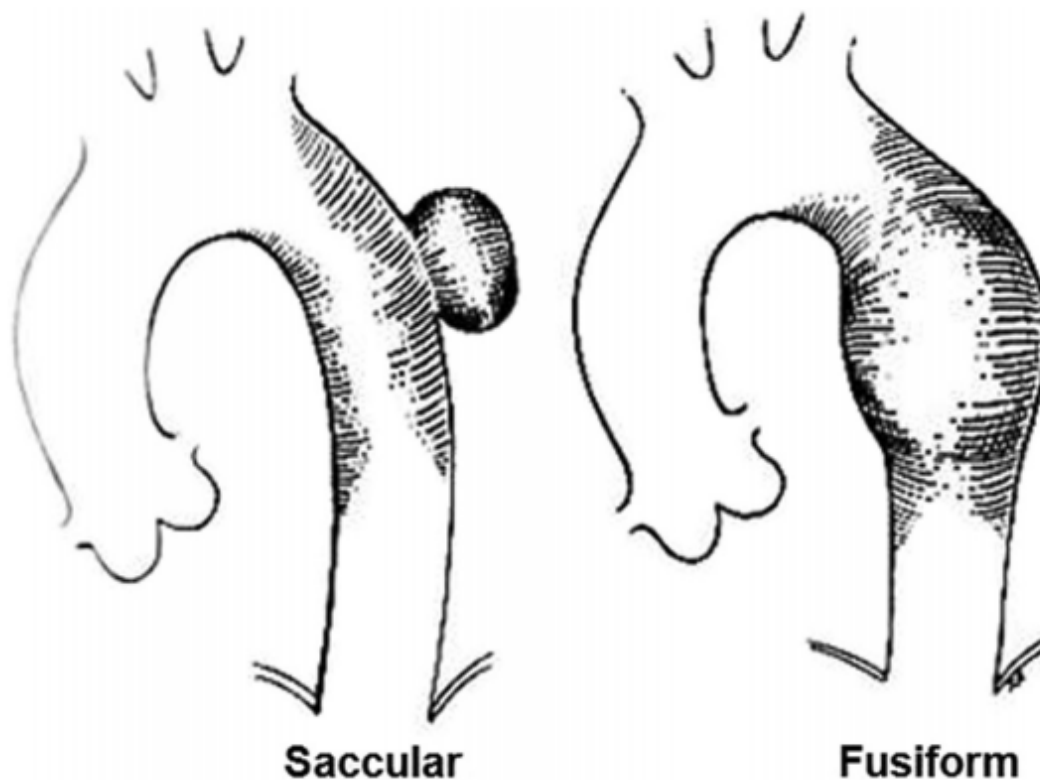


图 46 主动脉瘤两种形态学的示意图：囊状和梭型

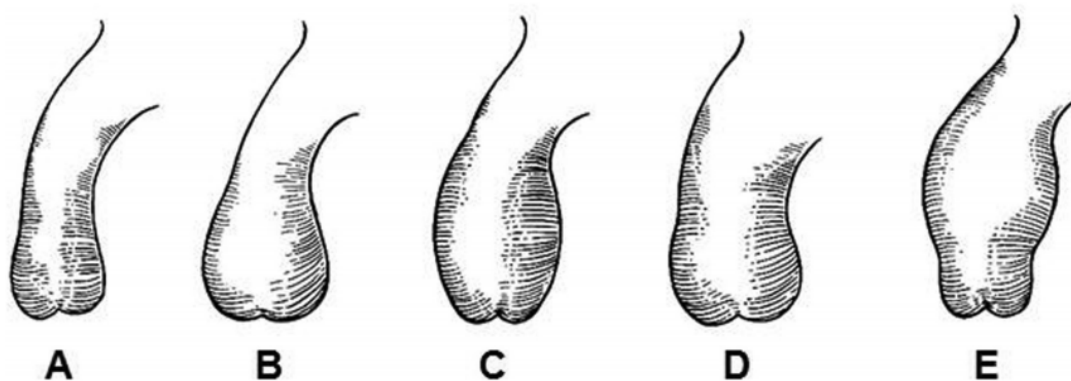


图 47 几种不同形状的主动脉根部和升主动脉瘤的示意图：(A) 正常；(B) 扩大局限于瓣环和乏氏窦，呈特征性的马方样或梨形；(C,D) 累及瓣环、乏氏窦和升主动脉的两种扩形式；(E) 扩大起始于窦管接合部，但不累及主动脉瓣环和乏氏窦。

胸主动脉瘤影像学的主要目标如表 16 所列，选择影像学方法的建议如表 17 所列。

表 16 胸主动脉瘤成像的目的

-
1. 证实诊断
 2. 测量动脉瘤的最大内径
 3. 界定动脉瘤的纵向范围
 4. 测量动脉瘤近端和远端边界的内径
 5. 确定主动脉瓣受累情况
 6. 确定弓部血管的受累情况
-

7. 探测主动脉周围血肿或其他渗漏的迹象
8. 与主动脉夹层相鉴别
9. 检出管腔内附壁血栓

表 17 胸主动脉瘤影像学方法选择的建议

方法	建议	优点	缺点
CT	一线	<ul style="list-style-type: none"> ● 分期、监测的一线技术 ● 造影：增强 CT 和 MRI 测量所有胸主动脉瘤的大小非常准确（测量远端升主动脉、弓部和降主动脉优于超声心动图） ● 主动脉所有节段与主动脉分支显示较好 	<ul style="list-style-type: none"> ● 使用电离辐射和碘造影剂 ● 心脏运动可引起图像伪像
MRI	二线	<ul style="list-style-type: none"> ● 对比随访检查的理想技术 ● 对稳定的患者是极好的成像方法 ● 随访年轻患者更好 ● 避免电离辐射 ● 可对整个主动脉成像 	<ul style="list-style-type: none"> ● 检查时间长于 CT ● 需要患者配合（屏住呼吸） ● 对紧急状况下不稳定患者和植入金属设备的患者的应用受限 ● 获益于钆
TTE	二线	<ul style="list-style-type: none"> ● 通常用于诊断影响主动脉根部的动脉瘤 ● 用于家族筛选用于随访主动脉根部疾病 ● 测量的可重复性极高 ● 极好地评价 AR、左室功能 	<ul style="list-style-type: none"> ● 远端升主动脉、弓部和降主动脉的图像不可靠
TEE	三线	<ul style="list-style-type: none"> ● 很好地评价 AR 机制 ● 很好地成像主动脉根部、升主动脉、弓部和降主动脉 	<ul style="list-style-type: none"> ● 常规系列随访价值较小（半介入性） ● 远端升主动脉成像可能较差 ● 不能全部显示主动脉弓部血管 ● 系列检查解剖标志的局限性
主动脉造影	三线	<ul style="list-style-type: none"> ● 用于治疗干预 ● 用于指导血管内操作 	<ul style="list-style-type: none"> ● 介入性；造影剂肾病的风险 ● 只显示主动脉管腔 ● 不能准确测量

AR, 主动脉瓣反流

D. 主动脉瘤的连续随访（检查的选择）

主动脉内径是主动脉破裂或夹层的首要预测因子²⁴⁹。当主动脉内径>60 mm 时，不同病因学的胸主动

动脉瘤破裂或夹层的风险显著增加。当内径 $<50\text{ mm}$ 时,每年动脉瘤破裂的平均发生率仅2%,当内径为 $50\text{-}59\text{ mm}$ 时,动脉瘤破裂的概率稍稍增加至3%,但是当内径 $\geq 60\text{ mm}$ 时,破裂概率急剧增加至7%²⁵⁰。与升主动脉每年 0.07 mm 的生长速度相比,降主动脉瘤的生长速度明显快于前者,平均每年 1.9 mm ²⁴⁹。

动脉最大内径在决定预防性外科修复术的时机中的临床重要性,使得对主动脉的测量尽可能准确成为关键。由同一检查者使用相同的解剖参考点同时对比来完成测量很有必要。在某种情况下,对主动脉的断面扫描图像中,主动脉并没有垂直于断层扫描平面,就产生出一个有最大和最小内径的椭圆形图像。在既往大部分动脉瘤扩张的自然病史的研究中,因最大内径明显高估真实径线,因此都报道了最小内径来避免倾斜效应。

大部分情况下,主动脉根部扩大可通过TTE评估。当超声心动图声窗良好时,可准确评价主动脉内径扩大的情况、AR的严重程度和左室功能。然而,当扩大累及窦管接合部以上的升主动脉时,TTE并不是总能充分地显示受累节段,此时应行CT或MRI检查。当考虑手术治疗方式(修复或瓣膜置换)时,则需要TEE检查。TTE和TEE在准确测量远端升主动脉、主动脉弓和降主动脉内径方面都受局限。此外,如果主动脉是扭曲的,经食道超声心动图则很难测量准确。多排探测器螺旋CT(MDCT)的多平面重建能力和亚毫米空间分辨率使其成为胸、腹主动脉瘤定期监测的精湛技术。测量必须遵守严格的方案,以便能够对不同影像技术的结果以及患者的不同随访结果进行比较。MDCT允许在任意一个空间方位选择一个成像平面;因此,可能容易找到这个具有最大主动脉内径的平面,该平面一定与该主动脉节段的长轴平面相垂直。当轴向数据重建成3D图像(CT血管成像)时,就可以在真正的横断面测量扭曲的主动脉并获得准确内径。测量应该在多平面重建图像上进行。常见的对数据资料的进一步报告为穿过主动脉根部、升主动脉、主动脉弓和降主动脉的旁矢状、倾斜的最高强度投影(MIP)平面。MIP平面必须有一个与主动脉扭曲度成比例的厚度以确保最大内径包含在图像内。这个平面在随访检查中很容易重复和进行比较。

MRI能准确测定主动脉内径、动脉瘤的程度和动脉瘤与主动脉主要分支的关系。建议将MR血管成像图与黑血旋转回声序列相结合,这对于发现只作MR血管成像时容易被忽略的主动脉管壁及毗邻结构的病理变化很有用。对于细菌性动脉瘤,T1加权增强扫描图像可以识别由细菌感染引起的主动脉管壁和毗邻脂肪的炎症变化。MRA评估主动脉瘤所提供的信息与现有的MDCT所提供的信息差不多。两种方法均可准确界定主动脉矢状面的内径。另外,这些后处理技术(MIP、多平面重建和容积重建)使主动脉以及它与主要分支的关系得以完整性显示,并且在决定治疗方案时非常有用。矢状面使获得更多重复性测量成为可能。在无症状的主动脉瘤和接近手术需要的患者应每间隔6个月进行一次影像学检查,直到主动脉内径维持稳定,此时可每年行一次影像检查。

1. 随访法则

当TTE与CT或MRI对主动脉径线的测量方案达成一致时,TTE可作为扩大的主动脉根部和升主动脉近端的系列影像随访。当动脉瘤位于升主动脉中上段、主动脉弓或降主动脉时,推荐用CT或MRI检查进行随访。测量应在多平面重建图像上或穿过受累的主动脉节段的倾斜的旁矢状最高强度投影平面上进行。尽管推荐每年行MDCT监测,但该策略并未确定,应根据患者目前的异常情况、家族成员的并发症史、目前动脉瘤大小及其随时间变化的程度来制定个体化的随访计划:从一年一次到每2~3年监测一次。

E. 使用TEE指导胸主动脉瘤手术

当主动脉根部或升主动脉胸主动脉瘤患者行主动脉修复术时,主动脉和主动脉瓣的解剖通常在术前已界定好。然而,使用术中TEE来证实术前影像学结果总是明智的。起始的经食道超声心动图检查应在体外循环开始之前进行,这样便于评估主动脉瓣的生理特性。如果主动脉瓣为二叶式,医生应该确定是否存在瓣膜相关的主动脉狭窄、反流或者二者并存,及其严重性。如果存在严重的AR,医生应该确定其机制,尤其寻找脱垂和/或瓣叶粘合处的回拉,因为这是二叶式AR的常见病因,并且有可能通过修复二叶式主动脉瓣而得以纠正。医生也应评估瓣叶增厚、钙化及受限程度,因为在处理严重瓣膜功能不全时,这些发现将会影响外科医生根据瓣膜的需要来决定对瓣膜行修复术抑或置换术。

即使主动脉瓣为三叶式且瓣叶是正常的,升主动脉瘤的存在仍然可能导致AR。主动脉瓣叶的联合处就

在窦管接合部下方；在窦管接合部水平的主动脉扩大可能会牵张瓣叶，使三个瓣叶不能完全松弛，因而不能在中央完全对合，导致中心型 AR^{32,194,251}。瓣叶牵张所致的 AR 可发生在主动脉根部瘤和升主动脉瘤。幸运的是，随着主动脉瘤的修复及正常瓣叶几何形状的恢复，正常的瓣叶对合通常能够复原，反过来使瓣膜反流得以解决。因此，当动脉瘤患者合并严重 AR 时，术前 TEE 辨认出主动脉瓣叶受到牵张，可使外科医生进一步确信主动脉瓣置换是不必要的。

升主动脉、主动脉弓和降主动脉应该一一检查，以排查以下相关病变的存在：比如未被发现的主动脉夹层、壁内血肿、穿透性主动脉溃疡或者突出的粥样斑块等。升主动脉或弓部大的粥样斑块可能需要术中主动脉外的超声心动图的附加图像，并影响到主动脉插管和灌注的位点。

一旦患者停止体外循环，应立即行术后 TEE 检查。该检查应从检查主动脉瓣开始，因为未期的瓣膜功能障碍可能需要重返体外循环。如果术前有因瓣叶牵张所致的严重 AR，医生应该证实修复术后瓣叶对合良好以及 AR 减少。如果行二叶瓣脱垂修复术，医生应确保脱垂已解决并且 AR 不再明显。如果行瓣膜以外的根部修复术，医生应确保主动脉瓣的三个瓣叶对合正常并且仅有微量或没有 AR。如果主动脉瓣被置换，医生应确保人工瓣叶或瓣片运动正常，反流不超过生理性，并且没有瓣周漏。

主动脉瓣置换或主动脉根部置换术后，典型的可见围绕主动脉根部的局灶性增厚。报告这一点很重要，以避免与后来的影像检查中的病理发现相混淆。若需更多的详细资料，建议读者看最近发表在“美国胸外科医师协会”上的主动脉瓣和升主动脉指南：处理和有效测量²⁵²。

F. 特殊情况

1. 马方综合征 马方综合征是由于编码肌原纤维蛋白的 *FBN1* 基因突变所导致的一种结缔组织异常的遗传性疾病。其特征性标志之一是升主动脉近端（主动脉根部）扩张或夹层²⁵³。主动脉的其他节段也可能扩张或夹层，但是当存在相关血管疾病时，主动脉根部受累是预料中的。在过去数十年，非介入性主动脉成像及随后的择期的主动脉置换术对极大提高马方综合征患者的存活率作出了很大贡献²⁵⁴。

a. 马方综合征未手术患者的主动脉的成像—TTE 通常是诊断及系列随访已知的或可疑的马方综合征患者升主动脉增大的首选影像学工具，因为它具有实用性、无创性、可靠性，并且不需要放射线或造影剂。主动脉的典型特征包括主动脉根部扩大，而窦管接合部和升主动脉其余部位内径一般正常（图 48）。根据年龄和体表面积设定的正常参考值用于判定主动脉扩大的存在及程度⁹。小于 18 岁的马方综合征患者通常以前缘-前缘的技术测量主动脉内径，其大小与 Z 值评分一起报告²⁵⁵。尽管关于主动脉的最佳超声心动图测量方法存在争议，但最重要的观念是使用同一种方法对每个个体患者进行系列测量来确定主动脉内径随时间的变化。有些马方综合征患者的经胸超声心动图图像不佳，对于这些患者则需要用系列 CT 或者 MRI 来监测主动脉内径变化。



图 48 经胸长轴显示马方综合征患者主动脉根部（窦部）明显扩大。注意窦管接合部内径正常。

当用 TTE 首次诊断出马方综合征的主动脉病时，建议行其它的影像学检查 CT 或 MRI 来证实 TTE 所测量的主动脉内径的准确性，且与 CT 或 MRI 的测量值有相关性，同时也记录升主动脉远端、主动脉弓和降主动脉节段的内径，这些部位可能扩大，但 TTE 却常常不能完全显示（图 49）。

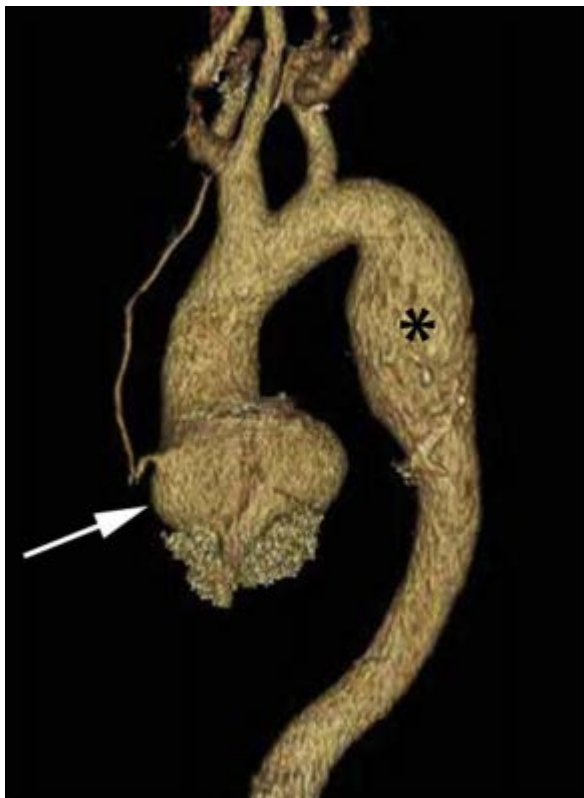


图 49 胸主动脉 CT 3D 容积重建显示主动脉根部扩大（箭头）和降胸主动脉近端扩大（星号）。降胸主动脉扩大在 TTE 未显示。

马方综合征患者主动脉根部扩大的影像随访建议在 6 个月内进行。如果那时主动脉内径维持稳定， <45 mm，且患者没有家族或个人的主动脉夹层既往史，那么每年进行一次主动脉成像的随访是合理的。如果马方综合征患者不符合这些标准，则应该每 6 个月进行主动脉成像的随访复查。

当已证实 TTE 与 CT 或 MRI 所测的径线之间具有相关性，即可应用 TTE 来进行升主动脉扩大的系列影像学随访。偶尔马方综合征患者直到成年才出现主动脉扩大。建议这些患者间隔 2-3 年进行一次经胸超声心动图筛查。

建议马方综合征患者至少每 3 年进行一次 CT 或 MRI 复查以再评估主动脉弓和降主动脉，并再次证实 TTE 对升主动脉测量仍然可靠。马方综合征患者降胸主动脉近端的瘤样扩张需要常规行 CT 或 MRI 监测主动脉的稳定性，因为 TTE 不能提供这个区域可靠的影像学表现。

由于其半介入性质，且很难直接比较随着时间变化的内径大小，TEE 一般不用于马方综合征患者主动脉扩张的初诊或随访。

b. 马方综合征术后主动脉的影像学——择期主动脉根部置换术后，通常在出院或早期（6 个月内）行 TTE 和 CT 或 MRI 检查以建立马方综合征患者主动脉的基线评估。主动脉根部置换术后，通常推荐每年行一次 TTE 和 CT 或 MRI 检查。主动脉影像检查的频率依每个患者的特点而定，比如手术类型、其他部位主动脉扩大的程度等。术后系列的影像学随访检查应把重点放在对影响主动脉的疾病的进展以及对常见的术后并

发病的观测上，常见的术后并发症包括假性动脉瘤的形成以及和冠状动脉吻合口动脉瘤的形成。

c. 马方综合征夹层术后主动脉的影像学—马方综合征患者在 A 型主动脉夹层修复术后应该行系列的 CT 或 MRI 检查；检查频率根据主动脉夹层的程度和修复术的类型而定。马方综合征患者合并未行修复术的 B 型主动脉夹层，需要进行常规的影像学随访检查（见 III.B”主动脉夹层”）。

d. 家族性筛选—马方综合征属常染色体显性遗传疾病，所以建议对患者的一级亲属行经胸超声心动图筛查，除非患者的基因突变已经确定，则可应用基因检测来检出受累的家庭成员¹。所有受累家庭成员都应该进行常规的主动脉影像学检查。尽管对于“常规的”影像学检查没有具体的指南建议，然而系列的影像学检查应根据个体的年龄和具体特点来定。

2.其他的成人主动脉遗传疾病 与胸主动脉相关的两种遗传病，二叶式主动脉瓣（BAV）和马方综合征，相对比较常见，在本文其他部分也有讨论。许多其它引发主动脉瘤形成和夹层的疾病如表 18 所示。本文篇幅有限，不能详细讨论这些少见情况，但有一些相关细节会提到。重要的是，认识到这些异常疾病和它们的潜在风险不仅对患者本身而且对他们的直系亲属都至关重要。

表 18 与主动脉病变有关的遗传性疾病

二叶式主动脉瓣
马方综合征
Loeys-Dietz 综合征
特纳综合征
Ehlers-Danlos 血管类型（IV型）
家族性胸主动脉瘤
Shprintzen-Goldberg (颅缝早闭) 综合征

a. 特纳氏综合征—特纳氏综合症的女性患者存在有二叶式主动脉瓣、主动脉缩窄和主动脉扩大或夹层的风险。据报道，特纳氏综合症患者发生主动脉扩大的概率高达 40%。这些患者的主动脉成像必须包括升主动脉、主动脉弓和近端降主动脉。正如在其他病例中一样，主动脉扩大可合并有二叶式主动脉瓣和/或缩窄²⁵⁶⁻²⁵⁸。与同龄人相比，特纳氏综合症患者身材矮小，因此所有主动脉测量数据应根据体表面积来校正。由于发生主动脉夹层的风险增加，校正后的升主动脉内径指数 $>2 \text{ cm/m}^2$ 的患者应每年随访观察。

b. Loeys-Dietz 综合征—Loeys-Dietz 综合征是由于转化生长因子 β 受体 1 或 2 的基因突变所致，且是常染色体显性遗传²⁵⁹。大部分 Loeys-Dietz 综合征患者表现有主动脉根部动脉瘤。此类人群的特征是其他主动脉节段和小动脉受累表现为动脉瘤形成或者明显的扭曲^{259,260}。与其他结缔组织遗传疾病相比，夹层可发生在内径较小的动脉内。尽管推荐每年行 MDCT 或 MRI 进行全面的动脉影像学检查，但随访策略并没有很好地建立起来，应根据异常表现、并发症的家族风险和演化程度来个体化地确定随访时间，从每年一次到每 2-3 年一次。影像结果分析应包括主动脉根部、升主动脉、降主动脉和肺动脉（肺动脉扩大也可能发生）的内径等信息。如果主动脉疾病已经发生不良进展，鉴于出现夹层或破裂的风险显著增高，应每 6 个月进行监测一次（其它动脉每 12 个月一次）。

c. 家族性胸主动脉瘤—家族性胸主动脉瘤存在不同的基因突变，呈常染色体显性遗传。亲属中的动脉瘤可见于胸主动脉、腹主动脉或脑循环动脉。因此，推荐对家族中第一个胸主动脉瘤患者的一级亲属行全面的影像学筛查²⁶²。受累人群的血管影像学检查频率和方式与马方综合征的相似，但应个体化²⁶³。

d. Ehlers-Danlos 综合征—Ehlers-Danlos 综合征（IV 型）的血管表征型是一种罕见的常染色体显性遗传疾病，

血管受累的特征为动脉的扩大与破裂。主动脉影像学检查在此类人群中的地位还不太清楚。由于组织脆性，对主动脉瘤或其他受累血管的择期外科修复带有高风险，所以系列的主动脉影像学检查的影响尚不清楚²⁶⁴。

3. 二叶式主动脉瓣相关的主动脉病变

a. 二叶瓣相关的主动脉病变—二叶式主动脉瓣的人群患病率约占 1%-2%，并且常与主动脉病变相关联²⁶⁵⁻²⁶⁹。将近 50%的二叶式主动脉瓣患者合并有主动脉根部或升主动脉扩大^{247,268,270}。主动脉弓和降胸主动脉段扩大也可能发生，但较少见。最近有报道，与正常人群相比，二叶式主动脉瓣患者发生颅内动脉瘤的风险也增高²⁷¹，尽管其临床意义尚不清楚。主动脉的进行性扩大可能与二叶式主动脉瓣的功能状态无关，而使患者发生主动脉夹层或破裂的风险增加^{272,273}。二叶式主动脉瓣患者可能合并有冠状动脉异常，包括优势支转换、左冠状动脉主干缩短（<10 mm）和左回旋支异常起源于右冠窦^{250,270,274-278}。术前未发现这些异常可能会导致在主动脉瓣修复或置换术中损伤到冠状动脉。

b. 未手术的二叶式主动脉瓣患者的主动脉影像学检查—TTE 是已知或怀疑二叶式主动脉瓣、伴或不伴有主动脉病变的患者的初诊及系列随访的首选影像学工具。主动脉根部或升主动脉可能会扩大。扩大的方式可能与二叶式主动脉瓣的形态学相关²⁶⁹。当二叶式主动脉瓣患者初诊主动脉病变时，通常推荐行 CT 或 MRI 检查以证实 TTE 所测主动脉内径是准确的。毗邻瓣叶结合点的主动脉窦部偏心性扩大增加了 TTE 低估主动脉根部内径的机会，尤其当测量仅在长轴切面上获取时。CT 和 MRI 也对主动脉弓和降主动脉节段的大小提供重要信息，这些部位常常不能被 TTE 完全显示（图 49）。尽管>50%的主动脉缩窄患者有二叶式主动脉瓣，但只有<10%的二叶式主动脉瓣患者可见有主动脉缩窄。但是，每当发现二叶式主动脉瓣时，就应检查是否有主动脉缩窄。

c. 未手术的二叶式主动脉瓣患者主动脉影像学随访—所有二叶式主动脉瓣和相关主动脉病变的患者都应每年进行升主动脉影像学检查以监测其随时间的生长变化。当对 TTE 与 CT 或 MRI 所测径线之间的相关性得到证实后，TTE 可用来监测主动脉根部和升主动脉。当确定二叶式主动脉瓣患者升主动脉扩大后，推荐 6 个月后复查。如果主动脉内径在 6 个月随访时维持稳定，且<45 mm，且没有主动脉夹层的家族性或个人的既往史，推荐每年行主动脉影像学检查。不符合这些标准的患者应该每 6 个月进行 TTE 复查主动脉影像。偶尔地，伴有二叶式主动脉瓣相关的主动脉病变的患者几年内升主动脉扩大表现稳定；这类患者的主动脉随访频率应该个体化。无明显主动脉病变的二叶式主动脉瓣患者应该每 3-5 年行 TTE 筛查主动脉扩大的形成。

建议至少每 3-5 年复查 CT 或 MRI 来再评估主动脉弓和降主动脉，并再确认经胸超声心动图对主动脉根部内径的测量用于系列测量比较时仍旧可靠。

因其半介入性，且难于比较随着时间变化的径线，TEE 通常不用于对二叶式主动脉瓣相关的主动脉病变的初始诊断与随访。

伴主动脉弓或降主动脉瘤样扩张或有较远端 B 型主动脉夹层的二叶式主动脉瓣患者需要常规的 CT 血管造影或 MRI 来监测主动脉的稳定性。这些患者应每年进行影像学复查。TTE 不能提供可靠的图像，用以对主动脉这些部位的径线进行系列随访。

d. 术后二叶式主动脉瓣相关的主动脉病变患者的主动脉影像学检查—择期的主动脉根部置换术后，通常在早期（出院或术后 6 个月内）行 TTE 和 CT 或 MRI 检查以建立一个对主动脉及瓣膜评估的基线水平。在影像检查过程中，了解已经实施的手术方式对于发现潜在的残留或并发症是至关重要的（图 50）。主动脉根部置换或冠状动脉上方的主动脉置换术后，通常推荐每年进行一次主动脉影像学检查；然而，检查的频率依每个患者的特点、实施的手术类型及随访时间而定。升主动脉置换术后，残余升主动脉、主动脉弓或降主动脉有可能会继续扩大。术后系列的影像学随访检查应聚焦在对常见的术后并发症，包括冠脉‘纽扣样’假性动脉瘤的形成、吻合口假性动脉瘤的形成，以及主动脉其他节段的进行性扩张的观察上。

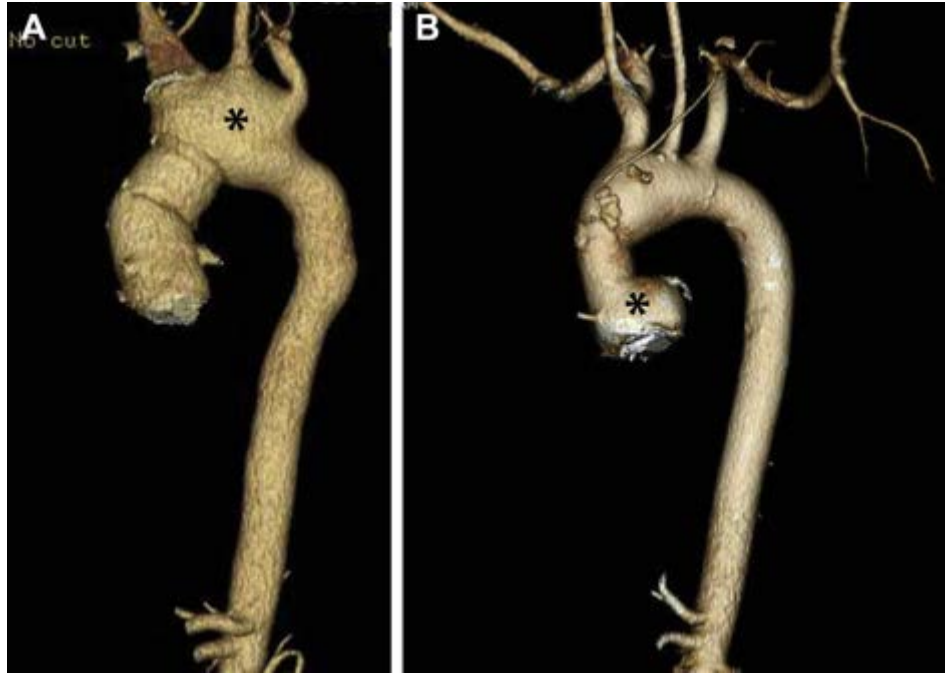


图 50 (A) 因二叶瓣相关的主动脉病变进行主动脉瓣与升主动脉置换术患者的胸主动脉 CT 3D 容积重建；该图显示主动脉弓扩大（星号）。(B) 因二叶式主动脉瓣和主动脉病行主动脉瓣与冠状动脉上主动脉置换术患者的胸主动脉 CT 3D 容积重建；该图显示主动脉根部不对称扩大（星号）。

e. 家族性筛选—因为已证实二叶式主动脉瓣综合征患者的一级亲属中有主动脉病变，因此建议对一级亲属进行 TTE 筛查以识别主动脉根部或升主动脉的扩大²⁷⁹。

与主动脉遗传疾病相关的影像学检查要点如表 19 所述。

表 19 遗传性胸主动脉瘤：要点

病因学	主要特点
马方综合征	<ul style="list-style-type: none"> ● 动脉瘤最常见于主动脉根部 ● 典型的梨形 ● 窦管接合部内径相对正常 ● TTE 是初诊与系列随访的首选影像学工具 ● 一级亲属需要筛查
二叶式主动脉瓣	<ul style="list-style-type: none"> ● TTE 是诊断、筛查与随访的首选影像学工具 ● 可能累及升主动脉或主动脉根部 ● 发生动脉瘤，即使无严重的瓣膜功能障碍 ● 推荐一级亲属进行主动脉瓣与升主动脉的筛查
家族性胸主动脉综合征	<ul style="list-style-type: none"> ● 升主动脉受累更常见 ● 生长速度相对较快
血管型 Ehlers-Danlos 综合征	<ul style="list-style-type: none"> ● 年轻时即发生主动脉并发症
Loeys-Dietz 综合征	<ul style="list-style-type: none"> ● 普遍的进行性血管病变 ● 主动脉根部瘤的发生率达 48% ● 与其他遗传性主动脉疾病如马方综合征和二叶式主动脉瓣相比，其夹层可发生在内径较小的动脉
特纳氏综合征	<ul style="list-style-type: none"> ● 与二叶式主动脉瓣相关

V. 胸主动脉外伤

主动脉外伤可能是由于钝性（非穿透性、间接的）或锐器（直接穿透性）所伤。穿透性创伤通常是由于刺伤或枪伤穿透主动脉壁所致。罕见原因包括脊柱固定螺丝的错误放置和脊椎骨折所致的主动脉组织撕裂伤^{280,281}。穿透性主动脉外伤从外到内损伤主动脉，没有好发部位，可发生在任何部位，且通常是致命的^{280,282-284}。主动脉钝伤（BAIs）更常见，因此是本文的重点。

在主动脉钝伤时，主动脉壁损伤是从内到外、从内膜到外膜。主动脉钝伤最常见的位置紧邻左锁骨下动脉下的主动脉峡部²⁸⁴⁻²⁸⁷。第二常见的位置是主动脉瓣上的升主动脉^{285,286,288,289}。在多数主动脉钝伤系列损伤中，机动车事故（尤其速度>64公里/小时）占75%的比例^{280,287,290,291}，但从10英尺的高处坠落、挤压伤、爆炸、摩托车和飞机坠毁、行人受伤和直接胸部打击同样也可导致类似的损伤^{284,290-292}。

A. 病理学

主动脉峡部是主动脉钝伤最常见的位置（80%-95%），其次是升主动脉和横膈部主动脉^{284,286-289}。这些部位是相对固定和活动的主动脉节段的转折点。这些转折点最大地暴露于因急剧减速而产生的剪切力和静水压力之中。遗憾的是，该领域的研究者还没有对用来描述主动脉钝伤所致结果的术语方面达成一致。病理学家将这些损伤描述为裂口、撕裂伤、断裂伤、错位、破裂、夹层和假性动脉瘤等。即使现代影像学技术可能也无法用一个与病理学描述完全一致的术语来定义损伤。本文中，所用的描述病理学异常的术语与各种影像技术相一致。影像学描述应包括损伤的位置（如升主动脉、主动脉弓、峡部、降胸主动脉或腹主动脉），以及估测的受损伤的部位距离一个参照解剖结构（如主动脉瓣、左锁骨下动脉起始处和横膈肌）的距离，同时描述也应包括主动脉损伤的长度（精确到毫米）及损伤处主动脉的总周长。

主动脉钝伤所致的多种主动脉损伤如下述：

1. 外膜下主动脉破裂累及内膜层和中膜层伴有不完整环形扩展：影像医生最常遇到的这类损伤中，非连续撕裂累及内膜和中膜下层。断裂的主动脉壁（内膜和中膜）通常凸进主动脉管腔内，并通过中断的管壁，主动脉管腔与管壁仅由外膜组成的空腔相通（囊状假性动脉瘤）。主动脉内表面表现为突然连续性中断，外部轮廓因假性动脉瘤而变形。裂开的主动脉壁凸进主动脉管腔内，可能产生狭窄伴血流加速和压力阶差（假性缩窄）。
2. 外膜下动脉破裂累及内膜和中膜伴完整环形扩展（主动脉横断）：该损伤产生一个梭型假性动脉瘤。因为内膜和中膜呈环形的裂开，所以无法凸入管腔内。主动脉瘤的内表面是光滑的，仅由外膜组成。因此，主动脉管壁非常薄而易破。典型影像学表现为主动脉内径的截然变化。
3. 壁内血肿：淤积在中膜的血可能是由于主动脉钝伤引起，由于主动脉壁内的血管断裂或小的内膜撕裂所致。主动脉管壁表现为局部的，通常呈新月形的增厚（通常>5 mm）。主动脉内表面是光滑的，主动脉管腔部分减小，且主动脉外壁轮廓不变。血肿内没有撕裂内膜和血流信号。
4. 外伤性主动脉夹层：主动脉管壁的弹性和胶原纤维在圆周径向上非常强壮，但是当暴露于横断轴向的压力下时可能相对容易被分裂。同自发性主动脉夹层一样，主动脉损伤可能会导致中膜分离。这种损伤不常见，与自发性主动脉夹层很像，但有明显区别。它通常局限在主动脉受伤区域，不向远端的髂动脉延伸，并不典型地形成两个管腔，而且夹层可能在与主动脉长轴横断的方向上。因此，所产生的“撕裂内膜”与典型的内膜相比，通常较厚且较少活动。主动脉通常呈对称性扩大。
5. 主动脉分支损伤：部分或全部撕裂、假性动脉瘤、夹层和血栓都可以单独发生在分支动脉，或与主动脉钝伤并发。
6. 只累及内膜的浅表性损伤：随着影像学技术的提高，即使更细微的损伤都可被发现。术语‘微小的主动脉损伤’常常用来描述破裂风险相对较低的损伤。通过高分辨率的技术诊断的主动脉钝伤中10%有微小的

主动脉损伤²⁹³。虽然大多数内膜损伤可自行愈合，不需要外科修补，但其自然病程并不清楚^{294,295}。主动脉钝伤产生的仅局限于内膜的直接撕裂呈较薄的、从主动脉管壁向管腔内的活动的线性突出。主动脉内径或外廓无明显变化。血栓，常常为活动性的，可能见于主动脉管腔内，但推测应在被暴露的胶原蛋白区域。从影像学角度来看，微小的主动脉损伤是指撕裂内膜 $<10\text{ mm}$ 的损伤，伴有微小或无主动脉周围的纵膈血肿²⁹³。

B. 影像学方法

根据 Parmley 等²⁸⁴具有里程碑意义的研究，在超过 40 年的时间里，主动脉造影术被认为是检测主动脉钝伤的最佳方法。然而，主动脉造影术是介入性的，其操作需要一个专业团队，而且容易出现假阳性和假阴性结果，使得它不是筛查的好选择²⁹⁶⁻²⁹⁹。CT 现在已是诊断性检查的首选方法。用于主动脉钝伤诊断的其他选择包括 CXR、TEE、IVUS 和 MRI。每种影像学技术都有相对的优点和缺点。

1. CXR

虽然 CXR 平片检查常常是急诊科的首选检查方法，即使图像质量不足以诊断，有时也可以提示主动脉损伤，但没有单独或联合的放射学征象表现出足够的敏感性和特异性来可靠地探测到或排除主动脉外伤破裂^{241,280,305}。因此，当临床表现或 CXR 怀疑有异常，或者损伤机制过程与主动脉损伤相契合时，应该行进一步的影像学检查。CXR 最主要的发现包括但不局限于纵膈增宽、主动脉结模糊、气管或鼻胃管向右偏移和主肺动脉窗显影。更完整的主动脉钝伤的 CXR 表现如表 20 所示。

表 20 主动脉钝伤相关的 CXR 发现

纵膈增宽 ($>8.0\text{ cm}$ 或者纵膈与胸廓宽度之比 >0.25)
气管或鼻胃管向右偏移
主动脉结模糊
主肺动脉窗显影
左主支气管向下移位
右气管旁带增宽
左顶端胸膜帽
第一和/或二肋骨骨折
锁骨、胸骨或胸椎骨折
血胸
胸廓内流动气体

2. 主动脉造影术

选择性主动脉造影长期被认为是诊断主动脉外伤的参考标准检查。与尸检结果相对照，之前的报告称其敏感性、特异性和准确性达 100%^{296,299,306}，但是随着 CT 和 TEE 问世，主动脉造影术的劣势变得显而易见。事实上，现代 CT 和 TEE 能够发现微小损伤如内膜撕裂，其占主动脉钝伤的 10%，然而这类损伤不能通过主动脉造影发现。此外，在分析主动脉造影图像时，显著的观察者之间的差异也见报道。在主动脉造影图片上，微小损伤的诊断需要显示有内膜的不规则性或撕裂内膜导致的充盈缺损³⁰⁷。主动脉管腔外侧造影剂的出现是透壁撕裂伤的重要标志；当泄漏被包裹时，可能被称为假性动脉瘤，而自由地外渗则标志着直接破裂³⁰⁷。主动脉造影术诊断胸主动脉钝伤的误区包括导管憩室、主动脉梭（峡部远端的主动脉较短节段的梭型扩大）、动脉粥样硬化疾病、造影剂流动或混杂伪影和运动伪影。

3. CT

多探测器 CT 血管造影的问世，其扫描时间减少了八成，使得全身 CT 在技术上可行^{308,309}，且在过去的十多年里，作为主动脉钝伤的一线影像学检查方法，CT 已经几乎完全替代了主动脉造影和 TEE³⁰⁰⁻³⁰⁴。MDCT 的部分优点包括超高的诊断准确性、广泛适用性和快速性。重要的是，在大部分创伤中心，有主动脉钝伤风险的患者不再只作单独的胸部 CT 检查，而是整合成全身 CT，即所谓的创伤全面扫描，它可在同一次诊断检查中（包括大脑、面部骨骼、颈、胸、腹部、骨盆）识别相关损伤的独特能力。后面这种技术能提高存活率并减少成像时间^{307,310,311}。

主动脉钝伤的 CT 检查发现（直接和间接征象）如表 21 所示。对横断薄层的非轴向重建与主动脉壁的仔细评估以及排除主动脉外周出血或血肿可以帮助作出准确诊断^{303,310}。虽然主动脉外周出血应该引导去仔细评估主动脉以寻找损伤证据，但反过来，没有血肿并不能排除主动脉损伤。因此，主动脉造影和 TEE 仍然有用，尤其在 CT 发现模棱两可的疑难病例中^{280,303,310}。此外，在一些怀疑分支血管损伤的患者中，当需要评估并处理其它位点活动性出血与计划血管内治疗时，主动脉造影仍有作用³⁰⁴。

表 21 胸主动脉钝伤的 CT 发现

直接征象：

- 造影剂外渗
- 撕裂内膜
- 假性动脉瘤形成
- 充盈缺损（如附壁血栓）

间接征象：

- 主动脉外周血肿
- 纵膈内血肿

4. TEE

因为其广泛的使用性、便携性和准确性，以及不需要造影剂，TEE 也是盛行于 90 年代的有力的一线诊断工具³¹²⁻³¹⁹，据报道其敏感性和特异性分别高达 100% 和 98%³¹⁵。然而，后续研究没能证实 TEE 在可疑的主动脉钝伤中有如此高的准确性³²⁰⁻³²²。因此，它作为一线诊断工具有争议的。此外，TEE 不能充分显示远端升主动脉的图像（TEE 的已知盲点），并且可能不能探测主动脉弓的所有分支³¹⁷⁻³²⁰。TEE 存在严重的操作者依赖性，且缺乏经验可导致假阳性和假阴性结果。而且，在晚上和周末可能有经验的操作者并不在一线做检查。此外，头面部外伤、颈部脊柱损伤、呼吸道有不利因素的患者可能都不是 TEE 的合适人选。最后，如上所述，多发外伤的患者可能最好做全面的 CT 扫描而不是行多次单个的诊断检查。

TEE 的一个重要作用可能是它能够追踪小的或可疑的内膜损伤，这些损伤可能在主动脉造影或 CT 不能显示清楚。此外，TEE 可能是需要立即开腹手术以控制进行性出血的患者在行 CT 前的唯一合适的检查方式。表 22 和 23 列举了 TEE 评估主动脉钝伤的相对的一些优点和缺点。

表 22 TEE 评估胸主动脉钝伤的优点

1. 在主动脉峡部区域高度准确（主动脉钝伤最常见的区域）
2. 可以在床旁或手术室操作检查
3. 可用于需要急诊手术而没有时间作 CT 检查的病情不稳定患者
4. 没有辐射暴露
5. 不需要造影剂；对肾功能不全患者是安全的
6. 可以评估其他心脏损伤和心功能

表 23 TEE 评估胸主动脉钝伤的缺点

远端升主动脉成像困难
评价弓部血管困难
操作者依赖性（需要熟练的操作者）
<ul style="list-style-type: none"> ● 需要培训与经验 ● 可使用性
在面部、颈部、脊椎、口咽或食管损伤患者并非总是安全的
混响伪影

主动脉钝伤患者经食道超声心动图的发现包括：（1）主动脉峡部扩大，（2）主动脉轮廓异常，（3）管腔内侧撕裂内膜，（4）假性动脉瘤，（5）主动脉壁新月形或环形增厚（壁内血肿），和（6）与内膜撕裂或血栓一致的附于主动脉壁的活动的线性等回声。类似的发现也见于自发性主动脉夹层患者，但是有明显不同。主动脉外伤时，撕裂内膜趋向于更厚，移动性更大，典型地与主动脉壁垂直（而非平行），因此不会形成两个管腔。由于局部假性动脉瘤的存在，主动脉轮廓通常变形。最后，外伤性主动脉损伤，以上各种表现仅局限在主动脉峡部区域，而非一直向远端延伸至髂动脉。

5. IVUS

有关 IVUS 评价主动脉钝伤作用的信息有限。像螺旋 CT 而不像主动脉造影，IVUS 可同时看到管腔、主动脉壁和主动脉外周结构。虽然受限于缺乏参考标准的检查技术，最近的研究发现 CT 检查结果模棱两可的患者做 IVUS 优于做导管主动脉造影术³²³。IVUS 的缺点在于其视野受限。此外，一次性探头的高费用以及介入特性限制了 IVUS 目前作为解决问题的检查工具³²³。

6. MRI

直到最近，MRI 评估急性主动脉损伤的应用仍然有限。它的检查时间长，且当患者在磁场中时，接近患者受到限制。MRI 不常用于评价急性期胸部大血管的损伤，现有的数据较少。然而，它对于发现创伤性损伤的出血成分尤其有用。当需要系列检查时，MRI 也是慢性期主动脉损伤的很好的检查方法^{324,325}。当 CT 血管造影有禁忌症时，MRI 尤其适用。现代 MRI 序列使造影剂技术可用可不用。虽然这些无造影剂技术可能需要更长时间，但对碘造影剂相对禁忌的肾功能不全但病情稳定的患者尤其有益。

C. 影像学原则

造影剂增强 MDCT 目前是怀疑主动脉钝伤、尤其是多发损伤患者的一线影像学检查技术。数个器官系统（如大脑、颈椎、腹部和骨盆）损伤可以只需几分钟就可检测到，且单探测器 CT 和 MDCT 在发现及排除急性外伤性主动脉损伤的诊断准确性都相当高³⁰²⁻³⁰⁴。很重要的一点是，在某些研究中，其阴性预测值达 100%³⁰²。尽管在大多数病例中，主动脉造影不是必须的，但当怀疑分支血管损伤及计划血管内治疗时，主动脉造影仍有作用³²⁵。当 CT 检查结果模棱两可时，可使用备用的 TEE 和主动脉造影检查。对一些血流动力学不稳定患者，尤其当 CT 检查需要运送患者到一个较远地方时，TTE 可作为一线检查技术。影像学检查方法的选择建议如表 24 所示。

表 24 主动脉创伤的影像学方法选择建议

方法	建议	优点	缺点
CT	一线	<ul style="list-style-type: none"> ● 诊断首选 ● 发现主动脉损伤的敏感性达 100%；阴性预测值达 100% 	<ul style="list-style-type: none"> ● 单独纵膈积血时产生假阳性结果是很重要的 ● 造影剂流动伪影和运动

		<ul style="list-style-type: none"> ● 适用于多发损伤患者；全身CT可行（“创伤全扫描”） ● 可显示主动脉管腔、管壁及主动脉外周结构 	伪影
TEE	二线	<ul style="list-style-type: none"> ● 广泛可获得性、便携性和快速 ● 可能是血流动力学不稳定患者的一线检查方法 ● 可以在开腹手术或其他操作中进行检查 ● 可发现微小损伤（占主动脉钝伤的10%） 	<ul style="list-style-type: none"> ● 无法对某些患者的远端升主动脉/主动脉弓近端成像 ● 需要熟练的操作者即刻在场检查
主动脉造影	二线	<ul style="list-style-type: none"> ● 当CT无法分析或无法得出结论时，可能有用 	<ul style="list-style-type: none"> ● 介入性、耗时、需要专业团队，且要转移患者到导管室 ● 假阳性和假阴性结果 ● 分析结果时存在观察者间差异
IVUS	三线	<ul style="list-style-type: none"> ● 可对主动脉管腔、管壁及主动脉外周结构成像 ● 可由手术团队实施 	<ul style="list-style-type: none"> ● 大型临床系列研究尚未证实其准确性
MRI	三线	<ul style="list-style-type: none"> ● 对慢性期和系列检查很有用 	<ul style="list-style-type: none"> ● 检查时间相对较长 ● 不适用于不稳定期患者 ● 获得的数据有限

D. 血管内修复术的影像学

TEVAR 正越来越多地被用于治疗急性主动脉损伤^{326,327}。在过去，TEVAR 选择性地用于有严重合并症的高风险的患者。然而，随着技术经验的生长，在许多单位，TEVAR 已经成为主动脉钝伤的首选介入方法。

当 TEVAR 用于治疗主动脉钝伤时，影像学技术起了重要的作用。主动脉内径测量应以术前 CT 血管造影或 IVUS 测量的主动脉内径为根据。移植覆盖范围的长度应以术中主动脉造影或 IVUS 的测量为准。修复术后，人造血管节段通常行主动脉造影。随访影像学检查以评价非损伤性主动脉瘤管腔内人造血管的指南为根据，CT 血管造影检查在术后 48 小时，出院时、术后 1 个月、6 个月、12 个月时进行²⁸⁰。

VI. 主动脉缩窄

主动脉缩窄是一种相对不常见的先天性心脏异常。它最常发生于左锁骨下动脉远端。主动脉缩窄使向身体下部的血流减少，表现为早年的高血压和充血性心衰。也可能在晚年因寻找高血压病因时而被发现。

主动脉缩窄患者也表现为一种血管病变，即在升主动脉、缩窄修补部位、颅内血管内形成血管瘤的几率增高³²⁸。超过 50% 的主动脉缩窄患者存在有二叶式主动脉瓣。

主动脉缩窄常能经 TTE 及 Doppler 图像做出诊断。缩窄的区域则通常是靠经胸 2D 超声心动技术及彩色多普勒成像来辨认。与正常无缩窄的人群的正常形态的收缩期短、快的前向血流、舒张期早期逆向血流相比，严重主动脉缩窄的腹主动脉的脉冲多普勒频谱显示收缩期的前向血流减少、时间延迟，舒张期持续的前向血流（图 51）。脉冲多普勒也用于测量梗阻部位近端的降主动脉血流速度。用 CW Doppler 技术来测量缩窄部位血流的峰值速度、平均速度，跨缩窄部位的瞬时峰值压差、平均压差以及最大压差，以此来

诊断主动脉的缩窄梗阻的严重程度。当存在广泛侧支血管时，单单用多普勒超声心动图技术来确定主动脉缩窄的严重程度是比较困难的。而 CT 或者 MRI 可以很好地证实缩窄的确切部位、长度、梗阻程度、侧支血管的存在及程度（图 52）。

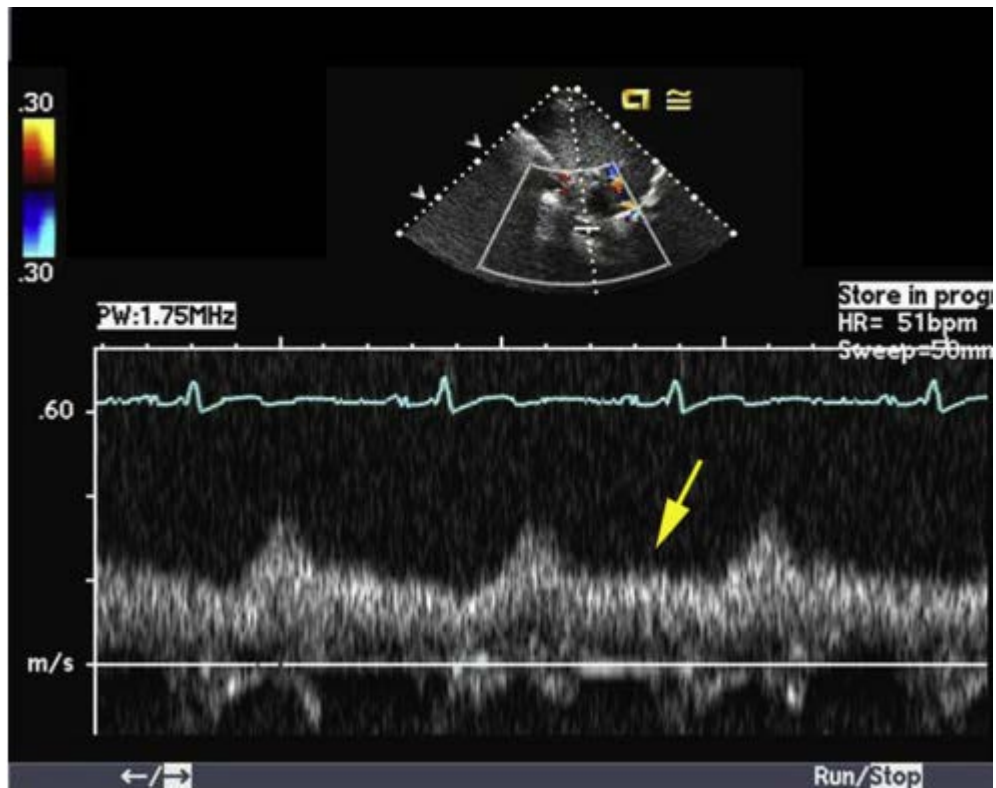


图 51 严重主动脉缩窄患者腹主动脉脉冲多普勒频谱显示低速及延迟的收缩期前向血流及持续的舒张期前向血流（黄色箭头）。这种“舒张期尾巴”是血流动力学显著缩窄的特殊病理标志。

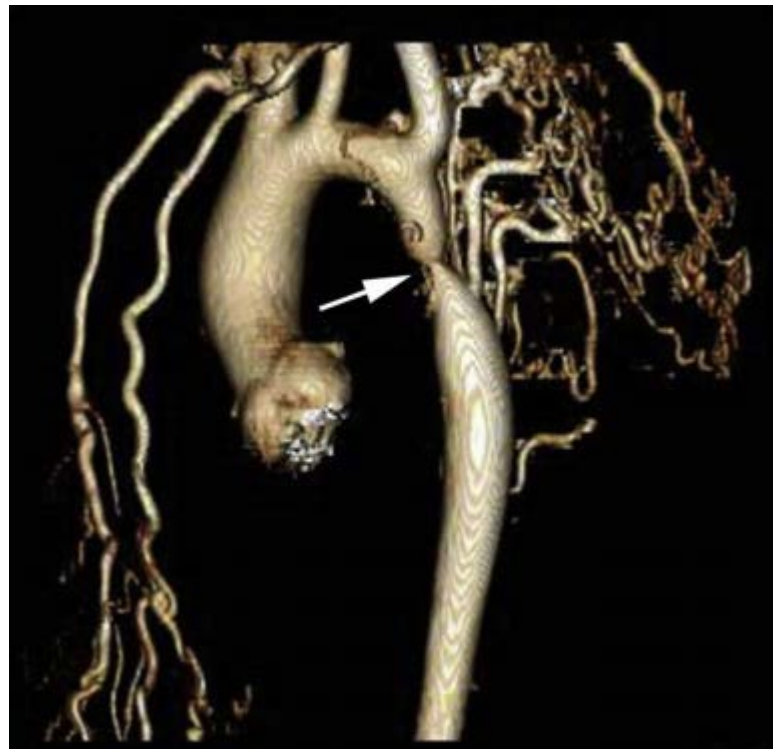


图 52 胸主动脉 CT 3D 容积重建显示严重主动脉缩窄（箭头）和广泛侧支循环形成。

主动脉缩窄患者升主动脉的扩大可以很容易通过经胸超声心动图观察到，但是位于降胸主动脉的缩窄修复部位的扩大不能很好地在经胸超声心动图观察到（图 53）。这些相关的主动脉并发症强调了对未手术和主动脉缩窄修复术后的患者进行多种技术成像检查的重要性。主动脉缩窄多种技术成像的要点列举在表 25 中。

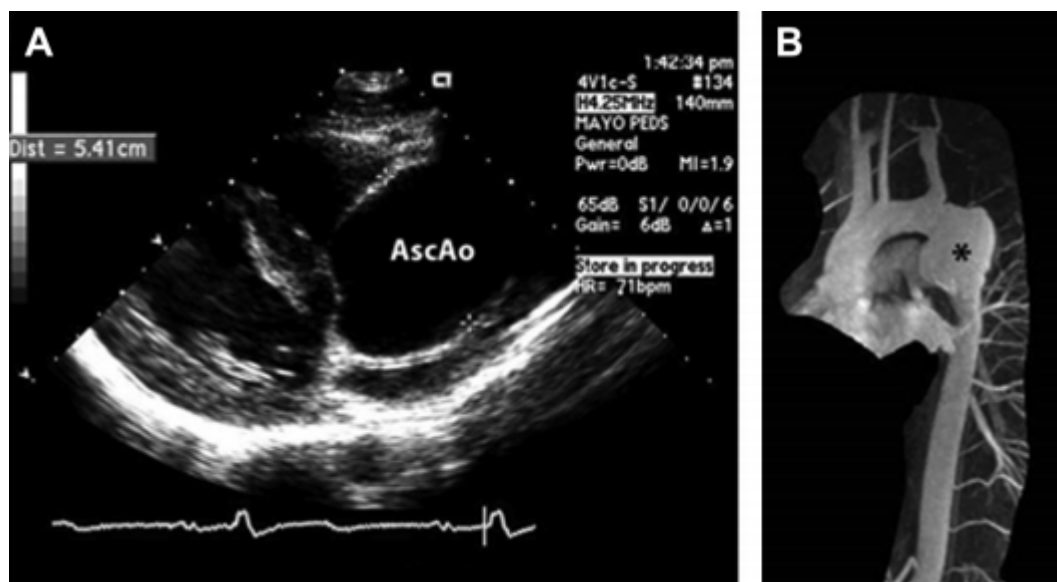


图 53 (A) 主动脉缩窄患者的经胸超声心动图胸骨旁长轴切面显示明显扩大的升主动脉 (AscAo)。(B) 另一位主动脉缩窄修复术之后患者的 MR 血管造影胸主动脉 3D 重建显示修复部位近端的降主动脉扩大 (星号)。

表 25 主动脉缩窄：要点

- 左锁骨下动脉远端部位的主动脉腔间断性缩窄
- 近 50% 主动脉缩窄患者同时伴有二叶式主动脉瓣
- 少于 10% 的二叶式主动脉瓣患者伴主动脉缩窄
- 主动脉弓/降主动脉近端的直接成像在经胸超声心动图常常受限
- CT 及 MRI 可以最好地确定缩窄位置、梗阻程度及侧支分布情况
- 多普勒超声可探测收缩期的加速血流/压差及持续至舒张期的压差
- 因为多普勒超声束垂直于血流，所以经食管多普勒超声很难检测到压差
- MRI 可以通过流速编码相位对照量化压差及侧支血流
- 假性主动脉缩窄可以通过高而长的主动脉弓、缺失管腔狭窄、侧支动脉扩张的扭曲与真性主动脉缩窄区别

A. 主动脉缩窄患者术前主动脉的影像学

经胸超声心动图可以证实主动脉缩窄的临床诊断，并用于辨认相关的心血管异常比如二叶式主动脉瓣（存在于超过 50% 的主动脉缩窄患者中）及主动脉扩大。CT 或者 MRI 推荐在最初的评价时使用以明确梗阻的部位及程度以及评估经胸超声心动图不能完全显像的主动脉节段。对不需要手术干预的轻度缩窄患者应该每年行超声心动图检查以及定期的（每 3-5 年）CT 或者 MRI 检查来监测主动脉变化。经食管超声心动图因为其半介入性及很难比较梗阻程度随时间的变化，通常不用于主动脉缩窄的初诊或者随访。

B. 主动脉缩窄患者术后主动脉的影像学

主动脉缩窄修复后患者需要定期的正规的心血管随诊及影像检查，来评估临床上及心血管并发症，比如：复发的主动脉缩窄，升、降胸主动脉扩大，主动脉夹层等。

需要手术干预的复杂再缩窄³²⁹或者缩窄合并有心血管疾病，如冠状动脉疾病、主动脉瓣狭窄，诸类患者可能有升-降主动脉旁路搭桥血管植入。这些旁路血管可以部分地经超声心动图观察，但是需要 CT 或 MRI 提供全面的影像来判断其是否通畅（图 54）



图 54 胸主动脉 CT 3D 容积重建显示之前的主动脉缩窄修复、主动脉弓发育不全及升-降主动脉旁路搭桥（星号）等特征。

VII. 动脉粥样硬化

影像学上有不同的术语用于描述主动脉粥样硬化病变的表现³³⁰。最简单的病变通常被称为“瘤样斑块”或者“粥样斑块”，当这些斑块中部分可活动时，则被称为破裂斑块、活动性斑块、活动碎片，或者是叠加血栓。有些人曾相信活动的强回声代表的是破裂斑块的纤维帽，但是尸检³³⁷或外科手术标本检验显示多为叠加血栓³³¹⁻³³⁵。而抗凝治疗后活动性斑块消失也支持了后者的结论³³⁶。尸检和经食管超声心动图^{338,339}都证明主动脉粥样斑块发生的几率及严重性在升主动脉最低，在主动脉弓较高，最高的是降胸主动脉段。

越来越多的证据证明超声心动图诊断的主动脉粥样斑和脑血管栓塞及外周栓塞事件有相关性^{331,335,338,340-347}。另外，与传统危险因素相比³⁴⁸，胸主动脉粥样硬化已经被确认为预测严重冠状动脉疾病的更强的预测因子，而且是死亡率增高的标志³⁴⁹。主动脉粥样硬化与胆固醇栓塞（蓝趾综合征）、冠状动脉搭桥术后中风、心导管术后及主动脉内球囊反搏术后与导管相关的栓塞等有关联。因此，影像学检测主动脉粥样硬化有预后意义。

表 26 主动脉粥样硬化严重程度的评分系统

评分	严重程度（粥样斑厚度）	特征
----	-------------	----

1	正常	内膜厚度<2mm
2	轻度	轻度（局灶或弥散）内膜厚度 2-3mm
3	中度	粥样斑块>3-5mm（无活动或溃疡斑块）
4	重度	粥样斑块>5mm（无活动或溃疡斑块）
5	复杂型	评分 2,3,4 伴有活动或溃疡斑块

A. 斑块形态及分类

在超声检查中，正常主动脉壁是一个被相对低回声的空间隔开的两条回声均匀的平行线（图 55）。里面的线代表管腔和内膜界面，而外面的线代表中膜和外膜界面。因此，线之间的距离代表内膜与中膜的厚度总和，即“内中膜厚度”³⁵⁰，正常≤1mm。正常主动脉有一个平滑、连续的表面。经食管超声心动图检测出任何不规则的增厚超过 2mm 的病变因而都认为是主动脉粥样斑³³¹。

主动脉粥样硬化是根据斑块厚度、有无活动性成分、有无斑块溃疡等特点来分类的。比起斑块形态，斑块厚度被认为是更加客观、可信地评价粥样硬化严重程度的测量标准。因此，大部分评分系统都是根据病变最重部位斑块的厚度来进行分级的。因为目前对于报告粥样硬化的严重程度没有标准的或者统一的评分系统，所以特设计出了表 26 中列出的以及在图 56 中所示的评分系统。这个基于现有多种方案的分类表^{344,351-363}，代表了写作委员会的一致意见。在此表中，评分为 1 到 4 代表粥样硬化斑块最大厚度从无到严重的进展性变化。有的影像工作者喜欢使用小、中、大来代替轻、中、重。在这些评分系统与大型前瞻性研究结果联系起来之前，我们推荐根据有无活动性斑块或者溃疡把主动脉粥样硬化分为普通型或复杂型。尽管此评分是半定量的，但是这种简单分类方法（粥样斑块厚度，有无活动性斑块及溃疡）中应用的观察方法还是相对客观和可重复的。

另外，我们就像大多数作者一样，如果有活动性斑块及溃疡，不管斑块厚度如何，就定义为复杂型斑块。一个研究组把活动性斑块细分为：(1) 离散型 1-2mm 活动性斑块；(2) 在主动脉搏动性血流中自由活动的细长斑块；(3) 在病变部位随主动脉血流摆动的大斑块³³⁰。然而，Thenappan et al 提出了一个更简单的使用范围更广的分类方法³⁶²。在这个方案里，当斑块有钙化，不移动、回声强、质地均匀而且无溃疡征象时则被认为是稳定的。当斑块是有活动性、质地不均、有溃疡或者是海绵状的就被认为是不稳定的。另一研究组在斑块厚度的基础上加上斑块环形的范围得出“总斑块负荷评分”³⁶⁰。

包括我们的在内，现有的评分系统的主要限制，在于不能描述总体的斑块负荷，比如对于整个胸主动脉长度上或者主动脉某个节段上斑块累及的范围。因此，建议报告斑块是局灶或者弥散的。

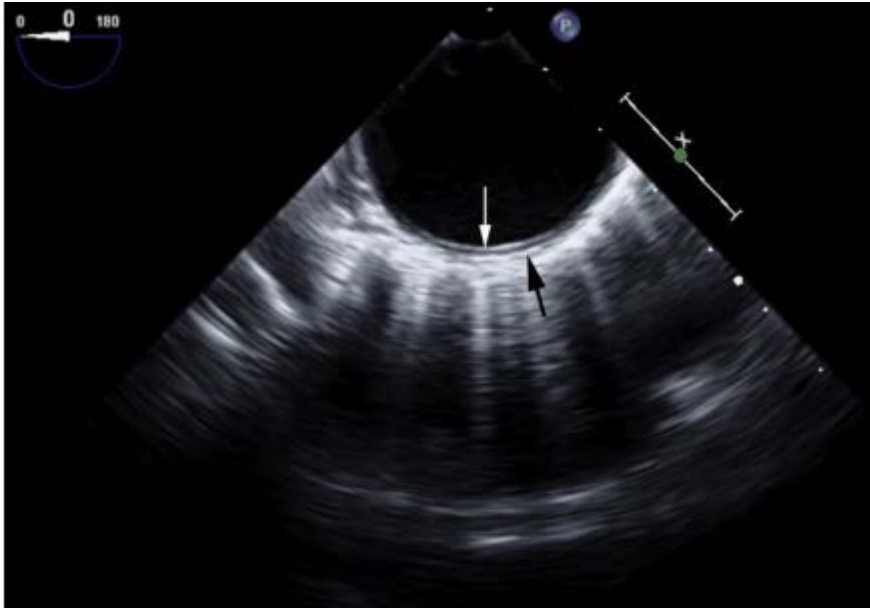


图 55 正常降胸主动脉中段管壁的经食道超声心动图横断面图像，表现为两条平行的等回声线，被相对低回声区分开。里面的线（白色箭头）代表了管腔-内膜界面，外面的线（黑色箭头）代表了中-外膜界面。

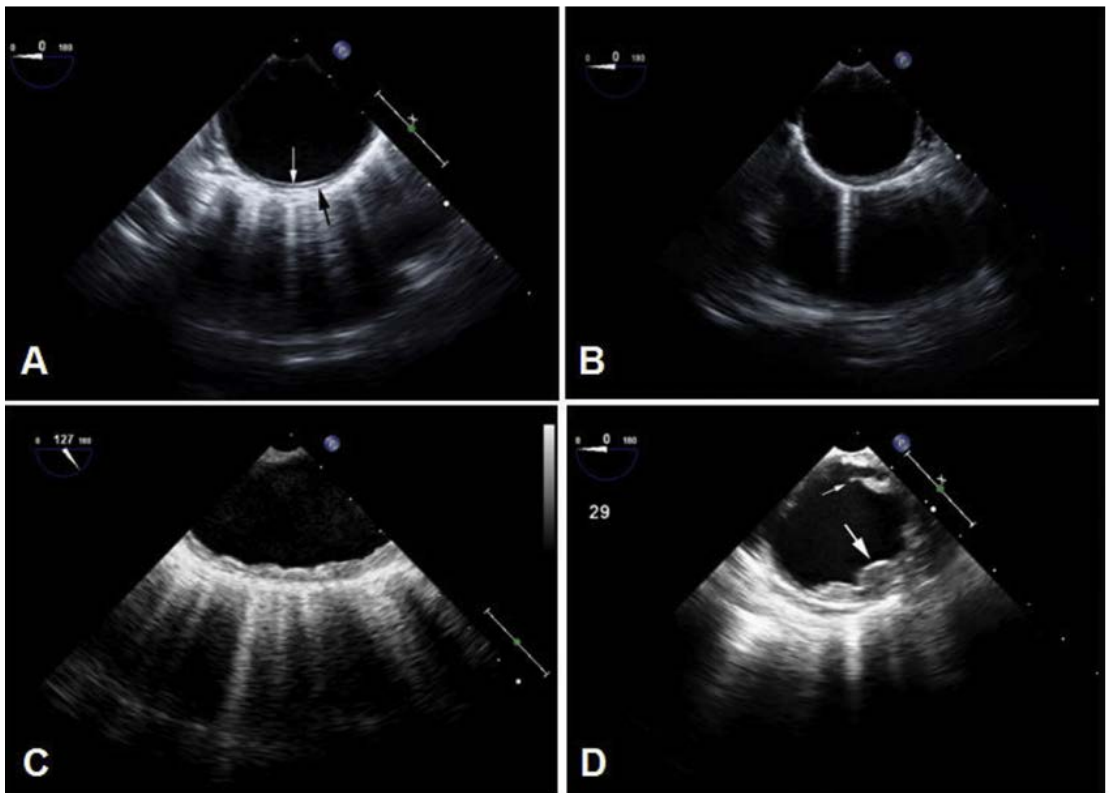


图 56 四张不同主动脉粥样硬化的经食管超声心动图图像: (A) 正常（图 55 可见）。(B) 轻度粥样硬化。(C) 中度粥样硬化，厚度 $<4\text{mm}$ 。(D) 重度/复杂型粥样硬化，斑块厚度 $>5\text{mm}$ （大箭头所示），小箭头所指为活动性斑块。

B. 影像方法

1. 超声心动图

在 TEE 出现之前，主动脉是一个被低估的系统栓塞的根源。而现在，因为能提供高分辨率的主动脉管腔内膜界面的图像以及探查活动性斑块、钙化、溃疡的能力³⁶⁴，TEE 已经成为探查主动脉粥样斑和评估主动脉粥样斑大小及形态的影像方法的首要选择。

与栓塞风险升高紧密相关的重要的斑块特点是斑块凸向主动脉管腔内 $\geq 4\text{mm}$ ，常常伴有不规则的斑块表面（有时类似“海底”，特别是用 3D 超声心动图观察时）³⁶⁵、溃疡和叠加的活动性斑块成分。此外，低回声斑块可能代表非钙化、脂质含量比较多的斑块，这些斑块易破裂及形成血栓，尽管超声并不是可靠的分辨斑块成份的工具。为了精确、可重复地定义斑块位置，应该标明从牙齿（切牙）到探头尖的距离。

然而，TEE 也有很多不足之处。它的分辨率可能受近场失真的影响，这是在任何超声技术都存在的局限性：主动脉横断面的前三分之一因与食管相邻而在探头的近场，常常显示不好。另外，气管及右主支气管里的空气常常会产生盲点，这可能会限制升主动脉远端和主动脉弓近端的成像显示。而且，当用 2DTEE 观察时，一次只能观察或测量主动脉的一个平面，所以对斑块范围及复杂程度的确定可能受到限制。单平面视图可能不容易观察到无症状斑块，可能将一个分叶斑块当成是两个斑块。Piazzese et al³⁶⁶ 证明了 3D TEE 相对于 2D TEE 在观察斑块数量、形态、体积以及空间范围上的优越性。

尽管主动脉粥样硬化偶而可在 TTE 的胸骨上窝切面上观察得到，TTE 不是一个检测或描述主动脉粥样斑块特征的可靠工具。

2. 主动脉外超声 (EAU)

因为升主动脉的主动脉粥样硬化与围手术期的中风风险增加关系密切^{360,365,367-371}，一些医疗中心使用术中检测措施来降低术中脑损害及神经认知缺失的发生^{367,370,372,373}。有三种方法被应用：数字化主动脉的触诊、TEE 及 EAU^{353,368,374,375}。许多研究者已经证明 EAU 在探测升主动脉和主动脉弓粥样斑块时优于临床触诊和 TEE^{368,375,376}。它的高敏感性及优越的可重复性使其成为临床有用的工具³⁷⁷。与 TEE 相比，EAU 有更好的分辨率、较少伪影干扰、无盲点以及对于升主动脉中段及远端疾病更好的观察等优越性。而且针对这一目的，EAU 也优于术前 CT³⁷⁸。对于 EAU 的细节描述，推荐参考关于这个题目的精彩指南³⁷⁹。

表 27 主动脉粥样硬化的影像方式选择

方法	推荐使用时机	优点	缺点
TEE	一线	<ul style="list-style-type: none"> ● 最常用的方法 ● 探查粥样斑块及其大小、活动度的首选 ● 主动脉内膜管腔界面的高分辨率 ● 可重复性强 	<ul style="list-style-type: none"> ● 近场干扰 ● 分辨斑块成分不确定 ● 升主动脉远端、主动脉弓近端声窗受限
CT	二线	<ul style="list-style-type: none"> ● 分辨主动脉粥样斑块的敏感性、特异性、精确度接近 TEE ● 可以使整个主动脉成像， ● 评价总体斑块负荷 	<ul style="list-style-type: none"> ● 在外科术中不能使用 ● 放射暴露 ● 需要造影剂 ● 评估活动血栓受限
MRI	二线	<ul style="list-style-type: none"> ● 提供粥样斑块的组成成份信息 ● 获得主动脉全程的图像 	<ul style="list-style-type: none"> ● 评估活动血栓受限 ● 空间分辨率低于 CT ● 与超声心动图相比，低估斑块厚度 ● 使用受限 ● 对于主动脉影像尚无统一接受方案
主动脉外超声	三线	<ul style="list-style-type: none"> ● 术中升主动脉及主动脉弓粥样斑块检测优于 TEE ● 与 TEE 相比，分辨率更好， 	<ul style="list-style-type: none"> ● 没有广泛或常规用于心脏外科手术 ● 外科医生及麻醉医生使用经验少于使用 TEE

然而，尽管 EAU 有这些优势，由于下列几个原因，术中 TEE 仍然比 EAU 更常用。首先，在许多医疗中心，TEE 常规地用在心外科手术中，监测左室容积及功能，评价手术操作的满意程度，所以它已经成为探测主动脉粥样斑的最常用的方法。第二，尽管 EAU 具有潜在的优越性，但在许多手术室拥有率没有 TEE 高，而且外科医生及麻醉师对 EAU 应用经验较少。尽管如此，EAU 应该在 TEE 是禁忌症或者偶尔 TEE 探头无法插入时应用。另外，一些研究团队在非主动脉术（比如：冠脉搭桥手术）前应用 EAU 以找出“高风险”患者（对于主动脉粥样硬化来说），比如年龄>75 岁，有外周血管疾病、有脑血管病病史、升主动脉有可触摸的钙化斑以及 TEE 有异常发现的患者。发现有显著的粥样斑块可能会使手术方案得到调整。

在主动脉外扫描时，应该扫描出主动脉粥样硬化的分布。升主动脉可以分为近端、中段、远端三段。每部分的前、后、内、外壁都有可能出现粥样斑块，斑块部位的具体信息应该报告给外科医生³⁸⁰。

3. CT

主动脉的多层扫描 CT 血管成像也可以用于检测主动脉粥样斑。它对于辨认严重主动脉粥样斑的敏感性、特异性以及总体的准确度接近 TEE^{381,382}。X 射线的衰减程度也可以用来评估主动脉粥样硬化斑块的组成成分³⁸³。钙化斑块表现为亮的高衰减信号，而脂质含量高的或纤维斑块在血管壁内表现为低衰减的暗信号。然而，量化因钙化引起的“曝光伪影”而受到限制，这会导致对钙化斑块的高估³⁸¹。MDCT 的潜在优势在于可以连续地对整个主动脉成像，而这在 TEE 中是不可能的（包括 TEE 难以成像的区域），这就使得 MDCT 可以用半定量的方式评估整个胸主动脉的主动脉斑块负荷³⁸⁴。尽管 MDCT 可以在心脏手术之前确定高风险的粥样硬化的特点，但是与 TEE 和 EAU 不同，它不能在手术室用于外科手术中。MDCT 其它的限制还有应用时需要相对高的放射剂量及在主动脉成像时需要用造影剂。然而，新的 CT 成像技术在主动脉评价中可能只需要比较低的放射剂量。

4. MRI

MRI 是另外一种可供选择的探查及评价主动脉粥样硬化的技术，它可以提供斑块特点的信息^{385,386}。但是，MRI 在评价活动性血栓时受限，因为活动性血栓经常叠加于斑块之上。另外，MRI 的空间分辨率低于 CT³⁸⁷。与 TEE 相比，MRI 高估斑块厚度，把更多的患者列入高风险组（斑块厚度 $\geq 4\text{mm}$ ）³⁸⁸。另外，TEE 测量主动脉斑块的重复性很强，而 MRI 的重复性测量尚未建立。因此，这项技术还没有得到临床的广泛认可，是一种用于检测主动脉粥样硬化性价比较低的检查方法。然而，MRI 因具有显示斑块成份特点的独特潜力³⁸³，仍然具有应用前景，在这方面 MRI 比 TEE 更可信。增强对比及非增强 MRI 技术都有了发展，但是现在大部分仍然是在非临床领域中应用。

C. 成像法则

TEE、CT 和 MRI 是观察主动脉粥样斑块的强大诊断工具。在中风或者外周动脉栓塞的患者，TEE 是首选，它可以很好地评估复杂斑块的大小及活动情况。CT 能对整个主动脉成像（包括 TEE 很难显示的区域）但是需要放射暴露及应用造影剂。MRI 可以非介入性地区分斑块的不同成份，比如说纤维帽，脂质核以及血栓并由此评价斑块的稳定性。系列 MRI 或者 CT 可以用来检测粥样斑块的进展情况以及在使用降脂治疗后粥样斑块的消退情况。观察主动脉粥样硬化的各种影像技术的相对优缺点总结在表 27 中。

D. 主动脉粥样硬化的系列随访 (检查选择)

在临床实践中，TEE 是主动脉粥样硬化随访的首选技术，因为它可以很好地评价复杂斑块的大小及活动情况。MRI 可以非介入性地辨别斑块的不同成份，比如纤维帽、脂质核以及血栓，以此来评价斑块的稳定性。在 T2 加权图像中，纤维帽及血栓是高强度信号，脂质核为低强度信号。尽管 CT 可以区分钙化斑块和纤维脂质斑块，但在显示主动脉粥样硬化斑块成份特征上不如 MRI 有效。而且没有心电门控的标准 MDCT 不能评价斑块的活动性。

TEE 是诊断主动脉粥样硬化及斑块时首选的影像技术。TEE 相对于非介入性影像技术 (CT 和 MRI) 的优势在于能够实时精确地测量斑块和叠加血栓的大小及活动度。当有主动脉粥样硬化时, 最严重粥样斑块的严重性及所在部位都应该报告出来。当患者的胸骨上声窗良好时, 主动脉弓的斑块可经 TTE 探索到。

VIII. 主动脉炎

A. 感染性主动脉瘤

感染性胸主动脉瘤非常罕见, 但是很重要, 因为它们潜在地威胁生命。如果不治疗, 感染性动脉瘤可能会导致脓毒性血栓栓塞、破裂或死亡。Osler³⁸⁹ 在 1885 年提出了‘真菌性动脉瘤’这个术语, 描述像真菌生长一样的蘑菇形状的动脉瘤。然而, 这一术语用词不当, 因为大部分感染性动脉瘤是细菌性而非真菌性。所以该术语已扩展到包含所有感染性的动脉瘤。

感染性主动脉瘤最常见的是由左心内膜炎患者的脓毒性栓子引起, 所以二尖瓣或主动脉瓣心内膜炎患者应考虑胸主动脉影像学检查以排除感染性动脉瘤。主动脉被播种也可能是由于身体任何部位的感染引发血源性播散所致。感染性动脉瘤也可能与事故所致主动脉外伤、外科手术操作或介入性诊断操作等有关^{390,391}。

大部分患者表现为典型的三联征—发热、腹部、背部或胸部痛和白细胞增多^{392,393}。当这些典型体征和症状不能以其他原因解释时, 应考虑主动脉感染。因此, 免疫抑制患者和经开胸或经血管内置有植入物的患者应高度怀疑^{394,395}。一旦怀疑, 应积极跟踪诊断, 因为进行性发展是其规律。图 57 阐释这样一个病例, 也强调了快速进展的可能。

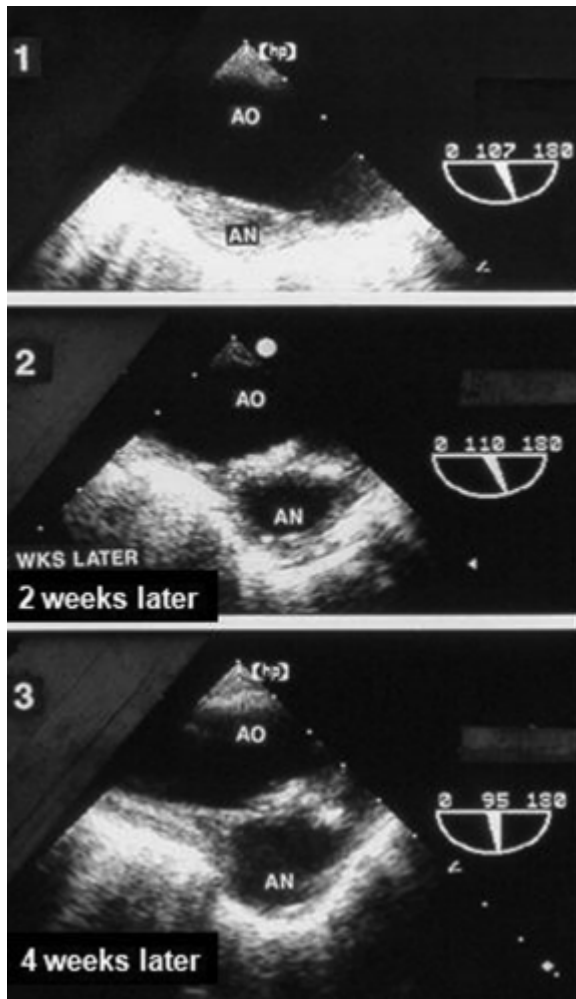


图 57 主动脉瓣感染性心内膜炎患者的降胸主动脉近端的经食道超声心动图像显示早期初始动脉瘤（第 1 帧图）和快速增大的图像。第 2 帧于 2 周后主动脉瓣置换时获取，第 3 帧于分期主动脉手术时距离首次 TEE 4 周后获取。AN, 主动脉瘤；AO, 主动脉。

主动脉造影不再是诊断首选方法，但是特征性的主动脉造影特点包括囊状或梭形主动脉瘤，而邻近区域的主动脉外形正常^{396,397}。然而，这些发现并不特异也不可靠。而且，主动脉造影只能对主动脉管腔成像（不是主动脉管壁），当管壁较脆时，可能诱发主动脉破裂。

超声心动图、CT 和 MRI 现在是优先的影像学技术。造影剂增强 CT 可能显示主动脉内径的变化、囊状动脉瘤的形成、主动脉外周结节和/或主动脉管壁内空气。然而，较轻程度的炎症或主动脉管壁水肿有可能被漏诊^{394,398,399}。钆造影剂增强 MRI 是另一项很有用的影像学方法。除了探测到动脉瘤外，相关的主动脉炎可能表现为血管壁水肿、信号增强或管壁增厚。特异性的技术方案已被开发出来：比如“水肿加权”技术，可以探测到主动脉管壁内或其周围更小的变化³⁹⁴。此外，这些非介入性成像技术可能会快速排除其他类似主动脉感染的主动脉病变，如主动脉夹层，壁内血肿和穿透性主动脉溃疡。

最近，¹⁸F 氟脱氧葡萄糖正电子发射断层扫描通过检测高代谢活动在诊断感染性主动脉瘤和人工血管感染中前景可期，因为当主动脉管壁摄入 ¹⁸F 氟脱氧葡萄糖加快时，提示有活动性血管感染³⁷⁹。对抗生素治疗的反应也可以被监测，主动脉管壁摄入 ¹⁸F 氟脱氧葡萄糖减少即提示炎症得到改善⁴⁰⁰。

表 28 列举了几条关于感染性主动脉瘤的要点。

表 28 感染性动脉瘤：要点

- 所有感染性心内膜炎患者应评估主动脉
- 可导致囊形（更常见）或梭状主动脉瘤
- 主动脉邻近区域结构正常
- 超声心动图、CT 和 MRI 均优于主动脉造影检查
- PET 可能有用
- 因为进展迅速，需要密切随访

PET, 正电子发射断层扫描

B. 非感染性主动脉炎

虽然罕见，Takayasu 动脉炎（TA）和巨细胞性动脉炎（GCA）却是最常被归类为非感染性主动脉炎的一组疾病（表 29）³⁹⁴。对每一种这些疾病的影像学特征的详细讨论超出了本文的范围，但有关 Takayasu 动脉炎和巨细胞性动脉炎的简单讨论如下所述。

表 29 非感染性主动脉炎：病因学

TA

GCA（颞动脉炎）

脊柱关节病（强直性脊柱炎和 Reiter 综合症）

ANCA 相关疾病（韦格纳氏病、多动脉性炎结节、显微镜下多发性血管炎）

系统性红斑狼疮

类风湿性关节炎

白塞综合征

柯根化综合症

复发性多软骨炎

结节硬化病

ANCA, 抗中性粒细胞胞浆抗体; GCA, 巨细胞性动脉炎; TA, Takayasu 动脉炎, 多发性动脉炎。

Takayasu 动脉炎 (TA) 是一种罕见的、不明原因的大血管血管炎, 主要累及年轻女性 (<40 岁)。胸主动脉及其主要分支最常受累⁴⁰¹, 但是肺动脉和腹主动脉也可能会受累。Takayasu 动脉炎的特点是非特异性炎症过程, 可进展为狭窄, 甚至继发于内膜增厚的闭塞病变^{401,402}。该病的进展可导致中膜破坏, 导致主动脉瘤形成或破裂。

数字减影主动脉及其分支血管造影以前曾是金标准, 但它仅能提供管腔变化有关的信息 (从光滑的锥形狭窄到明显闭塞), 这是晚期特征。MRI、CT 和超声心动图可以显示有平滑内膜表面的主动脉管壁均匀环形增厚, 这与动脉粥样硬化的特征不同^{403,404}, 但有可能被误诊为壁内血肿。CT 和 MRI 比超声心动图提供了更全面的主动脉及其近端分支的探查, 也包括有时受累的腹主动脉和远端肺动脉在内⁴⁰⁵。MRI 可能显示有活动性疾病的标志—动脉管壁水肿⁴⁰⁶。在慢性 Takayasu 动脉炎, 主动脉管壁可能钙化, 这在 CT 显示得最好。正电子发射断层扫描技术很有前景, 可以显示血管炎症活动的水平⁴⁰⁷。

巨细胞性动脉炎 (GCA) 是系统性全身动脉炎, 其特点是累及中年和老年患者 (>50 岁)^{408,409}。虽然典型地, 颞动脉和/或其他颅动脉会受累, 但将近 10%-18% 患者的主动脉及其主要分支会受累^{410,411}。常见主动脉根部和升主动脉扩大, 通常在初诊几年后可导致主动脉夹层或破裂。如果怀疑为颅外 GCA, 建议行超声心动图、CT 或 MRI 检查。CT 或 MRI 发现主动脉管壁增厚表明主动脉管壁炎症 (图 58), 因此为活动性疾病⁴¹²。正电子发射断层扫描技术的研究已经显示亚临床主动脉炎症常出现在 GCA 患者中⁴¹³。

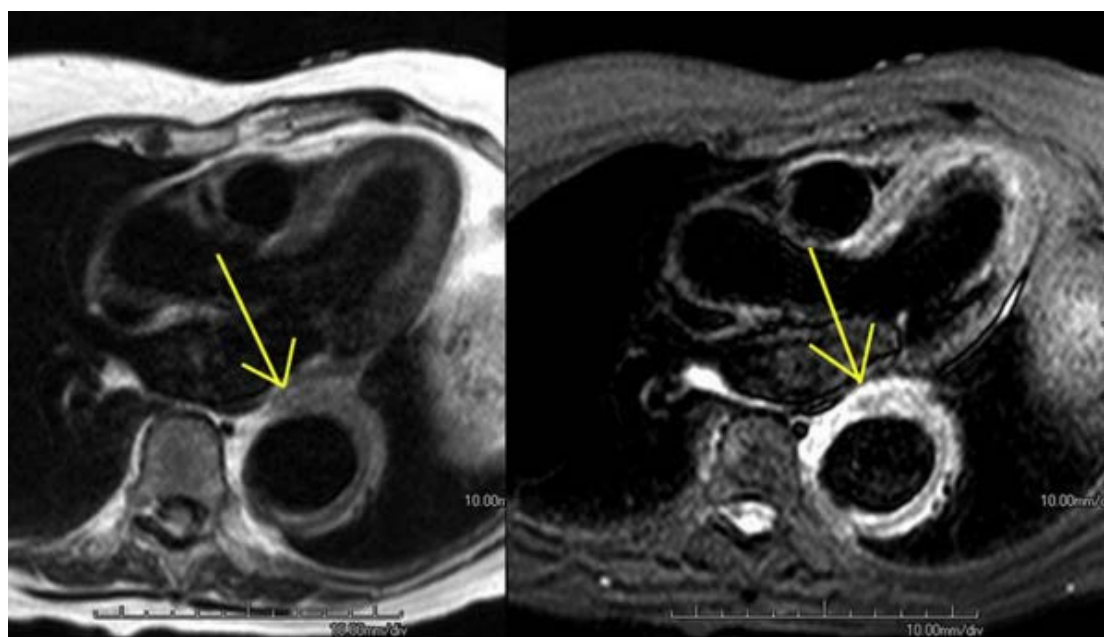


图 58 一名血沉升高和降主动脉扩张的 54 岁女性患者 MRI 图像。管壁增厚在黑血图像显示很好 (左图, 黄色箭头)。短头反转恢复图像 (右图) 显示主动脉管壁明亮信号 (黄色箭头), 与水腫相一致。该患者行了外科修复术, 组织学与 GCA 一致。

IX. 主动脉根部和主动脉的术后成像

诊断影像技术的进展实现了对胸主动脉疾病更早的诊断和更及时的手术干预, 这可能已经改善了主动脉紧急和择期手术的结局。其结果是, 有更多的患者需要进行术后随访。

针对累及升主动脉的主动脉夹层和动脉瘤, 外科医生通常植入涤纶人工血管代替升主动脉而保留原有的主动脉根部、弓部和降主动脉。因此, 首次修复术的存活者依然可能有相当高的远期动脉瘤样扩张甚至

最终破裂的风险。因此，适当的随访要求长期的临床监测和影像随访以发现并发症，并使及时的外科手术或经皮再介入能及时进行。影像学随访的根本是获取充分的基线影像资料，为将来对主动脉内径和形态进行比较时提供可靠的参考资料。而且，基线影像检查会发现一些有可能引发后续并发症的技术失误和不适当的或未完全的修复。

A. 成像者需知

为了准确评价术后发现，影像医生必须对现有的治疗胸主动脉疾病的外科技术具有一个全面的理解，并清楚用于每个患者的详细的手术方式的细节。大多数情况下，术后成像可能在重要方面不同于手术治疗之前。成像遵循的是对预期术后影像和相关影像学方法显示的任何可能的变化都必须加以领会。只有这样，才能准确发现潜在的术后并发症谱并与预期的术后表现相区分。

B. 常见的主动脉外科技术

表 30 和表 31 列出了一些较常见的主动脉手术和备选或不常见的主动脉手术方式。一些较常见的主动脉手术的简要讨论如下。本文篇幅有限，无法详细讨论标准手术的修改或不常见的技术。

表 30 常见的主动脉手术方式

1. 不带瓣升主动脉人工血管
 - a. 嵌入手术
 - b. 包裹技术
 2. 复合主动脉人工血管
 3. 主动脉弓人工血管
 4. 降主动脉人工血管
 5. 血管内支架
 6. 主动脉瓣再悬挂
 7. 不包括主动脉瓣的根部置换
 8. 生物粘合剂和生物胶的使用
 9. 冠状动脉（纽扣）再植入
-

表 31 不常见的主动脉手术方式

1. 象鼻术
 2. Carbrol 分流术
 3. Carbrol 冠状动脉人工血管
 4. 主动脉裁补术（主动脉成形术）
 5. 开窗术
 6. 假腔闭塞（一期修复术）
 - a. 粘合主动脉成形术
 - b. 外源材料植入术
 - c. 血栓清除术
 7. 主动脉环剥术（涤纶网包裹主动脉）
-

1. 嵌入手术

目前这项标准技术包括切除原有升主动脉的病变节段而以涤纶材料（Dacron）的人工血管代替。近端的吻合口常常位于冠状动脉以上，远端的吻合口紧邻头臂干动脉的近端。吻合口部位常常在外部放置环形聚四氟乙烯带来加固。

2. 包裹技术

包裹技术包括主动脉切开术、病变主动脉内放置人工血管以及将原有的主动脉围绕人工血管周围缝合使其人造血管被闭合或“包裹”在内。这个术式在人工血管和主动脉管壁之间制造了一个潜在间隙，该间隙有很重要的影像学意义。该技术的使用已经明显减少了，因为改良的人工血管材料导致出血减少（该技术曾用于制造一个人工血管可能发生的渗漏渗入的空隙，以此来减少大量出血进入纵膈）。

3. 复合人工血管

复合人工血管或管道是人工合成的（通常是涤纶）主动脉人工血管，包括一个直接连带的机械瓣或生物瓣。复合人工血管置换时，冠状动脉口连带周围的主动脉壁边缘从原来的主动脉上分离下来（“纽扣技术”），之后每个纽扣被重新吻合至复合人工血管上。

4. 主动脉弓人工血管

对于择期的主动脉弓受累的病人，开胸手术可能从部分到全弓置换，伴有或不伴有弓部血管分离及一支或多支弓部血管的再接。

5. 象鼻手术

弥漫性胸主动脉疾病的手术治疗通常分两期进行。第一期包括升主动脉和主动脉弓的修复（伴大血管重建）；延伸的主动脉人工血管被插入降胸主动脉近端的管腔内，可在此自由漂浮，被称为“象鼻”。二期手术包括利用象鼻来修复降主动脉，用象鼻作为开胸手术人工血管的近端吻合端，或者作为血管内支架的近端锚定区。

6. Carbrol 分流术

Carbrol 分流术是一种不常见的包裹技术的附加手术，用以防止进行性出血流入前面所述的人工血管和主动脉管壁间的潜在空间。该手术是在该潜在空隙与右房之间经手术分流以缓解人工血管周围间隙的压力。

7. 技术辅助

对于所有类型的人工血管，圆周垫或心包环经常用于支撑吻合口。脱脂棉垫也用于加固术中插管部位的人工血管或主动脉管壁。这些环和脱脂棉对每种影像学检查均有成像影响，比如无法解释的增厚、混响和声影。

各种各样的粘合剂、或生物胶已用做吻合口止血的标准方法的附属物（如缝合线和夹子）。这些生物胶也已用于重新粘连撕裂主动脉的管壁层，以及通过“鞣革”过程稳固脆弱的主动脉组织。虽然已发现了这些组织粘合剂的价值，但有报道组织坏死导致的假性动脉瘤。而且，这些物质可能会产生水肿、炎症和纤维化，导致主动脉管壁或邻近组织增厚。影像技术可能将这类增厚与渗漏及血肿相混淆。

C. 术后的正常特征

所实施的手术方式的细节将决定未来影像检查中升主动脉的外观。仅有几篇关于升主动脉重建术后超声心动图所见升主动脉外观的描述。更多的信息是通过 CT 和 MRI 获得的。主动脉嵌入人工血管可显示为薄的波纹管，回声密度高于原有主动脉。通常在人工血管和原位主动脉之间有一突然变化，是由于用来加固吻合口的垫条提供吻合边界的可见性标志。偶尔地，存在主动脉人工血管成角，尤其在靠近吻合口处。

这些成角位点没有临床意义，但是，尤其在轴向 CT 图像上，与夹层撕裂内膜很像。

少量的人工血管外周增厚 (<10 mm) 是术后常见现象。据推测这可能是由针孔所致吻合口缝线处的轻微渗漏所致。这种均匀的向心性增厚有助于与更严重的渗漏区分开。冠状动脉吻合口可见另一种相像的病理学表现。当冠状动脉连带周边的原位主动脉组织被重新缝合后 (纽扣技术)，此处的局部隆起可能会被误以为早期假性动脉瘤。重要的是，包裹人工血管技术使得人工血管和包裹它的原位主动脉间产生潜在空隙。该空隙常含有液体和/或血肿，这是没有临床意义的正常表现，尤其当其厚度 <10 mm 时。

A 型夹层修复术后，在 80% 的患者中在升主动脉人造血管的远端可见持续存在的夹层撕裂内膜⁴⁰。如果它的大小没有增加的话，术后主动脉双管腔的持续存在不被认为是一种并发症。在慢性夹层中，残余夹层撕裂内膜会因为胶原沉积而增厚，变得较少振动或甚至不动。

许多术后早期 CT 检查显示胸膜腔或心包积液、纵膈淋巴结肿大和/或左肺叶不张。随着时间变化这些发现出现频率减少，认为是术后正常发现，而没有不良的临床后果。

D. 主动脉修复术后并发症

手术修复主动脉病变如动脉瘤和夹层，完全切除病变的主动脉节段是几乎不可能的。人工血管和原位主动脉之间的吻合口是后期出现并发症的潜在位点。因此，由对主动脉疾病和手术过程熟悉的心血管影像专家来作定期的术后密切观测不算为过。早期发现并发症可以实施合适的处理，包括如果合适时可再手术。术后潜在并发症如表 32 所列。意识到这些并发症存在，并且能够与一些“正常的”术后表现相区分显然很重要。较常见的一些并发症如下所讨论。

表 32 主动脉术后潜在并发症

1. 吻合口漏、破坏，开裂
 2. 假性动脉瘤 (近端、远端或冠状动脉吻合口处)
 3. 进行性主动脉瓣反流
 4. 主动脉分支受累
 5. 人工血管外周感染
 6. 血肿所致人工血管受压 (包裹技术)
 7. 假腔动脉瘤样扩张 (夹层修复后)
 8. 真腔受压或塌陷 (假腔扩张所致)
 9. 明显破裂
 10. 吻合口狭窄
 11. 行冠状动脉以上主动脉手术患者的人工血管近端复发性夹层或动脉瘤
 12. 主动脉食管瘘或主肺动脉瘘
 13. 开胸处的人工血管疝
-

1. 假性动脉瘤

假性动脉瘤是一种动脉瘤，或夹层术后的重要的早期或晚期并发症。在绝大多数患者，假性动脉瘤无任何临床症状⁴¹⁵。这类潜在的威胁生命的并发症的静默表现突显了影像学监测的必要性。假性动脉瘤通常发生于吻合口。虽然它们可形成于缝合线完整的针洞处，但它们更常发生于近端或远端缝合线的部分裂开或起源于冠状动脉再移植的部位。假性动脉瘤的大小随时间而变化，患者的症状和临床状态将决定处理方式。小的、无菌性的假性动脉瘤可以维持稳定数年，不需要更多干预。假性动脉瘤可容易地经 CT 和 MRI 检出。TEE 也能可靠地发现主动脉根部和升主动脉近端的假性动脉瘤，但是由于气管位于其间，升主动脉远端的病变可能会被漏掉。

2. 假腔扩张

A 型主动脉夹层手术常局限于升主动脉。在升主动脉人工血管远端，大约 80% 的患者存在有夹层撕裂内膜和有明显血流的假腔⁴⁰。严格地说，这不是并发症，但有假腔扩大的潜在可能。典型地，主动脉弓、降胸主动脉和腹主动脉的内径中位数在 A 型主动脉夹层修复术后均有轻微增大⁴¹⁶。虽然假腔膨大的几率很低，但是张力减低和变薄管壁的不良状况促使开放假腔进行性扩大时常发生。这可能会导致晚期主动脉破裂或真腔塌陷。少数患者的假腔可以血栓化。虽然假腔血栓化对长期存活率的影响仍处在推测状态，但它可能与存活率的提高有关。

3. 主动脉分支受累

夹层撕裂内膜延伸和/或壁内血肿进入主动脉分支可能会导致管腔狭窄或完全阻塞。此外，开放性假腔的扩大与真腔相应的塌陷可能也会影响分支血管。这些并发症可发生在冠状动脉、或主动脉上方血管或内脏血管。

4. 感染

在 0.5%-5% 的患者，早发或晚发感染并发于人工主动脉血管的置入术。CT 是主动脉人工血管感染的标准影像学检查方法⁴¹⁷。TEE 在检测人工血管感染中的作用尚未被充分地研究。

E. 系列成像技术的建议和安排

评估主动脉术后的影像学方法选择还没有完全确定。CT 和 MRI 都是合理的选择。这些技术可对任一水平的固有主动脉内径提供精确的、可重复的测量。且与 TEE 相比，CT 和 MRI 在单次检查可包括主动脉上方血管和内脏血管以及为系列研究的影像比较提供可重复的标志等方面具有优势。

我们认为造影剂增强 CT 是主动脉疾病术后患者随访的最佳诊断学工具。MRI 在系列随访上也有价值，因为图像分辨率可与 CT 图像相媲美。对某些患者，MRI 可能更好，因为既不需要辐射也不需要造影剂。在年轻患者尤其如此（如马方综合征患者），因为系列检查的辐射暴露应当考虑。

TTE 虽然是许多心脏病患者的常规检查，但是在主动脉术后随访患者中的应用受限。TTE 能充分评估主动脉瓣、主动脉根部和近端升主动脉，但是在对胸主动脉其余部分的成像能力上有限。

TEE 比 CT 和 MRI 有一些优势。它便携、对主动脉根部成像极好，能够准确评估主动脉瓣的形态和功能，且能提供左室功能的信息。然而，它可能无法对远端升主动脉（可能是主动脉人工血管远端吻合口位点）、主动脉弓近端、主动脉弓部血管近端和腹主动脉远端成像。而且，它不能评价主动脉假性动脉瘤与邻近解剖结构如肺和纵膈的关系。最后，TEE 是半介入性的，对于系列重复检查是个缺点。

随访影像学监测计划不应单独交给其他医生。监督评价和治疗患者的主要责任在于主动脉专科医生（心脏外科医师、心脏内科医师或血管外科医师）。理想情况下，应该有计算机数据库，输入每个胸主动脉疾病患者相关的临床、手术、影像学详细资料。影像学监测方法和随访频率应该根据每个患者的临床病史、之前的手术方式以及疾病进展的速度来决定，如表 5 所列。总之，小内径主动脉或轻微病变患者的随访频率比大内径主动脉患者要少。虽然在靠近患者家庭的地点进行影像监测是合理的，但理想情况下，对图像的评估和患者随访应由具备胸主动脉疾病的专业知识和处理经验的从业者或医疗中心进行。

X. 总结

总之，诊断影像学技术的快速发展已经大大提高了我们对胸主动脉疾病的认识了解。每项技术的可用性、成本/收益比和附加价值决定了它的适应症。TTE 仍是临床实践中评估主动脉根部最常用的技术。CT 在高分辨率地评估整个主动脉和对主动脉大小测量的准确性上有优势。虽然其临床应用较不常普及，但 MRI

可以无辐射地提供最多的主动脉形态学和动力学信息。

MRI 的新进展如时间分辨三维相差速度（四维血流信号）、心电图门控 MDCT 和超声心动图造影剂的应用将使得对病变主动脉管壁的生物机械特性的确定方面有更进一步的提高，这将有望对有主动脉疾病患者的预后和处理产生影响。

注意和免责声明

本文是由 ASE 和 EACVI 撰写，作为会员们的参考资源。该文只包含了建议，不应该用做临床实践决策或对任何员工培训的唯一依据。本文的表述和建议主要是以专家的意见而非经科学验证的数据为依据。ASE 和 EACVI 在本文中并没有明示或默示来保证本文中有关信息的完整性或准确性，也包括对特定目的适销性或适合性的保证。ASE 和 EACVI 不可能对你、你的患者或任何第三方在你做任何决定或其他患者依赖这些信息上负责任。你应用这些信息时不构成 ASE 和 EACVI 对你提供医疗建议，也不会因 ASE 和 EACVI 与你的患者或其他任何人之间建立任何医-患关系。