

综述 ·

三维超声心动图在先天性心脏病中的应用

肖燕燕 综述,韩玲 审校

(北京市安贞医院小儿心内科,北京 100029)

[中图分类号] R540.4+5 [文献标识码] A [文章编号] 1008-8830(2001)03-0337-04

1 概述

三维超声心动图技术(3-DE)1974年由美国的Wood首先提出,1992年Pandian等首次将此项技术应用用于临床心血管病的显像并取得成功。三维超声心动图自80年代末传入我国以来,已得到了较为迅速的发展。目前已在心脏形态结构及瓣膜疾病的诊断、心室容积及心功能的测量、手术评估及内科介入治疗方面等得到了广泛的应用,尤其为先天性心脏病的诊断开辟了新的途径。

2 方法和途径

三维重建包括图像采集、计算机数据处理和图像显示三个过程。图像采集包括经胸及经食道2种方法。经胸法为无创性检查,在儿童及青年人透声窗较好者,成像效果良好。经食道法从心脏的后方近距离探测,图像清晰,准确率高,目前多用于成人或年长儿及术中疾病的诊断及手术评价等方面。惠普公司最近推出的HP5500型超声诊断仪经胸和经食道超声探头,可自动进行各切面0°~180°弧形扫描和图像采集,其小型化的经食道单平面和双平面探头(频率最高达7.5 MHz)能够用于儿童的食道超声检查。

3-DE有静态和动态2种显示方法。静态3-DE显示的是心动周期某一时刻点的静态立体图像,而动态3-DE则将三维图像与时间参数相结合(即四维超声心动图),除动态显示心脏立体轮廓外,还能从任意所需角度对其进行切割并观察心脏病变结构在每一心动周期的立体变化。

3 心脏解剖结构的三维重建

传统的二维超声心动图对心脏解剖结构的诊断具有重要的临床价值,然而却无法直观显示病变结构的立体形态,只能提供二维的空间信息并需检查者在此基础上进行主观的空间想象,这就给先心病尤其是复杂先心病的诊断带来一定的困难,甚至导致漏诊和误诊。理想的非侵入性影像学诊断,应为心脏结构提供客观充分的动态显示^[1]。3-DE能够客观和动态地(动态3-DE)显示心脏结构本身的立体形态、病变部位及其与周围结构的空间关系,提供对空间结构的更好理解,减少主观性错误,从而增加了诊断的准确率。

三维重建的结果,很大程度上依赖于所选择的切面、角度以及所使用的重建系统。为了准确有效地显示心脏结构的立体图像,国内外不少学者进行了积极的探索,建立了一系列三维剖视诊断方案。朱天刚^[2]等对左心系统进行经食管三维重建,建立了一些参考图像,如左心耳显像:显示左心耳血栓大小、形态;房间隔左房面显像:从左房侧显示房间隔缺损;二尖瓣鸟瞰观:显示二尖瓣脱垂;二尖瓣左室观:显示瓣口的大小、形态;室间隔左室面显像:从左室面观察室间隔缺损;左房、二尖瓣、左室剖面显像;左室、左室流出道、主动脉瓣和主动脉剖面显像;主动脉瓣显像。Binder^[3]等亦对心脏不同的解剖结构进行了经食管三维重建,其中包括:二尖瓣的左房观、左室观、四腔心观。主动脉瓣的升主动脉观、左室流出道观和模拟长轴观。房室间隔的左房(室)观、右房(室)观、四腔心观等,除室间隔右室观的重建成功率为30%外,其余解剖结构的重建成功率均

[收稿日期] 2000-07-01; [修回日期] 2000-09-12
[作者简介] 肖燕燕(1973-),女,在读硕士研究生,住院医师。

在70%~90%左右。然而到目前为止,国内外尚未对解剖结构的成像形成一个统一的规划方案。

4 应用

4.1 房、室间隔缺损

近年来,国内外均对房、室间隔缺损三维重建的可行性及其相对于2-DE的优越性进行了大量研究。研究表明,与2-DE相比,3-DE可为心脏解剖结构提供更为详细的信息,从而提高房、室间隔缺损的诊断正确性。3-DE可直接多角度或模拟手术径路切开主动脉、右房、右室或从左室立体全面地显示缺损的形态、大小、部位及其与邻近结构的关系。沿房、室间隔附近平行切割后转动90°,由与之垂直的方向进行观察,可获得房、室间隔的平面图并直接正面观察缺损的形状和大小,这是2-DE所无法达到的效果,它有助于对缺损类型的判断。Kardon等^[4]强调室间隔左室观的优越性。即从光滑的室间隔左室面观察室间隔缺损,这样就不会受到右室粗大的肌小梁或三尖瓣的遮挡。左室切面亦能显示上、前部的复合肌部缺损,而它们在二维切面上往往难以显示,从而提高了室间隔缺损的检出率。在三维重建的基础上,Kardon等还发现了室间隔缺损的一些解剖特点,如所有膜部或膜周部室缺都为圆形或卵圆形,而肌部室缺则呈三角形或新月形。Dall'Agata等^[5]则发现孔房缺并非是单纯的两房之间的孔洞,从右房侧看,它存在于房间隔上一个形状相对独立的折叠区域内,也具有三维的结构。作者认为这也许是胚胎发育过程中原始房间隔融合的结果。动态3-DE(4-DE)还可清晰显示房间隔缺损在心动周期中的运动和大小变化^[6-8]:其直径在左室收缩晚期最大,在左室舒张晚期最小。其差别与年龄呈负相关。在Marx等^[6]的文章中,16例房缺病人中有13例进行了成功的动态三维重建,并能以三维视角观察缺损的特征、空间位置及其与周围结构的空间关系,如主动脉瓣与房间隔的关系,正常连接的肺静脉左房入口处等。然而在2例合并肺静脉异位流入上腔静脉的房缺病人,却未通过3-DE发现异位引流的肺静脉入口。其他作者的研究中,一些小的或高位、偏轴心的室缺也无法显示,被认为是受原始二维图像分辨率影响或由于缺损本身妨碍了对其进行多平面旋转采集图像的过程,导致三维重建不完全^[1,5]。在定量诊断上,大多数学者所作的研究表明,由于避免了二维超声心动图超声束从不同切面切割房、室间隔缺损所造成的测量误差,而在

三维图像上直接测量缺损的大小,故其测量值较2-DE更为准确。但也有作者^[7]指出,目前普遍应用的计算机软件只能用于一维或二维测量,而直接用于三维结构的测量并不合适。

4.2 大血管连接异常

大血管连接异常等复杂先心病是多种畸形在3-D空间上的组合。相对于2-DE只能提供平面信息来讲,3-DE能够从任一角度切割和观察心脏的立体解剖结构,追踪异常通路的起始点,在复杂先心病的诊断中有其独特的优越性。孙锟^[8]等以自行设计的5剖切面10视角方案对5例离体复杂先心病心脏标本进行三维超声剖视,其中包括完全性大动脉转位+室缺+动脉导管未闭,右室双出口+室缺,完全性肺静脉异位引流,三尖瓣闭锁+房缺+单心室+肺动脉狭窄+大血管异位及单心室+房缺+肺动脉狭窄+大血管异位各1例,结果除动脉导管未闭在各切面均显示不佳外,所有心内结构均能正确显示并全部被观察到。王连声等^[9]亦对大动脉转位及右室双出口等病人进行了在体动态3-DE重建,从而直接显示出大动脉的位置和起源,以及主、肺动脉的关系:在左室长轴动态三维图像上,大动脉转位患者可见主、肺动脉干平行排列,呈典型的双管征,右室双出口患者,其三维图像直观显示出两条大动脉均起源于右心室,而在心底短轴动态三维图像上,可见到2-DE所无法观察到的两个呈圆环状的动脉壁和两组半月瓣的活动情况并通过开放的半月瓣分别观察心室内的结构。Marx等^[6]认为3-DE还能改善对解剖结构细节上的观察,如从三维重建图像上,能看到右室粗大的肌小梁,并能轻易地与左室侧细小的肌小梁和光滑的室间隔鉴别开来,还能看到正常连接关系的主动脉瓣与二尖瓣的纤维连续以及完全性大动脉转位患者肺动脉瓣与二尖瓣的纤维连续。这也有助于对大动脉与心室空间关系的认识。

4.3 心瓣膜疾病

先天性心瓣膜疾病通常较为复杂,由于3-DE可立体显示瓣膜的整体及其周围结构,并可从瓣口上方或下方直接观察其平面形态,还能对经过瓣膜口的血流立体显示,影像直观清晰,尤其在二尖瓣和主动脉瓣疾病的诊断上具有优越性。Salustri等^[1]认为从左房侧无顶切面的视角自上向下地观察,能获得对二尖瓣狭窄状况的充分评估。但也有作者提出三维重建的心脏结构如瓣膜等较实际偏厚,易导致诊断上的失误^[6,10]。在对瓣膜口狭窄和返流的定量研究中,Chen Q^[11]等对15例二尖瓣狭窄病人分别行2-DE及3-DE测量二尖瓣瓣口开放面积,以

压力半降期(PHT)作为金指标进行对照,证实了与2-DE相比,3-DE与PHT有更好的相关性。Gilon D^[12]等通过对二尖瓣狭窄3-DE的研究,证明在格林(Golin)公式中作为常数的二尖瓣口系数(Cc),除与瓣口开放面积有关外,还与接近瓣口处瓣膜的几何形状有关。即瓣口越趋向于漏斗状,Cc越大,瓣口两侧的压差越小,越趋向于平盘状,Cc越小,瓣口两侧的压差越大。另有作者^[13]对瓣口返流束进行彩色血流重建,确定了瓣口部多股血流束的来源并对返流体积做出定量诊断。因此,与2-DE相比,3-DE能在瓣膜运动、病变瓣叶与其它瓣叶装置的关系、瓣口面积等方面提供更多的信息,更能模拟手术视角,有助于外科医生对病变瓣膜的充分了解,选择最佳的手术方案。

4.4 心室容积及心功能的测定

2-DE需要假设左心室为椭圆或球形,以 $V = 4/3 \cdot D1/2 \cdot D2/2 \cdot L/2$ 为公式来计算其容积,当用于形状并不对称的右室或心脏形态结构异常时结果往往不可靠。3-DE以求积累加法(即将重建的立体心室分割成若干个体再相互叠加)计算容积,不需几何模型的假设,因此可更准确客观地对心室容积和心功能进行测量^[6]。Papavassilion^[14]等对10例法鲁四联症、2例左心发育不良、1例房间隔缺损患者(均为术后)进行3-DE右室容积和射血分数的测定,然后与MRI的结果相比较,证实了3-DE与MRI测量值有良好的相关性。朱天刚等^[15]应用3-DE对房间隔缺损术前术后的右室容量进行测量,结果表明,与术前相比,术后病人的右室舒张末期容积无显著差异,而收缩末期容积减少,右室EF增高并有显著差异,其原因在于房缺修补术后右室前负荷减轻,而扩大的心室暂时未恢复正常。作者认为3-DE在右室容量测量及定量评价右心收缩功能方面均较为理想。田家玮等^[16]观察了室间隔缺损和动脉导管未闭两种均以左心容量负荷增加为特点的先心病,以3-DE测量二者的左室收缩末、舒张末容积和射血分数并进行对比分析,证明3-DE定量测量左室功能是一可取方法。

4.5 手术及内科介入治疗

3-DE特有的多角度或模拟手术径路对心脏畸形进行显示并精确测量的特点,使其在外科手术术前评估、内科介入治疗等方面得到广泛的应用。国内谢明星等^[17]对ASD修补术、二尖瓣人工瓣置换术及法鲁四联症矫正术患者,分别于术中开胸前及心脏复跳后进行动态三维重建并与手术所见相对比,结果表明重建图像可清晰显示病变的立体结构

和术后解剖结构的改变,协助制定手术方案和评价手术效果。同2-DE相比,对手术的评价更为直观准确。此外,石艳芬等^[18]对多巴酚丁胺负荷3-DE在预测法鲁四联症根治术后低心排综合征中的应用做了研究。其研究表明,术前多巴酚丁胺负荷3-DE试验阳性者(LVVD,LVEF在DSE检测中最大增高率在正常值95%可信限以下)根治术后低心排综合征发生率明显高于阴性患儿。其阳性预测值为66.67%~80.00%,阴性预测值为92.31%~93.33%,从而认为多巴酚丁胺负荷三维超声心动图检测技术对预测法鲁四联症根治术后低心排综合征具有重要价值。

在内科介入治疗方面,ASD,PDA堵闭器目前已得到广泛的应用。因此,对缺损的大小、形状及位置的术前评估则显得尤为重要。术后评价包括堵闭器的位置,是否有残余分流等亦不可少。3-DE除能够更准确提供关于ASD,VSD的大小外,更重要的是可以完整地看到缺损的边缘及其周围的结构如主动脉,冠状静脉窦,上腔静脉等,使堵闭术更加安全合理,帮助避免并发症的发生。这使得3-DE在内科介入治疗中的优越性更为突出。孙锬等^[19]在经皮DUCT-OCCLUDER弹簧圈动脉导管未闭堵塞术的前后对患儿分别行2-DE和3-DE并与术中造影测值比较,证明由于克服了2-DE受透声窗及探头角度限制的缺陷,3-DE能够更明确显示动脉导管的形状、位置和堵闭装置在肺动脉内的位置及其与左右肺动脉的空间关系,而且3-DE对PDA直径及长度的测量值与心血管造影间相关性均高于2-DE。因此,在介入治疗中,3-DE为术前病例选择和术中堵闭工具大小的选定以及在术后评价方面提供了理想的判断工具,有较大的实用价值。

4.6 胎儿3-DE的应用

Nelson TR等^[20]经子宫获取胎儿(18~36周)心脏二维超声图像并进行三维重建,从不同角度清晰显示了心肌、瓣膜、心房、心室和大动脉的立体图像,它们之间的空间关系也能被轻易地辨认出来。Sklansky^[21]将2-DE、门控与非门控3-DE显示胎儿心脏解剖结构的能力做了比较,认为与非门控3-DE相比,门控3-DE图像质量更好,能够提供对胎儿心内结构更清晰的观察和更好的理解。而除了肺静脉外,门控3-DE对心脏各解剖结构的显示也均较2-DE清晰,并且还能通过2-DE所不能及的视角来观察心脏切面,增加了有关心内解剖结构的信息量。3-DE门控技术还可使图像按需要的速度活动起来,这就使对胎儿瓣膜和心室功能的评价成为可能。

Chang 等^[22]认为在心室容积的测量上,2-DE 需假设胎儿心室为圆形或卵圆形,所测值往往偏高,而3-DE 能更好的模拟心室的大小,理论上是评价胎儿心室容积的最好方法。胎儿3-DE 目前尚处于初步的探索阶段,虽然胎儿在子宫内的活动及2-DE 图像的质量等还在一定程度上影响了其应用,但各位作者均认为胎儿3-DE 具有较大的发展潜力。

5 3-DE 的局限性及展望

3-DE 技术的应用在国际国内均刚刚起步,还未形成三维剖视诊断的规范方案^[8]。三维图像质量受2-D 原始图像分辨率的影响,对细微结构如小的缺损的分辨力尚不够理想,有时需借助彩色血流显像的三维重建^[11]。三维重建过程中灰度阈值及透明度调节不当会造成伪影或真实结构的回声失落,从而影响3-DE 诊断的准确性^[3]。三维图像的分析时间仍然较长,在30~60 min 左右,操作过程复杂繁琐,操作人员需经一定程度的培训^[3]。由于缺乏测量立体结构的计算机软件,用线性测量工具对三维结构进行测量会不可避免的带来一些误差^[7]。3-DE 对图像采集过程的要求较严格,病人或探头的移动、呼吸、心律不齐等均会影响图像的获取^[3]。

综上所述,尽管3-DE 还存在着一些局限,但随着计算机和超声技术的发展,这些局限性会被逐渐克服,其本身所具有的多种独特的优越性将会得到不断的完善和发展,在先天性心脏病,尤其在复杂先心病、瓣膜疾病和胎儿先心病的无创性诊断以及手术和介入治疗等方面得到更为广泛的应用。

【参 考 文 献】

- [1] Salustri A, Spitaels S, Mcghie J, et al. Transthoracic three-dimensional echocardiography in adult patients with congenital heart disease [J]. *J Am Coll Cardiol*, 1995, 26(3): 759 - 767.
- [2] 朱天刚,王新房. 经食管左心系统动态三维超声心动图成像[J]. *中国超声医学杂志*, 1999, 15(3): 181 - 183.
- [3] Binder T, Globits S, Zangeneh M, et al. Three-dimensional echocardiography using a transoesophageal imaging probe [J]. *Eur Heart J*, 1996, 17(4): 619 - 628.
- [4] Kardon RE, Cao QL, Masani N, et al. New insights and observations in three-dimensional echocardiographic visualization of ventricular septal defects [J]. *Circulation*, 1998, 98(13): 1307 - 1314.
- [5] Dall 'Agata A, McGhie J, Taams M, et al. Secundum atrial septal defect is a dynamic three-dimensional entity [J]. *Am Heart J*, 1999, 137(6): 1075 - 1081.
- [6] Marx GR, Fulton DR, Pandian NG, et al. Delineation of site, relative size and dynamic geometry of atrial septal defects by real-time three-dimensional echocardiography [J]. *J Am Coll Cardiol*, 1995, 25: 482 - 490.
- [7] Mangi G, Cao QL, Sugeng L, et al. Volume-rendered, three-dimensional echocardiographic determination of the size, shape, and position of atrial septal defects: validation in an in vitro model [J]. *Am Heart J*, 1996, 132(2 Pt 1): 376 - 381.
- [8] 孙锟,陈树宝,江海,等. 复杂型先心病的三维超声心动图剖视诊断方法的研究[J]. *中国超声医学杂志*, 1999, 15(2): 84 - 88.
- [9] 王连声,王新房,李治安,等. 先天性心脏病动态三维超声心动图初步研究[J]. *中华超声影像学杂志*, 1997, 6(3): 156 - 158.
- [10] Vogel M, HO SY, Anderson RH. Comparison of three dimensional echocardiographic findings with anatomical specimens of various congenitally malformed hearts [J]. *Br Heart J*, 1995, 73: 566 - 570.
- [11] Chen Q, Nosir YF, Vletter WB, et al. Accurate assessment of mitral valve area in patients with mitral stenosis by three-dimensional echocardiography [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 1997, 10(2): 133 - 140.
- [12] Glon D, Cape EG, Handschumacher MD, et al. Insights from three-dimensional echocardiographic laser stereolithography: effect of leaflet funnel geometry on the Coefficient of orifice contraction, pressure loss, and the Gorlin formula in mitral stenosis [J]. *Circulation*, 1996, 94(3): 452 - 459.
- [13] Castro SD, Yao J, Pandian NG. Three-dimensional echocardiography: clinical relevance and application [J]. *Am J Cardiol*, 1998, 81(12A): 96G - 102G.
- [14] Papavassiliou DP, Parks WJ, et al. Three-dimensional echocardiographic measurement of right ventricular volume in children with congenital heart disease validated by magnetic resonance imaging [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 1998, 11(8): 770 - 777.
- [15] 朱天刚,王新房,李治安,等. 房间隔缺损修补术前、后右室三维容量的变化[J]. *中国医学影像技术*, 1999, 15(5): 333 - 334.
- [16] 田家玮,李英杰,孙静,等. 三维超声心动图评价小儿房间隔缺损及动脉导管未闭的左心室功能[J]. *中华物理医学杂志*, 1991, 13(4): 198 - 200.
- [17] 谢明星,王新房,李治安,等. 动态三维超声心动术中应用初步探讨[J]. *中国超声医学杂志*, 1999, 15(3): 173 - 176.
- [18] 石艳芬,吴晓岩,刘淑丽,等. 多巴酚丁胺负荷三维超声心动图预测法乐四联症根治术后低心排综合征[J]. *中华超声影像学杂志*, 1999, 8(1): 11 - 13.
- [19] 孙锟,陈树宝,张玉奇. 经皮弹簧圈动脉导管未闭堵塞手术前后三维超声心动图的应用价值[J]. *中国医学影像技术*, 1999, 15(1): 32 - 33.
- [20] Nelson TR, Pretorius DH, Sklansky M, et al. Three-dimensional echocardiographic evaluation of fetal heart anatomy and function: acquisition, analysis, and display [J]. *J-Ultrasound - Med*, 1996, 15(1): 1 - 9 quiz 11 - 12.
- [21] Sklansky MS, Nelson TR, Pretorius DH. Usefulness of gated three-dimensional fetal echocardiography to reconstruct and display structures not visualized with two-dimensional imaging [J]. *Am J Cardiol*, 1997, 80(5): 665 - 668.
- [22] Chang FM, Hsu KF, Ko HC, et al. Fetal heart volume assessment by three-dimensional ultrasound [J]. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 1997, 9(1): 42 - 48.

(本文编辑:吉耕中)