

## ❖ 先天性心脏病影像诊断

## Feasibility of measuring right ventricular outflow tract with full-volume three-dimensional echocardiography

MA Xiao-jing<sup>1</sup>, HUANG Guo-ying<sup>1,2\*</sup>, JIA Bing<sup>1</sup>, LIU Fang<sup>1</sup>, WU Lin<sup>1</sup>

(1. Pediatric Heart Center, Children's Hospital of Fudan University, Shanghai 201102, China;

2. Institute of Biomedical Science, Fudan University, Shanghai 200032, China)

**[Abstract]** **Objective** To evaluate the reliability of measuring right ventricular outflow tract (RVOT) with sectional imaging extracted from full-volume three-dimensional echocardiography (FV3DE) dataset. **Methods** Eighteen cases of tetralogy of Fallot (TOF) aged (3.2 ± 4.5) years were recruited in the study. Two-dimensional echocardiography (2DE), FV3DE and angiography were used to measure RVOT. Measurements were fulfilled in the transverse sectional view of infundibulum, pulmonary valve annulus (PVA), main pulmonary artery (MPA), left pulmonary artery (LPA) or right pulmonary artery (RPA) extracted from FV3DE dataset. **Results** No significant difference was observed between FV3DE and 2DE in the anterior-posterior diameter of infundibulum ( $t = -0.865$ ,  $P = 0.399$ ). Interestingly, smaller anterior-posterior diameter was revealed as compared with lateral diameter by FV3DE ( $t = -13.968$ ,  $P = 0.000$ ), suggesting the morphology of infundibulum of TOF was not circular shape. No significant difference was observed between FV3DE, 2DE and angiography in measuring the diameter of PVA ( $P > 0.05$ ). PVA measured by FV3DE and 2DE both well correlated with angiography ( $r = 0.899$  and  $r = 0.839$ , respectively). No significant difference was observed between FV3DE, 2DE and angiography in measuring LPA ( $P > 0.05$ ) and RPA ( $P > 0.05$ ). Both LPA and RPA measured by FV3DE and 2DE were well correlated with angiography (LPA:  $r = 0.947$  and  $r = 0.797$ ; RPA:  $r = 0.987$  and  $r = 0.831$ , respectively). The sectional area of infundibulum, PVA, MPA, LPA and RPA measured by FV3DE was (61.9 ± 33.0) mm<sup>2</sup>, (64.9 ± 32.5) mm<sup>2</sup>, (65.4 ± 25.9) mm<sup>2</sup>, (34.9 ± 17.1) mm<sup>2</sup> and (40.2 ± 21.0) mm<sup>2</sup>, respectively. The pulmonary diameter index (PDI) and the pulmonary area index (PAI) derived from FV3DE were well correlated with McGoon index and Nakata index derived from angiography ( $r = 0.877$  and  $r = 0.983$ , respectively). **Conclusion** Sectional imaging extracted from FV3DE dataset provides a new methodology, which is more reliable and accurate in measuring RVOT as compared with 2DE. The indices reflecting pulmonary arterial development such as PDI and PAI derived from FV3DE are also credible.

**[Key words]** Echocardiography; Right ventricular outflow tract

## 全容积三维超声定量评价右室流出道的可行性

马晓静<sup>1</sup>, 黄国英<sup>1,2\*</sup>, 贾兵<sup>1</sup>, 刘芳<sup>1</sup>, 吴琳<sup>1</sup>

(1. 复旦大学附属儿科医院心血管中心, 上海 201102; 2. 复旦大学生物医学研究院, 上海 200032)

**[摘要]** **目的** 评价从全容积三维超声心动图(FV3DE)数据库中截取的感兴趣区切面观测量右室流出道的可行性。 **方法** 18例法洛四联症患者纳入研究, 年龄(3.2 ± 4.5)岁。采用二维超声心动图(2DE)、FV3DE和心血管造影同时测量右室流出道。FV3DE采用漏斗部、肺动脉瓣环、肺动脉主干、左肺动脉或右肺动脉的横截面切面观进行测量。 **结果** 漏斗部前后径的FV3DE和2DE测值差异无统计学意义( $t = -0.865$ ,  $P = 0.399$ )。FV3DE显示漏斗部的前后径小于左右径( $t = -13.968$ ,  $P = 0.000$ ), 提示法洛四联症漏斗部的横截面类似于椭圆形。肺动脉瓣环直径的FV3DE、2DE与心血管造影测值差异无统计学意义( $P > 0.05$ ), 且均与心血管造影测值良好相关( $r = 0.899$ 和 $r = 0.839$ )。左、右肺动脉直径的FV3DE、2DE与心血管造影测值差异无统计学意义( $P > 0.05$ ), 且均与心血管造影测值良好相关(左肺动脉: $r = 0.947$ 和 $r = 0.797$ ; 右肺动脉: $r = 0.987$ 和 $r = 0.831$ )。从FV3DE数据库中截取的切面观还可测量漏斗部、肺动脉瓣环、肺动脉主干以及左、右肺动脉的横截面积, 分别为(61.9 ± 33.0) mm<sup>2</sup>、(64.9 ± 32.5) mm<sup>2</sup>、(65.4 ± 25.9) mm<sup>2</sup>、(34.9 ± 17.1) mm<sup>2</sup>和

**[基金项目]** 上海市重点学科建设基金(B112)。

**[作者简介]** 马晓静(1977-), 女, 江苏无锡人, 博士, 主治医师。研究方向: 小儿心血管疾病的诊治。E-mail: mirror1159@yahoo.com.cn

**[通讯作者]** 黄国英, 复旦大学附属儿科医院心血管中心, 201102。E-mail: gyhuang@shmu.edu.cn

**[收稿日期]** 2008-10-06 **[修回日期]** 2008-11-25

( $40.2 \pm 21.0$ ) mm<sup>2</sup>。由 FV3DE 得到的肺动脉直径指数 (PDI) 和肺动脉截面积指数 (PAI) 与心血管造影的 McGoon 指数和 Nakata 指数均良好相关 ( $r=0.877$  和  $r=0.983$ )。结论 从 FV3DE 数据库中截取的切面观测量右室流出道的比传统 2DE 切面观的测值更准确。由 FV3DE 得到的 PDI 和 PAI 是反映肺动脉发育状况的可信指标。

[关键词] 超声心动描记术; 右室流出道

[中图分类号] R541.1; R445.1 [文献标识码] A [文章编号] 1003-3289(2009)02-0172-05

近年来出现的全容积三维超声心动图 (full-volume three-dimensional echocardiography, FV3DE) 不但为心血管疾病的定性诊断提供了全新的视野, 而且在定量诊断方面显示出传统二维超声心动图 (two-dimensional echocardiography, 2DE) 所无法比拟的优越性<sup>[1-5]</sup>。无论是经胸超声还是经食管超声, 由于探查角度受限, 2DE 切面观测量心血管腔径或面积往往会出现低估或高估, 影响治疗决策的制定。从 FV3DE 数据库中任意截取的切面观则可获得理想的测量平面, 提高测量准确性。由于 FV3DE 可以显示瓣环或缺损的 *en face* 切面观, 从而避免圆形假设, 其在瓣膜病和间隔类缺损中的定量诊断价值已得到证实<sup>[6-8]</sup>。本研究旨在探索 FV3DE 定量评价右室流出道 (right ventricular outflow tract, RVOT) 的可行性。

### 1 资料与方法

1.1 研究对象 2006 年 10 月—2007 年 10 月, 18 例法洛四联症 (tetralogy of Fallot, TOF) 患儿在我院心血管中心同时接受了 2DE 和 FV3DE 检查, 并在 1 周内接受心血管造影检查。患儿年龄为 ( $3.2 \pm 4.5$ ) 岁, 体重为 ( $12.7 \pm 7.1$ ) kg。

1.2 仪器与设备 采用 Philips/iE33 超声诊断仪 (Philips Ultrasound, Bothell, Washington, USA), 配备 3~6 MHz 的超矩阵探头 X7-2 用于 FV3DE 采样, 3~8 MHz 的探头 S8 用于 2DE 探测。采用兼容的 Philips QLAB Version 5.0 (Philips Medical System, USA) 软件进行后处理和测量。

1.3 FV3DE 图像采集 在安静状态下 (不合作者予以 10% 水合氯醛口服镇静, 剂量为 30~50 mg/kg), 取半左侧卧位, 采用 X7-2 探头在左侧胸骨旁显示胸骨旁主动脉短轴观二维图像, 调整增益和对比度, 当图像质量最佳时, 启动全容积成像功能键 (full volume), 显示屏上出现两幅相互正交的双平面图像, 调整探头位置或角度, 使之包含整个 RVOT, 然后启动采集键 (Acquire), 即刻心电图自动触发, 在 4 个连续的心动周期内收集 4 个相邻厚度为 15° 的窄角立体图像, 依序排列叠加形成 60°×60° 的 FV3DE 图像数据库 (图 1), 存入光盘以备定量分析。对同一患儿进行多次采样以获得满意的 FV3DE 数据库。

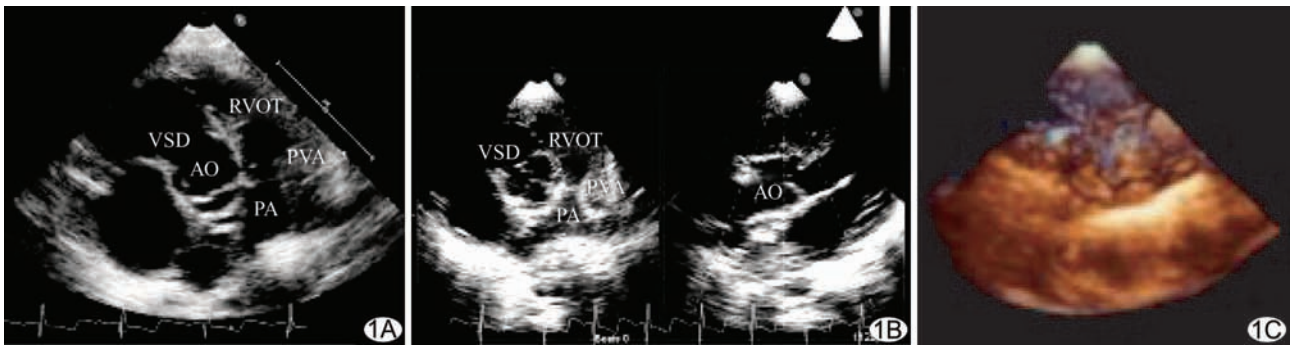


图 1 胸骨旁主动脉短轴 FV3DE 数据库采集过程 A. 二维超声胸骨旁主动脉短轴切面观; B. 相互正交的双平面图像; C. 胸骨旁主动脉短轴 FV3DE 数据库。AO: 主动脉; VSD: 室间隔缺损; RVOT: 右室流出道; PVA: 肺动脉瓣环; PA: 肺动脉

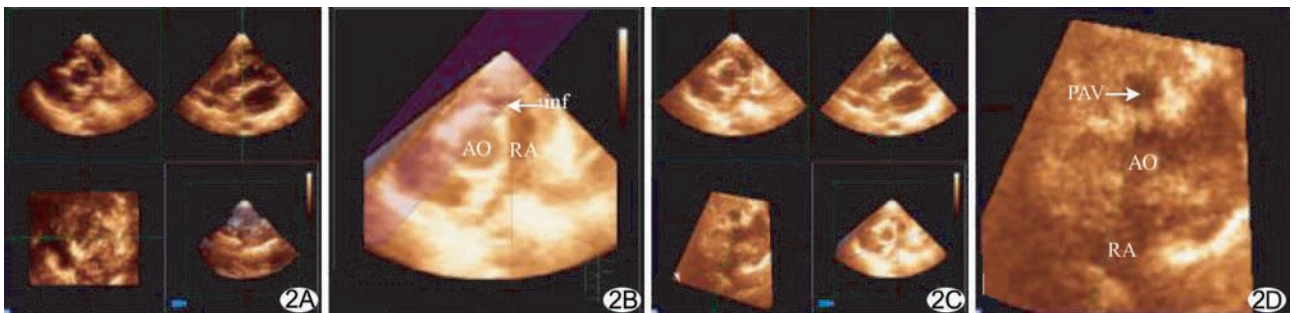
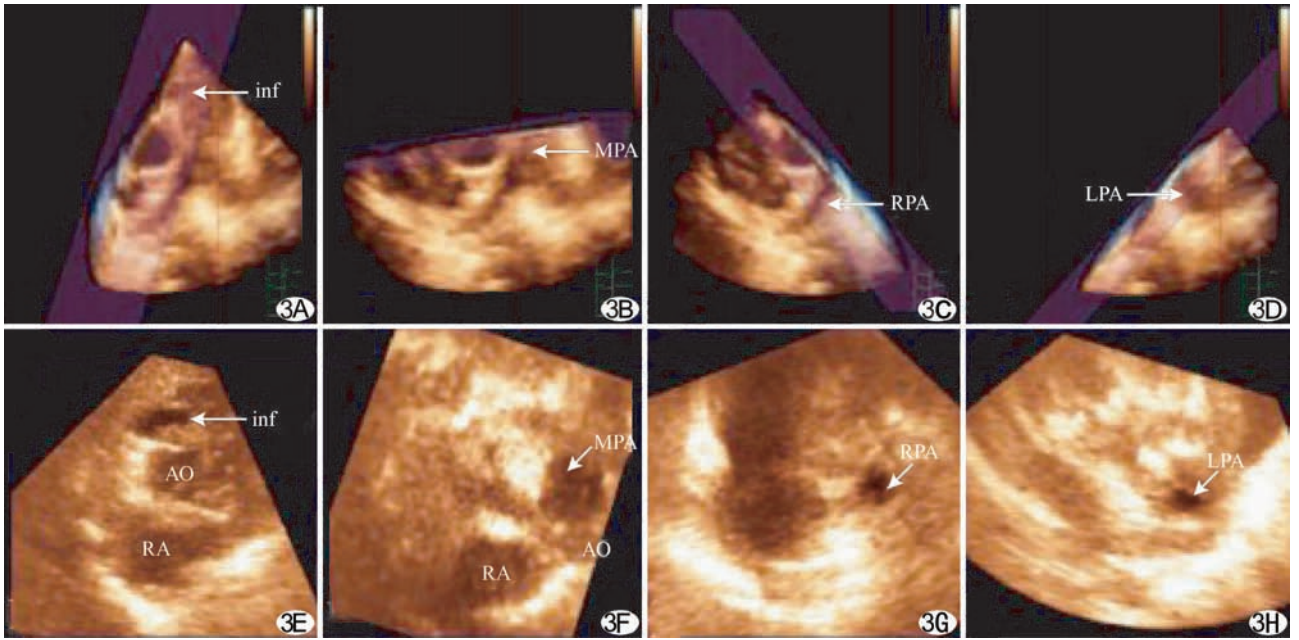
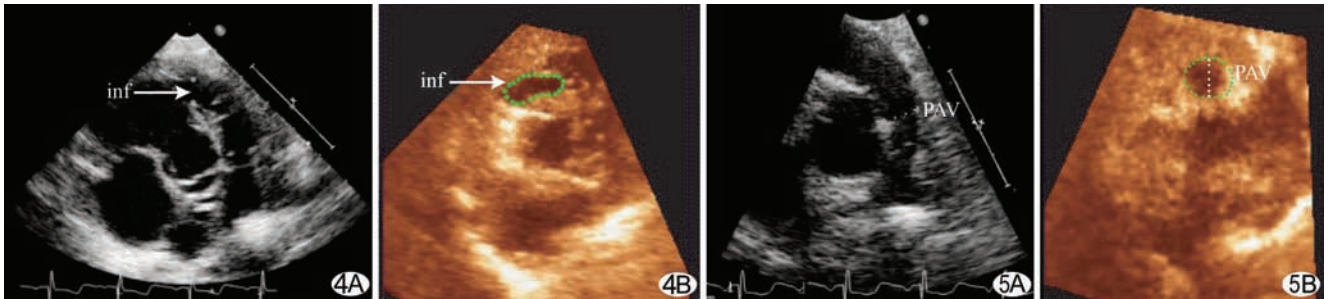


图 2 肺动脉瓣环测量平面 A. 胸骨旁主动脉短轴 FV3DE 数据库, MPR 模式显示相互正交的三平面图像; B. 以胸骨旁主动脉短轴为参考平面, 调整任意剖切位置 (以紫色剖切平面表示), 使之位于 PVA 平面; C. 三平面图像, 左上象限为胸骨旁主动脉短轴切面观, 左下象限为 PVA 短轴切面观; D. 放大的 PVA 短轴切面观。inf: 漏斗部; PA: 肺动脉; AO: 主动脉; PVA: 肺动脉瓣环; RA: 右心房



**图 3** 漏斗部、肺动脉主干和左、右肺动脉测量平面 A. 以胸骨旁主动脉短轴观为参考平面,调整任意剖切位置(以紫色剖切平面表示),使之位于漏斗部; B. 任意剖切 MPA(以紫色剖切平面表示); C. 任意剖切 RPA(以紫色剖切平面表示); D. 任意剖切 LPA(以紫色剖切平面表示); E. 漏斗部短轴切面观; F. MPA 短轴切面观; G. RPA 短轴切面观; H. LPA 短轴切面观。RVOT:漏斗部; MPA:肺动脉主干; RPA:右肺动脉; LPA:左肺动脉; AO:主动脉; RA:右心房



**图 4** 2DE 和 FV3DE 测量漏斗部的比较 A. 2DE 采用胸骨旁主动脉短轴观测量漏斗部(以绿点表示); B. 3DE 采用漏斗部短轴切面观测量漏斗部(以绿点表示)。 inf:漏斗部 **图 5** 2DE 和 FV3DE 测量 PVA 的比较 A. 2DE 采用胸骨旁肺动脉长轴观测量 PVA(以绿点表示); B. 3DE 采用 PVA 短轴切面观测量 PVA(以绿点表示)。 PAV:肺动脉瓣环

**1.4 FV3DE 图像后处理** 使用 QLAB 工作站的 3DQ Quantification 插件,调入胸骨旁主动脉短轴 FV3DE 数据库,进入 MPR 显像模式,在屏幕上同时显示互为正交的三平面图像(图 2A);启动任意剖切功能键(Plane Adjust),以胸骨旁主动脉短轴为参考平面,调整任意剖切位置,使之通过肺动脉瓣环(pulmonary valvular annulus, PVA),从而得到 PVA 短轴切面观;点击功能键 Zoom,在放大的图像上进行测量(图 2B-D)。以胸骨旁主动脉短轴为参考平面,调整任意剖切位置,使之分别通过漏斗部、肺动脉主干(main pulmonary annulus, MPA)、右肺动脉(right pulmonary artery, RPA)和左肺动脉(left pulmonary artery, LPA)(图 3D),分别得到漏斗部短轴切面观、MPA 短轴切面观、RPA 短轴切面观和 LPA 短轴切面观(图 3)。

**1.5 测量参数** 所有的测量均在舒张末期进行。漏斗部:将室上嵴处的短轴切面观作为测量平面,在该切面观中测量漏

斗部的前后径、左右径和截面积。PVA:在 PVA 短轴切面观中测量 PVA 的直径和截面积。MPA:将 PVA 与肺动脉分叉之间中点所在的短轴切面观作为测量平面,在该切面观中测量 MPA 的直径和截面积。RPA 和 LPA:将 RPA 或 LPA 起始处所在的短轴切面观作为测量平面,在该切面观中测量 LPA 或 RPA 的直径和截面积。肺动脉直径指数(pulmonary diameter index, PDI):定义为起始处的 RPA 与 LPA 直径之和除以主动脉根部直径。肺动脉截面积指数(pulmonary area index, PAI)定义为起始处的 RPA 与 LPA 面积之和除以体表面积。  
**1.6 统计方法** 采用 SPSS 11.5 统计软件。所有计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示。两组均数之间的比较采用 Student's *t* 检验,多组均数之间的比较采用单因素方差分析,相关性分析采用 Pearson 检验,对有意义的相关建立回归方程式。 $P < 0.05$  为差异具有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 FV3DE 定量评价漏斗部** 2DE 采用胸骨旁主动脉短轴观测量漏斗部的前后径; FV3DE 采用漏斗部短轴切面观, 可同时测量漏斗部的前后径和左右径, 并可测量截面积(图 4)。漏斗部前后径的 FV3DE 测值与 2DE 测值之间差异无统计学意义 [(6.5 ± 2.0)mm vs (6.7 ± 2.1)mm,  $t = -0.865$ ,  $P = 0.399$ ]。FV3DE 测值显示前后径小于左右径 [(6.5 ± 2.0)mm vs (11.0 ± 3.2)mm,  $t = -13.968$ ,  $P = 0.000$ ]。

**2.2 FV3DE 定量评价 PVA** 2DE 采用胸骨旁肺动脉长轴观测量 PVA; FV3DE 采用 PVA 短轴切面观测量 PVA(图 5)。PVA 直径的 FV3DE、2DE 和心血管造影测值分别为 (9.0 ± 2.0)mm、(8.4 ± 2.3)mm 和 (9.5 ± 1.8)mm, 三者之间均未见显著性差异 ( $P > 0.05$ )。PVA 直径的 FV3DE、2DE 与心血管造影测值均有较好的相关性, FV3DE 测值较接近心血管造影测值。回归方程式分别为  $Y = 0.815X_1 + 2.186$  ( $r = 0.899$ ,  $P = 0.000$ ) 和  $Y = 0.661X_2 + 3.968$  ( $r = 0.839$ ,  $P = 0.000$ ), 其中 Y 为心血管造影测值,  $X_1$  为 FV3DE 测值,  $X_2$  为 2DE 测值(图 6)。

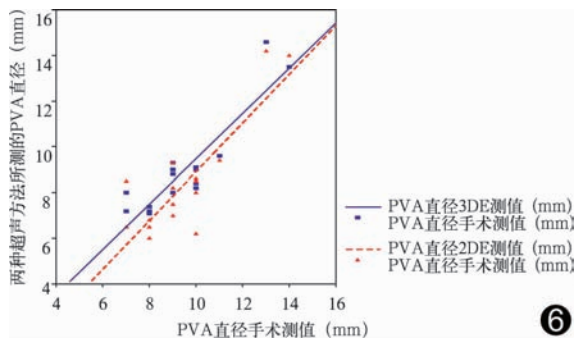


图 6 两种超声方法 PVA 直径测值和心血管造影测值之间的相关图

**2.3 FV3DE 定量评价 LPA 和 RPA** 2DE 采用胸骨旁肺动脉长轴观测量 LPA 和 RPA, FV3DE 分别采用 LPA 短轴切面观和 RPA 短轴切面观测量 LPA 和 RPA(图 7)。LPA 直径的 FV3DE、2DE 和心血管造影测值分别为 (6.4 ± 1.6)mm、(5.6 ± 1.9)mm 和 (6.8 ± 2.0)mm, 三者之间差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。RPA 直径的 FV3DE、2DE 和心血管造影测

值分别为 (7.0 ± 1.9)mm、(6.4 ± 1.8)mm 和 (7.4 ± 2.3)mm ( $P > 0.05$ )。

LPA 和 RPA 直径的 FV3DE、2DE 与心血管造影测值均有较好的相关性, FV3DE 测值均较接近心血管造影测值。LPA 测值的回归方程式分别为:  $Y = 1.201X_1 - 0.867$  ( $r = 0.947$ ,  $P = 0.000$ ),  $Y = 0.835X_2 + 2.084$  ( $r = 0.797$ ,  $P = 0.000$ ), 其中 Y 为心血管造影测值,  $X_1$  为 FV3DE 测值,  $X_2$  为 2DE 测值。RPA 测值的回归方程式分别为:  $Y = 1.189X_3 - 0.989$  ( $r = 0.987$ ,  $P = 0.000$ ),  $Y = 1.045X_4 + 0.663$  ( $r = 0.831$ ,  $P = 0.000$ ), 其中 Y 为心血管造影测值,  $X_3$  为 FV3DE 测值,  $X_4$  为 2DE 测值。

**2.4 FV3DE 定量评价 RVOT 不同部位的截面积** 从 FV3DE 数据库中截取的切面观还可测量漏斗部、PVA、MPA、LPA 和 RPA 的截面积, 分别为 (61.9 ± 33.0)mm<sup>2</sup>、(64.9 ± 32.5)mm<sup>2</sup>、(65.4 ± 25.9)mm<sup>2</sup>、(34.9 ± 17.1)mm<sup>2</sup> 和 (40.2 ± 21.0)mm<sup>2</sup>。

**2.5 FV3DE 测量 PDI 和 PAI** 心血管造影反映肺动脉发育情况的指数: McGoon 指数 = (LPA 直径 + RPA 直径)/膈肌处的降主动脉直径; Nakata 指数 = (LPA 近第一分支处的血管截面积 + RPA 近第一分支处的血管截面积)/体表面积。本组 McGoon 指数为 (1.68 ± 0.49), Nakata 指数为 (186.07 ± 126.00)mm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>。由 FV3DE 得到的 PDI 为 (0.73 ± 0.21), PAI 为 (162.13 ± 91.36)mm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>。PDI 与 McGoon 指数有较好的相关性, 回归方程式为:  $Y_1 = 2.070X_1 + 0.180$  ( $r = 0.877$ ,  $P = 0.000$ ), 其中  $Y_1$  为 McGoon 指数,  $X_1$  为 PDI。PAI 与 Nakata 指数亦有较好的相关性, 回归方程式为:  $Y_2 = 1.356X_2 - 33.702$  ( $r = 0.983$ ,  $P = 0.000$ ), 其中  $Y_2$  为 Nakata 指数,  $X_2$  为 PAI, 单位为 mm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>。

## 3 讨论

RVOT 梗阻是常见的先天性心脏大血管畸形, 可与多种复杂型先天性心脏病合并存在, 是 TOF 的重要畸形之一, 其部位和程度决定了 TOF 患儿的手术方法和预后。因此, 提高对 RVOT 的定量诊断能力具有重要意义。既往测量 RVOT 主要采用 2DE 的胸骨旁主动脉短轴观或胸骨旁肺动脉长轴观, 由于上述切面仅能显示 RVOT 的侧面, 测量具有局限性, 不能准确地反映真实情况。FV3DE 则可截取得到 RVOT 短轴切面观, 有望提高测量准确性。

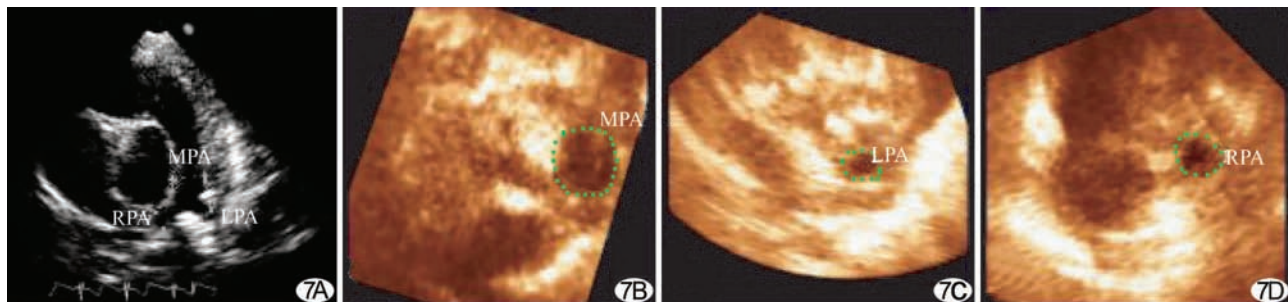


图 7 2DE 和 FV3DE 测量肺动脉的比较 2DE 采用胸骨旁肺动脉长轴观测量 MPA、LPA 和 RPA(A)(以绿点表示); FV3DE 分别采用 MPA、RPA 和 LPA 短轴切面观测量 MPA(B)、LPA(C) 和 RPA(D)(以绿点表示)。MPA: 肺动脉主干; LPA: 左肺动脉; RPA: 右肺动脉

“多平面重建后的切面观”是 FV3DE 数据库采集后的观察方法之一,即从 FV3DE 数据库中任意选取感兴趣的切面观进行观察,为心血管腔径和面积的测量提供了新的显像方式。Qin 等<sup>[9]</sup>采用 FV3DE 定量评价梗阻型肥厚性心肌病患者的左室流出道,发现 FV3DE 测得的左室流出道最小面积与最大流速之间的相关性高于 2DE 测得的二尖瓣前叶 E 峰至室间隔的距离(EPSS)与左室流出道最大流速之间的相关性,提示 FV3DE 测量左室流出道优于 2DE。

Anwar 等<sup>[10]</sup>采用 FV3DE 评价成人先天性心脏病的漏斗部,发现漏斗部的形态类似于卵圆形而不是圆形。本研究采用 FV3DE 评价儿童的 TOF,发现漏斗部前后径小于左右径,亦提示漏斗部的横断面并非圆形。

广义的 RVOT 包括漏斗部、PVA、MPA、LPA 和 RPA 等多个水平。TOF 的 RVOT 梗阻可包括上述一个或多个部位,因此,有必要进行全面评价以制定合理的手术方案。本研究结果提示,与 2DE 比较,PVA 直径的 FV3DE 测值与心血管造影测值的相关性更高,其测值更接近于心血管造影测值。由于超声共同的局限性,FV3DE 对外周血管的显示同样有困难,但仍可较清晰地显示近端肺血管。FV3DE 与 2DE 的不同之处在于可显示 LPA 或 RPA 的短轴切面观。LPA 和 RPA 直径的 FV3DE 测值与心血管造影测值相关性更高,其测值更接近于心血管造影测值。

McGoon 指数与 Nakata 指数是公认的评价肺动脉发育程度的金标准,但需要进行创伤性的心导管造影检查才能获得。本研究尝试用由 FV3DE 获得的 PDI 和 PAI 评价 TOF 的肺动脉发育情况,发现 PDI 与 McGoon 指数、PAI 与 Nakata 指数均有较好的相关性,可作为无创性评价肺动脉发育状况的新方法。另外,从 FV3DE 数据库中截取的漏斗部、PVA、MPA、LPA 和 RPA 短轴切面观可以直接测量其面积,这对于非规则圆形的结构如漏斗部具有重要的定量诊断意义。

#### [参考文献]

- [1] Lang RM, Mor-Avi V, Sugeng L, et al. Three-dimensional echocardiography: the benefits of the additional dimension. *J Am Coll Cardiol*, 2006, 48(10): 2053-2069.
- [2] Ota T, Kisslo J, Ramm OT, et al. Real-time, volumetric echocardiography: usefulness of volumetric scanning for the assessment of cardiac volume and function. *J Cardiol*, 2001, 37(1): 93-101.
- [3] Fei HW, Wang XF, Xie MX, et al. Validation of real-time three-dimensional echocardiography for quantifying right ventricular. *Chin J Med Imaging Technol*, 2003, 19(5): 532-534.  
费洪文, 王新房, 谢明星, 等. 实时三维超声心动图测量右室容积的实验研究. *中国医学影像技术*, 2003, 19(5): 532-534.
- [4] Wang J, Wang XF, Xie MX, et al. Clinical study on the evaluation of right ventricular systolic function by real-time three-dimensional echocardiography. *Chin J Med Imaging Technol*, 2003, 19(5): 539-541.  
王静, 王新房, 谢明星, 等. 实时三维超声心动图评价右室收缩功能的初步临床研究. *中国医学影像技术*, 2003, 19(5): 539-541.
- [5] Wang X, Zhang M, Zhang Y, et al. Atrial and ventricular volumes and ejection functions assessed by real-time three-dimensional echocardiography in the patients with coronary artery disease and cardiomyopathy. *Chin J Med Imaging Technol*, 2006, 22(4): 500-503.  
王雪, 张梅, 张运, 等. 实时三维超声心动图定量冠心病、扩张型心肌病心房和心室容积及功能的研究. *中国医学影像技术*, 2006, 22(4): 500-503.
- [6] Poutanen T, Tikanoja T, Sairanen H, et al. Normal mitral and aortic valve areas assessed by three- and two-dimensional echocardiography in 168 children and young adults. *Pediatr Cardiol*, 2006, 27(2): 217-225.
- [7] Xie MX, Yuan L, Cai C, et al. Initial exploration into measurement of stenotic mitral valve orifice area by real-time three-dimensional echocardiography. *Chin J Ultrasonogr*, 2006, 15(12): 881-884.  
谢明星, 袁莉, 蔡超, 等. 实时三维超声心动图测量二尖瓣狭窄瓣口面积的初步探讨. *中华超声影像学杂志*, 2006, 15(12): 881-884.
- [8] Chen FL, Hsiung MC, Nanda NC, et al. Real-time three-dimensional echocardiography in assessing ventricular septal defects: an echocardiographic - surgical correlative study. *Echocardiography*, 2006, 23(7): 562-568.
- [9] Qin JX, Shiota T, Lever HM, et al. Impact of left ventricular tract area on systolic outflow velocity in hypertrophic cardiomyopathy: a real-time three-dimensional echocardiography study. *J Am Coll Cardiol*, 2002, 39(2): 308-314.
- [10] Anwar AM, Soliman O, van den Bosch AE, et al. Assessment of pulmonary valve and right ventricular outflow tract with real-time three-dimensional echocardiography. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2007, 23(2): 167-175.