

中国动脉导管未闭介入治疗指南 2017

中华医学会心血管病分会结构性心脏病学组

中国医师协会心血管内科医师分会结构性心脏病专业委员会

【关键词】 动脉导管未闭; 封堵器; 专家共识

【中图分类号】 R541

1 前言

动脉导管是胎儿时期肺动脉与主动脉间的正常血流通道。胎儿出生后,肺膨胀并承担气体交换功能,肺循环和体循环各司其职,导管可在数月内因废用而闭合,如 1 岁后仍持续不闭合,即为动脉导管未闭(patent ductus arteriosus, PDA)^[1],其可单独存在或与其他任何形式的先天性心脏病并存。PDA 最常合并室间隔缺损(ventricular septal defect, VSD)及房间隔缺损(atrial septal defect, ASD)^[2]。成人中等直径($4\text{ mm} \leq \text{直径} < 10\text{ mm}$) PDA 存在左心室容量负荷升高或者肺动脉高压的趋势,成人大直径(直径 $\geq 10\text{ mm}$) PDA 可发展为艾森门格综合征(eisenmenger syndrome, ES)^[3]。

PDA 是一种较常见的先天性心血管畸形,占先天性心脏病的 10%~21%,多见于女性^[4]。早产儿发病率明显增加,体重 $< 1\text{ kg}$ 发病率高达 80%^[4]。1967 年 Porstmann 等^[5]应用 Ivaion 栓子成功封堵世界首例 PDA 患者。1977 年 Rashkind 等经静脉途径送入伞形补片闭合 PDA 成功,1992 年 Cambier 采用弹簧钢圈堵闭 PDA,1997 年 Masura 等开始采用 Amplatzer 封堵器治疗 PDA^[6]。我国于 1983 年开展 PDA 介入治疗,1998 年引进 Amplatzer 封堵器^[6]。目前 PDA 介入封堵术因其创伤小、疗效好、恢复快,已逐渐成为治疗 PDA 的首选方案^[7]。中华医学会心血管病分会结构性心脏病学组、中国医师协会内科分会结构性心脏病专业委员会在近年临床医学证据的基础上,结合我国的临床实践,对这一领域的治疗决策、治疗方案、特殊患者处理、围术期药物治疗、二级预防等问题进行了全面讨论。参考新近发布的

国际相关指南,择其更新的重要学术内容,达成共识,编写了本指南。

2 PDA 介入治疗适应证

根据我国的实际情况,在国内、外相关指南的基础上,本指南修订我国 PDA 介入治疗的适应证^[2-9](表 1)。

本指南对推荐类别的表述沿用国际通用的方式:

I 类:指已证实和(或)一致公认有益、有用和有效的操作或治疗,推荐使用。

II 类:指有用/有效的证据尚有矛盾或存在不同观点的操作或治疗。

II a 类:有关证据/观点倾向于有用/有效,应用这些操作或治疗是合理的。

II b 类:有关证据/观点尚不能被充分证明有用/有效,可以考虑应用。

III 类:指已证实和(或)一致公认无用和(或)无效,并对一些病例可能有害的操作或治疗,不推荐使用。

对证据来源的水平表达如下:

证据水平 A:资料来源于多项随机临床试验或荟萃分析。

证据水平 B:资料来源于单项随机临床试验或多项非随机对照研究。

证据水平 C:仅为专家共识意见和(或)小规模研究、回顾性研究、注册研究。

3 操作要点

3.1 术前准备

完善各项术前检查,如心电图、X 线胸片、超声心动图及相关实验室检查,必要时配血备用。准备必要的抢救药物、监护及急救设备^[2]。签署知情同意书。

3.2 心导管检查术

成人可采用局麻,儿童或不能配合手术者采用全麻。穿刺股动、静脉,常规静脉推注肝素 100 U/kg。经股静脉行右心室导管检查,测量血流动力学指标,评估体-肺循环分流量、计算肺循环血流量、肺循环血管阻力、体循环血管阻力、肺小动脉阻力及肺动脉压力等。根据《2015 年先天性心脏病相关性肺动脉高压诊治中国专家共识》^[10],将先天性心脏病相关性肺动脉高压的严重程度进行分级(表 2)。继发重度肺动脉高压者,必要时行急性血管反应试验及试封堵术。经股动脉应用猪尾导管,选择左侧位(LAO) 90°体位下行主动脉弓降部造影,如不能清楚显示 PDA,可采用右前斜位(RAO)多投射角度(45°~75°)^[11]。根据 PDA 血管造影术的结果,Krichenko 等^[12]将 PDA 形态分为 5 型,即漏斗形(a 型)、短管形(b 型)、长管形(c 型)、狭窄形(d 型)、怪异形(e 型),应根据测量的直径和长度选择封堵器。

3.3 封堵器的选择

目前,常用的 PDA 封堵器有 Amplatzer 封堵器

及国产蘑菇型封堵器、第 II 代 Amplatzer 封堵器(ADO II)、弹簧圈、成角型封堵器及血管塞封堵器(第 I 代和第 II 代)^[13]。PDA 直径≤2.0 mm 的可选用可控弹簧圈,PDA 直径≤4.0 mm 的短管形者可选用 ADO II^[13]。选择的弹簧圈直径至少为 PDA 最窄处的 2 倍^[14]。ADO II 可通过 4 F 或 5 F 输送鞘管,适合婴儿及管形、不规则形 PDA 的封堵^[15]。直径>2.0 mm 的漏斗形 PDA 可选用 Amplatzer 封堵器,选择的封堵器直径比 PDA 最窄处大 2~6 mm^[13]。患儿因年龄较小,导管处管壁弹性越好,可选择偏大的封堵器,一般比 PDA 最窄处直径大 4~6 mm。因外科手术及中老年人导管处管壁弹性差,应选择直径偏小的封堵器,一般比 PDA 最窄处直径大 2~3 mm^[13]。大直径 PDA 患者(未成年人 PDA 直径≥6 mm、成人 PDA 直径≥10 mm)选择的封堵器应偏大,应比最窄处直径大 1 倍以上^[16]。管形 PDA 可选择成角型封堵器、血管塞封堵器,以避免封堵后造成主动脉或左肺动脉狭窄^[16-18]。

3.4 封堵术操作

3.4.1 Amplatzer 及国产蘑菇型封堵器 经股静脉

表 1 PDA 介入治疗适应证

| 推荐 | 推荐等级 | 证据水平 | 证据来源 |
|--|------|------|-------|
| 体重≥4 kg | I | C | [8] |
| PDA 合并左心房和(或)左心室扩大 | I | C | [2] |
| 存在 PAH, PAP < 体循环压力的 2/3 或 PVR < SVR 的 2/3 | I | C | [3] |
| 存在 PAH, PAP > 体循环压力的 2/3 或 PVR > SVR 的 2/3,但表现为单纯左向右分流 | II a | C | [3] |
| 合并感染性心内膜炎,但已控制 3 个月 | II a | C | [9] |
| 有连续性杂音的小直径 PDA | II a | C | [3-8] |
| 无杂音的小直径 PDA | II b | C | [3-8] |
| PAH 表现为单纯右向左分流 | III | C | [3-8] |
| 合并需外科手术矫正的心脏畸形 | III | C | [9] |
| 依赖 PDA 生存的心脏畸形 | III | C | [9] |

注: PDA, 动脉导管未闭; PAH, 肺动脉高压; PAP, 肺动脉压; PVR, 肺循环血管阻力; SVR, 体循环血管阻力

表 2 先天性心脏病相关性肺动脉高压分级

| 项目 | 正常 | 轻度 | 中度 | 重度 |
|--------------------------------|-------|-----------|-----------|-------|
| 肺动脉收缩压(mmHg) | 15~30 | 31~45 | 46~70 | >70 |
| 肺动脉平均压(mmHg) | 10~20 | 26~40 | 41~55 | >55 |
| 肺血管阻力(dyn·s/cm ⁵) | ≤250 | 251~560 | 561~800 | >800 |
| 肺/体循环压力比值 | ≤0.3 | 0.31~0.45 | 0.46~0.75 | >0.75 |
| 肺/体循环阻力比值 | ≤0.3 | 0.31~0.45 | 0.46~0.75 | >0.75 |

注: 1 mmHg=0.133 kPa

送入端孔导管至肺动脉,通过 PDA 将直径 0.9 mm,长 260 cm 的加硬导丝送至降主动脉,保留导丝,撤出端孔导管。如遇经静脉侧送入加硬导丝通过 PDA 困难的患者,可从股动脉侧应用右冠状动脉导管,送入一根超滑长导丝通过 PDA 至肺动脉或上腔静脉,再经股静脉侧送入抓捕器,抓取长导丝头端并拉出体外,建立股动脉-降主动脉-PDA-肺动脉-右心室-右心房-下腔静脉-股静脉轨道。X 线透视下沿导丝将相应直径的输送鞘管送入降主动脉,撤出导丝;将所选的 Amplatzer 封堵器安装于输送钢缆顶端,沿输送鞘管将封堵器送至降主动脉,并释放封堵器的主动脉侧伞盘;再将整个系统一起回撤至 PDA 的肺动脉侧,固定钢缆,并后退输送鞘管直至封堵器全部展开,可见封堵器腰部嵌于 PDA 内。观察 5~10 min 后可从传导管内注入对比剂观察或者需从对侧股动脉穿刺,送入猪尾导管,行主动脉造影。若证实封堵器位置合适,无残余分流或仅存在微量分流时,可逆时针旋转钢缆,将封堵器完全释放,撤出导管,压迫止血^[8,11,19-21]。

3.4.2 弹簧圈 包括可控和非可控型弹簧圈,目前主要应用可控弹簧圈,较少应用非可控型弹簧圈。封堵方法包括经股静脉顺行法和经股动脉逆行法^[22-24]。

(1) 经股静脉顺行法:经股静脉送入端孔导管至肺动脉,经 PDA 将直径 0.9 mm,长 260 cm 的加硬导丝送至降主动脉,保留导丝,撤出端孔导管,在 X 线透视下沿导丝将相应直径的输送鞘管送入降主动脉,选择适当直径的可控型弹簧圈经输送鞘管送入降主动脉,将 2~3 圈置于 PDA 的主动脉侧,1~2 圈置于 PDA 的肺动脉侧。观察 5~10 min 后重复主动脉弓降部造影,如弹簧圈位置合适、成形满意、无或微量残余分流,可操纵旋转柄释放弹簧圈,撤出导管,压迫止血^[8,11]。

(2) 经股动脉逆行法:穿刺股动脉,插入端孔导管至降主动脉,经 PDA 送入肺动脉,交换输送鞘管,选择适当直径的可控型弹簧圈经输送鞘管送入肺动脉,将 1~2 圈置于 PDA 的肺动脉侧,2~3 圈置于 PDA 的主动脉侧。观察 5~10 min 后重复主动脉弓降部造影,若弹簧圈位置、成形满意、无或微量残余分流,可操纵旋转柄释放弹簧圈,撤出导管,压迫止血^[8,11]。

4 术后处理及随访

(1) 血管穿刺部位加压包扎 6 h,患者平卧 20 h。

需观察以下几方面内容^[8]:心脏杂音、心率、血压。如果出现连续性心脏杂音,提示封堵器移位、脱落或存在残余分流,应及时行超声心动图检查观察穿刺局部组织是否出血或血肿;足背动脉搏动情况;患者尿液颜色,如果发现洗肉水或酱油色尿液,提示有溶血发生,应该密切观察及相应处理。(2) 无肺动脉高压的患者术后运动不受限制,合并肺动脉高压患者术后可进行低强度运动^[3]。(3) 术后定期随访,复查超声心动图、心电图等。超声心动图检查应包括左心房、左心室大小,左心室功能,肺动脉压,是否存在残余分流或相关病变^[3]。

值得注意的是,封堵术阻断了动脉水平的左向右分流,使左心室系统的血流量迅速、明显减少,大多数患者心室大小在短期内恢复正常。Amoogzar 等^[25]研究表明,PDA 患儿(年龄 >6 个月)接受介入治疗 1 个月后,左心室收缩功能及左心室舒张末期内径(left ventricular end-diastolic diameter, LVEDD)均得到明显改善。与此同时,Eerola 等^[26]研究指出,成人 PDA 接受介入治疗后,左心室射血分数(left ventricle ejection fraction, LVEF)、左心室舒张末期容积(left ventricular end-diastolic volume, LVEDV)于 6 个月随访时出现明显改善。在心功能恢复的时间方面,未成年人和成人之间存在差异。存在这种差异的可能原因为:行封堵术前,长期左向右分流导致前负荷过大而促使左心室显著扩大,甚至出现因心肌纤维过度拉伸而导致无法恢复的不可逆改变^[27]。此外,行封堵术后,导管处分流消失及肺循环阻力下降导致左心室后负荷突然增加可能影响左心室收缩功能^[28-29]。因此,对于封堵术后左心室仍然明显增大,尤其是术后半年左心室大小仍未恢复正常的患者,建议长期使用降低心脏后负荷,改善心肌重构的药物,直至其心脏大小完全恢复正常,以改善其预后^[30]。

5 并发症及其处理

目前,PDA 介入治疗操作方便、适应证范围广、相关并发症少。因此,只要严格选择适应证,规范手术操作,熟练掌握导管操作技术,严格进行术前、术中及术后监护,可将并发症发生率降至最低。

5.1 残余分流

介入治疗后可发生残余分流,根据残余分流直径大小分为三类:烟雾状、无喷射分流,直径 <2 mm 的小分流,直径 ≥2 mm 的大分流^[20]。在术后 10 min

通过超声心动图进行评估,弹簧圈和 Amplatzer 封堵器均可能有残余分流发生。置入 Amplatzer 封堵器后即刻 24% ~ 30% 有残余分流^[20-31],随访 1 ~ 3 个月 99.8% ~ 100% 患者可自行闭合。残余分流是使用弹簧圈的固有限制,如果置入第一个弹簧圈后 CT 血管造影(CTA, CT angiography) 发现存在残余分流,应置入第二个弹簧圈,若残余分流仍较大不宜继续行封堵,可考虑外科手术^[20]。

5.2 溶血

溶血与置入封堵器后存在残余分流及封堵器突入主动脉过多造成主动脉狭窄有关,由于残余分流时血液流速较快且呈湍流状态可造成红细胞破坏而发生溶血,常发生于术后 24 h 内^[32-33]。患者可出现洗肉水样或酱油色尿液,伴发热、黄疸、血红蛋白降低等症状,应立即给予止血、控制血压、补液治疗,激素、碳酸氢钠、利尿剂(预防肾小管堵塞)等药物治疗,保护肾功能,必要时输血。若经上述治疗仍无效或残余分流较大,可考虑采用可控弹簧栓子再次封堵,必要时行外科手术^[34]。

5.3 封堵器移位、脱落

封堵器移位或脱落是由于封堵器选择偏小造成的,术中推送封堵器切忌旋转钢缆以免发生封堵器脱落。一旦发生封堵器脱落,可应用抓捕器或异物钳及时取出,取出困难时应行急诊外科手术^[33, 35]。

5.4 三尖瓣腱索断裂

沿导丝送入输送鞘管过程中,如鞘管通过三尖瓣后有阻力不能顺利到达肺动脉,考虑其已穿过三尖瓣腱索,应重新建立轨道,切忌强行通过损伤三尖瓣腱索。

5.5 降主动脉狭窄或左肺动脉狭窄

降主动脉或左肺动脉狭窄主要是由于封堵器突入降主动脉或左肺动脉过多引起,轻度狭窄可密切观察,若狭窄严重应及时收回封堵器,或必要时行外科手术取出^[36]。

5.6 一过性高血压

一过性高血压常见于较大的左向右分流的 PDA 患者,由于术后体循环血量增加,使血压升高,可适当应用硝普钠、硝酸甘油等扩血管药物,密切观察血压变化^[37]。

5.7 血小板减少

血小板减少主要见于大直径(直径 ≥ 10 mm) PDA 封堵术后,由于血小板消耗、破坏过多所致,可使用糖皮质激素冲击治疗,有出血倾向者可输注

血小板^[34]。

5.8 导丝嵌顿

在 PDA 介入操作过程中送入加硬导丝时需要注意导丝远端不要送入过深,避免进入腹主动脉分支。当出现导丝不能回撤的情况时,可应用解痉药物,切忌强行撤出,否则容易导致导丝折断,甚至撕裂血管壁形成血管夹层^[38]。

5.9 其他

可能出现与穿刺相关的血管损伤、假性动脉瘤、动静脉瘘等并发症,其他罕见并发症包括感染性心内膜炎、心律失常、主动脉瓣反流、主动脉/肺动脉夹层、颅内出血等^[11]。

6 特殊情况下的 PDA 介入治疗

6.1 婴幼儿

婴幼儿 PDA 介入治疗对操作技术要求高,既往相关研究建议行介入治疗婴幼儿的体重应 > 5 kg^[24, 39-42];同时,Dimas 等^[43]提出接受介入治疗婴幼儿的安全体重应 ≥ 4 kg。然而,最近有几份体重 < 4 kg 的婴儿行导管介入封堵成功的病例报道^[44-45]。体重 < 4 kg 的婴儿,手术耐受力差,情况更复杂,介入操作更困难,X 线曝光时间更长^[46]。

既往研究表明,体重 < 4 kg 是发生动脉损伤、血栓形成的最强预测因素^[46]。为避免血管并发症发生,婴儿 PDA 封堵术可仅穿刺股静脉,封堵前后不必做降主动脉造影。Zahn 等^[45]设计出一种可在 X 线透视及超声心动图监测下避免穿刺动脉,经静脉判断 PDA 的形态、测量大小、并实施封堵的方法。若介入治疗过程必须进行股动脉穿刺,预防性应用抗血栓药物可能是获益的^[47]。

近年来,一些新型介入治疗器械不断应用于临床,如 ADO II (St Jude Medical, Minneapolis, MN) 只需使用 4 F 或 5 F 输送鞘管,可避免血管损伤,更适合封堵婴幼儿 PDA,提高介入治疗成功率^[15, 48-49]。另外,婴幼儿大直径(直径 ≥ 6 mm) PDA 封堵后易导致降主动脉及左肺动脉狭窄,应用成角型封堵器可避免降主动脉狭窄^[40]。

6.2 继发重度肺动脉高压

PDA 继发重度肺动脉高压患者,封堵之前确定肺动脉高压是否可逆至关重要^[50]。需完成完整的右心导管术,了解肺动脉及肺小动脉的压力、阻力,必要时结合急性血管反应试验、试封堵术等^[50]。介入治疗过程中行试封堵术是至关重要的,可用来评

价封堵效果及肺动脉高压逆转情况,相比于其他方法,封堵术更加方便、简易且安全、有效^[51]。如试封堵后肺动脉压力、阻力升高或主动脉压力下降,患者出现心悸气短、心前区不适、烦躁等全身症状,应立即收回封堵器。一旦患者出现 ES 的相关表现,肺动脉高压几乎不可逆转,介入治疗的成功率微乎其微^[52]。

Beghetti 等^[53]根据患者是否存在发绀将阻力型肺动脉高压再分为 ES 前期和 ES 期,其研究显示前者虽然已经是阻力型肺动脉高压,但并无发绀,这类患者是靶向药物治疗的重点,经治疗部分患者可能重获手术机会。Dimopoulos 等^[54]提出“Treat and repair”模式并已有成功病例报道。Beghetti 等^[55]建议对无手术适应证的患者给予靶向药物治疗 12 个月后以肺血管阻力指数 (pulmonary vascular resistance index, PVRI) $< 6 \text{ Wood U/m}^2$, 肺动脉阻力/全身血管阻力 (pulmonary resistance/ systemic resistance, Rp/Rs) < 0.3 作为界限,如果达到上述标准,则可行手术治疗,而未达标患者不宜再实施手术。

6.3 巨大 PDA

PDA 直径/主动脉直径 (PDA/Ao) > 0.5 为巨大 PDA^[20],常合并重度肺动脉高压。既往有报道称特制的 Amplatzer 封堵器几乎可以 100% 封堵巨大 PDA^[56]。封堵器型号的选择依据术中球囊测量的 PDA 直径,通常情况下,球囊测量的直径要较术中造影估测值大 2~3 mm^[51]。有研究显示,Amplatzer 肌部 VSD 封堵器由于双盘结构可使其自身固定于动脉导管处,避免封堵器掉入主动脉内导致栓塞,肌部 VSD 封堵器适用于巨大 PDA 的封堵^[51]。最近一项关于 Occlutech® PDA 封堵器的研究显示,新型封堵器以其个性化的柄形设计能够适应肺动脉压力增高的巨大 PDA^[57]。

6.4 老年 PDA 患者

年龄在 60 岁以上的老年 PDA 患者由于病程长,均有不同程度的左心室功能损伤、肺小动脉内膜增生和血管壁增厚等病理生理改变,从而使心功能不全和肺动脉压力升高^[58]。同时,老年患者导管壁弹性差,易纤维化或钙化,感染性心内膜炎或合并其他心内畸形,所以手术治疗的风险大大增加,易发生出血、心律失常等严重并发症^[59],因此老年 PDA 患者首选介入治疗^[60]。

老年患者心肺功能差,难以耐受长时间手术及相关并发症,故在术前应做好充分的准备,尽可能缩

短操作时间,减少对心脏的刺激^[58]。在术前评估中,正确地判断肺动脉压力尤为重要^[58]。介入手术过程中,操作动作应轻柔并避免反复多次释放和回收封堵器,以免引起动脉夹层或破裂。

6.5 外科术后 PDA 再通

据相关报道显示 PDA 外科结扎术后残余分流发生率为 6%~23%^[61-63]。多项研究表明经皮导管介入治疗是外科结扎术后残余分流的理想补救治疗方法^[18, 64-68]。外科结扎术后残余分流的 PDA 绝大多数经主动脉弓降部造影证实为 a 型^[10],既往研究显示,直径较小的及形态为 a 型导管的残余分流介入治疗效果非常好^[68]。

一般 PDA 术后残余分流直径 $< 2 \text{ mm}$,可采用 Cook 可控弹簧栓子,所选弹簧栓子直径要大于残余分流直径的 1 倍,若 PDA 术后残余分流直径 $\geq 2 \text{ mm}$,可采用 Amplatzer 封堵器或国产蘑菇型封堵器^[69]。因 PDA 外科术后局部组织粘连、纤维化及瘢痕形成,动脉导管的弹性降低、可伸展性变小,所选择封堵器的直径不宜过大,一般较残余分流直径大 1~2 mm 即可^[70-71]。

7 疗效评价

介入治疗的主要目的在于安全、有效地封堵 PDA,避免外科开胸手术^[20]。目前最广泛采用的方法是运用弹簧圈或 ADO II 封堵器封堵小直径 ($2.0 \text{ mm} \leq \text{直径} < 4.0 \text{ mm}$) PDA,而采用 Amplatzer 或国产封堵器封堵中 ($4 \text{ mm} \leq \text{直径} < 10 \text{ mm}$)、大直径 (直径 $\geq 10 \text{ mm}$) PDA^[20]。《2008 年美国心脏病学会/美国心脏协会成人先天性心脏病治疗指南》^[60]提出,成人 PDA 更适合接受介入治疗包括封堵器及弹簧圈封堵,介入治疗成功率高且并发症少。Pass 等^[20]进行的一项研究显示,入选全美 25 个中心 439 例 PDA 接受介入治疗,即刻完全封堵成功率为 76%,至出院时完全封堵率为 89%,随访 1 年,完全封堵率为 98%,重大不良事件 (死亡、封堵器栓塞、肺动脉部分受累、股动脉损伤、出血、高血压) 发生率为 2.3%,其中 1 例死亡。Magee 等^[72]进行的 European Coil 注册研究共入选 1258 例患者接受 Cook coil 弹簧圈介入治疗,入选患者平均 PDA 直径为 2 mm (0.2~6.2 mm),成功率为 82%,术后 1 年残余分流率为 5%,2 年为 4%。代政学等^[73]应用进口及国产蘑菇型封堵器介入治疗患儿 (年龄 2~12 岁,平均 7.6 岁) PDA,共入选 78 例患儿,介入成功率为

94% ,术后 30 min 完全封堵成功率为 70.3% ,24 h 内完全封堵率为 95.9% ,1 年时随访 ,完全封堵率为 100% ,3 例出现血管相关并发症 ,经对症处理后好转。经导管介入治疗 PDA 安全、可靠 ,术前充分评估、选择合适的封堵器、术中规范操作能提高手术成功率 ,减少并发症发生。

执笔人(按姓氏笔画排序):于波(哈尔滨医科大学附属第二医院),孔祥清(南京医科大学第一附属医院),张智伟(广东省人民医院),葛均波(复旦大学附属中山医院),韩雅玲(中国人民解放军原沈阳军区总医院),霍勇(北京大学第一医院)

参加指南讨论的专家组成员(按姓氏笔画排序):于波(哈尔滨医科大学附属第二医院),马长生(首都医科大学附属北京安贞医院),马依彤(新疆医科大学附属第一医院),马为(北京大学第一医院),王广义(中国人民解放军 301 医院),王诚(徐州医学院附属医院),王震(河北医科大学第一医院),孔祥清(南京医科大学第一附属医院),光雪峰(昆明市延安医院),朱鲜阳(中国人民解放军原沈阳军区总医院),伍伟锋(广西医科大学第一附属医院),孙志奇(大庆油田总医院),孙勇(哈尔滨医科大学附属第二医院),杜鑫(天津医科大学总医院),李华泰(江西省人民医院),李奋(上海儿童医学中心),李贵双(山东大学齐鲁医院),杨荣(南京医科大学第一附属医院),杨毅宁(新疆医科大学第一附属医院),邹彤(北京医院),沈向前(中南大学湘雅二医院),宋治远(第三军医大学西南医院),宋浩明(同济大学附属同济医院),张文琪(吉林大学附属三院),张伟华(昆明市延安医院),张智伟(广东省人民医院),金元哲(中国医科大学附属第四医院),周达新(复旦大学附属中山医院),周裔忠(江西省人民医院),赵仙先(第二军医大学长海医院),饶莉(四川大学华西医院),秦永文(第二军医大学附属长海医院),袁杰(哈尔滨医科大学附属第二医院),晋军(第三军医大学新桥医院),顾虹(首都医科大学附属安贞医院),高伟(上海儿童医学中心),盛国太(江西省人民医院),郭军(中国人民解放军 301 医院),葛均波(复旦大学附属中山医院),蒋世良(中国医学科学院阜外医院),韩雅玲(中国人民解放军原沈阳军区总医院),覃军(第三军医大学新桥医院),曾智(四川大学华西医院),潘欣(上海市胸科医院),潘微(广东省人民医院),霍勇(北京大学第一医院)

参 考 文 献

- [1] 陆再英,钟南山. 内科学. 7 版. 北京:人民卫生出版社,2008:240-241.
- [2] Warnes CA,Williams RG,Bashore TM,et al. ACC/AHA 2008 Guidelines for the Management of Adults with Congenital Heart Disease: Executive Summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (writing committee to develop guidelines for the management of adults with congenital heart disease). *Circulation*, 2008,118(23):2395-2451.
- [3] Baumgartner H, Bonhoeffer P, De Groot NM, et al. ESC Guidelines for the management of grown-up congenital heart disease (new version 2010). *Eur Heart J* 2010,31(23):2915-2957.
- [4] Moş C. Patent ductus arteriosus. *Med Ultrason* 2010,12(2):153-156.
- [5] Porstmann W,Wierny L,Warnke H. Closure of persistent ductus arteriosus without thoracotomy. *Ger Med Mon* 1967,12(6):259-261.
- [6] 戴汝平,高伟. 先天性心脏病与瓣膜病介入治疗. 沈阳:辽宁科学技术出版社,2006:58-67.
- [7] Harrison DA,Benson LN,Lazzam C,et al. Percutaneous catheter closure of the persistently patent ductus arteriosus in the adult. *Am J Cardiol* 1996,77(12):1094-1097.
- [8] 周爱卿,蒋世良. 先天性心脏病经导管介入治疗指南. *中华儿科杂志*,2004,42(3):234-239.
- [9] 中国医师协会心血管内科分会先心病工作委员会. 常见先天性心脏病介入治疗中国专家共识——三、动脉导管未闭的介入治疗. *介入放射学杂志* 2011,20(3):172-176.
- [10] 中国医师协会心血管内科医师分会. 2015 年先天性心脏病相关性肺动脉高压诊治中国专家共识. *中国介入心脏病学杂志* 2015,23(2):61-69.
- [11] Cambier PA,Kirby WC,Wortham DC,et al. Percutaneous closure of the small (< 2.5 mm) patent ductus arteriosus using coil embolization. *Am J Cardiol* 1992,69(8):815-816.
- [12] Krichenko A, Benson LN, Burrows P, et al. Angiographic classification of the isolated, persistently patent ductus arteriosus and implications for percutaneous catheter occlusion. *Am J Cardiol* 1989,63(12):877-880.
- [13] Hijazi ZM,Geggel RL. Results of antegrade transcatheter closure of patent ductus arteriosus using single or multiple Gianturco coils. *Am J Cardiol* 1994,74(9):925-929.
- [14] Lloyd TR,Beekman PH,Moore JW,et al. The PDA coil registry: report of the first 535 procedures [abstract]. *Circulation* 1995,92(suppl 1):1.
- [15] Sivakumar K,Francis E,Krishnan P. Safety and feasibility of transcatheter closure of large patent ductus arteriosus measuring > or =4 mm in patients weighing ≤6 kg. *J Interv Cardiol* 2008,21(2):196-203.
- [16] Rao PS,Morton J,Kern. Catheter based devices for the treatment of non-coronary cardiovascular disease in adults and children. *J Am Chemical Society* 1986,108(16):5010-5011.
- [17] Wierny L,Plass R,Porstmann W. Transluminal closure of patent ductus arteriosus: long-term results of 208 cases treated without thoracotomy. *Cardiovasc Intervent Radiol* 1986,9(5-6):279-

- 285.
- [18] Masura J, Walsh KP, Thanopoulos B, et al. Catheter closure of moderate-to large-sized patent ductus arteriosus using the new Amplatzer duct occluder: immediate and short-term results. *J Am Coll Cardiol* 1998, 31(4): 878-882.
- [19] Masura J, Tittel P, Gavora P, et al. Long-term outcome of transcatheter patent ductus arteriosus closure using Amplatzer duct occluders. *Am Heart J* 2006, 151(3): 755 e7-755 e10.
- [20] Pass RH, Hijazi Z, Hsu DT, et al. Multicenter USA Amplatzer patent ductus arteriosus occlusion device trial: initial and one-year results. *J Am Coll Cardiol* 2004, 44(3): 513-519.
- [21] Boehm W, Emmel M, Sreeram N. The Amplatzer duct occluder for PDA closure: indications, technique of implantation and clinical outcome. *Images Paediatr Cardiol* 2007, 9(2): 16-26.
- [22] Hijazi ZM, Lloyd TR, Beekman RH 3rd, et al. Transcatheter closure with single or multiple Gianturco coils of patent ductus arteriosus in infants weighing ≤ 8 kg: retrograde versus antegrade approach. *Am Heart J* 1996, 132(4): 827-835.
- [23] Akagi T, Hashino K, Sugimura T, et al. Coil occlusion of patent ductus arteriosus with detachable coils. *Am Heart J* 1997, 134(3): 538-543.
- [24] Wang JK, Hwang JJ, Chiang FT, et al. A strategic approach to transcatheter closure of patent ductus: Gianturco coils for small-to-moderate ductus and Amplatzer duct occluder for large ductus. *Int J Cardiol* 2006, 106(1): 10-15.
- [25] Amogzar H, Shakiba AM, Derakhshan D, et al. Evaluation of left ventricular function by tissue Doppler and speckle-derived strain rate echocardiography after percutaneous ductus closure. *Pediatr Cardiol* 2015, 36(1): 219-225.
- [26] Eerola A, Jokinen E, Boldt T, et al. The influence of percutaneous closure of patent ductus arteriosus on left ventricular size and function: a prospective study using two- and three-dimensional echocardiography and measurements of serum natriuretic peptides. *J Am Coll Cardiol* 2006, 47(5): 1060-1066.
- [27] Gupta SK, Krishnamoorthy K, Tharakan JA, et al. Percutaneous closure of patent ductus arteriosus in children: Immediate and short-term changes in left ventricular systolic and diastolic function. *Ann Paediatr Cardiol* 2011, 4(2): 139-144.
- [28] Coletta C, Galati A, Ricci R, et al. Prognostic value of left ventricular volume response during dobutamine stress echocardiography. *Eur Heart J* 1997, 18(10): 1599-1605.
- [29] Schneider DJ, Moore JW. Patent ductus arteriosus. *Circulation*, 2006, 114(17): 1873-1882.
- [30] 张端珍, 朱鲜阳, 仇俊玲, 等. 大型动脉导管未闭封堵术后左心室功能变化. *心脏杂志*, 2015, 27(2): 210-212.
- [31] Ebeid MR, Masura J, Hijazi ZM. Early experience with the Amplatzer ductal occluder for closure of the persistently patent ductus arteriosus. *J Interv Cardiol* 2001, 14(1): 33-36.
- [32] Joseph G, Mandalay A, Zacharias TU, et al. Severe intravascular hemolysis after transcatheter closure of a large patent ductus arteriosus using the Amplatzer duct occluder: successful resolution by intradevice coil deployment. *Catheter Cardiovasc Interv* 2002, 55(2): 245-249.
- [33] Jang GY, Son CS, Lee JW, et al. Complications after transcatheter closure of patent ductus arteriosus. *J Korean Med Sci* 2007, 22(3): 484-490.
- [34] 周爱卿. 先天性心脏病心导管术. 上海: 上海科学技术出版社 2009: 229-233.
- [35] Ing FF, Recto MR, Saidi A, et al. A method providing bidirectional control of coil delivery in occlusions of patent ductus arteriosus with shallow ampulla and Pott's shunts. *Am J Cardiol*, 1997, 79(11): 1561-1563.
- [36] Azhar AS, Abd El-Aziz AA, Habib HS. Transcatheter closure of patent ductus arteriosus: Evaluating the effect of the learning curve on the outcome. *Ann Paediatr Cardiol* 2009, 2(1): 36-40.
- [37] Fortescue EB, Lock JE, Galvin T, et al. To close or not to close: the very small patent ductus arteriosus. *Congenit Heart Dis* 2010, 5(4): 354-365.
- [38] 韩娜, 吴健, 于波, 等. 动脉导管未闭封堵导丝嵌顿清除时腹主动脉夹层动脉瘤破裂一例. *中国介入心脏病学杂志*, 2014, 22(8): 528-529.
- [39] Al-Ata J, Arfi AM, Hussain A, et al. The efficacy and safety of the Amplatzer ductal occluder in young children and infants. *Cardiol Young* 2005, 15(3): 279-285.
- [40] Ewert P. Challenges encountered during closure of patent ductus arteriosus. *Pediatr Cardiol*, 2005, 26(3): 224-229.
- [41] Galal MO, Hussain A, Arfi AM. Do we still need the surgeon to close the persistently patent arterial duct? *Cardiol Young* 2006, 16(6): 522-536.
- [42] Rao PS. Percutaneous closure of patent ductus arteriosus: state of the art. *J Invasive Cardiol*, 2007, 19(7): 299-302.
- [43] Dimas VV, Takao C, Ing FF, et al. Outcomes of transcatheter occlusion of patent ductus arteriosus in infants weighing ≤ 6 kg. *JACC Cardiovasc Interv* 2010, 3(12): 1295-1299.
- [44] Roberts P, Adwani S, Archer N, et al. Catheter closure of the arterial duct in preterm infants. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 2007, 92(4): F248-F250.
- [45] Zahn EM, Nevin P, Simmons C, et al. A novel technique for transcatheter patent ductus arteriosus closure in extremely preterm infants using commercially available technology. *Catheter Cardiovasc Interv* 2015, 85(2): 240-248.
- [46] Brotschi B, Hug MI, Kretschmar O, et al. Incidence and predictors of cardiac catheterisation-related arterial thrombosis in children. *Heart* 2015, 101(12): 948-953.
- [47] Bratincsák A, Moore JW, El-Said HG. Low dose tissue plasminogen activator treatment for vascular thrombosis following cardiac catheterization in children: a single center experience. *Catheter Cardiovasc Interv* 2013, 82(5): 782-785.
- [48] Arora R. Transcatheter closure of patent ductus arteriosus. *Expert Rev Cardiovasc Ther* 2005, 3(5): 865-874.
- [49] Kenny D, Morgan GJ, Bentham JR, et al. Early clinical experience with a modified Amplatzer ductal occluder for transcatheter arterial duct occlusion in infants and small children. *Catheter Cardiovasc Interv* 2013, 82(4): 534-540.
- [50] 韩秀敏, 朱鲜阳, 张玉威, 等. Amplatzer 封堵器关闭动脉导管未闭合并重度肺动脉高压的临床应用. *介入放射学杂志*, 2004, 13(2): 117-119.
- [51] Thanopoulos BD, Tsaousis GS, Djukic M, et al. Transcatheter closure of high pulmonary artery pressure persistent ductus arteriosus with the Amplatzer muscular ventricular septal defect occluder. *Heart* 2002, 87(3): 260-263.
- [52] Yan C, Zhao S, Jiang S, et al. Transcatheter closure of patent

- ductus arteriosus with severe pulmonary arterial hypertension in adults. *Heart* 2007 93(4):514-518.
- [53] Beghetti M, Tissot C. Pulmonary hypertension in congenital shunts. *Rev Esp Cardiol* 2010, 63(10):1179-1193.
- [54] Dimopoulos K, Peset A, Gatzoulis MA. Evaluating operability in adults with congenital heart disease and the role of pretreatment with targeted pulmonary arterial hypertension therapy. *Int J Cardiol* 2008, 129(2):163-171.
- [55] Beghetti M, Galìè N, Bonnet D. Can “inoperable” congenital heart defects become operable in patients with pulmonary arterial hypertension? Dream or reality? *Congenit Heart Dis* 2012 7(1):3-11.
- [56] Thanopoulos BD, Hakim FA, Hiari A, et al. Further experience with transcatheter closure of the patent ductus arteriosus using the Amplatzer duct occluder. *J Am Coll Cardiol* 2000 35(4):1016-1021.
- [57] Lehner A, Ulrich S, Happel CM, et al. Closure of very large PDA with pulmonary hypertension: Initial clinical case-series with the new Occlutech (R) PDA occluder. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2017 89(4):718-725.
- [58] 王箴, 张峰, 葛均波, 等. 中老年人动脉导管未闭的临床特征及其经导管封堵治疗. *中国临床医学* 2005, 12(4):572-574.
- [59] Campbell M. Natural history of persistent ductus arteriosus. *Br Heart J*, 1968 30(1):4-13.
- [60] Warnes CA, Williams RG, Bashore TM, et al. ACC/AHA 2008 guidelines for the management of adults with congenital heart disease: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to Develop Guidelines on the Management of Adults With Congenital Heart Disease). Developed in Collaboration With the American Society of Echocardiography, Heart Rhythm Society, International Society for Adult Congenital Heart Disease, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and Society of Thoracic Surgeons. *J Am Coll Cardiol* 2008 52(23):e143-e263.
- [61] Musewe NN, Benson LN, Smallhorn JF, et al. Two-dimensional echocardiographic and color flow Doppler evaluation of ductal occlusion with the Rashkind prosthesis. *Circulation*, 1989, 80(6):1706-1710.
- [62] Sørensen KE, Kristensen B, Hansen OK. Frequency of occurrence of residual ductal flow after surgical ligation by color-flow mapping. *Am J Cardiol*, 1991 67(7):653-654.
- [63] Demir T, Oztun F, Cetin G, et al. Patency or recanalization of the arterial duct after surgical double ligation and transfixion. *Cardiol Young* 2007, 17(1):48-50.
- [64] Goodman HM. Effects of insulin on water uptake by adipose tissue during incubation in vitro. *Endocrinology*, 1965 76:531-534.
- [65] Lloyd TR, Fedderly R, Mendelsohn AM, et al. Transcatheter occlusion of patent ductus arteriosus with Gianturco coils. *Circulation*, 1993 88(4 Pt 1):1412-1420.
- [66] Rosenthal E, Qureshi SA, Reidy J, et al. Evolving use of embolisation coils for occlusion of the arterial duct. *Heart*, 1996, 76(6):525-530.
- [67] Uzun O, Hancock S, Parsons JM, et al. Transcatheter occlusion of the arterial duct with Cook detachable coils: early experience. *Heart*, 1996 76(3):269-273.
- [68] Podnar T, Masura J. Percutaneous closure of patent ductus arteriosus using special screwing detachable coils. *Cathet Cardiovasc Diagn*, 1997 41(4):386-391.
- [69] 蒋世良, 徐仲英, 赵世华, 等. 经导管封堵动脉导管未闭外科及介入治疗术后残余分流. *中国介入心脏病学杂志* 2008, 16(6):302-305.
- [70] Podnar T, Masura J. Transcatheter occlusion of residual patent ductus arteriosus after surgical ligation. *Pediatr Cardiol*, 1999 20(2):126-130.
- [71] 张庆桥, 蒋世良, 黄连军, 等. 经导管封堵外科结扎术后再通的动脉导管未闭. *中华放射学杂志* 2002, 36(2):108-110.
- [72] Magee AG, Huggon IC, Seed PT, et al. Transcatheter coil occlusion of the arterial duct; results of the European Registry. *Eur Heart J* 2001 22(19):1817-1821.
- [73] 代政学, 张玉顺, 赵志敬, 等. 应用 Amplatzer 封堵器治疗儿童动脉导管未闭封堵术前后左心功能的变化. *心脏杂志* 2001, 13(3):209-210.

(收稿日期:2017-04-11)