

• 专家共识 •

先天性心脏病外科治疗中国专家共识（一）：
大动脉调转术应用

董念国¹, 李守军²代表国家心血管病专家委员会先天性心脏病专业委员会

1. 华中科技大学同济医学院附属协和医院 心脏大血管外科 (武汉 430022)

2. 中国医学科学院阜外医院 小儿外科中心 (北京 100037)

【关键词】 外科治疗；先天性心脏病；大动脉调转术

大动脉调转术 (arterial switch operation, ASO) 是通过两大动脉位置相互调换和冠状动脉移植 (coronary transfer), 主动脉重新连接至左心室, 肺动脉连接至右心室, 从而使心室与大动脉正常连接, 是大动脉转位 (transposition of the great arteries, TGA) 的首选术式, 也可应用于部分心室大动脉连接异常先天性心脏病 (先心病), 如心室双出口等疾病中的某些特殊类型。

1954 年, Mustard 报道 ASO 治疗 7 例 TGA 患者, 无存活; 1975 年 Jatene 取得突破性进展, 为 1 例 TGA 合并室间隔缺损的婴儿成功实施 ASO (Jatene 操作), Yacoub 随后也有成功案例报道; 1981 年 Lecompte 等提出将肺动脉分叉置于新建升主动脉前方, 直接吻合两个大动脉从而避免植入管道, 成为 ASO 发展史上的重要技术改进; 其在中国起步较晚, 但发展迅速, 目前已成为各大先心病中心常规术式, 并取得良好的中远期效果。但临床上对其手术时机、手术方式等尚存争议。因此, 自 2015 年起我们先后 5 次召集全国小儿心脏外科及相关专家开会讨论 ASO, 着手制定了本专家共识, 以进一步规范和推广 ASO 手术。

1 方法与证据

本共识采用国际通用的 Delphi 程序, 检索 Medline、The Cochrane Library、万方数据库及 NCCN 指南等, 回顾性分析 1978 年 1 月至 2019 年 2 月关于 ASO 文献, 通过专家讨论结果筛选存在争议的调查项目, 根据文献提供的循证资料和专家讨论意见, 最终形成以下共识。

共识采用的推荐级别为: I 类: 已证实和/或

一致公认有效, 专家组有统一认识; II a 类: 有关证据或观点倾向于有用或有效, 应用这些操作或治疗是合理的, 专家组有小争议; II b 类: 有关证据/观点尚不能被充分证明有用或有效, 但可以考虑使用, 专家组有一定争议; III 类: 已证实和/或公认无用或无效, 不推荐使用。

共识采用的证据水平为: A: 数据来源于多中心随机对照试验或 Meta 分析或大型注册数据库; B: 数据来源于单个随机对照试验或非随机研究; C: 数据仅来源于专家共识或病例报告。

2 ASO 的适应证及手术时机

推荐 1: 室间隔完整的大动脉转位 (TGA/IVS), 手术时间 3 周内 (I B) [1-6], 有体外生命支持 (extracorporeal life support, ECLS) 条件下可放宽至 2 个月 (II a B) [7-11]。

推荐 2: 合并室间隔缺损的大动脉转位 (TGA/VSD) 或合并肺动脉瓣下室间隔缺损的右室双出口 (Taussig-Bing 畸形), 推荐手术时间 2~3 个月 (I C) [12-17], 大龄患者 (>6 个月), 肺血管阻力 (PVR) >8~10 U/m², 可行姑息性 ASO (不闭合室间隔缺损或室间隔缺损开窗), PVR 6~8 U/m² 实施姑息性或根治性 ASO 有争议 (II b C) [12, 18-21]。

推荐 3: 既往行心房调转后出现解剖右心室功能不全、三尖瓣反流, 如果左心功能良好且二尖瓣无反流, 可行肺动脉环缩锻炼左心室后, 再行 ASO 解剖矫治 (II b C) [12, 22-24]。

推荐 4: TGA 或 Taussig-Bing 畸形合并其他心脏畸形, 如心室流出道梗阻、主动脉缩窄、主动脉弓中断、肺静脉异位引流等, 通常需行 ASO 同期矫治合并畸形 (I C) [12, 25-26]。ASO 还可以作为矫正性大动脉转位 (ccTGA) 双调转手术的一部分 [12]。

DOI: 10.7507/1007-4848.201911077

通信作者: 董念国, Email: dongnianguo@hotmail.com; 李守军, Email: drlishoujunfw@163.com



推荐 5: TGA/IVS 年龄 3 周以上, 出现左室质量指数 $<35 \text{ g/m}^2$, 超声心动图提示室间隔向左室偏移, 左/右室压力峰值比 <0.6 , 推荐快速两期 ASO (I B)。先行肺动脉环缩联合体肺分流或房间隔造口术 (I B), 左心功能锻炼平均 10 d 左右 (5 d 至 6 周) 后再行 ASO。左/右室压力峰值比 >0.85 、左室舒张末期容积达到正常 90%、左心室射血分数 (LVEF) $>50\%$ 、左室后壁 $>4 \text{ mm}$ 和左室质量指数 $>50 \text{ g/m}^2$ 是左室功能恢复的指标 (II a C) [27-36]。

3 完全大动脉转位的冠状动脉分类标准

3.1 Leiden 标准

Leiden 标准是目前最常用的分类标准 [36]。假设一个人面向主肺动脉, 将观察者右手边冠状动脉窦定义为 1 号窦, 左手边定义为 2 号窦。逗号表示分支来源于同一根血管, 而分号表示相互独立的起源。其重点描述了冠状动脉起源, 涵盖绝大多数冠状动脉起源类型, 便于编码统计。但此种分型没有描述冠状动脉在心外膜的走行 Loop 情况。

3.2 Yacoub 标准

Yacoub 标准将冠状动脉分为 5 型 [37]。a 型: 正常型; b 型: 冠状动脉单一开口; c 型: 两个冠状动脉开口在瓣叶交界处相互靠近; d 型: 右冠发出回旋支环绕肺动脉; e 型: 回旋支从后窦发出环绕肺动脉。Yacoub 分型同时考虑了冠状动脉起源和冠状动脉在心外膜的走行, 但是覆盖冠状动脉类型不全面。

3.3 Marie Lannelongue 分型

Marie Lannelongue 分型将冠状动脉分为正常冠状动脉、Looping 冠状动脉、壁内冠状动脉、混合型等 4 型, 对手术方式有指导意义。

推荐: 既描述冠状动脉起源, 又描述冠状动脉走行情况 (I C)。

4 冠状动脉移栽要点

4.1 大动脉调转手术的核心

推荐: ASO 的核心是建立无扭曲、无张力、无受压的冠状动脉移栽 (I C)。

(1) 探查: 用冠状动脉探条探明冠状动脉主干和各主要分支的方向, 确认有无合并冠状动脉变异。(2) 制作冠状动脉组片 (Button): 分别从各主动脉窦邻近主动脉瓣环的位置切下冠状动脉, 以便带有一大片冠状动脉开口周围的血管壁组织, 这样有利于冠状动脉转移缝合重建。(3) 冠状动脉游离: 必须充分游离冠状动脉近端, 通常不需要离断

小分支, 但是如确有必要, 也可以离断细小的圆锥支, 为冠状动脉转移创造更长的距离 (I C)。(4) 根部松解: 冠状动脉充分游离后, 主动脉和肺动脉根部之间进行进一步松解。(5) 确认冠状动脉移栽部位: 通常在近左右肺动脉分叉前切断肺动脉主干, 将已游离的冠状动脉组片适当旋转贴附在准备接受冠状动脉转移的肺动脉面向窦侧方, 避免冠状动脉扭转或存在张力, 确认冠状动脉移栽部位。(6) 开口及吻合: 根据冠状动脉组片大小, 在新主动脉目标位置开口。常采用 “1” 字型切口或 “U” 字形切除部分动脉壁, 也可在动脉壁以打洞器打孔 (通常选择 4 mm 直径) 后进行吻合, 这些方法并无优劣之分 [38-39]。多采用 7/0 或 8/0 Prolene 缝线连续缝合。此外, 通过活门技术 (Trap-door) (II a C) 可以减少冠状动脉近段旋转幅度; 飘窗技术 (Bay Window) [40], 采用心包建立 “风帽” 样技术 (pericardial hoods) [41-42] 等冠状动脉组片扩大及延长术可减少冠状动脉吻合张力。

在冠状动脉移栽过程中, 对于不太确定冠状动脉吻合口位置时, 尽量提高吻合位置, 避免冠状动脉褶曲。主动脉根部打孔时, 为了避免损伤主动脉瓣, 可以先吻合主动脉, 短暂开放阻断钳再打孔。

4.2 特殊情况的冠状动脉移栽

推荐: 理论上所有形式的冠状动脉都可以移栽 [43], 但特殊冠状动脉走行仍然是手术死亡危险因素 [44-46], 因此需要个体化的外科技术来避免冠状动脉扭曲和张力 [6] (I b)。

4.2.1 壁内型冠状动脉的处理 壁内型冠状动脉是指部分冠状动脉走行于主动脉壁内, 与主动脉外膜无法分开。最常见情况是两个冠状动脉从同一个冠状动脉窦发出, 通常右冠开口于窦部中央, 左冠起源于右冠开口与后交界之间的位置。(1) 当两个冠状动脉开口位于同一瓣窦时, 要警惕壁内走行的冠状动脉, 冠状动脉探查十分重要; (2) 为了切取足够大的 Button, 可能需将瓣交界从动脉壁上松解下来; (3) 壁内型冠状动脉必须去顶 [47-48] (I C)。冠状动脉开口常呈裂隙状, 朝远端剪开主动脉和冠状动脉的共用管壁, 理论上剪到正常位置, 如累及瓣交界, 去顶后需要修复交界; (4) 几乎所有的壁内走行冠状动脉都可以切取两个 Button 单独移植; (5) 为了防止壁内段冠状动脉扭曲, 可采用活门技术。

4.2.2 单一冠状动脉开口的处理 单一冠状动脉开口通常是两个冠状动脉开口紧靠着发出, 或是一个真正意义的单一开口 (Yacoub B 型)。根据前后

Loop 的特点,应充分游离,必要时牺牲小的冠状动脉分支。张力仍高时,可采用以下技术:(1) Yacoub 技术^[37]:游离单一冠状动脉组片,向上旋转 90 度,组片顶端作为底边与动脉壁吻合,用自体心包片或远端主动脉壁构建一“风帽”样结构。(2) 肺动脉内隧道技术^[49]:在两大动脉彼此的接触点上开孔,构建主肺动脉窗,原主动脉内用补片构建主肺动脉窗至冠状动脉开口的隧道;(3) IMAI 技术^[50]:单冠开口保留原位,将单冠开口上缘主动脉组织切除,将冠状动脉开口上缘与对侧的主肺动脉壁吻合建立交通,切取无冠窦半月形主动脉壁片或心包补片与冠状动脉开口下方吻合,建立一“风帽”样结构。将补片上缘作为近端新主动脉壁一部分。(4) 原肺动脉根部翻转片技术^[51]:现已很少采用。

4.2.3 冠状动脉起源于非面向窦 冠状动脉起源于非面向窦,特别大动脉完全呈侧侧位时冠状动脉移栽极具挑战性。需要个体化采用充分游离冠状动脉、活门技术、甚至心包管道延长技术等。

4.2.4 Yacoub D 型冠状动脉分布 回旋支起源于右冠且从肺动脉后方绕行(后 Loop),右冠的吻合口位置更高,甚至超过大血管吻合线水平^[6](I C)。

5 ASO 合并室间隔缺损的处理

(1) 完全性大动脉转位合并膜周部室间隔缺损,无论巨大室间隔缺损还是小的限制性室间隔缺损,经右心房切口均可以满意修补。通常予 Prolene 缝线连续缝合心包补片或 Dacron 补片,注意避免损伤心脏传导系统,同时强调注意保护三尖瓣^[52-53]。

(2) 右室双出口合并肺动脉瓣下室间隔缺损(Taussig-Bing 畸形)或者对位异常的大室间隔缺损,通常可以经右心房切口修补。暴露困难的可以经右心房和肺动脉联合切口进行修补,强调设计好补片的大小、形状,保证肺动脉瓣下左室流出道通畅(I C);同时注意保护肺动脉瓣(新主动脉瓣)的功能^[53-56]。经右室流出道切口进行室间隔缺损修补^[57],一般不建议采用^[53]。

(3) 年龄较大合并重度肺动脉高压患者,肺阻力 >8 Wood·U,建议室间隔缺损补片中央开窗(II a C),术后根据分流情况再行二期封堵^[18,57]。

6 主动脉重建

(1) 如果原肺动脉扩张,主动脉与肺动脉不匹配,通常在窦管交界水平行新主动脉壁折叠,先 5/0 聚丙烯缝线带垫片以水平褥式缝合,再以连续

缝合方法消灭血管壁间腔隙,目标是使新主动脉窦管交界直径与瓣环直径之比达到 $0.8 \sim 1.0$ ^[58-59](I C)。

(2) 对于主动脉偏长的情况,可以适当环形剪除部分主动脉壁,防止吻合后对前方的肺动脉造成压迫。

7 肺动脉重建

(1) 肺动脉重建之前充分游离左、右肺动脉。切除冠状动脉组片后的 2 个主动脉窦壁缺如,多应用裤状自体心包片或牛心包进行重建(II a C),注意心包片上针距略大于瓣环上针距,可使缝合完成后窦壁略膨出。部分心包可以作为肺动脉重建的材料。

(2) 也可不用心包补片,应用肺动脉远端直接下拉吻合到近端的方法,需要远端更加充分的游离,吻合口张力可能偏高,容易造成吻合后壁出血,该方法较少用(II b C)。

8 Lecompte 操作

(1) 大动脉侧侧位时,ASO 是否采用 Lecompte 操作要根据两大血管相对位置、直径,移栽的冠状动脉位置和走行的具体情况而定(II a C)。

(2) 如果采用 Lecompte 操作,肺动脉在主动脉右侧,重建后的肺动脉左方可能压迫右冠状动脉;一般均要将远端肺动脉切口向右侧肺动脉延伸,左侧肺动脉切口部分缝合。

(3) 如果采用主动脉和肺动脉不换位的方法,肺动脉仍在主动脉后方,最大的顾虑是充盈的肺动脉压迫走行在其后方的冠状动脉,此时应通过调整远端肺动脉吻合口位置避免压迫冠状动脉。

9 手术中相关问题处理

(1) 如出现停机困难和低心排血量,应首先考虑冠状动脉缺血。探查冠状动脉有无扭曲、牵拉、肺动脉压迫等,如确认冠状动脉供血不足,需果断再次转机相应处理(I C)。(2) 术中常规安置临时起搏器,避免心率减慢时心脏过度充盈压迫冠状动脉。(3) 新生儿术中可考虑预防性安置腹透管,便于术后及时腹透治疗。

10 延迟关胸

出现下列情况可积极考虑延迟关胸(I C): (1) 试行合拢胸骨后出现血压明显下降、静脉压升高;(2) 需要应用大剂量血管活性药物维持循环;

(3) 术中出现渗漏综合征。

通常 2~3 d 后心肌水肿减退, 凝血功能正常, 此时再行关胸。

11 并发症的防治

ASO 的远期并发症包括重建大血管的解剖性狭窄、新主动脉瓣关闭不全和冠状动脉功能障碍^[60]。这些并发症随着时间延长, 发生率逐渐增加、病情逐渐加重, 所有 ASO 术后患者需长期随访, 部分患者需再次手术干预。

11.1 肺动脉狭窄

肺动脉狭窄是 ASO 术后最常见的并发症, 也是导致 ASO 术后再次手术的最主要原因^[61-62]。肺动脉狭窄发生率约为 2%~50%, 狭窄可以发生在主肺动脉到左右肺动脉的各个节段^[63]。

患者相关高危因素^[60-61]: (1) 低龄、低体重; (2) 异常的冠状动脉分布; (3) 大动脉侧侧排列; (4) 合并室间隔缺损; (5) 术后体重快速增长; (6) 左肺动脉残留的动脉导管未闭 (PDA) 组织。

手术相关高危因素^[60]: (1) 重建肺动脉心包组织的牵拉、扭曲, 远期收缩钙化; (2) 心包补片种类的选择; (3) 缝合致吻合口张力及收拢效应; (4) 未行 Lecompte 操作; (5) 左右肺动脉远端游离不够充分或解剖形态不佳时, 行 Lecompte 操作; (6) 新主动脉过长压迫肺动脉; (7) 前期行 Banding 术; (8) 术者的手术经验。

预防措施^[64]: (1) 施行 Lecompte 操作; (2) 充分游离肺动脉及其左右分支; (3) 新建主动脉不宜过长; (4) 可以不应用补片材料, 如需应用, 尽量选择自体心包片。

再手术指征: ASO 术后再次狭窄的手术指征为超声评估肺动脉峰值压差高于 50 mm Hg。

手术方式^[65]: (1) 球囊扩张; (2) 支架植入; (3) 血管补片加宽。

11.2 主动脉瓣反流

ASO 术后主动脉瓣反流是最常见的左心系统相关并发症, 发生率约为 7%~30%, 发生率及严重程度随着随访时间延长而增加, 约 1% 患者需再次手术干预^[66-67]。

高危因素^[66-68]: (1) 手术时年龄偏大; (2) 合并室间隔缺损、主动脉弓缩窄等; (3) 前期 Banding 术, 导致肺动脉根部扩张; (4) 主、肺动脉不匹配; (5) 冠状动脉畸形; (6) 术前及术后早期肺动脉瓣反流; (7) 新主动脉弓成角^[69]; (8) 术后新主动脉根部持续扩张^[68]; (9) 新主动脉近远端生长速

度不匹配。

预防措施^[70]: 新主动脉成形时, 建立良好的主动脉窦部及窦管交界形态, 使得窦管交界直径/瓣环直径比例接近 0.8~1.0。

再手术指征: ASO 术后新主动脉瓣反流的手术指征与主动脉瓣反流手术指征类似, 但需再手术的时机目前尚无共识, 参考指标如下: (1) 主动脉瓣中重度反流并伴有临床表现; (2) 左室射血分数 <50% 或左室收缩/舒张末期容积明显增加; (3) 主动脉根部扩张 Z 值 ≥ 3 。

应注意的是, 主动脉瓣的反流程度并非再手术的唯一指征, 而需综合考虑上述因素。

手术方式: 新主动脉瓣反流再手术方式, 视患者病情及术者的临床经验决定, 主要有^[71]: (1) 主动脉瓣置换; (2) 主动脉瓣成形; (3) Bentall 术或 David 术。

11.3 冠状动脉功能异常

ASO 术后冠状动脉异常发生率为 3.0%~11.3%, 常见临床表现为心律失常、心绞痛、心功能不全、猝死等^[72]。89% 的冠状动脉事件发生在 ASO 术后 3 个月内, 但中远期随访仍会发现新增的冠状动脉病变。此外, 部分无临床症状的患者, 会在经历心脏事件后才发现冠状动脉问题。因此, 对于高危患者需在术后随访时反复评估冠状动脉功能^[73]。

高危因素: (1) 冠状动脉畸形, 如 Yacoub B 或 C 型冠状动脉/壁内走行冠状动脉; (2) 大动脉排列位置, 重建肺动脉对冠状动脉的压迫; (3) 不当的冠状动脉移植操作, 导致冠状动脉扭曲、牵拉; (4) 过度使用外源性凝血物质压迫。

检查方式^[72]: (1) 冠状动脉造影; (2) 多层螺旋 CT; (3) 必要时结合磁共振成像 (MRI) 心肌灌注成像。

再手术指征^[74]: (1) 术后明确诊断心肌缺血; (2) 没有心肌缺血症状, 但明确存在严重的冠状动脉狭窄。

手术方式^[74-75]: (1) 开口再次移植; (2) 压迫松解; (3) 冠状动脉移植吻合口的补片成形; (4) 冠状动脉搭桥。

11.4 其他

11.4.1 主动脉瓣上狭窄 ASO 术后远期主动脉瓣上狭窄发生率 0.7%~3.2%, 高危因素为术中主肺动脉不匹配, 缝线导致组织增生以及手术技术等。主要的手术方式为狭窄处补片加宽^[71]。

11.4.2 术后气管压迫 ASO 术后重建的肺动脉扩张以及新主动脉后移, 都可导致气管受压狭窄, 严

重气管狭窄时需手术解除压迫。临床表现为呼吸困难、反复肺炎、脱机困难,采用多层螺旋CT、纤维支气管镜等检查可确诊。严重的肺动脉扩张压迫气道,需再手术行肺动脉成形^[76];主动脉后移压迫时,可左侧开胸行主动脉固定术^[77]。如果术后长期存在气道狭窄症状,需警惕气管软化。

11.4.3 ASO术中房间隔、室间隔开窗 对于术前肺高压患者,ASO术中保留的房间隔、室间隔开窗,术后随访为左向右分流时,可考虑手术关闭造分流口,通常选用介入封堵术。

利益冲突:无。

主笔专家:董念国(华中科技大学同济医学院附属协和医院)、周诚(华中科技大学同济医学院附属协和医院)、苏伟(华中科技大学同济医学院附属协和医院)、张巧(华中科技大学同济医学院附属协和医院)、郭超(华中科技大学同济医学院附属协和医院)

审稿专家:张泽伟(浙江大学医学院附属儿童医院)、赁可(四川大学华西医院)

临床问题提出专家及讨论专家:安琪(四川大学华西医院)、曹华(福建省妇幼保健院)、岑坚正(广东省人民医院)、陈寄梅(广东省人民医院)、陈良万(福建医科大学附属协和医院)、陈瑞(青岛市妇女儿童医院)、陈欣欣(广州市妇女儿童医疗中心)、崔虎军(广东省人民医院)、丁以群(深圳市儿童医院)、董念国(华中科技大学同济医学院附属协和医院)、赁可(四川大学华西医院)、杜心灵(华中科技大学同济医学院附属协和医院)、范太兵(华中阜外医院)、顾海涛(江苏省人民医院)、花中东(中国医学科学院阜外医院)、黄鹏(湖南省儿童医院)、贾兵(复旦大学附属儿科医院)、李建华(浙江大学医学院附属儿童医院)、李守军(中国医学科学院阜外医院)、李晓峰(首都医科大学附属北京儿童医院)、李旻(苏州大学附属儿童医院)、罗毅(首都儿科研究所附属儿童医院)、明腾(江西省儿童医院)、莫绪明(南京医科大学附属儿童医院)、彭帮田(华中阜外医院)、孙国成(空军军医大学西京医院)、王辉山(中国人民解放军北部战区总医院)、吴忠仕(中南大学湘雅二医院)、闫军(中国医学科学院阜外医院)、杨克明(中国医学科学院阜外医院)、杨一峰(中南大学湘雅二医院)、张本青(中国医学科学院阜外医院)、张海波(上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心)、张浩(上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心)、张辉(首都儿科研究所附属儿童医院)、张近宝(中国人民解放军西部战区总医院)、张泽伟(浙江大学医学院附属儿童医院)、郑景浩(上海交通大学医学院附属上海儿童医学中

心)、祝忠群(上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心)、周诚(华中科技大学同济医学院附属协和医院)

参考文献

- 1 Sarris GE, Chatzis AC, Giannopoulos NM, *et al*. The arterial switch operation in Europe for transposition of the great arteries: a multi-institutional study from the European Congenital Heart Surgeons Association. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2006, 132(3): 633-639.
- 2 Danford DA, Huhta JC, Gutgesell HP. Left ventricular wall stress and thickness in complete transposition of the great arteries. Implications for surgical intervention. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 1985, 89(4): 610-615.
- 3 Duncan BW, Poirier NC, Mee RB, *et al*. Selective timing for the arterial switch operation. *Ann Thorac Surg*, 2004, 77(5): 1691-1696.
- 4 Nevvazhay T, Chernogrivov A, Biryukov E, *et al*. Arterial switch in the first hours of life: no need for Rashkind septostomy? *Eur J Cardio-thorac Surg*, 2012, 42(3): 520-503.
- 5 Chasovskiy K, Fedevych O, Vorobiova G, *et al*. Arterial switch operation in the first hours of life using autologous umbilical cord blood. *Ann Thorac Surg*, 2012, 93(5): 1571-1576.
- 6 Sarris GE, Balmer C, Bonou P, *et al*. Clinical guidelines for the management of patients with transposition of the great arteries with intact ventricular septum. *Eur J Cardio-thorac Surg*, 2017, 51(1): e1-e32.
- 7 Davis AM, Wilkinson JL, Karl TR, *et al*. Transposition of the great arteries with intact ventricular septum. Arterial switch repair in patients 21 days of age or older. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 1993, 106(1): 111-115.
- 8 Edwin F, Mamorare H, Brink J, *et al*. Primary arterial switch operation for transposition of the great arteries with intact ventricular septum--is it safe after three weeks of age? *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2010, 11(5): 641-644.
- 9 Foran JP, Sullivan ID, Elliott MJ, *et al*. Primary arterial switch operation for transposition of the great arteries with intact ventricular septum in infants older than 21 days. *J Am Coll Cardiol*, 1998, 31(4): 883-889.
- 10 Kang N, de Leval MR, Elliott M, *et al*. Extending the boundaries of the primary arterial switch operation in patients with transposition of the great arteries and intact ventricular septum. *Circulation*, 2004, 110(11 Suppl 1): I123-I127.
- 11 Stoica S, Carpenter E, Campbell D, *et al*. Morbidity of the arterial switch operation. *Ann Thorac Surg*, 2012, 93(6): 1977-1983.
- 12 Stark JF, de Leval MR, Tsang VT, *et al*, Chief Editor. Surgery for Congenital Heart Defects. Atrium: John Wiley & Sons Ltd, 2006. 471-486.
- 13 Mavroudis C, Backer C, Idriss RF, Chief Editor. Pediatric Cardiac Surgery. Atrium: John Wiley & Sons Ltd, 2013. 492-529
- 14 Dodge-Khatami A, Mavroudis C, Mavroudis CD, *et al*. Past, present, and future of the arterial switch operation: historical review. *Cardiol Young*, 2012, 22(6): 724-731.
- 15 Haworth SG, Radley-Smith R, Yacoub M. Lung biopsy findings in transposition of the great arteries with ventricular septal defect: potentially reversible pulmonary vascular disease is not always synonymous with operability. *J Am Coll Cardiol*, 1987, 9(2): 327-333.
- 16 Subramanyan R. Operability in transposition of great arteries with



- ventricular septal defect: A difficult question - is the answer really so simple? *Ann Pediatr Cardiol*, 2011, 4(1): 45-46.
- 17 Rao PS. Consensus on timing of intervention for common congenital heart diseases: part II - cyanotic heart defects. *Indian J Pediatr*, 2013, 80(8): 663-674.
 - 18 Lei BF, Chen JM, Cen JZ, *et al.* Palliative arterial switch for transposition of the great arteries, ventricular septal defect, and pulmonary vascular obstructive disease: midterm outcomes. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2010, 140(4): 845-849.
 - 19 Fan H, Hu S, Zheng Z, *et al.* Do patients with complete transposition of the great arteries and severe pulmonary hypertension benefit from an arterial switch operation? *Ann Thorac Surg*, 2011, 91(1): 181-186.
 - 20 Elizari A, Somerville J. Palliative arterial switch for complete transposition with ventricular septal defect. *Cardiol Young*, 1999, 9(3): 315-318.
 - 21 Nakajima Y, Momma K, Seguchi M, *et al.* Pulmonary hypertension in patients with complete transposition of the great arteries: midterm results after surgery. *Pediatr Cardiol*, 1996, 17(2): 104-107.
 - 22 Daebritz SH, Tietze AR, Sachweh JS, *et al.* Systemic right ventricular failure after atrial switch operation: midterm results of conversion into an arterial switch. *Ann Thorac Surg*, 2001, 71(4): 1255-1259.
 - 23 Shinoka T, Imai Y, Kurosawa H, *et al.* Successful surgical treatment of severe right ventricular dysfunction after previous Senning operation for TGA (II)--arterial switch and take-down of the atrial switch following pulmonary artery banding. *Nihon Kyobu Geka Gakkai Zasshi*, 1988, 36(4): 563-568.
 - 24 van Son JA, Reddy VM, Silverman NH, *et al.* Regression of tricuspid regurgitation after two-stage arterial switch operation for failing systemic ventricle after atrial inversion operation. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 1996, 111(2): 342-347.
 - 25 Lacour-Gayet F. Complexity stratification of the arterial switch operation: a second learning curve. *Cardiol Young*, 2012, 22(6): 739-744.
 - 26 Hazekamp MG, Gomez AA, Koolbergen DR, *et al.* Surgery for transposition of the great arteries, ventricular septal defect and left ventricular outflow tract obstruction: European Congenital Heart Surgeons Association multicentre study. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2010, 38(6): 699-706.
 - 27 Pascal CJ, Huggon I, Sharland GK, *et al.* An echocardiographic study of diagnostic accuracy, prediction of surgical approach, and outcome for fetuses diagnosed with discordant ventriculo-arterial connections. *Cardiol Young*, 2007, 17(5): 528-534.
 - 28 Nakazawa M, Oyama K, Imai Y, *et al.* Criteria for two-staged arterial switch operation for simple transposition of great arteries. *Circulation*, 1988, 78(1): 124-131.
 - 29 Yacoub MH, Radley-Smith R, MacLaurin R. Two-stage operation for anatomical correction of transposition of the great arteries with intact interventricular septum. *Lancet*, 1977, 1(8025): 1275-1278.
 - 30 Sasayama S, Nonogi H, Sakurai T, *et al.* Assessment of cardiac function by left heart catheterization: an analysis of left ventricular pressure-volume (length) loops. *J Cardiogr Suppl*, 1984, (1): 25-34.
 - 31 Sievers HH, Lange PE, Onnasch DG, *et al.* Influence of the two-stage anatomic correction of simple transposition of the great arteries on left ventricular function. *Am J Cardiol*, 1985, 56(8): 514-519.
 - 32 Jonas RA, Giglia TM, Sanders SP, *et al.* Rapid, two-stage arterial switch for transposition of the great arteries and intact ventricular septum beyond the neonatal period. *Circulation*, 1989, 80(3 Pt 1): I 203- I 208.
 - 33 Lacour-Gayet F, Piot D, Zoghbi J, *et al.* Surgical management and indication of left ventricular retraining in arterial switch for transposition of the great arteries with intact ventricular septum. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2001, 20(4): 824-829.
 - 34 Iyer KS, Sharma R, Kumar K, *et al.* Serial echocardiography for decision making in rapid two-stage arterial switch operation. *Ann Thorac Surg*, 1995, 60(3): 658-664.
 - 35 Boutin C, Jonas RA, Sanders SP, *et al.* Rapid two-stage arterial switch operation. Acquisition of left ventricular mass after pulmonary artery banding in infants with transposition of the great arteries. *Circulation*, 1994, 90(3): 1304-1309.
 - 36 Lacour-Gayet F, Anderson RH. A uniform surgical technique for transfer of both simple and complex patterns of the coronary arteries during the arterial switch procedure. *Cardiol Young*, 2005, 15(Suppl 1): 93-101.
 - 37 Yacoub MH, Radley-Smith R. Anatomy of the coronary arteries in transposition of the great arteries and methods for their transfer in anatomical correction. *Thorax*, 1978, 33(4): 418-424.
 - 38 Bove EL. Current technique of the arterial switch procedure for transposition of the great arteries. *J Card Surg*, 1989, 4(3): 193-199.
 - 39 Villafañe J, Lantin-Hermoso MR, Bhatt AB, *et al.* D-transposition of the great arteries: the current era of the arterial switch operation. *J Am Coll Cardiol*, 2014, 64(5): 498-511.
 - 40 Yamagishi M, Shuntoh K, Fujiwara K, *et al.* "Bay window" technique for the arterial switch operation of the transposition of the great arteries with complex coronary arteries. *Ann Thorac Surg*, 2003, 75(6): 1769-1773.
 - 41 Parry AJ, Thurm M, Hanley FL. The use of 'pericardial hoods' for maintaining exact coronary artery geometry in the arterial switch operation with complex coronary anatomy. *Eur J Cardiothorac Surg*, 1999, 15(2): 159-164.
 - 42 Tireli E, Korkut AK, Basaran M. Implantation of the coronary arteries after reconstruction of the neo-aorta by using pericardial or pulmonary hood techniques. A significant impact on the outcome of arterial switch operations. *J Cardiovasc Surg (Torino)*, 2003, 44(2): 173-178.
 - 43 Quaegebeur JM, Rohmer J, Ottenkamp J, *et al.* The arterial switch operation. An eight-year experience. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 1986, 92(3 Pt 1): 361-384.
 - 44 Khairy P, Clair M, Fernandes SM, *et al.* Cardiovascular outcomes after the arterial switch operation for D-transposition of the great arteries. *Circulation*, 2013, 127(3): 331-339.
 - 45 Mayer JE Jr, Sanders SP, Jonas RA, *et al.* Coronary artery pattern and outcome of arterial switch operation for transposition of the great arteries. *Circulation*, 1990, 82(5 Suppl): IV 139-IV 145.
 - 46 Pasquali SK, Hasselblad V, Li JS, *et al.* Coronary artery pattern and outcome of arterial switch operation for transposition of the great arteries: a meta-analysis. *Circulation*, 2002, 106(20): 2575-2580.
 - 47 Asou T, Karl TR, Pawade A, *et al.* Arterial switch: translocation of the intramural coronary artery. *Ann Thorac Surg*, 1994, 57(2): 461-465.
 - 48 Chen X, Cui H, Chen W, *et al.* Early and mid-term results of the arterial switch operation in patients with intramural coronary artery. *Pediatr Cardiol*, 2015, 36(1): 84-88.
 - 49 Aubert J, Pannetier A, Couvelly JP, *et al.* Transposition of the great

- arteries. New technique for anatomical correction. *Br Heart J*, 1978, 40(2): 204-208.
- 50 Koshiyama H, Nagashima M, Matsumura G, *et al*. Arterial switch operation with and without coronary relocation for intramural coronary arteries. *Ann Thorac Surg*, 2016, 102(4): 1353-1359.
 - 51 Murthy KS, Coelho R, Kulkarni S, *et al*. Arterial switch operation with in situ coronary reallocation for transposition of great arteries with single coronary artery. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2004, 25(2): 246-249.
 - 52 汪曾伟, 刘维永, 张宝仁, 主编. 心脏外科学. 北京: 人民军医出版社, 2003. 982-1033.
 - 53 Vergnat M, Baruteau AE, Houyel L, *et al*. Late outcomes after arterial switch operation for Taussig-Bing anomaly. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2015, 149(4): 1124-1130.
 - 54 Schwarz F, Blaszczyk HC, Sinzobahamvya N, *et al*. The Taussig-Bing anomaly: long-term results. *Eur J Cardio-thorac Surg*, 2013, 44(5): 821-827.
 - 55 Hayes DA, Jones S, Quaeghebeur JM, *et al*. Primary arterial switch operation as a strategy for total correction of Taussig-Bing anomaly: a 21-year experience. *Circulation*, 2013, 128(11 Suppl 1): S194-S198.
 - 56 Gabriel J, Scheld HH, Tjan TD, *et al*. Is the function of all cardiac valves after the arterial switch operation influenced by an associated ventricular septal defect? *Cardiol Young*, 2011, 21(4): 383-391.
 - 57 Pigula FA. The Taussig-Bing anomaly turns 65: What we have learned in a lifetime. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2015, 149(4): 1132-1133.
 - 58 乔爱科, 潘友联, 董念国. 食管交界和食管直径对主动脉瓣关闭功能影响. 北京工业大学学报, 2014, 40(5): 776-780.
 - 59 董念国, 史嘉玮, 乔爱科, 等. 大动脉调转术后主动脉瓣关闭不全的机理研究. 中国循环杂志, 2013, 8(增刊): 206.
 - 60 Vargo P, Mavroudis C, Stewart RD, *et al*. Late complications following the arterial switch operation. *World J Pediatr Congenit Heart Surg*, 2011, 2(1): 37-42.
 - 61 Cleuziou J, Vitanova K, Pabst von Ohain J, *et al*. Incidence and risk factors for right ventricular outflow tract obstruction after the arterial switch operation. *Thorac Cardiovasc Surg*, 2019, 67(1): 37-43.
 - 62 Raju V, Burkhart HM, Durham LA 3rd, *et al*. Reoperation after arterial switch: a 27-year experience. *Ann Thorac Surg*, 2013, 95(6): 2105-2112.
 - 63 Delmo Walter EM, Miera O, Nasser B, *et al*. Onset of pulmonary stenosis after arterial switch operation for transposition of great arteries with intact ventricular septum. *HSR Proc Intensive Care Cardiovasc Anesth*, 2011, 3(3): 177-187.
 - 64 Jatene MB, Jatene IB, Oliveira PM, *et al*. Prevalence and surgical approach of supra-ventricular pulmonary stenosis after Jatene operation for transposition of great arteries. *Arq Bras Cardiol*, 2008, 91(1): 17-24.
 - 65 Michalak KW, Moll JA, Sobczak-Budlewska K, *et al*. Reoperations and catheter interventions in patients with transposition of the great arteries after the arterial switch operation. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2017, 51(1): 34-42.
 - 66 Lo Rito M, Fittipaldi M, Haththotuwa R, *et al*. Long-term fate of the aortic valve after an arterial switch operation. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2015, 149(4): 1089-1094.
 - 67 Losay J, Touchot A, Capderou A, *et al*. Aortic valve regurgitation after arterial switch operation for transposition of the great arteries: incidence, risk factors, and outcome. *J Am Coll Cardiol*, 2006, 47(10): 2057-2062.
 - 68 Schwartz ML, Gauvreau K, del Nido P, *et al*. Long-term predictors of aortic root dilation and aortic regurgitation after arterial switch operation. *Circulation*, 2004, 110(11 Suppl 1): I128-I132.
 - 69 Di Salvo G, Bulbul Z, Pergola V, *et al*. Gothic aortic arch and cardiac mechanics in young patients after arterial switch operation for d-transposition of the great arteries. *Int J Cardiol*, 2017, 241: 163-167.
 - 70 Gu Z, Pan Y, Qiao A, *et al*. Numerical simulation of closure performance for neo-aortic valve for arterial switch operation. *Biomed Eng Online*, 2016, 15(Suppl 2): 150.
 - 71 Vida VL, Zanotto L, Zanotto L, *et al*. Left-sided reoperations after arterial switch operation: A European multicenter study. *Ann Thorac Surg*, 2017, 104(3): 899-906.
 - 72 Jung JC, Kwak JG, Kim ER, *et al*. Reoperation for coronary artery stenosis after arterial switch operation. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2018, 27(2): 169-176.
 - 73 Kirzner J, Pirmohamed A, Ginns J, *et al*. Long-term management of the arterial switch patient. *Curr Cardiol Rep*, 2018, 20(8): 68.
 - 74 Angeli E, Raisky O, Bonnet D, *et al*. Late reoperations after neonatal arterial switch operation for transposition of the great arteries. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2008, 34(1): 32-36.
 - 75 El-Segaier M, Lundin A, Hochbergs P, *et al*. Late coronary complications after arterial switch operation and their treatment. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2010, 76(7): 1027-1032.
 - 76 Xiao Y, Su W, Li Y, *et al*. Pulmonary artery aneurysm compressing the tracheobronchial tree following an arterial switch operation. *J Card Surg*, 2016, 31(2): 106-109.
 - 77 Robotin MC, Bruniaux J, Serraf A, *et al*. Unusual forms of tracheobronchial compression in infants with congenital heart disease. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 1996, 112(2): 415-423.

收稿日期: 2019-11-27 修回日期: 2019-11-29

本文编辑: 刘雪梅