

小儿复杂先天性心脏病手术的麻醉

首都医科大学附属北京安贞医院麻醉科
欧阳川

小儿心脏手术麻醉管理

- 前言
- 麻醉管理要点

前言

先心病概念、背景、解剖特点、
病理特点、手术方式

先天性心脏病的概念

- ❖ 孕妇在怀孕的最初三个月内受病毒感染、放射性辐射和某些药物的影响，缺乏营养以及某些遗传因素，使胎儿的心脏发育异常，从而引起心脏结构的先天性异常或缺损。

“新生儿先天性心脏病外科治疗进展”

刘锦纷

上海交通大学医学院附属

上海儿童医学中心

背景——产前筛查和出生筛查

- ❖ 常规对 16 ~ 20 周左右胎龄的胎儿进行超声心动图检查。
- ❖ 以大动脉错位和动脉导管依赖性的复杂性先天性心脏病为代表的畸形检出敏感度在 80 %，特异度在 90 % 以上。

前言

先心病解剖学特点

- 根据先心病病变的节段系统分类。
- 1. **大静脉（体静脉、肺静脉）**：狭窄、畸形、缺如、异位连接等；
- 2. **心房**：房间隔缺损、单心房等；
- 3. **房室连接**：二尖瓣、三尖瓣的发育不良、下移、关闭不全，共同房室瓣等；
- 4. **心室（右心室、室间隔、左心室）**：法洛四联症、室间隔缺损、左或右心室双出口、单心室等；
- 5. **心室动脉连接**：主动脉瓣和肺动脉瓣病变（狭窄、闭锁），大动脉转位，共同心室动脉瓣，共干等；
- 6. **大动脉**：肺动脉和主动脉所致的缩窄、缺如、吊带、中断等，以及动脉导管未闭，冠状动脉起源异常等。

前言——病理分型

● 小儿心脏麻醉病理生理学分型

按照心脏病理生理学链条的初始环节分型

分型

典型病种

左向右分流

室间隔缺损（VSD）

右向左分流

肺血少

发乐氏四联征（TOF）

肺血多

完全肺静脉畸形引流（TAPVC）

血流方向异常

先天性心脏瓣膜发育不良，Eberstein, MI,

体循环肺循环血流并行（功能解剖心室倒置）

紫绀

完全大动脉转位（TGA）

非紫绀

矫正型大动脉转位（cTGA）

部分紫绀

主动脉弓离断（IAA）

体循环肺循环血流完全混合

永存动脉干（TA）

单心室（SV），右室双出口（DORV）

血流完全梗阻病变

肺动脉瓣闭锁（PA）

三尖瓣闭锁（TA）

心肌缺血

冠状动脉起源于肺动脉（ALCAPA）

冠状动脉瘘（CAF），前降支A起源右冠A

前言

- 复杂先心病病生理学特点:

心血管内血液发生分流、异位引流、返流、梗阻、并行、混合、心肌窃血→**PVR/SVR**变化、**Qs/Qp**变化→有效体循环血流、有效肺循环血流变化→氧代谢紊乱，血液动力学紊乱，心、肺功能不全。

前言

手术方式

1. 解剖学矫治手术
2. 姑息性手术或叫减状手术
3. 部分性生理学矫治手术
4. 完全性生理学矫治手术

麻醉管理要点

- 术前评估
- 麻醉原则

麻醉管理要点——术前评估

- 重点评估
- 综合评估

术前重点评估

● 术前重点评估心、肺病变的严重程度:

1. Q_s 、 Q_p 失配
2. 发绀
3. 心功能不全
4. 肺功能不良

术前重点评估

(一)术前 Q_s 、 Q_p 失配:

1. 先心病病型
2. 体格发育
3. 发绀程度
4. 分流量、肺血管发育（心导管检查）
5. 左心室舒张末内径（超声心动图）

术前重点评估

(二)发绀

1. SpO₂
2. HCT
3. 缺氧发作
4. 代谢性酸中毒

术前重点评估

(三)心功能不全

根据纽约心脏病协会（NYHA）四级分类法对心脏病人心功能进行分级：

I 级：仅有心脏病的体征（如杂音），但体力活动不受限。

II 级：日常活动轻度受限，较重的劳动可出现疲劳、心悸、呼吸困难或心绞痛。

III 级：体力活动显著受限，轻度活动即出现心功能不全症状和体征，但休息后尚感舒适。

IV 级：体力活动能力完全丧失，休息时仍出现心功能不全症状和体征。

术前重点评估

婴儿心功能分级也为四级分类法：

I 级：无症状，吮乳和活动与正常儿无异。

II 级：在乳儿，吮乳时可有轻度呼吸急促或多汗，年长儿活动时异常的呼吸困难，但生长发育尚正常。

III 级：吮乳和活动有明显的呼吸急促，喂哺时间延长，生长发育因心力衰竭而落后。

IV 级：休息时亦有症状，呼吸急促，有三凹征，呻吟和多汗。

术前重点评估

(四)肺功能不良

1. 肺炎、肺不张
2. 肺动脉高压
3. 肺血少和肺动脉发育不良
4. 气管或支气管畸形、狭窄、软化

术前综合评估

1. **重要脏器功能：**心、肺、肝、肾、脑功能。
2. **病理生理紊乱程度：**炎症、肺动脉高压、低氧血症、酸中毒、低血钾、贫血、体格发育。
3. **操作难度：**气管插管，动脉和中心静脉穿刺置管。
4. **手术难度：**按照欧洲先心病手术难度分级。

术前综合评估

项目类型	项目分级			
	1级	2级	3级	4级
重要脏器功能	一般	差	较差	非常差
病理生理紊乱程度	无	轻度	中度	重度
操作难度	不难	稍难	较难	非常难
手术难度	ASD、PDA	VSD、TOF轻	TOF重、 PECD、 DORV轻	TAPVC、 DORV重、 TGA、AII

术前综合评估

项目类型	麻醉分级			
	1级	2级	3级	4级
重要脏器功能	1~2级	2~3级	2~3级	3~4级
病理生理紊乱程度	1~2级	2~3级	2~3级	3~4级
麻醉操作难度	1~2级	1~3级	2~3级	3~4级
手术难度	1~2级	2~3级	2~4级	3~4级

麻醉2级：最多有一个项目是3级。

麻醉3级：除手术难度外，至少有两个以上项目是3级，或手术难度4级加其它任何一项小于3级。

麻醉4级：至少一个项目发生4级，其它项目是3级。

麻醉管理要点——麻醉原则

- 建立特殊的血流动力学监护
- 维持恰当的麻醉深度
- 正确对待低氧血症
- 调控PVR和SVR
- 纠正心功能不全
- 积极防治肺动脉高压

麻醉原则

——建立特殊的血流动力学监护

- 右侧上肢置管测动脉压（用于**COA**，**IAA**患儿）
- 左侧上肢置管测动脉压(用于右侧**B-T**分流术)
- 上、下肢同时置管测动脉压（用于**COA**，**IAA**患儿）
- 上、下同时置管测上、下腔**V**压（用于**Gleen**术，**Fontan**术）
- 左、右心房置管测压（用于**TAPVC**，**TCPC**，**TOF**患儿）
- **SpO2**、**PetCO2**的特殊意义（用于**TOF**患儿）
- 肺动脉导管技术(用于围术期**PAH**，循环功能低下患儿)
- **SvO2**、**SaO2**、**HCT**、血压、**CVP**、血乳酸值联合监测（循环功能低下患儿）

麻醉原则

——建立特殊的血流动力学监护

- 术中比较各项生理指标判断 Q_s ： Q_p ：
 1. 上、下腔静脉压力的比较（Glezen术后），
 2. $PetCO_2$ 、 SaO_2 和ABP关系，
 3. SaO_2 与 SvO_2 的关系，

麻醉原则

——维持恰当的麻醉深度

- 麻醉过浅或过深均可导致血液动力学紊乱。
- 大剂量芬太尼的抗组织炎性反应优于小剂量，这一作用小儿强于成人。

方能新 张健 曾一平。临床麻醉学杂志2004年3月第20卷第3期
曾一平 方能新 张健等。临床麻醉学杂志2004年2月第20卷第2期

麻醉原则

——维持恰当的麻醉深度

● 两组新生儿术后并发症和结果

FINDING	HALOTHANE GROUP (N = 15)	SUFENTANIL GROUP (N = 30)	P VALUE†
Hypotension	11 (73)	13 (43)	0.055
Arrhythmias	7 (47)	6 (20)	0.154
Sepsis or necrotizing enterocolitis	3 (20)	0	0.032
Disseminated intravas- cular coagulation	3 (20)	0	0.032
Seizures	4 (27)	3 (10)	0.154
Metabolic acidosis	4 (27)	0	0.009
Death	4 (27)	0	0.009
Postoperative ventila- tion (hr)	125±45‡	127±21	0.086§
Postoperative ICU stay (days)	9.0±2.0‡	8.6±0.9	0.413§
Postoperative hospital stay (days)	16.1±3.6‡	16.9±2.3	0.214§

K.J.S. Anand, M.B., B.S., D.Phil., and P.R. Hickey, M.D. The New England Journal of Medicine 326:1-9 (January 2). 1992.

麻醉原则

——维持恰当的麻醉深度

● 表4 不同麻醉方法在非发绀先心病患儿
体外循环后血糖分布

● 分组	重度高血糖	正常血糖	高血糖
● S组> 2ug/kg/h	11	39	26
● F1组>20ug/kg/h	8	22	13
● F2组<10ug/kg/h	25	18	15

重度高血糖组（血糖 ≥ 170 mg/dL）；血糖正常组（血糖 ≤ 122 mg/dL）；高血糖组（ $122\text{mg/dL} < \text{血糖} < 170\text{mg/dL}$ ）。

使用Chi-square test,分析：
S组与 F2比较, $P=0.001$, $P<0.01$;
F1组与F2组比较, $P=0.027$, $P<0.05$;
S组与F1组比较, $P=0.803$, $P>0.05$.

麻醉原则

——维持恰当的麻醉深度

● 表1 两组心脏病诊断情况

● 诊断名称	F组	S组
● 室间隔缺损	10例	6例
● 法乐氏四联征	5例	9例
● 右室双出口	2例	1例
● 完全心内膜垫缺损-----		1例
● 合计	17例	17例

舒芬太尼对血液动力学的影响

舒芬太尼对氧代谢的影响

欧阳川 卿恩明 赵丽云等。临床麻醉学杂志 2009年，7期
欧阳川 卿恩明 赵丽云等。中华麻醉学杂志 2008年12期

麻醉原则

——维持恰当的麻醉深度

项目	F组	S组
性别(男/女)	11/6	7/10
年龄(月)	16.38±11.23	16.68±8.75
体重(kg)	9.15±3.80	9.62±2.45
阻断升主动脉时间(min)	73.8 ± 34.1	76.6±33.9
体外循环时间(min)	108.6 ± 59.8	109.2±39.3
手术时间(min)	215.1 ± 71.8	217.1±55.9
Fentanylug.kg ⁻¹ 诱导	10	-----
Fentanyl ug.kg ⁻¹ .h ⁻¹ 维持	20~30	-----
Sulfentanylug.kg ⁻¹ 诱导	-----	1
Sulfentanyl ug.kg ⁻¹ .h ⁻¹ 维持	-----	2~3

欧阳川 卿恩明 赵丽云等。临床麻醉学杂志 2009年, 7期
 欧阳川 卿恩明 赵丽云等。中华麻醉学杂志 2008年12期

麻醉原则

——维持恰当的麻醉深度

舒芬太尼对血液动力学的影响

表2 两组病人各项血液动力学指标的比较 ($\bar{x} \pm s$)

参数指标		T1	T2	T3
CI (L·min·M ⁻²)	F组	4.01±0.81	3.44±0.77b	2.94±0.49a
	S组	4.07±1.05	4.07±0.88c	3.76±0.90c
SI(ml·beat·m ⁻²)	F组	27.49±7.42	23.26±7.55	23.08±3.98
	S组	27.91±7.64	27.72±7.61	30.13±13.00
SVRI (dynes·sec·cm ⁻⁵ ·m ⁻²)	F组	1215.8±352.5	1399.3±397.5	1670.6±694.8b
	S组	1093.2±395.6	1099.6±282.1c	1362.0±370.1bc
PVRI (dynes·sec·cm ⁻⁵ ·m ⁻²)	F组	244.5±141.2	269.6±163.1	323.1±241.7
	S组	191.4±86.3	166.3±84.6c	143.3±84.0c

注：与T1时对比，a为P<0.01，b为P<0.05;与s组比较，c为P<0.05

麻醉原则

——维持恰当的麻醉深度

舒芬太尼对氧代谢的影响

● 表3 两组各时间点氧动力学比较 ($\bar{x} \pm s$)

参数指标		T1	T2	T3
CI	F组	4.01±0.81	3.44±0.77#	2.94±0.49##
	S组	4.07±1.05	4.07±0.88*	3.76±0.90*
SVO2	F组	71.95±7.82	68.99±11.70	68.96±7.87
	S组	76.18±6.39	75.60±6.07	70.10±7.14
DO2I	F组	566.24±103.51	542.17±145.49	501.33±92.23
	S组	646.56±138.44	645.31±124.32 *	681.50±54.45*
VO2I	F组	168.91±41.42	170.20±50.86	180.67±59.08
	S组	164.77±34.89	164.95±38.61	189.65±33.23
O2ER	F组	0.30±0.08	0.32±0.08	0.35±0.07
	S组	0.26±0.04*	0.26±0.06*	0.28±0.06*

● S组与F组比较* $P<0.05$;组内与T1比较# $P<0.05$, ## $P<0.01$

欧阳川 卿恩明 赵丽云等。中华麻醉学杂志 2008年12期

麻醉原则

——维持恰当的麻醉深度

- 1999年开始小儿肺动脉导管技术的研究
- 30例患儿，男21例，女9例
- 年龄 14.50 ± 7.08 (5~24) 月
- 体重 7.83 ± 1.63 (4.5~11) kg
- 身高 73.31 ± 7.83 (60~96) cm
- 心胸比例 64 ± 4.62 (最大73) %

麻醉原则

——维持恰当的麻醉深度

- 室间隔缺损**26例**（其中伴房间隔缺损或卵圆孔未闭**16例**，伴动脉导管未闭**3例**），
- 动脉导管未闭**3例**（其中两例伴左肺发育不良，**1例**为主-肺动脉间隔缺损），
- 完全心内膜垫缺损**1例**。

麻醉原则

——维持恰当的麻醉深度

- 其中14例于手术结束应用温度稀释法（连续3次测定值的均数）测定心排量。
- 麻醉维持：使用芬太尼 $8\sim 10\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 为主的静吸复合麻醉。

CI 4.82 ± 0.85 $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$,

PVR 572 ± 246.22 达因 $\cdot\text{秒}\cdot\text{cm}^{-5}$,

SVR 2591 ± 719.72 达因 $\cdot\text{秒}\cdot\text{cm}^{-5}$,

DO₂I 699 ± 120.59 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$,

VO₂I 206 ± 84.91 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$,

ERO₂ 0.29 ± 0.11 ;

麻醉原则

——维持恰当的麻醉深度

舒芬太尼对乳酸代谢的影响

表2 婴幼儿心脏病诊断(左向右分流, 非发绀患儿)

病种	S组	F组
VSD or/and ASD、PDA	153	187
TECD、PECD	10	10
COA or/and VSD	9	6
ASD	15	7
PDA	8	0
S组或F组合计/总例数	195/405	210/405

注明: VSD 室间隔缺损, ASD 房间隔缺损, PDA 动脉导管未闭(或窗型), COA 降主动脉缩窄, TECD 完全心内膜垫缺损, PECD 部分心内膜垫缺损。

麻醉原则

——维持恰当的麻醉深度

● 表3 舒芬太尼与芬太尼乳酸值和高乳酸发生率比较

● 组别/时间点	T1	T2	T3	T4	T5	T6
● 乳酸值 全组	0.94±0.35	2.40±1.16▲▲	2.08±1.10	1.74±1.14	1.48±0.94	0.93±0.59
● S组	0.88±0.29*	2.20±1.01**	1.85±1.29**	1.59±1.16**	1.45±0.94	0.94±0.59
● F组	1.01±0.39	2.30±1.15	2.30±1.15	1.88±1.11	1.51±0.94	0.92±0.60
● 高乳酸血症发						
● 生率 全组	0/405	82/323	72/333	52/353	29/376	4/401
● S组	0/195	30/165*	26/169*	25/170	14/181	1/194
● F组	0/210	52/158	46/164	27/183	15/195	3/207

● 注：乳酸值单位mmol/L；S组与F组在切皮前(T1)、心脏复跳15min(T2)、体外循环结束15min(T3)、ICU1h(T4)、ICU8h(T5)、ICU24h(T6)6个时间点抽取动脉血检测血乳酸值；全组为S组+F组；高乳酸血症发生率为高乳酸血症例数/非高乳酸血症；组间比较*P<0.05、** P<0.01，组内比较，▲▲P<0.01。

麻醉原则

——维持恰当的麻醉深度

● 静脉诱导麻醉可以采用下列步骤：

①镇静：异丙酚2~2.5 mg/kg或/和咪达唑仑0.05~0.2 mg/kg，当循环不稳定时可应用氯胺酮1~2 mg/kg。

②肌肉松弛：维库溴铵0.2 mg/kg或罗库溴铵1 mg/kg。

③止痛：芬太尼5~10 μ g/kg或舒芬太尼0.5~1.0 μ g/kg。

● 七氟烷吸入麻醉诱导。

麻醉原则

——维持恰当的麻醉深度

- 当静脉复合麻醉采用持续给药时
 1. 持续静脉泵入芬太尼 $10\sim 40\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 或舒芬太尼 $1\sim 4\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$,
 2. 静安 $2\sim 4\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 或咪达唑仑 $0.2\sim 0.4\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$,
 3. 哌库溴铵 $0.08\sim 0.16\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

麻醉原则

——正确对待低氧血症

- 低氧血症是复杂先心病的病理特点之一。
- 积极纠正肺源性低氧血症。
- 肺血少型复杂先心病行B-T分流术后， SaO_2 应维持在85%-90% 同时 SvO_2 大于60%才能使 Q_s 与 Q_p 匹配。
- TGA患儿肺动脉环缩后需同时行B-T分流术才能改善严重低氧血症。
- TECD、肺动脉高压型DORV小婴儿肺动脉环缩后， SaO_2 应维持在85%-90%才能降低肺血流量至满意状态。

麻醉原则

——调控PVR和SVR

病型	生理特点 变化	PVR		SVR	
		升高	降低	升高	降低
TOF	右向左分流量	↑	↓	↓	↑
VSD(非限制)	左向右分流量	↓	↑	↑	↓
AI、MI	心排量	-	-	↓	↑
AS、MS	冠脉供血	-	-	↑	↓
TA	SaO ₂	↓	↑	↑	↓
	ABP	↑	↓	↑	↓
B-T分流术	分流量	↓	↑	↑	↓
Glezen术	肺血流量	↓	↑	-	-

麻醉原则

——调控PVR和SVR

- 控制和改变肺血管阻力的因素（除血管活性药物外）：

PVR升高

缺氧

高碳酸血症

酸中毒

过度肺膨胀

肺不张

刺激交感神经

HCT升高

外科手术

PVR降低

吸氧

低碳酸血症

碱中毒

正常**FRC**

阻断交感神经的刺激

HCT降低

吸入**NO**

麻醉原则

——调控PVR和SVR

- 提高体血管阻力、体循环灌注压的策略：
 1. 血管收缩剂（ α 受体激动剂）如苯肾上腺素、去甲肾上腺素或血管加压素（拮抗血管舒张）。
 2. 液体管理 - 晶体和/或5%白蛋白，低血细胞比容时给予浓缩血球。
 3. 正性肌力药物 - 多巴胺、肾上腺素（当伴有流出道梗阻病变时其使用应极端谨慎）。
 4. 适当调控麻醉深度。

麻醉原则

——纠正心功能不全

● 心功能不全、心衰的主要原因：

1. 心肌损伤
2. 心内血流方向异常
3. 心内分流
4. 左右心发育不平衡
5. 心律失常
6. 心肌缺血, 心肌毒性因素
7. 心外因素心功能失代偿（容量，SVR, PVR）

麻醉原则

——纠正心功能不全

● 药物治疗

1. 正性肌力药物

(1) 多巴胺 ($3 \sim 10 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)

(2) 肾上腺素 ($0.03 \sim 0.2 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)

(3) 米力农 ($0.3 \sim 0.75 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)

2. 抗心律失常药：应用阿托品、异丙肾上腺素、苯肾、抗心律失常药、除颤器和临时起搏器等调整心率增加心排出量。

3. 血管扩张药（硝酸甘油、硝普钠、前列腺素E1）调整SVR、PVR降低心脏的容量和/或压力负荷。

4. 维持良好的窦性心律是维护小儿心功能的永远主题。

麻醉原则

——纠正心功能不全

● 呼吸机治疗：

- 1.调整麻醉机使动脉血氧饱和度达到最佳状态。
- 2.通过呼吸治疗控制左心前负荷。
- 3.适当过度通气（呼碱）以降低右心后负荷。

麻醉原则

——纠正心功能不全

● 改善心肌缺血：

- (1)纠正低主动脉压力。
- (2)修补损伤、扭曲和狭窄的冠状动脉及其吻合口。
- (3)防止冠脉气栓。
- (4)防止心脏外机械压迫冠状动脉。
- (5)纠正严重低氧血症。
- (6)纠正严重低血红蛋白。
- (7)纠正快速心律失常降低心肌氧耗量。
- (8)纠正低血钾、酸中毒、浅麻醉等以解除冠脉痉挛。
- (9)应用扩张冠状动脉药如硝酸甘油。

麻醉原则

——纠正心功能不全

● 其它

- 1.控制输血、输液速度和总量以保持恰当的心脏前负荷。
- 2.调整麻醉深度、通气状态和应用血管活性药保持恰当的心脏后负荷。
- 3.应避免出现抑制心肌收缩力的因素如手术操作、过度使用麻醉药和抗心律失常药，患儿酸中毒、电解质紊乱等。
- 4.体外循环后行改良超滤。
- 5.延迟关胸。
- 6.机械辅助:主动脉内气囊反搏（IABP）,体外膜肺（ECMO）和心室辅助设备（VAD）。

麻醉原则

——积极防治肺动脉高压

- 在心导管室，PHT的不可逆程度可通过PAP、PVR在吸入100%氧气或肺血管扩张药前后的变化来评估。

麻醉原则

——积极防治肺动脉高压

● 术后重度肺动脉高压的管理：

- 1.通过肺动脉导管监测肺动脉压。
- 2.呼吸管理 避免低氧血症和呼吸性酸中毒。
- 3.调控麻醉 手术中需有足够的麻醉深度。
- 4.手术后加强镇静、止痛治疗。
- 5.抗炎治疗。
- 6.应用扩张肺动脉药积极降低肺动脉压。
- 7.维持适当的SVR，避免过度的左心高排低阻。

谢谢!