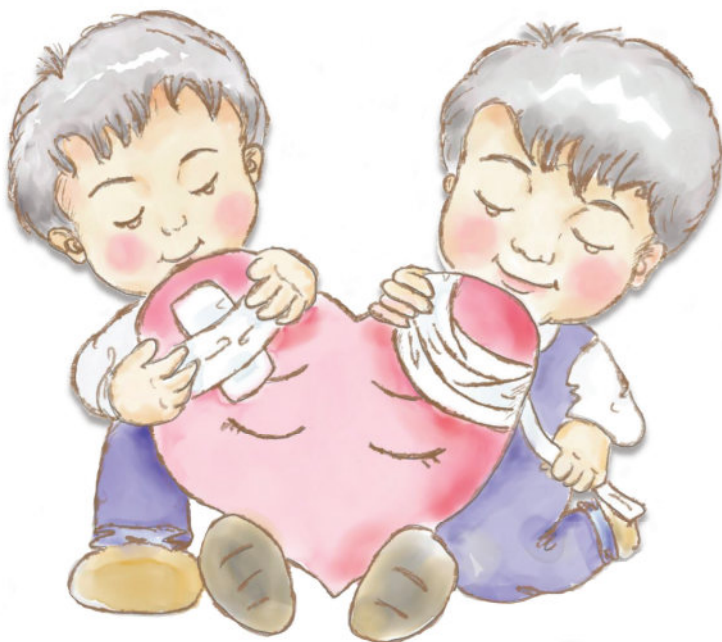


Handbook of Pediatric Cardiac Surgery

(โรคหัวใจแต่กำเนิดและการผ่าตัด)



ชาญัญญา กรุณาสุมัตตา



Handbook of Pediatric Cardiac Surgery

(โรคหัวใจแต่กำเนิดและการผ่าตัด)



เนื้อหาและภาพประกอบโดย

ผศ.พญ.ชนัญญา กรุณาสูเมตตา

MD., FRCST.

สาขาศัลยศาสตร์ทรวงอก

คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Handbook of Pediatric Cardiac Surgery (โรคหัวใจแต่กำเนิดและการผ่าตัด)

ISBN: 978-616-438-587-0

บรรณาธิการ: ชันัญญา กรุณาสุมตตา

Email: chananyaka@kku.ac.th

พิมพ์ครั้งที่ 1: พฤษภาคม 2564

จำนวนพิมพ์: 500 เล่ม

ราคา: 500 บาท

จัดพิมพ์และจัดจำหน่าย:

หน่วยศัลยศาสตร์ทรวงอก ภาควิชาศัลยศาสตร์

คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

© 2021 Chananya Karunasumetta

ไม่อนุญาตให้คัดลอก เนื้อหา บทความหรือรูปภาพ อันเป็นส่วนประกอบของหนังสือเล่มนี้
หรือทำการเผยแพร่ซ้ำในรูปแบบใด ๆ ก่อนได้รับอนุญาต

ชันัญญา กรุณาสุมตตา.

Handbook of Pediatric Cardiac Surgery (โรคหัวใจแต่กำเนิดและการผ่าตัด).--

ขอนแก่น : หน่วยศัลยศาสตร์ทรวงอก ภาควิชาศัลยศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2564.

354 หน้า

1. โรคหัวใจพิการแต่กำเนิด. 2. โรคหัวใจพิการแต่กำเนิดในเด็ก. 3. หัวใจ -- โรค. I. ชื่อเรื่อง.

616.12043

ISBN 978-616-438-587-0

แต่ ยะ เอียร์ และจุล ที่เป็นแรงใจและสนับสนุนในการทำงาน
ถ้าปราศจากกำลังใจดังกล่าว การเขียนหนังสือเล่มนี้คงไม่อาจสำเร็จได้

List of abbreviations

ALCAPA anomalous left coronary artery from the pulmonary artery	d-TGA dextro-transposition of the great arteries
Ao aorta	DHCA deep hypothermic circulatory arrest
AMP adenosine monophosphate	DKS Damus-Kaye-Stansel procedure
AP anteroposterior	DOLV double outlet left ventricle
APC aortopulmonary collateral	DORV double outlet right ventricle
AR aortic regurgitation	DPF differential pathway factor
AS aortic stenosis	DPT diastolic perfusion time
ASD atrial septal defect	ECG electrocardiography
ATP adenosine triphosphate	ECHO echocardiography
AV aortic valve	ECMO extracorporeal membrane oxygenation
A-V atrioventricular	EKG electroencephalography
AVSD atrioventricular septal defect	EF ejection fraction
CATH cardiac catheterization	ETCO ₂ end-tidal carbon dioxide
CHF congestive heart failure	FFP fresh frozen plasma
CoA aortic coarctation	FiO ₂ fraction of inspired oxygen
CPAP continuous positive airway pressure	FRC functional residual capacity
CPB cardiopulmonary bypass	HCM hypertrophic cardiomyopathy
CS coronary sinus	Hct hematocrit
CT computed tomography	HLHS hypoplastic left heart syndrome
cc-TGA congenital corrected transposition of the great arteries	HT, HTN hypertension
CXR chest x-ray	IAA interrupted aortic arch
CVR coronary vascular reserve	ICU intensive care unit
Cx circumflex	

IE infective endocarditis
IQ intelligence quotient
IVC inferior vena cava
IVS intact ventricular septum
LA left atrium
LAD left anterior descending
LAE left atrial enlargement
LAP left atrial pressure
LBB left bundle branch
LCC left coronary cusp
LMCA left main coronary artery
LPA left pulmonary artery
LPSB left parasternal border
L–R left to right
LSVC left superior vena cava
L-TGA levo-transposition of the
 great arteries
LVH left ventricular hypertrophy
LVOT left ventricular outflow tract
MCA middle cerebral artery
MPA main pulmonary artery
MRI magnetic resonance imaging
MV mitral valve
NEC necrotizing enterocolitis
NIRS near infrared spectroscopy
NYHA New York Heart Association
 (classification)
PA pulmonary artery

PaO₂ arterial oxygen partial pressure
PAPVC partial anomalous pulmonary
 venous connection
PDA patent ductus arteriosus
PE physical examination
PEEP positive end-expiratory
 pressure
PFO patent foramen ovale
PGE1 prostaglandin E1
PHT pulmonary hypertension
PS pulmonary stenosis
PTFE polytetrafluoroethylene
PV pulmonary vein
PV pulmonic valve
PVOD pulmonary vascular occlusive
 disease
PVR pulmonary vascular resistance
Qp total pulmonary blood flow
Qs total systemic blood flow
RA right atrium
RAP right atrial pressure
RBB right bundle branch
RCA right coronary artery
RCC right coronary cusp
REV reparation a l'etage ventriculaire
R–L right to left
RPA right pulmonary artery
RSV respiratory syncytial virus

RV right ventricle	VAVD vacuum assisted venous drainage
RVH right ventricular hypertrophy	VSD ventricular septal defect
RVOT right ventricle outflow tract	WPW Wolff-Parkinson-White Syndrome
SaO ₂ arterial oxygen saturation	
ScO ₂ cerebral oxygen saturation	
SVC superior vena cava	
SVR systemic vascular resistance	
TAP transannular patch	
TAPVC total anomalous pulmonary venous connection	
TAPVR total anomalous pulmonary venous return	
TCD transcranial Doppler	
TEE transesophageal echocardiography	
TGA transposition of the great arteries	
TGV transposition of great vessels	
TOF tetralogy of Fallot	
t-PA tissue plasminogen activator	
TV tricuspid valve	
VACTERL vertebral abnormalities, anal atresia, cardiac abnormalities, tracheoesophageal fistula and/or esophageal atresia, renal agenesis and dysplasia and limb defects	
VAD ventricular assist device	
VATS video-assisted thoracoscopic surgery	

คำนำ

ในระหว่างที่ผู้เขียนได้ศึกษาด้านศัลยศาสตร์ทรวงอก ผู้เขียนมีความรู้สึกรู้ว่าการผ่าตัดศัลยศาสตร์หัวใจเด็ก เป็นหนึ่งสาขาที่มีความซับซ้อน ทั้งจากตัวโรคเอง วิธีในการผ่าตัด และการดูแลผู้ป่วยเด็กที่ต้องอาศัยความละเอียดใส่ใจในการดูแล เมื่อมีโอกาสได้ศึกษาต่อเฉพาะทางในด้านดังกล่าว ผู้เขียนพบว่าการทำงานมีตำราที่ดี ที่มีภาพประกอบที่ชัดเจนจะช่วยให้การเรียนรู้เป็นไปได้ง่ายขึ้น จึงเป็นความตั้งใจโดยส่วนตัวว่า หากมีโอกาสได้ทำตำราเรียน ผู้เขียนมีความปรารถนาจะทำตำราที่มีเนื้อหากระชับ รวมถึงมีภาพอธิบายที่เหมาะสม เพื่อให้เรื่องที่ซับซ้อนและยาก สามารถที่จะทำความเข้าใจได้สะดวกรวดเร็วมากขึ้น

อนึ่ง ความรู้ทางด้านศัลยศาสตร์หัวใจเด็ก เป็นความรู้ที่มีการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาตลอดเวลา ไม่แตกต่างจากความรู้ทางการแพทย์ในสาขาอื่น ดังนั้นความรู้ หรือแม้แต่ทฤษฎีที่บรรจุในตำราเล่มนี้ซึ่งถือว่าถูกต้อง ณ เวลาปัจจุบัน แต่ในอนาคตอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้นผู้เขียนสนับสนุนให้ผู้อ่านทุกท่านมีการติดตาม และพัฒนาความรู้ทางการแพทย์อยู่เป็นระยะ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่ผู้ป่วย

หากผู้อ่านพบข้อผิดพลาดประการใดในหนังสือ ผู้เขียนขออภัยขอรับข้อบกพร่องคำติทุกอย่างไว้ และขออภัยท่านผู้อ่าน รวมทั้งจะนำข้อผิดพลาดดังกล่าวไปปรับปรุงให้ดีขึ้น

ชนัญญา กรุณาสุเมตตา

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1: การดูแลผู้ป่วยโรคหัวใจแต่กำเนิดที่ได้รับการผ่าตัด	1
บทที่ 2: Anesthesia สำหรับผู้ป่วยเด็กที่ได้รับการผ่าตัดหัวใจ	7
บทที่ 3: Cardiopulmonary Bypass ในผู้ป่วยทารกและเด็ก	15
บทที่ 4: low cardiac output syndrome	27
บทที่ 5: Palliative Procedure in Congenital Heart Disease	31
บทที่ 6: Patent ductus arteriosus (PDA)	49
บทที่ 7: Aortopulmonary window (APW) หรือ aortopulmonary septal defect	57
บทที่ 8: Atrial Septal Defects (ASD)	67
บทที่ 9: Ventricular septal defect (VSD)	79
บทที่ 10: Atrioventricular septal defect (AVSD)	89
บทที่ 11: Anomalies of the pulmonary veins	107
บทที่ 12: Cor triatriatum	119
บทที่ 13: Tetralogy of Fallot (TOF)	125
บทที่ 14: Pulmonary stenosis (PS)	145
บทที่ 15: Pulmonary atresia ร่วมกับ ventricular septal defect (PA/VSD)	151
บทที่ 16: Pulmonary atresia และ intact ventricular septum (PA/IVS)	165

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 17: Double outlet right ventricle (DORV)	177
บทที่ 18: Abnormal coronary artery	191
บทที่ 19: Vascular rings - slings	213
บทที่ 20: Transposition of great arteries (TGA)	225
บทที่ 21: Congenitally corrected transposition of the great arteries (ccTGA)	247
บทที่ 22: Truncus arteriosus	261
บทที่ 23: Single Ventricle Anomalies	271
บทที่ 24: Coarctation of Aorta (COA)	287
บทที่ 25: Interrupted aortic arch	299
บทที่ 26: Aortic Stenosis/ Left Ventricular Outflow Tract Obstruction (AS/LVOTO)	307
บทที่ 27: Ebstein's Anomaly	321
บทที่ 28: Hypoplastic left heart syndrome (HLHS)	335
References	345



การดูแลผู้ป่วยโรคหัวใจแต่กำเนิดที่ได้รับการผ่าตัด

Preoperative care

- ผู้ป่วยควรได้รับการดูแลใน cardiac unit หรือ cardiac intensive care unit
- พยายามรักษาระดับ cardiac output ให้อยู่ในเกณฑ์ปกติ เนื่องจาก ภาวะ low cardiac output จะสัมพันธ์กับการเกิดภาวะแทรกซ้อนหลังการผ่าตัด
- พิจารณาหยุดยาก่อนผ่าตัด
 - o Digoxin และ diuretic หยุดก่อนผ่าตัด 1 คืน
 - o Propranolol หยุดก่อนผ่าตัด 4-6 ชั่วโมง
 - o ASA หยุดก่อนผ่าตัด 10 วัน แต่ยกเว้นไม่ต้องหยุดในรายที่ทำ mBTS
- การให้ยาสำคัญทางหลอดเลือด เช่น PGE1 หรือ inotropic drug ควรให้ทาง central line เพื่อป้องกันการให้ยาไม่ต่อเนื่องระหว่างขนย้ายผู้ป่วย
- หลีกเลี่ยงการให้สารน้ำที่มากเกินไป เพื่อป้องกันการเกิด volume overload
- ควรให้ O_2 ให้เหมาะสม โดยเฉพาะในรายที่มีภาวะเลือดไปปอดมาก เนื่องจาก O_2 จะทำให้มี pulmonary vasodilatation ส่งผลให้เลือดไปปอดมากเกินไป และ LV failure ได้

Immediate postoperative care

- Monitor
 - ผู้ป่วยควรได้รับการ monitor ที่เหมาะสม ได้แก่ ECG, systemic arterial blood pressure (invasive หรือ noninvasive), pulse oximetry (SpO₂), respiratory rate, central venous pressure
 - left atrial catheter ในผู้ป่วยที่มี left ventricular dysfunction, coronary artery perfusion abnormalities และ mitral valve dysfunction
 - Pulmonary artery catheter ควรพิจารณาทำเป็นราย ๆ ไป เช่นในกรณีที่ผู้ป่วยมี pulmonary hypertension

สาเหตุที่ทำให้ left atrial pressure สูง

- Increased ventricular end-diastolic pressure:
 - ventricular systolic หรือ diastolic function ลดต่ำลง
 - myocardial ischemia
 - systemic ventricular hypertrophy
- Mitral หรือ tricuspid valve disease
- Semilunar valve disease
- left to right intracardiac shunt ปริมาณมาก
- Chamber hypoplasia
- Intravascular หรือ ventricular volume overload
- Cardiac tamponade
- Arrhythmia:
 - tachyarrhythmia
 - complete heart block

- Cardiovascular system
 - o การให้ยาสำคัญ หรือ CaCl_2 ควรให้ central line เพื่อป้องกัน peripheral line sclerosis
 - o ระวังภาวะ air embolism จาก IV line โดยเฉพาะในผู้ป่วยที่มี right to left shunt หลงเหลืออยู่, univentricular heart หรือ post-operative bidirectional Glenn shunt, Fontan ที่ทำ fenestration ร่วมด้วย
 - o ระดับ CVP ที่เหมาะสมโดยทั่วไปคือประมาณ 8-12 mmHg และ LA pressure ไม่ควรเกิน 15 เพื่อป้องกันการเกิด pulmonary edema
 - o การพิจารณาการตอบสนองต่อการให้ volume ในเด็กเล็ก นอกจาก invasive monitoring แล้ว การตรวจดูขนาดของตับ และ anterior fontanel ก็จะเปลี่ยนแปลงได้เร็วมากตามสารน้ำที่ให้
 - o การทำ thermodilution technique เพื่อประเมิน cardiac output ผ่าน PA catheter จะไม่แม่นยำในรายที่มี left to right shunt หรือ right to left shunt หรือมี tricuspid valve regurgitation
 - o Low cardiac output หลังการผ่าตัดเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น residual defect, myocardial dysfunction post cardiopulmonary bypass (CPB), arrhythmia, hypovolemic, cardiac tamponade การรักษา ทำได้โดยการให้
 - Inotropic drug ช่วยเพิ่ม cardiac output ส่วนใหญ่โดยกลไกการเพิ่ม heart rate และ contractility
 - Pacing: atrial pacing สามารถเพิ่ม cardiac output > ventricular pacing 20% และอาจมากถึง 50% ใน noncompliant heart
 - mechanical support: LVAD, ECMO (IABP ได้ผลไม่ดีในเด็ก)

ตารางสรุป common drug use in ICU ที่ใช้บ่อย

Name of drug	Dose	Site of action	Hemodynamic effects
Dopamine	1–4 µg/kg/min	Dopaminergic receptors (1 and 2)	Renal and mesenteric dilatation
	4–10 µg/kg/min	α receptors	Inotropic effects
	11–20 µg/kg/min	β receptors	Vasopressor, increase SVR and increase PVR
Dobutamine	5–20 µg/kg/min	β1 and β2 receptors, some effect on α receptors	Inotropic effects; decrease SVR; increase cardiac output
Epinephrine (adrenaline)	0.02–0.3 µg/kg/min	α1 receptors	Inotropic effects; decrease SVR
	0.3–1 µg/kg/min	β1 and β2 receptors	Vasopressor effects; increase SVR
Nor-epinephrine (nor-adrenaline)	0.1–1 µg/kg/min	α1 and α2 receptors	Vasopressor effects; increase SVR
Hydrocortisone	1–2.5 mg/kg; 4–6 hourly	Enhance sensitivity to catecholamines	Uncertain—enhance sensitivity to catecholamines
Vasopressin	0.018–0.12 U/kg/h	Vasopressin 1 receptors	Increase SVR; no inotropic effect
Milrinone	50–75 µg/kg/min bolus followed by 0.25–0.75 µg/kg/min	Phosphodiesterase III inhibitor and produces effects at β1 and β2 receptors	Inodilator effects; lusitropic effects; increase contractility; and decrease SVR
Levosimendan	6–24 µg/kg/min bolus followed by 0.1–0.4 µg/kg/min	Multiple action including Phosphodiesterase inhibitor effect on higher doses	Inodilator effects; increase contractility without increasing myocardial oxygen demand

นำมาจาก Advances in Diagnosis and Management of Hemodynamic Instability in Neonatal Shock. Front Pediatr. 2018;6:2.

- Respiratory system

- ผู้ป่วยส่วนใหญ่สามารถ extubate ได้ใน 6-8 ชั่วโมงหลังการผ่าตัด
- ในผู้ป่วยเด็กที่น้ำหนักน้อยกว่า 10 kg มักใช้ pressure ventilator ขณะที่มากกว่า 10 kg มักนิยมใช้ volume ventilator
- หลังผ่าตัดมักมีการตั้งค่า PEEP ไว้ ยกเว้นในกลุ่มผู้ป่วย post Fontan operation ควรหลีกเลี่ยงการให้ PEEP รวมถึง high pressure support เพราะทำให้ venous blood ไปปอดลดลง และเกิด low cardiac output
- เลี่ยงการให้ FiO_2 ที่มากเกินไป
- ควรใส่ NG tube เพื่อป้องกัน aspiration โดยเฉพาะใน uncuffed ET tube

- o ภาวะ pulmonary hypertensive crisis (PHT)
 - โรคที่เกิด PHT crisis ง่าย เช่น truncus arteriosus, complete atrioventricular septal defect (AVSD), total anomalous pulmonary venous connection (TAPVC), multiple VSD
 - พิจารณาให้ยาในกลุ่ม sedation และ muscle relaxant หลังผ่าตัดและจำเป็นที่ต้อง intubation นานกว่าปกติ เมื่อจะทำการ wean ยาให้พิจารณาหยุด paralyzing agent ก่อน
 - รักษาค่า pH 7.5-7.55, $\text{PaO}_2 > 100 \text{ mmHg}$, PCO_2 25-30 mmHg
 - ระวังเวลาทำการ suction airway โดยพิจารณาให้ยา sedation เพิ่มก่อน suction, suction ให้เร็ว และระหว่าง suction ให้ O_2 100% + hand ventilate
 - พิจารณาให้ยาที่ลด pulmonary pressure เช่น NTG, PGE1, low dose isoproterenol (0.01 ug/kg/min), iloprost, milrinone, sildenafil phosphodiesterase 5 inhibitors, nitric oxide
 - inhaled nitric oxide ให้ผลในการลด PVR ดีมาก แต่ metabolized อย่างรวดเร็วโดย RBC สำหรับ dose ที่ให้คือ 10-30 ppm
- Hematologic system
 - o acyanotic heart ให้รักษาระดับ Hct 30-35%
 - o post-operative bleeding ที่ออกมากกว่า 5-10 cc/kg/hr x 2-4 hr ควรนำผู้ป่วยไปผ่าตัดซ้ำเพื่อหยุดเลือด

- o cardiac tamponade พบว่า classic sign (tachycardia, equal atrial pressure, widening mediastinum, pulsus paradoxicus, hypotension) จะพบได้น้อย มักมีเพียง oliguria, decrease perfusion, mild metabolic acidosis
- Renal และ metabolic system
 - o ระดับ glucose หลังผ่าตัดมักสูง แต่จะลดลงใน 6-12 ชั่วโมง แต่ถ้าสูงมากควรพิจารณาให้ insulin iv drip จะคุมระดับน้ำตาลได้ดีกว่าการให้เป็น intermittent dose
 - o ในผู้ใหญ่ urine output ควรออก 0.5-1 cc/kg/hr หรือ ในเด็ก = 1-2 cc/kg/hr
 - o การสารน้ำในระยะแรกหลังการผ่าตัดหัวใจ มักให้ เป็นครึ่งหนึ่งของ maintenance แต่ทั้งนี้ต้องปรับให้เหมาะสมกับสภาพผู้ป่วยในขณะนั้นด้วย
 - o รักษาระดับ electrolyte ให้อยู่ในเกณฑ์ปกติ โดยเฉพาะ K เนื่องจากอาจมีภาวะ hypokalemia จากการให้ diuretic
 - o การให้เลือดจะส่งผลให้มี hypocalcemia ได้จาก citrate ที่อยู่ใน PRC จึงควรมีการตรวจระดับ Ca และให้ Ca replacement หากมีการให้เลือดในปริมาณมาก
 - o หากผู้ป่วยจำเป็นต้องได้ prolong respiratory support และ ยังไม่สามารถให้อาหารทาง GI ได้ ควรพิจารณาให้ TPN โดยสามารถเริ่มให้ได้ตั้งแต่ 24-48 ชั่วโมงหลังผ่าตัด
 - o หากผู้ป่วยสามารถ extubate ได้ จะเริ่ม feeding เมื่อผู้ป่วยมี bowel sound มา และ ไม่มี sign respiratory distress



Anesthesia สำหรับผู้ป่วยเด็กที่ได้รับการผ่าตัดหัวใจ

Preoperative evaluation

- ควรจำแนกกลุ่มโรคซึ่งมี pathophysiology ในการดำเนินของโรคต่างกัน เนื่องจากส่งผลต่อแนวทางในการปฏิบัติที่ต่างกัน เช่น
 - *Shunting*: โดยปกติปริมาณเลือดที่ไปปอด (Q_p) และร่างกาย (Q_s) จะมีค่าเท่ากัน หรือ อัตราส่วน 1:1

$$Q_p : Q_s = \frac{SaO_2 - SmvO_2}{SpvO_2 - SpaO_2}$$

SaO_2 = systemic arterial O_2 saturation

$SmvO_2$ = mixed venous O_2 saturation

$SpvO_2$ = pulmonary vein O_2 saturation

$SpaO_2$ = pulmonary artery O_2 saturation

โรคที่มี left to right shunt จะทำให้อัตรา $Q_p : Q_s$ เพิ่มขึ้น โดยยิ่งสูงมากจะแสดงว่าความรุนแรงของโรคยิ่งมาก และมีผลต่อ systemic flow ที่ลดลง

- o *Intercirculatory mixing*: ซึ่งมีความจำเป็นต่อการอยู่รอดในบางโรค เช่น transposition of great artery (TGA) ซึ่งจะมี parallel circuit โดยความสามารถในการ mixing ขึ้นอยู่กับ volume และ compliance ของ atrium หรือ ventricles, vascular beds ในแต่ละ circuit, heart rate, systolic หรือ diastolic phase, phase ของการหายใจ โดยพบว่า left to right shunt มักเกิดในช่วง systolic phase จากการที่เลือดกลับเข้าสู่หัวใจห้องบนซ้ายในปริมาณมาก ในขณะที่ right to left shunt จะเกิดขึ้นในช่วง diastole จากการที่ ventricular และ vascular compliance ของฝั่ง systemic ลดลง สำหรับระดับของ TGA mixing circulation ที่มีความสำคัญมาก โดยคือในระดับของ atrial level
 - o *Single ventricle physiology*: พบว่า ventricular output หรือ ปริมาณเลือดที่ออกจาก ventricle เดียว จะถูกส่งไปทั้ง 2 ระบบคือ pulmonary blood flow (Qp) และ systemic blood flow (Qs) โดยที่ปริมาณ Qp หรือ Qs จะมากหรือน้อยนั้น ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่าง ความต้านทาน และ flow ในระบบนั้น ๆ หลักการดูแลผู้ป่วยในกลุ่มนี้คือ การรักษาาระดับ systemic oxygen delivery และ systemic perfusion pressure ให้เพียงพอ โดยพยายามให้มี Qp: Qs balance ใกล้เคียง 1:1 มากที่สุด
- Difficult airway พบได้ใน Pierre Robin syndrome, Treacher Collin syndrome สำหรับ Down's syndrome จะมี difficult airway จากการมีลิ้นขนาดใหญ่และมีความเสี่ยงที่จะเกิด C-spine dislocation
- Bleeding tendency
 - o พบได้ในผู้ป่วยที่มี cyanosis จากการมี polycythemia โดยเฉพาะในรายที่มี Hct > 65% และ platelet ที่ function น้อยกว่าปกติ หรือเป็นภาวะ low grade DIC เนื่องจาก peripheral sludging

- Maintenance caloric requirements ให้เหมาะสม โดยผู้ป่วยทารกจะมีความต้องการพลังงาน ประมาณ 100 kcal/kg ต่อวัน หรือ 4 kcal/kg ต่อชั่วโมง โดยจะมีค่าเท่ากับการให้ glucose 25 g/kg ต่อวัน หรือ 1 g/kg ต่อชั่วโมง และในระหว่างการผ่าตัดการรักษาระดับน้ำตาลในเลือดก็มีความสำคัญ เนื่องจากภาวะทั้ง hyper- และ hypoglycemia จะมีผลต่อ neurologic outcome โดยเฉพาะในรายที่มีการทำ deep hypothermic circulatory arrest (DHCA) ก่อนการเริ่ม CPB ควรมีการหยุดการให้ dextrose เนื่องจาก CPB เองจะกระตุ้นให้เกิด mild hyperglycemia
- Premedication มีประโยชน์ในแง่ช่วยลดความกังวลของผู้ป่วยก่อน induction ยาที่อาจเลือกใช้ ได้แก่ midazolam 0.5-0.75 mg/kg ทาง oral ในผู้ป่วยทารก หรือ เด็กเล็ก ในเด็กที่โตมากกว่า 1 ปี อาจพิจารณาให้ oral ketamine 6-10 mg/kg ร่วมกับ midazolam ในกรณีที่ไม่สามารถให้ยาทาง oral ได้ สามารถเลือกให้ยาทาง intramuscular หรือ intravenous แทนได้
- หลีกเลี่ยงภาวะ hypercyanosis ก่อนการเริ่ม cardiopulmonary bypass (CPB)
- ปรับอุณหภูมิที่เหมาะสมโดยใช้ heating/cooling blanket รองไว้ได้ผู้ป่วย โดยเฉพาะในเวลา that on CPB มักจะมีการลดอุณหภูมิร่างกายลงอยู่ที่ 30-32 °C

Monitoring

- ECG และ blood pressure: อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วย
 - o Electrocardiography 5 leads ร่วมกับ leads II และ V5
 - o Non-invasive automated blood pressure cuff และ pulse oximeter probe
 - o Arterial line จะแทงหลัง induction โดยนิยมแทงที่ radial และ femoral arteries ข้อควรพิจารณาคือ ในการทำหัตถการเช่น Blalock-Taussig shunt, modified Blalock-Taussig shunt, subclavian artery patch repair ใน aortic coarctation,

coarctation repair หัตถการเหล่านี้จะรบกวนเลือดที่ไปเลี้ยง upper extremity โดยเฉพาะข้างซ้ายได้ ดังนั้นการแทง line เพื่อ monitor ควรทำที่ right upper extremity

- Systemic oxygen saturation: ประกอบไปด้วย pulse oximeter probes ที่ upper และ lower extremity
- End tidal carbon dioxide (ETCO₂):
 - o ค่าความแตกต่างระหว่าง PaCO₂ และ ETCO₂ หรือ PaCO₂-ETCO₂ gradient จะขึ้นกับ physiologic dead space ที่เปลี่ยนแปลงไปในกรณีที่ผู้ป่วยมีเลือดไปปอดลดลงเฉียบพลัน เช่น cardiac output ลดลง, pulmonary emboli, intracardiac right to left shunting ที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ gradient เพิ่มขึ้น
 - o ในผู้ป่วยที่ทำ bidirectional Glenn มีแนวโน้มที่จะมี PaCO₂-ETCO₂ gradient สูง จากการที่มี physiologic dead space ที่เพิ่มขึ้น
- Central venous pressure:
 - o access sites ที่นิยมคือ internal jugular และ femoral veins
 - o catheter ขนาด 4 French + double lumen catheters สามารถใช้ในผู้ป่วยทารกได้ สำหรับเด็กเล็กมักเลือกใช้ 5 French และ 6-9 French สำหรับเด็กโต
 - o ประโยชน์คือ monitor central venous pressure เป็นเส้นสำหรับให้ vasoactive และ inotropic agents รวมถึงการให้ blood products และ intravascular volume replacement รวมทั้งสามารถเอาเลือดจาก SVC ไปตรวจ oxygenation saturation เพื่อประเมิน cardiac output และคำนวณ Qp:Qs ผ่านทาง internal jugular vein

- ข้อเสีย คือ อาจเกิด pneumothorax (internal jugular), hematoma ซึ่งก่อให้เกิดการกดเบียด vascular หรือ tracheal compression, thoracic duct injury (left internal jugular), air embolus, internal jugular และ/หรือ SVC thrombosis ซึ่งจะมีผลเสียกับผู้ป่วยที่เป็น univentricular heart ซึ่งจำเป็นจะต้องได้รับการผ่าตัด bidirectional Glenn shunt และ Fontan ต่อไป
 - สามารถลดความเสี่ยงในการเกิด thrombosis โดยการให้ heparin infusion (2 units/hour) ผ่านทาง central line lumens และรีบเอา line ออก เมื่อหมดข้อบ่งชี้ในการใช้
- Temperature:
 - ตำแหน่งที่ทำการ monitor ได้แก่ rectal, esophageal และ tympanic membrane โดย rectal temperature จะมีการเปลี่ยนแปลงที่ช้ากว่า esophageal และ tympanic membrane temperature ซึ่งทั้งสองตำแหน่ง ถือว่าเป็น core temperature monitoring sites และอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงจะสอดคล้องกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงที่สมองด้วย แต่จะแตกต่างจากอุณหภูมิที่สมองจริงประมาณ 5°C
- Brain metabolism และ blood flow มีเครื่องมือ ได้แก่ radio labeled xenon, near infrared spectroscopy, jugular venous O₂ saturation, transcranial doppler
- Intraoperative transesophageal echocardiography (TEE): จะมีผลต่อการตัดสินใจในการผ่าตัด เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจดูในระหว่างการผ่าตัดว่า ผลการผ่าตัดนั้นดีหรือไม่ดี จำเป็นที่จะต้องได้รับการแก้ไขหรือไม่ แต่จะมีข้อจำกัดในการดู lesion ในบางตำแหน่ง เช่น การดู residual arch obstruction ภายหลังการผ่าตัดซึ่งอาจไม่ชัดเจน

Anesthesia for specific lesion

- Left to right shunt
 - ระวังไม่ให้ O_2 ที่มากเกินไป เพราะจะเป็นการเพิ่มเลือดไปปอดมากขึ้น โดยการปรับลด FiO_2 ให้ต่ำสุดที่สามารถรักษาระดับ PaO_2 ให้อยู่ในเกณฑ์ปกติ
 - ให้สารน้ำปริมาณที่เหมาะสมไม่มากเกินไป
- Right to left shunt จาก fixed obstructive (Pulmonary atresia)
 - พยายามเพิ่มเลือดไปปอดมากขึ้น โดยอาจพิจารณาให้สารน้ำ
 - เพิ่มออกซิเจนในเลือด โดยการให้ O_2 supplement, เพิ่ม FiO_2
 - การพยายามลด pulmonary vascular resistance (PVR) ไม่มีประโยชน์ เนื่องจากผู้ป่วยกลุ่มนี้มี PVR ต่ำอยู่แล้ว
- Right to left shunt จาก dynamic obstruction (TOF)
 - หลีกเลี่ยงภาวะ hypovolemia และ การให้ inotropic drug ซึ่งอาจกระตุ้นให้เกิด infundibulum spasm มากขึ้น
 - พิจารณาให้ β antagonist และ systemic vasoconstrictor เพื่อเพิ่มเลือดไปปอดมากขึ้น

Cannulation และการเริ่ม cardiopulmonary bypass

- ในระหว่างการเริ่มต้น cannulation process โดยเฉพาะในขณะที่ทำ dissection ของหัวใจก่อน cannulate หรือระหว่างการใส่ cannula อาจทำให้เกิดภาวะความดันต่ำชั่วคราวจากการกดเบียด แพทย์ควรตระหนักสาเหตุดังกล่าวเพื่อหลีกเลี่ยงการให้สารน้ำหรือ vasoactive agents ที่ไม่จำเป็น

- ควรมีการตรวจ venous drainage หลังใส่ cannula หาก drain ได้ไม่ดี อาจมีสาเหตุมาจาก catheter มีการหักพับ หรือถูก clamp อยู่ โดยเฉพาะหากมี cerebral oxygenation ลดลงจากการ monitor โดยใช้ NIRS จำเป็นต้องมีการตรวจสอบว่า cerebral venous drainage มีปัญหาหรือไม่
- Arterial inflow ก็ต้องทำการประเมินในลักษณะเดียวกัน หากมีค่า mean arterial pressure ต่ำในขณะที่ความดัน arterial perfusion line pressure สูง ต้องระวังว่ามีการหักพับ หรือ arterial cannula ชนกับผนังหลอดเลือด aorta รวมถึงการเกิด aortic dissection แต่จะพบได้น้อยกว่า หาก arterial cannula อยู่ในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมก็จะทำให้ line pressure สูงได้เช่นเดียวกัน

Post cardiopulmonary bypass

- Rewarming: โดยปกติ target brain temperature ขณะ off CPB จะอยู่ประมาณ 35-36°C
- Anesthesia และ muscle relaxation: ผู้ป่วยอาจเริ่มรู้สึกตัวในระหว่างที่มีการ rewarm การให้ inhalation agent เพียงอย่างเดียวอาจได้ผลไม่พอ จำเป็นที่จะต้องให้ยาในกลุ่ม benzodiazepine ด้วยเพื่อให้ผู้ป่วยยังอยู่ในภาวะหลับ และ amnesia การให้ยาในกลุ่ม muscle relaxation และยาสลายที่ลิ่มพองจะช่วยลด systemic oxygen consumption ในผู้ป่วย ซึ่งมีความสำคัญสำหรับผู้ป่วย single ventricle physiology
- Ventilation: ในระหว่างที่มีการ de-airing ระหว่างที่จะ off CPB จำเป็นที่จะต้องให้วิสัญญีแพทย์ ventilate และค้างไว้นานจนหายใจเข้า นอกจากนี้ pulmonary compliance อาจแย่ลงจากการมี systemic inflammatory response โดยเฉพาะใน neonates และทารก การให้ albuterol จะช่วยในเรื่อง air trapping ได้ นอกจากนี้การตั้งค่า ventilator ควรตั้งให้ความดันต่ำสุดเท่าที่จำเป็น และ I:E ratio 1 : 3 ถึง 1 : 4 อาจช่วยลดการเกิด air trapping

- Pacing: epicardial pacing มีประโยชน์ในการเพิ่ม cardiac output โดยเฉพาะหลัง on CPB ผู้ป่วยอาจมี impaired diastolic function และภาวะ volume overload โดยปกติระหว่างการผ่าตัดจะตั้งค่า pace เป็น asynchronous (non-sensing) pacing เพื่อป้องกันการรบกวนจากการใช้ electrocautery ในการผ่าตัด
 - o Mode AOO หรือ atrial pacing ใช้ในกรณีที่ SA node มี rate ช้า ในขณะที่ AV node ปกติ
 - o Mode DOO ใช้กรณี SA และ AV node dysfunction เพื่อปรับ AV interval ให้เหมาะสม



Cardiopulmonary Bypass ในผู้ป่วยทารกและเด็ก

- การ on cardiopulmonary bypass (CPB) ในผู้ป่วยเด็กมีความจำเป็นสำหรับการทำ open heart surgery โดยอุปกรณ์หลัก ๆ ที่ใช้ใน CPB circuit ประกอบด้วย
 - Cannulas: arterial, venous, vent catheter
 - Bypass circuit: tubing
 - Perfusion pumps
 - Arterial filters
 - Hemoconcentrators และ ultrafiltration
 - Oxygenator

Arterial cannulas

- เป็นจุดที่ตีบแคบใน circuit และเป็นสาเหตุของ hemolysis ได้จากการมี shear stress ดังนั้นการเลือกขนาด arterial cannula จึงมีความสำคัญ ควรเลือกขนาด internal diameter ให้มีขนาดใหญ่พอที่จะให้เลือดไปเลี้ยง โดยเพิ่มความเร็วในการไหลของเลือดน้อยที่สุด หากขนาด cannula เล็กเกินไป จะทำให้ pressure

ในฝั่ง arterial site สูงเกินไป หรือถ้า cannula ใหญ่เกินไปจะทำให้มีการอุดตัน
ในหลอดเลือดได้ การดูขนาด cannula จะดูจาก internal diameter

ตารางแสดงการเลือกขนาด arterial cannula ตามน้ำหนักตัว

Weight (Kg)	Arterial (French)	Right atrial
1-5	8-10 Fr	18-22 Fr single stage
5-10	10-12 Fr	22-24 Fr single stage
10-15	12-14 Fr	24-28 Fr single stage
15-20	14-16 Fr	28-32 Fr single stage
20-30	16-18 Fr	40-32 Fr two stage

Venous cannulas

- ทำนองเดียวกับ arterial cannula การเลือกขนาดที่เหมาะสมของ venous cannula ก็มีความสำคัญ เพื่อให้สามารถ drain เลือดได้เพียงพอ แต่อย่างไรก็ดี แม้ว่าจะเลือกขนาด และวางตำแหน่งของ cannula เหมาะสมแล้ว ก็ยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการ drain เลือดด้วย เช่น ลักษณะของ tip หรือ ปริมาณ negative pressure ที่ใช้ ในกรณีที่ใช้การ drain แบบอาศัย gravity ปัจจัยที่มีผลได้แก่ ขนาดของ venous line, ความยาว, ชนิดของ reservoir system, ความสูงระหว่างตัวผู้ป่วยและ venous reservoir

Tubing

- ท่อขนาด 1/4 นิ้ว สำหรับผู้ป่วย neonates และ infants
- ขนาด 3/8 นิ้ว ในผู้ป่วยเด็กโต และวัยรุ่น

ตารางแสดงขนาดของท่อ (tubing circuit) ที่ใช้ ตามน้ำหนักตัวของผู้ป่วย

Weight (kg)	Arterial line (inch)	Venous line (inch)	Pump boot (inch)	Total volume (ml)
0-7	1/4	1/4	1/4	600
7-15	1/4	3/8	3/8	800
16-40	3/8	3/8	3/8	1500
> 40	3/8	1/2	1/2	1650-2000 ขึ้นกับ oxygenator ด้วย

Venous reservoir

- Venous reservoir แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ แบบเปิด และแบบปิด
- แบบเปิด คือมีส่วนของ reservoir ที่เปิดติดต่อกับอากาศภายนอก ข้อดีคือสามารถเห็นปริมาณเลือดได้ชัดเจน และเป็นการเพิ่มอากาศได้โดยอัตโนมัติ
- แบบปิดซึ่งไม่มีการติดต่อกับบรรยากาศข้างนอก มีข้อดีคือ การจำกัดการสัมผัสกับอากาศของ blood surface (air-blood interface) ซึ่งเป็นสาเหตุของ injury ต่อ blood element หรือ hemolysis

Heparin bonded circuit

- คือการที่ cannulas, tubing, oxygenator และ filters จะมี heparin coat อยู่
- ข้อดีคือ ช่วยลดการกระตุ้น complement และกระบวนการอักเสบที่เกิดจากการ on bypass

Roller pump

- หลักการทำงานคืออุปกรณ์จะทำการกด tubing เพื่อไล่เลือดไปทางด้านหน้า
- ข้อดีคือเป็น pump ที่ไม่ซับซ้อนและสามารถคาดการณ์หรือคำนวณปริมาณ blood flow ได้
- ลักษณะ flow เป็น continuous, non- pulsatile forward flow
- สามารถสร้าง positive pressure เพื่อ pump เลือดไปใน circuit และ negative pressure เพื่อดึง volume จาก venous reservoir
- Pump สามารถก่อให้เกิดภาวะ hemolysis ได้แต่ไม่มาก (น้อยกว่า hemolysis ที่เกิดจาก air-blood interface) การลดการเกิด hemolysis ทำได้โดยเพิ่มขนาดของ tubing หรือการตั้งค่า pump แบบ minimally nonocclusive
- ในเด็ก ที่ภาวะ normothermia จะต้องการ flow 150-200 cc/kg ซึ่งมากกว่าผู้ใหญ่ที่ต้องการเพียง 1.6L/m²/min โดยการดูว่าผู้ป่วยมี perfusion เพียงพอหรือไม่ สามารถดูและติดตามได้จากค่า mix venous O₂ sat ซึ่งมีค่าปกติคือ 60-70%
- Pump flow rate ที่น้ำหนักตัวต่างกันจะมีค่าดังนี้
 - o 0-7 kg = 120-200 cc/kg/min
 - o 7-10 kg = 100-150 cc/kg/min
 - o 10-20 kg = 80-120 cc/kg/min
 - o > 20 kg = 2.4 L/min/m²

Centrifugal pumps

- หลักการทำงานคือการใช้ pump ที่เป็นลักษณะของใบพัด ที่หมุนด้วยความเร็วสูงในการไล่เลือดไปด้านหน้า

- ตัว pump เป็น afterload dependence ซึ่ง blood flow ที่ได้จาก pump จะลดลงหากมี afterload resistance ข้อดีคือสามารถป้องกันการเกิด circuit rupture จากการที่ความดันในท่อสูงอย่างเฉียบพลันเมื่อมีการอุดตันได้ แต่ในขณะเดียวกันการมี afterload dependence ทำให้ blood flow สามารถเปลี่ยนแปลงไม่คงที่ ทำให้ centrifugal pumps จำเป็นจะต้องมีการ monitor เพิ่มเติมโดยใช้ electromagnetic flow meter
- ข้อจำกัดคือ สามารถทำให้เกิด hemolysis ได้เช่นกัน โดยเฉพาะในบริเวณที่เป็น vortex zones เนื่องจากมี shear stress รวมทั้งไม่สามารถต่อเชื่อมกับ cardiotomy suction หรือ vent และมีราคาแพงกว่า
- ข้อควรระวังคืออาจเกิด retrograde flow ได้ เนื่องจากไม่ได้มีลักษณะเป็น one way flow แบบ roller pump ทำให้ผู้ป่วยเสียเลือดกลับมายัง reservoir blood ได้หากไม่ได้ clamp สายในระหว่างที่หยุด pump

Standard arterial line filter

- ทำหน้าที่ในการกำจัดฟองอากาศ หรือ particle ต่าง ๆ ออกจาก arterial line
- ขนาดรูของ filter จะมีค่าประมาณ 40 μm
- Pre-bypass filters
 - o มีประโยชน์ในการดักจับอนุภาคในส่วนของ priming solution ของ circuit ก่อนที่จะมีการเพิ่มส่วนของ blood component ลงไป ตัว filter จะมีขนาดรูอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 5 μm

Hemoconcentrators และ ultrafiltration

- จะต่างจาก arterial line filters ซึ่งถูกออกแบบมาให้จับกับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ มากกว่า 40 μm ในขณะที่ ultrafilters จะถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในกระบวนการของ hemoconcentrate โดยการกรองน้ำ, dissolved ions และ อนุภาคขนาดเล็กออก สาร bioactive molecules เช่น heparin และ inflammatory mediators ที่มีขนาดเล็กกว่า albumin จะถูกดึงออกมาได้เช่นเดียวกัน

- Conventional ultrafiltration
 - ตัว ultrafilter จะอยู่ที่ตำแหน่งของทางเข้าที่ต่อกับ arterial line และ ส่วน outlet ที่ต่อกับ venous reservoir
 - ปัจจัยที่มีผลต่อความเร็วในการกรอง (rate of infiltration) ได้แก่: transmembrane pressure, blood flow rate ที่ผ่านไปยัง filter, ค่าhematocrit, ชนิดและลักษณะของ ultrafilter เอง เช่น ความหนาของ membrane, จำนวนรูต่อ membrane surface และขนาดของรู
- Modified ultrafiltration
 - หลักการโดยการ drain เลือดจาก arterial cannula และ venous reservoir ผ่าน oxygenator และ heat exchanger โดยใช้ roller pump ซึ่งต่อกับultrafilter ซึ่งจะทำการกรองแล้วนำเลือดกลับทาง venous line
 - Rate ในการดึงประมาณ 10-15 cc/kg/min แต่ไม่เกิน 400 ml/min โดยจุดประสงค์ในการดึงน้ำออกประมาณ 50 ml/kg ในระยะเวลา 20-30 นาที
 - มีประโยชน์ในแง่การเพิ่ม blood pressure และcardiac output เนื่องจากการกรอง inflammatory mediators ออก ทำให้ hemodynamic ดีขึ้น สามารถลด blood transfusion, สามารถลด cytokine ได้, เพิ่ม cardiac index
 - ข้อเสียคือ เพิ่มความซับซ้อนในการต่อ circuit, มีความเสี่ยงที่จะมี air เข้ามาทาง arterial cannula, จำเป็นต้องให้ heparin ระหว่างการทำ ultrafiltration และเพิ่มระยะเวลาที่ต้องอยู่ในห้องผ่าตัดนานขึ้น

Prime

- เป็นสารน้ำที่หล่อในสาย CPB circuit ซึ่งส่วนใหญ่คือ crystalloid solution
- แบ่งเป็น crystalloid (plasmalyte, lactate Ringer), colloid priming (เติม albumin) และ blood-based priming solutions

- Solution จะประกอบไปด้วย สาร electrolyte, buffer (sodium bicarbonate หรือ tromethamine (THAM)), calcium, glucose

- เลือดที่ต้องเติมลงใน pump สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\frac{[(BV + PV) \times DesireHct] - (BV \times PtHct)}{HctOfDonorBlood}$$

BV = patient blood volume (ml)

PV = circuit priming volume (ml)

Pt = patient

- blood volume ตามน้ำหนักตัว
 - o 0-6 เดือน, blood volume = 85 cc/kg
 - o 6 เดือน ถึง 6 ปี, blood volume = 80 cc/kg
 - o มากกว่า > 6 ปี, blood volume = 70-75 cc/kg

Oxygenator และ gas exchanger

- Bubble: เป็น model ช่วงแรกของการพัฒนา oxygenator หลักการคือ การปล่อยก๊าซลงไปในเลือดโดยตรง ถือเป็น oxygenator ที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุด และจำเป็นต้องอาศัยพื้นที่ผิวขนาดใหญ่
- Silicone: เป็นลักษณะของ membrane ที่ก๊าซสามารถซึมผ่านได้ ทำให้สามารถใช้ในการแลกเปลี่ยนก๊าซกับ blood flow ได้ ประสิทธิภาพจะดีกว่า bubble แต่สามารถเกิดภาวะการทำงานล้มเหลวเฉียบพลันได้ หากมีการสะสมของ blood product ที่ membrane ทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนก๊าซเสียไป
- Hollow fiber membrane: เป็นประเภทที่นิยมใช้มากที่สุด ลักษณะเป็น microporous hollow fiber ทำให้การสัมผัสระหว่างก๊าซและเลือดดีขึ้น รวมถึงการแลกเปลี่ยนดีขึ้นด้วย โดยลดการใช้ priming volume และลดการสัมผัสกับพื้นผิวที่เป็น foreign surface รวมทั้งทำให้เกิดภาวะความดันตกต่ำกว่า และแลกเปลี่ยนความร้อนได้มีประสิทธิภาพมากกว่า

Hemodynamic control on CPB

- Target blood pressure ในระหว่างที่ผ่าตัดและ on CPB

Patient age	Mean blood pressure range (mmHg)
< 1 month	30-45
1-12 months	40-50
1-10 years	45-60
10-16 years	50-70
> 16 years	60-90

- Cardiac index flow ที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ

Patient temperature °C	Bypass flow rate (L/min/m ²)
> 35	2.4-3.5
32	2.2
30	2.0
28	1.8
26	1.6
24	1.4
22	1.2
20	1.0
< 20	0.7

Myocardial protection

- ในระหว่างการผ่าตัด โดยเฉพาะเมื่อมีการหยุดหัวใจจะทำให้เกิดภาวะ myocardial ischemia ดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการรักษา myocardium หรือ myocardial protection เช่น การให้ cardioplegia, hypothermia, chamber venting

- Cardioplegia
 - เป็นสารละลายที่ใช้เป็น myocardial protection และเพื่อให้หัวใจหยุดเต้น โดยองค์ประกอบหลักคือ potassium
 - แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ crystalloid และ blood cardioplegia โดยข้อดีข้อเสียของ cardioplegia ทั้ง 2 ชนิด แสดงในตารางด้านล่าง

Crystalloid cardioplegia	Blood cardioplegia
• เตรียมได้ง่าย • มี oxygen ละลายน้อยกว่า • จำเป็นต้องรักษาระดับอุณหภูมิของ myocardium ให้ต่ำในระดับ moderate ลงไป เพื่อป้องกันการสูญเสียของพลังงานอย่างรวดเร็ว (rapid degradation of energy)	• มี oxygen อยู่มากกว่า • มี buffer จากองค์ประกอบของเลือด • มีความแตกต่างของ oncotic pressure กับ cell ที่น้อยกว่า • มี O₂ free radical scavengers • รักษา microvascular responses ได้มากกว่า

- Cardiac venting คือการระบายเลือดออกจาก chamber เพื่อป้องกัน distension โดยเฉพาะใน ผู้ป่วย neonate ที่มี immature myocardium จะทนต่อการ stretch ได้น้อย

Hypothermia

- ปกติในการ on CPB จะมีการลดอุณหภูมิร่างกายของผู้ป่วยเพื่อลด oxygen consumption
- แบ่งระดับของ hypothermia
 - Mild hypothermia 32-34 °C
 - Moderate hypothermia 28-32 °C

- o Deep hypothermia 18-28 °C
 - o Profound hypothermia < 18 °C
- ระหว่างเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของผู้ป่วย ควรระวังไม่ให้ temperature gradient ระหว่างเลือดและ water bath ต่างกันเกิน 8-10 °C เพื่อป้องกัน regional temperature difference และการเกิด air emboli

Acid base monitoring

- α stat method ใช้หลักการวัด pH ที่ 37 °C โดยไม่พยายามแก้ไขค่า pH ของเลือด ซึ่งจะทำให้รักษาระดับค่าปกติของ CO_2 ไว้ได้
- pH stat method วัด pH ที่อุณหภูมิของคนไข้ ซึ่งพยายามเน้นรักษาระดับ pH ให้อยู่ในเกณฑ์ปกติ โดยแก้ไขด้วยการเติม CO_2 นิยมใช้หลักการนี้ในผู้ป่วยเด็ก ซึ่งมีข้อดีคือทำให้เพิ่มเลือดไปเลี้ยงสมอง แต่ถ้าเป็นผู้ใหญ่อาจทำให้เกิด hypercarbia และ respiratory acidosis ได้
- cerebral blood flow จะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ pH stat method แต่ cerebral autoregulation สามารถ maintain ได้ดีกว่าถ้าใช้ α stat method

ผลเสียที่เกิดจากการ on cardiopulmonary bypass

- Hemodilution
 - o เป็นภาวะที่มี hematocrit ลดต่ำลง รวมทั้ง clotting factors และ plasma proteins
 - o ผลที่ตามมาคือ ทำให้เกิด interstitial edema, electrolyte imbalance, มีการหลั่ง stress hormone, และมีภาวะ coagulation system ที่ทำงานผิดปกติไป
 - o ในเด็กแรกเกิดจะมีภาวะ coagulopathy จากการที่ตับยังทำหน้าที่ได้ไม่เต็มที่ และขาด vitamin K dependent clotting factors

- Hypothermia: ภาวะอุณหภูมิต่ำจะส่งผลกระทบต่ออวัยวะต่าง ๆ คือ
 - o Hemodynamics: พบหัวใจเต้นช้าลง, มีการเพิ่มขึ้นของ systemic vascular resistance ซึ่งจะมีการเพิ่มขึ้นของ venous return แต่ cardiac output ลดลง
 - o Hematologic: พบว่ามี platelet dysfunction และ coagulation profile ที่เปลี่ยนแปลงไปได้
 - o Renal: อุณหภูมิที่ต่ำจะส่งผลให้มีการขับปัสสาวะมากขึ้น มีภาวะ hypokalemia, hypophosphatemia, และ hypocalcemia ได้
 - o Endocrine: จะมีการลดการสร้าง และการทำงานของ insulin ลง ในขณะที่ insulin resistance เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดภาวะ hyperglycemia
 - o Neuro: หากอุณหภูมิต่ำกว่า 22 °C จะทำให้ autoregulation ของ cerebral blood flow สูญเสียไป
- Inflammatory response
 - o เกิดจากการกระตุ้นหลายระบบ เช่น complement, cytokines, arachidonic acid, และ coagulation system
 - o ส่งผลให้เกิด acute lung injury, pulmonary hypertension, edema, coagulopathy, การทำงานของหัวใจและไตผิดปกติได้

เกร็ดความรู้

- มีการศึกษาที่เป็น RCT ¹ ได้ทำการเปรียบเทียบ การให้ intermittent antegrade cold crystalloid cardioplegia, cold blood cardioplegia, และ cold blood cardioplegia ร่วมกับ hot shot พบว่า การให้ cold blood cardioplegia ร่วมกับ hot ให้ผลการรักษา myocardium ได้ดีที่สุด โดยเฉพาะในผู้ป่วยที่เป็น cyanotic patients