機械式循環輔助(Mechanical Circulatory Support, MCS)

07 April 2025

12:01

# 主動脈氣囊幫浦（Intra-Aortic Balloon Pump, IABP）

* 原理
  + 經由鼠蹊部，從股動脈插入至降主動脈，靠近主動脈弓的位置
  + 氣球會與心跳同步，在舒張期充氣、收縮期消氣
    - **舒張期**（T波出現）：**氣球充氣擴張（inflation）**，將血液壓回去升主動脈
    - **收縮期**（Q波出現）：**氣球消氣（deflation）**
  + **作用**
    - **增加舒張期時冠狀動脈的灌流**
    - **減少後負荷（afterload）**
    - **增加主動脈舒張壓（diastolic aortic pressure）**
    - 降低心肌耗氧量（reduce myocardial oxygen demand ）
    - 可改善心輸出指數（cardiac index）
    - 降低前負荷與心肌耗氧量
* 適應症
  + **難治型（refractory）心室衰竭**
  + **急性心肌梗塞（Acute Myocardial Infarction, AMI）**，合併
    - **心源性休克** 
      * 穩定血流動力學，改善冠狀動脈灌流
    - 因乳頭肌功能不全導致的**急性二尖瓣閉鎖不全**（Acute MR）
    - **心室中隔（Ventricular septum）缺損穿孔**
    - **心室心律不整**（ventricular arrhythmias）引起心肌缺血
  + 藥物治療無效，須等待介入或外科治療的不穩定型心絞痛（Unstable Angina）
  + **心源性休克（Cardiogenic Shock）**
    - **急性左心衰竭**
    - 等待心臟移植或裝置心臟輔助裝置前
  + **心臟輔助裝置（Mechanical Circulatory Support, MCS）的輔助使用**
    - **與 ECMO 併用以改善左心室負荷**
  + **經皮冠狀動脈介入治療（Percutaneous Coronary Intervention, PCYI）的輔助**
    - 高危PCI手術、術中血流動力學不穩定
      * 左主幹病變（left main）、三血管病變（triple-vessel disease）、嚴重左心功能不全（EF < 35%）的患者。
  + **開心手術後的血流動力學支持**
    - **術後低心輸出症候群（Low Cardiac Output Syndrome, LCOS）** 
      * CABG 或 瓣膜置換 後左心功能恢復不全。
    - 心臟移植術後
  + 敗血性休克
  + 心肌冬眠（stunned myocardium）
* 禁忌症
  + **絕對禁忌症**
    - **嚴重的主動脈瓣閉鎖不全**（Aortic Regurgitation, AR）
      * 因**舒張期時主動脈瓣關不緊**，**氣球充氣時會使血液回流到左心室，導致逆流變嚴重**，增加左心室負荷
    - **主動脈剝離（Aortic Dissection）**：壓力增加可導致剝離加劇
    - **嚴重主動脈瘤（Severe Aortic Aneurysm）**：壓力增加可導致破裂
    - **感染性心內膜炎（Infective Endocarditis）**
    - **主動脈閉塞性疾病（Aortic Occlusive Disease）** ：**氣球無法有效工作，也可能加重遠端缺血**
      * 廣泛動脈粥樣硬化
      * 血管嚴重鈣化：aorta-iliac artery
      * 主動脈狹窄
    - **未控制的出血性疾病** 
      * 使用抗凝治療的同時，可能加重出血風險
    - **不適合心臟移植的未期病人**：使用後幫助不大
  + **相對禁忌症**
    - 輕微主動脈瓣閉鎖不全、狹窄
    - 嚴重周邊動脈疾病（Severe Peripheral Arterial Disease, PAD）
      * 可能阻斷下肢血流或造成遠端缺血
    - 凝血功能障礙或有顯著出血傾向
      * 血小板減少症、凝血因子缺乏
      * 抗凝治療可能會加重出血風險
    - 體重太低或肥胖
      * 體型異常可能導致裝置操作困難或影響裝置效果。
    - 曾做過主動脈血管重建手術：會增加手術部位損傷的風險
      * 動脈瘤、主動脈剝離
    - 進行心肺復甦術時

# 

# 心肺體外循環（Cardiopulmonary bypass, CPB）

* 將大血管與心肺機連接，將靜脈血引出到**體外的儲血器進行過濾**，再經人工肺進行氧合，再將帶氧血送回動脈系統
* **適應症**：需體外循環支持的開心手術
  + 冠狀動脈繞道、瓣膜置換、小兒先天性心臟病矯正手術
* **藥物**：Heparin
  + 維持活化凝血時間（activated clotting time, ACT）>400ms
  + **併發症**：全身炎症反應症候群（systemic inflammatory response syndrome, SIRS）
    - **解毒劑**：Protamine
* **併發症**：**低心輸出量症候群（Low-cardiac output syndrome）**
  + 術後心臟功能低下，心輸出量不足
  + **病生理**：因心臟暫時停止、灌流不足，導致心肌從有氧變成無氧代謝
    - **大量鈉離子滯留，導致心肌水腫**
    - **乳酸堆積，造成酸中毒**
  + **預防**：心肌保護
* **術中心肌保護**
  + **心臟麻痹液**：高鉀
    - 使心臟停止跳動，降低心肌氧需求量，減少心肌細胞受損
  + **維持低體溫**
    - 在心臟週圍放冰塊
    - 將病患體溫降到20度，維持30-45分鐘
  + 在左心室或心房插管引流血液讓心肌鬆弛
  + **避免中風**
    - 維持腦部血流充足
    - 從無名動脈灌流冠狀動脈

# 

# 體外膜氧合/葉克膜（Extracorporeal Membrane Oxygenation， ECMO）

* 分類
  + **Venoarterial ECMO（VA ECMO）**
    - 靜脈引流出缺氧血，經體外膜氧合器（人工肺）進行氧氣交換，再經動力泵（人工心臟）及體溫交換器將充氧血注回病人動脈
    - 同時替代心臟及肺臟功能
  + **Venovenous ECMO（VV ECMO）**
    - 若病人僅肺部氣體交換的功能有問題，則可使用VV ECMO，靜脈引出再注回靜脈
  + **VA 與 VV ECMO 比較**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **VA ECMO** | **VV ECMO** |
| 可達的動脈氧分壓 （PaO₂） | 較高 | 較低 |
| 所需灌注速率 （perfusion rate） | 較低 | 較高 |
| 肺部循環 | 繞過肺部循環，降低肺動脈壓力 | 維持肺部血流，提高靜脈氧分壓（mixed venous PO₂） |
| 心臟 | 以人工心臟維持全身循環 | 不使用人工心臟支持 |
| 插管 | 需要動脈插管 | 僅需靜脈插管 |

* **與心肺體外循環（CPB）比較**

|  |  |
| --- | --- |
| ECMO | CPB |
| 不需開胸 | 需開胸 |
| 不需使用強效抗凝藥物 | 需使用強效抗凝藥物 |
| 無儲血裝置 | 具備儲血裝置 |
| 人工血管管路有肝素塗層 |  |

* 適應症
  + 根據台灣健保 guidelines
    - **心因性休克**
      * 術後暫時性心臟功能障礙（stunned heart）
      * 心臟移植或心室輔助器植入前的過渡治療
      * 急性心肌梗塞
      * **可逆的**心肌病變
      * 肺栓塞
    - **呼吸衰竭**
      * **排除可逆病因後**
        + FiO2 ：1.0、PaO2 < 60mmHg
        + CO2 retention 合併血行動力學不穩
      * 肺移植前的過渡治療
      * 氣道外傷
    - **新生兒疾病**：**經傳統治療後仍持續呼吸衰竭（Oxygenation Index ≥ 40）**
      * 胎便吸入症候群（meconium aspiration syndrome, MAS）
      * 新生兒呼吸窘迫症候群（Infant respiratory distress syndrome, IRDS）
        + 又稱「肺玻璃樣膜病（hyaline membrane disease, HMD）」
      * 先天性橫膈膜疝氣（Congenital Diaphragmatic Hernia, CDH）
      * 新生兒持續性肺高壓（Persistent pulmonary hypertension of the newborn, PPHN）
    - 體溫過低：≤ 30°C
  + **ELSO guidelines**
    - **心因性休克（Cardiogenic Shock）**
      * **收縮壓 < 90 mmHg**
      * **尿量 < 30 ml/hr**
      * **乳酸 > 2 mmol/L**
      * **混合靜脈血氧飽和度（SVO₂）< 60%**
      * **意識改變超過 6 小時，對最佳治療無反應**
    - **急性心肌梗塞**（acute myocardial infarction）
    - **暴發性心肌炎**（fulminant myocarditis）
    - **心毒性藥物中毒**（cardiotoxic drug intoxication）
    - **末期擴張型或缺血型心肌病變**（end-stage dilated/ischemic cardiomyopathy）
    - **低溫引起的心臟循環不穩**（hypothermia with cardiocirculatory instability）
    - **廣泛肺栓塞**（massive pulmonary embolism）
    - 心臟移植後之急性心因性休克（posttransplant cardiogenic shock）
    - **短期ECMO使用**
      * 用於難治性心因性休克（refractory cardiogenic shock）的病人，但其病因是可逆性或可靠手術矯正
        + **難治性（refractory）**：**接受升壓劑和強心劑治療後，患者的血壓仍然過低，器官灌注不足，情況持續惡化**
      * 保守治療（給水、強心劑）、主動脈內氣球幫浦（IABP）失敗時
      * **理想使用ECMO的時機**：**多重器官衰竭尚未發生前，及經完整心臟超音波評估**後
      * **比起經皮MCS，VA ECMO 對於以下病人效果較好**
        + 嚴重雙心室衰竭（biventricular failure）
        + 惡性心律不整（malignant arrhythmia）
        + 肺衰竭
* 禁忌症
  + **根據台灣健保 guidelines**
    - **絕對禁忌**：**不可逆的身體狀況**
      * 腦病變、末期癌症
      * 心肺疾病且不適合做移植
      * 多重器官衰竭
    - **相對禁忌**
      * 持續進展之退化性全身性疾病
      * 無法控制的感染或出血
      * 嚴重免疫不全
  + **ELSO guidelines**
    - 心臟無法恢復功能，且不適合進行心臟移植或植入左心室輔助裝置（LVAD）
    - 預期壽命極短
      * 末期器官衰竭、惡性腫瘤、癌症合併廣泛肺栓塞、因化療引起的慢性心肌病變
    - 嚴重主動脈瓣逆流
    - 廣泛的主動脈及周邊血管病變：鈣化、狹窄或閉塞
    - 急性 A 型或 B 型主動脈剝離，術前發現合併廣泛主動脈分支受影響（如**升主動脈、頭臂動脈、股動脈**）
    - **嚴重神經損傷**：長時間缺氧之腦傷、大範圍創傷與出血
    - 嚴重免疫系統疾病，合併明顯的血液與凝血異常
    - Child-Pugh class B-C 的肝硬化
* ECMO 風險預測（Pre-ECMO Risk Prediction）
  + **Survival After VA ECMO Score, SAVE**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **評分項目** | **內容** | **分數** |
| **心因性休克診斷 (可複選)** | 心肌炎（Myocarditis） | +3 |
|  | 難治性心室頻脈／心室纖維顫動 （Refractory VT/VF） | +2 |
|  | 心臟或肺臟移植後 （Post heart or lung transplantation） | +3 |
|  | 先天性心臟病 | −3 |
|  | 其他診斷 | 0 |
| **年齡** | 18–38 | +7 |
|  | 39–52 | +4 |
|  | 53–62 | +3 |
|  | ≧63 | 0 |
| **體重（kg）** | ≦65 | +1 |
|  | 65–89 | +2 |
|  | ≧90 | 0 |
| **ECMO 前的急性器官衰竭（可複選）** | 肝衰竭 | −3 |
|  | 中樞神經功能障礙 | −3 |
|  | 腎衰竭 | −3 |
|  | 慢性腎衰竭 | −6 |
| **插管至 ECMO 啟動間隔時間** | ≦ 10 小時 | 0 |
|  | 11–29 小時 | −2 |
|  | ≧ 30 小時 | −4 |
| **其他指標** | 吸氣尖峰壓力 ≦ 20 cmH₂O | +3 |
|  | ECMO 前心臟停止 | −2 |
|  | ECMO 前舒張壓 ≧ 40 mmHg | +3 |
|  | ECMO 前收縮壓 ≦ 20 mmHg | −2 |
|  | ECMO 前 HCO₃⁻ ≦ 15 mmol/L | −3 |
| **固定常數** | 所有人皆需加此項 | −6 |
| **總分** | **風險等級（Risk Class）** | **預估生存率（%）** |
| **> 5** | I | 75% |
| **1 至 5 分** | II | 58% |
| **−4 至 0 分** | III | 42% |
| **−9 至 −5 分** | IV | 30% |
| **≦ −10 分** | V | 18% |

* 術式
  + 大部份由股動/靜脈插管
    - 若股動脈不適合進行插管，可使用鎖骨下動脈或腋動脈
    - 為減少血管併發症並方便拔管，建議將動脈和靜脈插管放置在不同的肢體
    - **頸動脈插管僅限於兒科患者使用**
      * 而且由於有急性腦損傷的風險，應作為最後選擇
* VA ECMO 離機（Weaning From VA ECMO）
  + 當病患心臟功能已經明顯恢復，應考慮開始離機流程
  + **考慮 Weaning 指標**
    - 在**最小劑量**的血管活性藥物與強心劑下，維持以下條件
      * 脈壓（Pulse Pressure） > 10 mmHg
      * 平均動脈壓（MAP） > 65 mmHg
      * 混合或中心靜脈血氧飽和度（SvO₂、ScvO₂）在 2–2.5 L/min 的流量下穩定
  + **Weaning 過程**
    - 應維持適當抗凝血治療
    - **心臟超音波**
      * **雙心室功能、心臟瓣膜功能、左心室流出道速度時間積分（LVOT VTI）**
        + **左心室流出道速度時間積分（Left Ventricular Outflow Tract Velocity Time Integral, LVOT VTI）**

計算心輸出量的重要參數，幫助評估心室射血功能

* + - **Swan-Ganz導管：**可協助評估**左心壓與心輸出量**
    - **降低 ECMO 流量**：每 5–10 分鐘降低 500 ml，觀察反應。
    - 完全停止 ECMO 後 或 維持 1 L/min 支持，觀察 3–5 分鐘
  + **成功標準**
    - MAP > 60 mmHg
    - LVOT VTI > 0.12-0.15 m/s
    - Cardiac Index > 2.2
    - CVP <18 mmHg
  + **Weaning 失敗**
    - 無法在 5–7 天內成功離機的病人，可考慮暫時性左心室輔助裝置（LVAD）支持，以爭取左心室恢復的時間，前提是右心室收縮功能仍被保留
    - 對於放置 ECMO 前左心室收縮功能已嚴重下降之病患，應考慮提早植入 LVAD 或接受心臟移植
    - 若患者不適合進階療法，則考慮採取緩和醫療策略並撤除治療
* 併發症
  + **導管置放相關**
    - 血管損傷導致大出血
    - 導管錯位（malpositioning）
    - 下肢遠端缺血（Distal limb ischemia）：**使用小型遠端灌注導管可降低風險**
    - 上肢過度灌注（Upper limb hyperperfusion）
    - 感染
  + **ECMO 迴路相關**
    - 血栓形成
      * **氧合器內**：> 10%，可能導致急性ECMO系統失效並需緊急更換
      * **幫浦頭**：< 4%，**可引起大量溶血**
    - 溶血 (Hemolysis)：**目前較少見**，以往主要因舊式機械幫浦破壞紅血球
    - 出血風險增加：**血小板減少、血小板活化、凝血因子**（如大分子 von Willebrand 因子、纖維蛋白原）**下降**
    - 神經學症狀（15.1%）：**腦出血或梗塞**
    - **其他**：肝素誘導性血小板減少症（HIT）、管路感染
  + **VA ECMO 特有併發症**
    - **左心室後負荷增加**
      * **主要機轉**：由於**左心室收縮力低下**，而 ECMO 所產生的**逆行血流使心搏量下降**，導致**主動脈瓣出口太小，甚至關閉**。
      * 後續可能引起 左心室擴張、心壁張力上升、心肌缺血、肺水腫、心腔血栓
      * 以最小流量為目標以減輕負荷
        + **最小流量：**提供足夠器官灌流、避免組織缺氧代謝
    - **差異性氧合（Differential oxygenation）**
      * 因 ECMO 的充氧血主要灌流下半身，但當左心功能恢復、肺功能仍嚴重衰竭時，上半身（冠狀動脈、右上肢、大腦）氧氣灌流不足，會導致心臟與腦部缺氧
      * **預防：**定期在右上肢抽血，進行分析與氧飽和度監測
      * 若呼吸治療調整無效，則需在頸靜脈放置額外的靜脈導管（VAV ECMO）
  + 高氧血/過度氧合（hyperoxemia）
  + 低二氧化碳血症（hypocapnia）
  + 腎衰竭：因嚴重溶血導致

# 

# 心室輔助器（Ventricular Assist Device）

* **適應症**
  + **急性心衰竭**：**最終治療（Destination therapy, DT）**
    - **原因**：慢性心衰竭、惡性心律不整、心肌梗塞、心肺停止、病毒感染、妊娠或開心手術
  + **心臟恢復期間的支持**：**橋接康復（Bridge to recovery, BTR）**
  + **病人等待心臟移植時的支持**：**橋接移植（Bridge to transplant, BTT）**
* **目標**：維持器官灌流與功能
* **使用時間**：短期或長期
* **使用位置**：左心、右心、雙心室
* 左心室輔助裝置（Left Ventricular Assist Devices，LVAD）
  + **橋接康復（Bridge to Recovery）**：**暫時性支持**，以促進心肌恢復
  + **橋接移植（Bridge to Transplant，BTT）**
    - 用於**等待心臟移植**的病人，但出現心衰竭併發症的病人，包括器官功能障礙、肺動脈高壓、強心劑需求增加、惡性心律不整、猝死風險高
    - **可延長病人存活率、等候心臟移植**
  + **最終治療（Destination Therapy, DT）**：對於嚴重心衰竭病人而言，存活時間比單用心衰竭藥物長
    - **適應症**（作為心衰竭最終治療）
      * NYHA III 或 IV 級心衰
      * 峰值耗氧量（Peak oxygen consumption） <12 mL/kg/min，或無法脫離強心劑
      * 左心室射出分率（LVEF） <25%
      * 心臟移植禁忌症：年齡 >65 歲、不可逆性肺高壓、慢性腎衰竭、合併器官損傷的胰島素依賴型糖尿病
    - **注意**：**10% 以 LVAD 作為最終治療的病人可轉為橋接移植，**例如LVAD改善平均肺血管阻力，減輕肺動脈高壓的狀況
* 右心與雙心室輔助裝置（RVAD 與 BiVAD）
  + 晚期心衰竭病人有左心室功能衰竭，**同時合併右心室功能障礙**
    - 單用 LVAD 可能導致三尖瓣逆流惡化、心室中隔左偏而加劇右心衰竭
  + **RVAD：**通常為**暫時性**，**單獨使用 RVAD 很少見**
  + **BiVAD：**多為**暫時性**，**最常見於心肌梗塞或開心手術後的急性心因性休克**

# 

# 全人工心臟（Total Artificial Heart）

* **適應症：**雙心室衰竭但無法使用雙心室輔助裝置的病人，等待心臟移植前的橋接治療（bridge to transplant, BT）
* **術式：**以原位方式（orthotopically）植入，與心房環（atrial cuffs）對接在房室溝（AV groove）的心室側，輸出導管（outflow conduits）則連接至大血管
* **優點：可消除部份對血流動力學有影響的因素**
  + 肺高壓、右心衰竭、心肌或瓣膜問題、心律不整
* **不能作為心臟移植替代方案**

# Reference

1. Gajkowski, Evan F.\*; Herrera, Guillermo†; Hatton, Laura‡; Velia Antonini, Marta§,¶; Vercaemst, Leen‖; Cooley, Elaine#. ELSO Guidelines for Adult and Pediatric Extracorporeal Membrane Oxygenation Circuits. ASAIO Journal 68(2):p 133-152, February 2022. | DOI: 10.1097/MAT.0000000000001630
2. Wahba A, Milojevic M, Boer C, De Somer FMJJ, Gudbjartsson T, van den Goor J, Jones TJ, Lomivorotov V, Merkle F, Ranucci M, Kunst G, Puis L; EACTS/EACTA/EBCP Committee Reviewers. 2019 EACTS/EACTA/EBCP guidelines on cardiopulmonary bypass in adult cardiac surgery. Eur J Cardiothorac Surg. 2020 Feb 1;57(2):210-251. doi: 10.1093/ejcts/ezz267. PMID: 31576396.
3. Sabiston Textbook of Surgery 21st Edition
4. Schwartz's Principles of Surgery 11th Edition
5. 68036B 體外循環維生系統(ECMO)建立, 全民健康保險醫療服務給付項目及支付標準部分診療項目修正規定, 中華民國醫師公會全國聯合會  
   <https://www.tma.tw/files/meeting/N2021618155450_002.pdf>