

围术期肺动脉导管临床应用指南

姜桢 王天龙 李立环 卿恩明 薛玉良 薛张纲 熊利泽 岳云 于布为 吴新民

肺动脉导管（PAC）是右心导管的一种，经皮穿刺后，导管经上腔或下腔静脉到右房、右室，再进入肺动脉及其分支。通过 PAC 可测定心脏各部位的血氧饱和度，计算血氧含量，判断心腔或大血管间是否存在分流和畸形；还可连续监测肺动脉的压力（PAP）和心输出量（CO）、右心室射血分数（RVEF）、右心室舒张末期容积（RVEDV）和混合静脉血氧饱和度（SvO₂），测定中心静脉压（CVP）和肺动脉楔压（PAWP）等指标，用于判定心内容量，并通过计算心内分流量、全身血管和肺血管阻力、氧转运量和氧消耗量等，来评价心、肺功能和病变的严重程度。应用电极导管还可进行心脏电生理研究、行心内临时起搏、经中心静脉及肺动脉给药等。因此，PAC 是对心脏病和休克患者进行诊断和治疗、观察病情和评估疗效的较为准确的方法之一。

一、临床应用指征和禁忌证

（一）临床应用指征 临床使用 PAC 需根据：病人是否存在心肺等严重疾病、病情是否处于高风险状态；手术是否属于高风险手术或复杂手术；术者是否具有 PAC 操作条件和能够准确解释 PAC 数据的能力这三方面来加以考虑。通常根据患者（ASA 分级）、事件（手术创伤）和技术设备条件三个方面因素分级。

1、患者因素

低危：ASA I-II 级，血流动力学改变轻微，不影响器官功能

中危：ASA III 级，较明显血流动力学改变，且可能影响器官功能

高危：ASA IV-V 级，明显血流动力学改变，严重影响器官功能状态，甚至导致死亡。

2、外科手术风险

低风险：体液丢失少和血流动力学变化小，围术期并发症和死亡率低；

中风险：中等量体液丢失和血流动力学变化较大或存在感染，可导致围术期并发症，但死亡率并不高；

高风险：大量血液丢失和显著血流动力学改变或其他因素，有围术期高并发症和较高死亡率风险。

3、操作者的熟悉程度

熟悉：具有熟练的 PAC 操作、护理的技术和完善的设备及具备处理并发症的能力；

较熟悉：进行过 PAC 操作、护理技术一般和设备支持较少；

不熟悉：极少进行过 PAC 操作、缺乏护理经验和设备支持，不能及时判断和处理并发症。

鉴于肺动脉导管价格较昂贵、属有创操作，综合以上三方面因素，对 PAC 的适应证可归纳为：强烈推荐、推荐和不推荐（表 1）。

表 1 决定使用肺动脉导管的影响因素

操作者因素	病人因素	外科因素		
熟悉	低风险	低风险	中风险	高风险
	高风险	不推荐	推荐	强烈推荐
	中风险	不推荐	推荐	推荐
	低风险	不推荐	不推荐	推荐

较熟悉	高风险	不推荐	推荐	推荐
	中风险	不推荐	不推荐	推荐
	低风险	不推荐	不推荐	不推荐
不熟悉	高风险	不推荐	不推荐	不推荐
	中风险	不推荐	不推荐	不推荐
	低风险	不推荐	不推荐	不推荐

肺动脉压（PAP）监测和混合静脉血氧饱和度（SvO₂）监测为 PAC 所特有的监测功能；PAC 在连续监测心输出量（CO）、体、肺血管阻力等血流动力学指标，指导输液输血以及血管活性药物的使用，优化全身的氧供需平衡等方面能发挥重要作用。

高危患者、高风险手术以及具备符合条件人员的情况下，推荐使用 PAC，通过确保心室满意的液体负荷、指导血管活性药和正性肌力药的使用，可降低并发症和死亡率、缩短 ICU 的住院时间、缩短住院天数，并可以降低器官衰竭的发生率。

PAC 的临床效能可通过效益与风险比来综合判断，以达到特定患者从 PAC 监测中受益的最大化，降低并发症及死亡率，使 PAC 监测给病人所带来的危险最小化，最终目的在于改善患者的转归。

（二）禁忌证

PAC 无绝对禁忌证，对于三尖瓣或肺动脉瓣狭窄、右心房或右心室内肿瘤、法洛氏四联症等病例一般不宜使用。严重心律失常、凝血功能障碍、近期放置起搏导管者常作为相对禁忌证，可根据病情需要及操作者熟悉程度，权衡利弊决定取舍。

二、PAC 放置的基本设备和操作

（一）基本设备

1、PAC 和相关物品：穿刺针、导引钢丝、带静脉扩张器和旁路输液管的导管鞘、导管、导管保护套、压力测量装置等。

2、PAC 种类

目前临床常用的 PAC 导管有六种，分别为二腔（测定 PAP 和 PAWP）、三腔（在二腔基础上增加中心静脉压-CVP 监测）、四腔（增加心输出量-CO 监测）、五腔（增加 SvO₂ 监测）和六腔（两种类型，其中一种增加连续心输出量-CCO 的监测功能；另一种除 CCO 监测功能外，还增加了右心室射血分数-RVEF 和右心室舒张末期容积指标-RVEDV 的监测功能）；应根据临床需求选择不同类型的 PAC 导管。使用不同厂家生产的 PAC 导管测定心输出量时，应注意采用各自的校正因子。

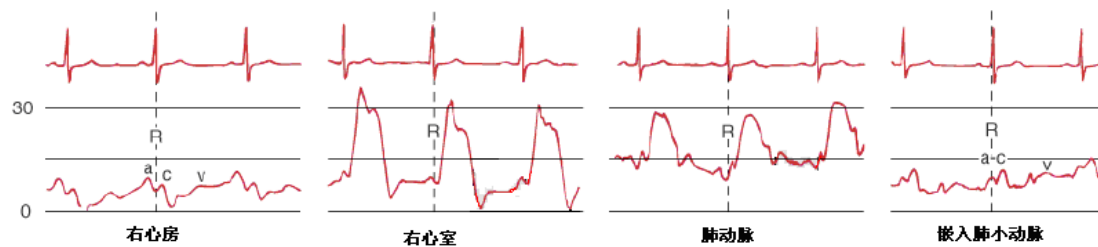
（二）操作

1、PAC 置入途径

常用经皮颈内静脉和股静脉穿刺，也可经锁骨下静脉穿刺置入 PAC，依据方便程度选择置入路径。

2、操作技术

经颈内静脉途径进入的导管，在置入 20cm 左右时，管端即可达右心房，可记录到低平右房压波形；给予气囊充气，PAC 顺血流通过三尖瓣进入右心室，导管尖端达右心室时，压力突然升高，下降支又迅速回到零点，出现典型的右心室（RVP）波形。当置入 40cm 左右后，导管进入肺动脉（PAP），此时收缩压改变不大，而舒张压显著升高，大于右心室舒张压，呈现肺动脉压力波形。将导管继续推进，即可嵌入肺小动脉分支，并出现 PAWP 波形；气囊放气后可再现肺动脉波形。上图为心电图，下图为置入肺动脉导管过程中记录到的连续压力变化曲线。



影响测定结果准确性的因素包括：(1) 测压传感器零点的位置；(2) PAC 尖端气囊的肺区带位置；(3) 其他因素。

三、PAC 参数的正常值及其解释

(一). 前负荷相关参数

1、中心静脉压 (CVP)

PAC 的一个通道位于上腔静脉或右心房时,可以直接测定 CVP 和右房压(RA),正常值范围 6~10mmHg。小于 4mmHg 通常表示心腔充盈欠佳或血容量不足,高于 12mmHg 通常表示右心功能不全或输液超负荷。CVP 会受到以下一项或多项因素的影响:

- (1) 循环血容量
- (2) 静脉张力
- (3) 心肌收缩力
- (4) 胸腔内压力
- (5) 肺循环阻力
- (6) 心脏周围压力(如心包疾病等)
- (7) 其他因素(如导管堵塞等)

CVP 可用于指导输液和输血以及判定血管活性药物治疗的效果。测定 CVP 时应注意,不应仅以 CVP 的单次测定值来决定体内的容量状态。在重症患者中,应该用 2~5cmH₂O 或 3~7mmHg PAWP 的输液试验,动态连续观察 CVP 变化,来判断循环血容量和心血管功能间的关系。

2、肺动脉楔压 (PAWP)

由于左心房和肺静脉之间不存在瓣膜,左心房压可逆向经肺静脉传至肺毛细血管,如无肺血管病变,PAWP 可反映左房压。如无二尖瓣病变,PAWP 可间接反映左心室舒张末期压力 (LVEDP),用于判定左心室的前负荷。其正常值范围 6~12mmHg。PAWP 可以估计肺循环状态和左心室功能,鉴别心源性或肺源性肺水肿,判定血管活性药物的治疗效果,诊断低血容量以及判断输血、输液效果等。如果 SVI 降低,PAWP 小于 6mmHg 提示可能存在低血容量,如果 SVI 低,PAWP 大于 12mmHg 则通常反映左心功能衰竭,PAWP 大于 25mmHg 可能存在急性肺水肿。同样,PAWP 在反映 LVEDP 时,如存在主动脉返流、肺切除或肺栓塞时血管支流血流明显减少,左室顺应性降低时,PAWP 低于 LVEDP;相反如存在气道压增加、肺静脉异常、心动过速、二尖瓣狭窄等病变时,PAWP 高于 LVEDP。

3、右心室舒张末期容积 (RVEDV)

容量型 PAC 具有直接测定右心室射血分数 (EF%) 的功能,其正常值范围为 40%~60%;通过 SV/EF% (SV=CO/HR) 计算可以获得 RVEDV,其正常值范围为 100~160ml(RVEDVI:60~100ml/m²)并通过 RVEDV-SV 计算获得右心室收缩末期容积 (RVESV) 指标,正常值范围: 50~100ml(30~60ml/m²)。RVEDV 不会受到胸内压和腹内压力升高的影响,并且不论静态或动态情况下,与 SVI 均具有很好的相关性。在分析 RVEDV 指标时,需考虑右心室收缩力、右心室后负荷以及右心室预充容量

的影响。

（二）后负荷相关参数

1、体循环阻力（SVR）

为了维持全身组织器官的血液灌注，必须维持一定的组织灌注压，血管内容量、心肌收缩力和外周血管阻力是决定灌注压的主要因素。SVR 的正常值为 $800\sim 1200 \text{ dynes}\cdot\text{sec}\cdot\text{cm}^{-5}$ ， $<800 \text{ dynes}\cdot\text{sec}\cdot\text{cm}^{-5}$ 提示全身血管阻力低，可能使血压降低，如药物影响、败血症等； $>1200 \text{ dynes}\cdot\text{sec}\cdot\text{cm}^{-5}$ 提示全身血管阻力高，可能会影响心脏射血功能和组织器官的血液灌注。

2、肺循环阻力指数(PVR)

PVR 正常值为 $120\sim 240 \text{ dynes}\cdot\text{sec}\cdot\text{cm}^{-5}$ ， $>250 \text{ dynes}\cdot\text{sec}\cdot\text{cm}^{-5}$ 提示肺血管阻力增高，如原发性或继发性肺动脉高压（慢性肺部疾病、肺水肿、左心衰竭、ARDS）。

（三）、心脏收缩功能相关参数

1、每搏量（SV）和每搏量指数（SVI）

SV 是指心脏每次收缩的射血量；正常值为 $60\sim 90 \text{ ml}$ (SVI: $25\sim 45 \text{ ml}/\text{m}^2$)，主要反映心脏的射血功能，取决于心室前负荷、心肌收缩力及全身血管阻力，是血流动力学重要的参数。在低血容量和心脏衰竭时，SV/SVI 是首先改变的变量之一，对于临床诊断具有重要意义。每搏量的下降可以通过心率增加来代偿，以维持 CO 的正常。因此，CO 不是心脏射血功能的可靠反映。SVI $<24 \text{ ml}/\text{beat}/\text{m}^2$ 提示心脏射血功能减弱，原因包括前负荷低、心肌收缩力降低(如左心衰)、外周阻力增加等。

2、右心室射血分数（EF%）

容量型 PAC 具有测定 RVEF 和 CEDV (RVEDV) 的功能。RVEF 正常值范围为 $40\%\sim 60\%$ ，常会受到右心室前负荷、右心室收缩力和后负荷的影响，基于 RVEF 大小，结合 CVP/RAP 和 PVRI 可以协助诊断右心室功能衰竭。

3、心输出量（CO）和心脏指数（CI）

CO 是指左或右心室每分钟射入主动脉或肺动脉的血量。正常成人的 CO 为 $5\sim 6 \text{ L}/\text{min}$ ，CI 的正常值为 $2.5\sim 4.0 \text{ L}/\text{min}\cdot\text{m}^2$ 。心输出量反映心肌的射血功能，测定心输血量对判断心功能、计算血流动力学其他参数如心脏指数、外周血管总阻力等，以指导临床治疗具有十分重要的意义。应用肺动脉导管，用温度稀释法测定 CO 在临床应用广泛。正常情况下，左、右心室的输出量基本相等，但在分流量增加时可产生较大误差。CO 是全身氧供 (DO_2) 的主要决定因素。CO 在不同个体之间的差异较大，尤其与体表面积密切相关。因此，CO 除以体表面积得出的心脏指数 (CI)，成为比较不同个体心脏排血功能的常用参数。

（四）、压力相关参数

1、肺动脉压（PAP）

目前仅能通过 PAC 直接测定肺动脉压力 (PAP)，其正常值为 $15\sim 28 \text{ mmHg}$ / $8\sim 15 \text{ mmHg}$ 、平均动脉压 (MPAP) $10\sim 25 \text{ (mmHg)}$ 。静态下如果 MPAP 超过 25 mmHg ，动态下 MPAP 超过 30 mmHg ，即可诊断肺动脉高压。PAP 受胸腔内压力的影响，测定压力时应在呼气相开始时进行。PAP 降低常见于低血容量；PAP 升高多见于 COPD、原发性肺动脉高压、心肺复苏后、心内分流等。缺氧、高碳酸血症、ARDS、肺栓塞等可引起肺血管阻力增加而导致 PAP 升高。左心功能衰竭、输液超负荷可引起 PAP 升高，但肺血管阻力并不一定升高。肺动脉舒张压 (PAPd) 比 PAWP 仅高 $1\sim 3 \text{ mmHg}$ ，故可作为 PAWP 的参考值。当肺部疾病引起肺血管阻力增加时，PAP 可升高而 PAWP 可正常或偏低。左心功能衰竭时，PAP 升高，PAWP 也升高。以此可鉴别肺动脉高压是心源性还是肺源性。

2、CVP/RAP

见前负荷相关参数。

3、PAWP/LAP

见前负荷相关参数。

（五）、全身氧供需平衡参数

1、混合静脉血氧饱和度（SvO₂）

混合静脉血氧饱和度是衡量机体氧供需平衡的综合指标，不仅反映呼吸系统的氧合功能，也反映循环功能和代谢的变化，但不反映局部器官的氧合状态。其正常值范围为 70%~75%。相对应的 PvO₂ 为 35~40mmHg。SvO₂ 小于 60% 反映全身组织氧合受到威胁，小于 50% 表明组织严重缺氧，大于 80% 提示氧利用不充分，大于 90% 提示组织分流显著增加。SvO₂ 受 CO、Hb、SaO₂ 和氧耗量（VO₂）的影响。

SvO₂ 读数及其临床解释见表 2

表 2 SvO₂ 的临床解释

SvO ₂	原因	临床解释
80%-90%	氧供增加（DO ₂ ↑） 氧耗减少（VO ₂ ↓） 血流动力学（CO↑）	FiO ₂ ↑,低温，麻醉，使用肌松剂， 脓毒性休克血管扩张，导管移位
60%-80%	氧供正常 氧耗正常 CO 充足	组织灌注满意
30%-60%	氧供减少（DO ₂ ↓） 氧耗增加（VO ₂ ↑） 血流动力学不稳定（CO↓）	贫血，气道梗阻，气管内吸痰 高热，寒战 体位，疼痛，心包填塞性心源 性休克，张力性气胸 心律失常，休克，高 PEEP 血管收缩

2、氧供（DO₂）（需动脉血气分析）

指单位时间内由左室向全身组织输送的氧总量。受呼吸、循环和血液系统影响。它由心输出量（CO）和动脉血氧含量（CaO₂）的乘积表示。借助 PAC 获得的 CO 以及动脉血气分析，可以对危重病人 DO₂ 进行及时监测。其计算公式为：

$$DO_2 = CO \times CaO_2 \times 10$$

$$= CO \times (Hb \times 1.39 \times SaO_2 + 0.003 \times PaO_2) \times 10$$

DO₂ 的正常范围为 600~1000ml/min；麻醉期间 DO₂ 的临界值为 330ml/min.m² 或 7~8ml/kg.min。

3、氧耗（VO₂）（需血气分析）

单位时间内组织细胞实际消耗的氧量，代表全身氧利用的情况，并不代表对氧的实际需要量。CvO₂ 代表组织代谢后循环血液中剩余的氧量。通过 PAC 测定 CO 以及动脉、混合静脉血血气，即可对 VO₂ 及时监测。其计算公式为：

$$VO_2 = 10 \times CO \times (CaO_2 - CvO_2)$$

$$= CO \times (Hb \times 1.39 \times SaO_2 + 0.003 \times PaO_2 - Hb \times 1.39 \times SvO_2 + 0.003 \times PvO_2) \times 10$$

VO_2 的正常值为 200~250ml/min； VO_2I (氧耗指数)正常值范围：100~125ml/min.m²。机体处于不同状态下的氧耗不同；发热时，体温每升高 1℃， VO_2 升高 10%；寒战可以引起病人氧耗量成倍增加；严重感染时 VO_2 上升 50~100%；麻醉下 VO_2 下降 15%。

4、氧摄取率 (ERO_2)

机体氧的摄取率 (ERO_2) 反映氧从毛细血管向线粒体内膜弥散的状态；它取决于毛细血管内氧浓度及氧从血浆向线粒体内膜的转运距离。正常人氧的摄取率相对恒定，局部器官按照其不同的氧摄取率来满足各器官的不同氧耗状态。其计算公式为： $ERO_2 = VO_2 / DO_2 = (CaO_2 - CvO_2) / CaO_2 \times 100\%$

ERO_2 正常值为 22%~30%。正常情况下，当机体氧供增加或减少时，通过改变 ERO_2 而维持氧耗恒定。但当氧供降至某一临界阈值， ERO_2 增加到最大时，此时机体氧耗量将随氧供下降而减少。发生氧供依赖性氧耗时， ERO_2 达最大限度。

四、PAC 并发症

(一) 穿刺并发症

穿刺不当可能导致轻重不等的损害，包括穿刺局部的血肿、误伤造成的动-静脉瘘、假性动脉瘤和血栓性静脉炎及静脉血栓形成等。

(二) 导管并发症

1、导管打折、断裂

2、心律失常

导管刺激心脏壁及心内结构时可产生心律失常，尤其是在右室舒张压 >20mmHg 的重度右室功能不全病人，更易发生。包括房性早搏、室性早搏。室上速、室速甚至室颤。如若仅出现短暂的室上速和早搏，只要把导管往后退出，心律失常便会转为正常，以后再改变方向和角度进入肺动脉。对于持续性的快速性室性心律失常，甚至发生室颤时应及时电复律并按复苏处理。

3、留置导管时可能会造成肺动脉破裂、血栓性静脉炎、附壁血栓、静脉血栓、肺梗死、瓣膜/心内膜炎和导管尖端细菌培养阳性，发生与导管相关的脓毒血症，甚至导致因 PAC 相关的死亡。

五、基于 SvO_2 的临床诊断与治疗树

