The pulmonary artery catheter: when and why it should be used

Barry A. Finegan MD FRCPC

The pulmonary artery catheter (PAC) has been in widespread clinical use for 20 yr. It has been modified to allow measurement of cardiac output (CO), mixed venous oxygen saturation ($S\bar{v}O_2$), right ventricular ejection fraction (RVEF) and temporary pacing. The indications for insertion of a PAC have multiplied with time, as has the controversy over the contribution (or lack thereof) of the PAC to improving patient outcome. In order to define the role of PAC monitoring in one's practice it is essential to understand both the limitations of PAC-derived information, and the potential risks and benefits associated with using a PAC.

The output of the PAC

Pressures

The PAC allows measurement of right atrial pressure (RAP), pulmonary artery systolic (PAs) and diastolic (PAd) pressures and PA occlusion pressure or wedge pressures (PCWP). The pressure values obtained are influenced by the flow/volume of blood, the compliance of the vessel or chamber and the downstream resistance to flow at any of these sites. The RAP reflects right ventricular filling pressures. The compliance of the large pulmonary vessels is the major determinant of PAs and the resistance of the small pulmonary vessels, the diastolic time and left ventricular (LV) filling pressure determine PAd. In the absence of flow obstruction in the small pulmonary vessels and if the diastolic time is adequate to allow equilibration, the PAd should be equivalent to the left atrial (LA) pressure which can be considered to reflect LV end-diastolic pressure (LVEDP). The PCWP, by occluding flow through a small branch of the PA, should more accurately reflect LVEDP.

While numerical values for the above pressures can be recorded with ease, accuracy of measurement is contingent on correct catheter placement in West's zone III¹ and on an accurate, properly calibrated recording system.² Careful analysis of the character and temporal relationships of the pressure waveforms can assist in the diagnosis and management of a variety of cardiac disorders.³ It is therefore important to have the capability of simultaneously recording on paper the RA, PA, PCWP and systemic arterial waveforms.

The RAP correlates well with the PCWP in patients with normal LV function and ejection fraction, but does so poorly in the presence of ventricular dysfunction. Correct PCWP measurement itself presents unique difficulties and PCWP may not reflect LVEDP. The use of a pressure measurement (force exerted by the fluid $\cdot$ unit area⁻¹) as an index of volume (amount of fluid) is questionable and can lead to incorrect management decisions.⁴

Cardiac output

A value for CO can be easily and repeatedly determined by thermodilution following insertion of a thermistor equipped PAC catheter, except in the presence of intracardiac shunts or marked tricuspid incompetence both of which can be identified by visual inspection of the thermodilution curve. Data pooled from 14 studies was analyzed by Stetz *et al.*⁵ in an attempt to determine the accuracy and reproducibility of the thermodilution CO method. Thermodilution CO appeared to be as accurate as the Fick and dye dilution methods but reproducibility was poor. They concluded that if the average of three measurements was taken as the "real" CO, a change of >15% would be required to indicate a true alteration in CO. If a single determination was performed, the difference between the values would have to be >25%. To minimise error at least three measurements should be performed and the results averaged. The injectate solution may be at room temperature, as this produces results as accurate as using a cold solution, if injected rapidly and in adequate volume (10 ml in adults, 3 ml in children).⁶ Electrocautery should not be used while measurements are being performed as it interferes with the computer circuitry. Injection at the same time in the respiratory cycle (end-exhalation) enhances the reproducibility of measurement.⁷

The determination of cardiac output allows the calculation of derived variables which describe the relationship between ventricular function and the vasculature. Oxygen supply can also be calculated easily if PaO_2 values are available. A cardiovascular profile should be determined in every patient for whom a PAC is deemed necessary and repeated at appropriate intervals to monitor the effect of interventions (Table I).⁸

From the Department of Anaesthesia, University of Alberta.

TABLE I Cardiovascular profile⁸

	Normal
CI = $\text{CO} \cdot \text{BSA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$	2.4–4.2
SVI = $\text{CI} \cdot \text{HR}^{-1}$	40–60
PVRI = $(\text{PAP} - \text{PCWP}) \cdot \text{CI}^{-1} \cdot 79.9$	225–231
SVRI = $(\text{MAP} - \text{RAP}) \cdot \text{CI}^{-1} \cdot 79.9$	1940–2400
LVS WI = $(\text{MAP} - \text{PCWP}) \cdot \text{SVI} \cdot 0.0136$	45–60

CI = cardiac index [$\text{L} \cdot (\text{m}^2)^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$]; SVI = stroke vol. index [$\text{ml} \cdot (\text{m}^2)^{-1}$]; PVRI = pulmonary vascular resistance index ($\text{dynes} \cdot \text{sec} \cdot \text{cm}^{-5}$); SVRI = systemic vascular resistance index ($\text{dynes} \cdot \text{sec} \cdot \text{cm}^{-5}$); LVS WI = [$\text{g} \cdot \text{m} \cdot (\text{m}^2) \cdot \text{beat}^{-1}$].

SvO₂ monitoring

A PAC with fiberoptic capability allows the measurement of continuous SvO₂ by spectrophotometry in addition to CO.⁹ The SvO₂ measured in this fashion closely approximates values obtained by direct aspiration from the distal lumen of the PAC.¹⁰ However, the system is susceptible to vessel wall-induced artifact and catheter migration into a wedged position with consequent falsely elevated SvO₂ readings. In contrast, direct SvO₂ measurement by aspiration is time-consuming and must be repeated frequently to determine a trend. Withdrawal of blood should be performed slowly to reduce the chances of sampling blood from the left atrium.¹¹ An SvO₂ value in conjunction with PaO₂ and CO values allows calculation of O₂ consumption and degree of intrapulmonary shunt (Table II). This information is helpful in optimizing therapy in respiratory failure. Continuous SvO₂ monitoring facilitates monitoring of respiratory and cardiovascular function in unstable patients. The SvO₂ is considered to be normal if it is between 60–80%. A decrease in SvO₂ below normal values implies either a decrease in O₂ supply or an increase in O₂ demand. An SvO₂ value greater than normal, which is seen frequently in sepsis, suggests an inability of the tissues to extract O₂, or the presence of a shunt.¹² The SvO₂, however, does not reflect the O₂ tension at tissue level and may be normal despite individual organ hypoxia. An SvO₂ <40% usually represents the lower limits of compensation and heralds the onset of lactic acidosis.¹³

Right ventricular ejection fraction measurement

Measurement of RVEF, RV end diastolic volume and CO can be performed using a PAC equipped with a thermistor capable of recording the plateaus of the step changes in temperature, which occur with each beat, on the descending limb of the thermodilution curve. The RVEF catheter is not effective in the presence of dysrhythmias and its accuracy is impaired at heart rates >125 beats · min⁻¹. The RV and LV do not function independently,¹⁴ and identifying patients with predominantly RV dysfunction may be helpful.¹⁵

TABLE II O₂ delivery/consumption and derived respiratory indices⁸

	Normal
O ₂ delivery = $\text{CO} \cdot (\text{Hb} \cdot \text{SaO}_2 \cdot 1.38)$	1000 ml · min ⁻¹
O ₂ consumption = $\text{CO} \cdot \text{Hb} \cdot 1.38 \cdot (\text{SaO}_2 - \text{SvO}_2)$	240 ml · min ⁻¹
Intrapulmonary shunt = $(\text{CcO}_2 - \text{CaO}_2) \cdot (\text{CcO}_2 - \text{CvO}_2)^{-1}$	7%
Alveolar-arterial O ₂ gradient = $\text{PAO}_2 - \text{PaO}_2$	34 mmHg if FiO ₂ = 10

CO = cardiac output; SaO₂ = arterial O₂ saturation; SvO₂ = mixed venous O₂ saturation; CcO₂ = capillary O₂ content; CaO₂ = arterial content; CvO₂ = mixed venous O₂ content; PAO₂ = alveolar O₂ tension; PaO₂ = arterial O₂ tension.

Doppler PAC

A recent development in PAC technology is the Doppler PAC which uses multiple ultrasonic transducers to measure instantaneous and continuous PA flow. This method has been studied in patients undergoing cardiac catheterization and appears to correlate well with CO measured by thermodilution.¹⁶

Pacing PAC

One version of the pacing PAC has two sets of electrodes on the catheter surface which can be used for intracardiac ECG recording or temporary pacing, but can be difficult to position. There is also a five-lumen PAC available which allows passage of a #2.4-Fr bipolar pacing electrode into the ventricle.¹⁷ These devices may be useful for emergency cardiac pacing.

PA wedge catheter

The risk of catheter migration and undetected wedging is always a concern. The development of a PAC with a lumen 10 cm from the catheter tip from which a RV pressure waveform can be transduced facilitates correct catheter placement and assists in monitoring of catheter position.¹⁸

Data vs clinical assessment

The thesis that information derived from the PAC results in better decision-making is unproven, and there is always a risk that numerical data, rather than the patient, may become the focus of attention. The literature, however, indicates that clinical observations in critically ill patients are unreliable. Connors *et al.*¹⁹ studied prospectively 56 patients with multiple organ-system disease and found that PCWP and CO were predicted correctly only 42% and 44% of the time, respectively. The accuracy of prediction was not influenced by the level of training or experience of the observers. In a subsequent prospective study, involving 650 patients,²⁰ the same group attempted to define whether accuracy of physician estimates of cardiac function was influenced by the presence or absence of

acute cardiac disease. The PCWP assessments were accurate approximately 60% of the time in patients with or without acute heart disease. In contrast, CO was predicted more accurately in patients not suffering from an acute MI or acute ischaemia (75% vs 60%). Therapy was altered in 50% of all patients after PAC insertion. Prediction of haemodynamic variables after cardiac bypass surgery by anaesthetists appears to be equally inaccurate.²¹ The available evidence seems to indicate that careful interpretation of PAC derived data (mindful of its limitations) should provide a better understanding of the pathophysiology of the patient's disease and a more rational basis for treatment.

Patient morbidity

In the 15 yr immediately after the commercial introduction of the PAC it was estimated that almost two million catheters had been inserted at a cost of two billion dollars.²² Brandstetter and Gitler,²³ reviewing the literature relating to the PAC published during the same interval, found that almost 25% of the citations focused on PAC-related complications. Two large prospective studies are available that allow an assessment of the direct iatrogenic potential of PAC insertion.

Shah *et al.*²⁴ reviewed prospectively 6,245 patients who had a PAC inserted perioperatively. Complications occurred during venous access, catheter insertion, while the PAC was in place and during removal of the introducer-sheath. The carotid artery was inadvertently entered in 120 patients (1.9%) and in four the #7.5 F introducer-sheath placed in carotid artery. In 31 patients (0.5%) a pneumothorax resulted from attempts at central venous catheterization. Cardiac rhythm disturbances during PAC insertion were common (occurred in >70% of patients), with 193 (3.1%) patients requiring bolus lidocaine administration. One patient with pre-existing LBBB developed complete heart block during PAC insertion and required pacing. Nine late complications directly attributable to the PAC were documented. Four patients (0.064%) suffered an intrapulmonary haemorrhage secondary to rupture of the PA (three during cardiopulmonary bypass). Pulmonary infarction occurred in four patients (0.064%) and perforation of the right ventricle in one patient (0.016%). Pulmonary embolus was suspected in four patients (0.064%) who experienced tachycardia, tachypnea, diaphoresis and chest pain on introducer-sheath removal.

A prospective study of PAC-related complications during 528 PAC insertions in 500 consecutive patients was carried out by Boyd *et al.*²⁵ In addition, the attending physician was asked to estimate the value of the PAC in case management. The study population included both surgical and medical patients. Serious complications were noted in 23 patients (4.4%). These included ventricular tachycardia

TABLE III Conditions where a PAC should be considered

Poor LV function
EF <0.4
CI <2 L · min ⁻¹ · m ⁻¹
Recent complicated MI
Severe ischaemic heart disease
Pulmonary hypertension
Anticipated large volume shifts
Shock states
Toxaemia of pregnancy

(8 patients; 1.5%), pulmonary infarction (7 patients; 1.3%), septicaemia (7 patients; 1.3%) and pulmonary haemorrhage (1 patient; 0.2%). The PAC was considered to be beneficial in 80% of cases. An editorial accompanying this article rightly suggested the need for further prospective studies to assess the risk/benefit of PAC insertion.²⁶ It strongly urged that if a patient was subjected to the risk of PAC insertion then PAC-derived data should be obtained frequently and acted upon appropriately.

Rupture of the PA, though rare, is the most serious complication associated with the PAC. The major risk factors are increased PA pressures, anticoagulation and advanced age.²⁷ Other factors include hypothermia, cardiopulmonary bypass, excessive balloon inflation and catheter manipulation and the female gender.²⁸ The management of this condition bears review. Anticoagulation should be reversed, the catheter left in place for transcatheter embolization and PA pressure measurement, the PA pressure reduced by drug therapy, a double lumen tube inserted if haemoptysis is massive, PEEP up to 20 cm applied in an effort to decrease the haemorrhage and preparations made for emergency lobectomy or pneumonectomy.²⁹

Indications and patient benefit

Guidelines for PAC monitoring have been developed by various bodies over the last five years.^{30,31} In the management of surgical patients some situations in which a PAC should be considered are listed below (Table III). The decision to insert a PAC should be based on the need of the individual patient and entails a commitment by the physician to use the data obtained. It must be understood that the PAC does not of itself provide a therapeutic benefit and its insertion should never be "routine."

It has proved to be difficult to quantify the net benefit which accrues to a patient due to insertion of a PAC. In patients undergoing coronary artery surgery Truman *et al.*³² were unable to demonstrate any difference in any outcome variables in patients managed with or without a PAC, even in the highest risk class. In contrast, invasive haemodynamic monitoring, in a group of patients with coronary artery disease undergoing noncardiac surgery, appeared to contribute to a reduction in the perioperative

myocardial infarction rate.³³ This study was not randomized and results were compared with historical controls. Robin,³⁴⁻³⁶ in a series of highly contentious articles, has assailed the PAC, terming its widespread use a form of "medical cultism" and has advocated curtailment of its use until outcome studies showing a net outcome benefit to the patient are available. This opinion is, however, far from unanimous.³⁷ A recent study of the PAC has suggested that "normal" values in critically ill patients may not be appropriate. Shoemaker *et al.*³⁸ found that PAC guided therapy, aimed at attaining supranormal CO and O₂ delivery values in postoperative surgical patients resulted in a reduced mortality compared with patients managed with or without a PAC where normality was the therapeutic goal.

Twenty years have elapsed since the introduction of the balloon-tipped PAC into clinical practice.³⁹ It is inevitable and appropriate that a reassessment of its value be undertaken. It is this author's contention that in selected patients the information obtained from a PAC is useful both in the diagnosis and treatment of low CO states; that PCWP, as a measure of left ventricular volume, should be interpreted with due regard to its limitations in the presence of ventricular dysfunction; that above all, the PAC should be used with discrimination and the information it provides interpreted in the context of the clinical status of the individual patient.

References

- 1 Wiedemann HP, Matthay MA, Matthay RA. Cardiovascular-pulmonary monitoring in the intensive care unit (Part I). *Chest* 1984; 85: 537-49.
- 2 Gardner RM. Direct blood pressure measurement - dynamic response requirements. *Anesthesiology* 1981; 54: 227-36.
- 3 Sharkey SW. Beyond the wedge: clinical physiology and the Swan-Ganz catheter. *Am J Med* 1987; 83: 111-22.
- 4 Raper R, Sibbald WJ. Misled by the wedge? The Swan-Ganz catheter and left ventricular preload. *Chest* 1986; 89: 427-34.
- 5 Stetz CW, Miller RG, Kelly GE, Raffin TA. Reliability of the thermodilution method in the determination of cardiac output in clinical practice. *Am Rev Respir Dis* 1982; 126: 1001-4.
- 6 Nadeau S, Noble WH. Limitations of cardiac output measurements by thermodilution. *Can J Anaesth* 1986; 33: 780-4.
- 7 Stevens JH, Raffin TA, Mihm FG, Rosenthal MH, Stetz CW. Thermodilution cardiac output measurement. *JAMA* 1985; 253: 2240-42.
- 8 Keefer JR, Barash PG. Pulmonary artery catheterization. In: Blitt CD (Ed.). *Monitoring in Anesthesia and Critical Care Medicine*. New York: Churchill Livingstone Inc., 1985; 177-228.
- 9 Birman H, Haq A, Hew E, Aberman A. Continuous monitoring of mixed venous oxygen saturation in hemodynamically unstable patients. *Chest* 1984; 86: 753-6.
- 10 Fahey PJ, Harris K, Vanderwarf C. Clinical experience with continuous monitoring of mixed venous oxygen saturation in respiratory failure. *Chest* 1984; 86: 749-52.
- 11 Kandel G, Aberman A. Mixed venous oxygen saturation. Its role in the assessment of the critically ill patient. *Arch Intern Med* 1983; 143: 1400-2.
- 12 Neil SG, Lam AM, Turnbull KW, Tremper KK. Symposium: monitoring of oxygen. *Can J Anaesth* 1987; 34: 56-63.
- 13 Kasnitz P, Druger GL, Yorra F, Simmons DH. Mixed venous oxygen tension and hyperlactatemia. *JAMA* 1976; 236: 570-4.
- 14 Baker BJ, Franciosa JA. Effect of the left ventricle on the right ventricle. In: Fisk RL (Ed.). *Cardiovascular Clinics* 17/2, *The Right Heart*, Philadelphia: F.A. Davis Co., 1987; 145-55.
- 15 Boldt J, Kling D, Moosdorf R, Hempelmann G. Influence of acute volume loading on right ventricular function after cardiopulmonary bypass. *Crit Care Med* 1989; 17: 518-22.
- 16 Segal J, Nassi M, Ford AJ, Schuenemeyer TD. Instantaneous and continuous cardiac output in humans obtained with a doppler pulmonary artery catheter. *J Am Coll Cardiol* 1990; 16: 1398-407.
- 17 Bossaert LL, Demey HE, De Jongh R, Heytens L. Haemodynamic monitoring. *Drugs* 1991; 41: 857-74.
- 18 Robertie PG, Johnston WE, Williamson MK, Dudas LM, Wallenhaupt SL, Ganz W. Clinical utility of a position-monitoring catheter in the pulmonary artery. *Anesthesiology* 1991; 74: 440-5.
- 19 Connors AF, McCaffree DR, Gray BA. Evaluation of right-heart catheterization in the critically ill patient without acute myocardial infarction. *N Engl J Med* 1983; 308: 263-7.
- 20 Connors AF, Dawson NV, Shaw PK, Montenegro HD, Nara AR, Martin L. Hemodynamic status in critically ill patients with and without acute heart disease. *Chest* 1990; 98: 1200-6.
- 21 Waller JL, Johnson SP, Kaplan JA. Usefulness of pulmonary artery catheters during aortocoronary bypass surgery. *Anesth Analg* 1982; 61: 221-2.
- 22 Goldenheim PD, Kazemi H. Cardiopulmonary monitoring of critically ill patients. *N Engl J Med* 1984; 311: 776-80.
- 23 Brandstetter RD, Gitler B. Thoughts on the Swan-Ganz catheter. *Chest* 1986; 89: 5-6.
- 24 Shah KB, Rao TL, Laughlin S, El-Etr AA. A review of pulmonary artery catheterization in 6,245 patients. *Anesthesiology* 1984; 61: 271-5.

- 25 *Boyd KD, Thomas SJ, Gold J, Boyd AD.* A prospective study of complications of pulmonary artery catheterizations in 500 consecutive patients. *Chest* 1983; 84: 245-9.
- 26 *Keefer RJ, Barash PG.* Pulmonary artery catheterization. A decade of clinical progress? *Chest* 1983; 84: 241-2.
- 27 *Feng WC, Singh AK, Drew T, Donat W.* Swan-Ganz catheter-induced massive hemoptysis and pulmonary artery false aneurysm. *Ann Thorac Surg* 1990; 50: 644-6.
- 28 *Hannan AT, Brown M, Bigman O.* Pulmonary artery catheter-induced hemorrhage. *Chest* 1984; 85: 128-31.
- 29 *Putterman C.* The Swan-Ganz catheter: a decade of hemodynamic monitoring. *Journal of Critical Care* 1989; 4: 127-46.
- 30 *Matthay MA.* Guidelines for pulmonary artery catheterization in the intensive care unit. *Pulmonary Perspectives* 1987; 4: 1-4.
- 31 *Friesinger GC, Williams SV.* Clinical competence in hemodynamic monitoring. *Circulation* 1990; 81: 2036-40.
- 32 *Tuman KJ, McCarthy RJ, Spiess BD, et al.* Effect of pulmonary artery catheterization on outcome in patients undergoing coronary artery surgery. *Anesthesiology* 1989; 70: 199-206.
- 33 *Rao TL, Jacobs KH, El-Etr.* Reinfarction following anesthesia in patients with myocardial infarction. *Anesthesiology* 1983; 59: 499-505.
- 34 *Robin ED.* The cult of the Swan-Ganz catheter. *Ann Intern Med* 1985; 103: 445-9.
- 35 *Robin ED.* Death by pulmonary artery flow-directed catheter. *Chest* 1987; 92: 727-31.
- 36 *Robin ED.* Iatroepidemics: a probe to examine systematic preventable errors in (chest) medicine. *Am Rev Respir Dis* 1987; 135: 1152-56.
- 37 *Robin ED.* Defenders of the pulmonary artery catheter. *Chest* 1988; 93: 1059-66.
- 38 *Shoemaker WC, Appel PL, Kram HB, Waxman K, Lee T-S.* Prospective trial of supranormal values of survivors as therapeutic goals in high-risk surgical patients. *Chest* 1988; 94: 1176-86.
- 39 *Swan HJC, Ganz W, Forrester J, Marcus H, Diamond G, Chonette D.* Catheterization of the heart in man with use of a flow-directed balloon-tipped catheter. *N Engl J Med* 1970; 283: 447-51.

Le cathéter d'artère pulmonaire: quand et pourquoi devrait-on l'utiliser?

Barry A. Finegan MD FRCPC

Le cathéter d'artère pulmonaire (CAP) est d'usage clinique courant depuis 20 ans. On l'a modifié pour pouvoir mesurer le débit cardiaque, la saturation du sang veineux mêlé, la fraction d'éjection du ventricule droit et assurer du « pacing » temporaire. Les indications d'insertion des CAP se sont multipliées avec le temps, ainsi que les controverses sur sa contribution (ou non) à l'amélioration du sort des patients. Si l'on veut définir le rôle du CAP dans la pratique courante, il devient essentiel de comprendre autant les limites de l'information recueillie du CAP, que les risques et bénéfices associés à son utilisation.

Données recueillies par le CAP

Pressions

Le CAP permet la mesure de la pression de l'oreillette droite, des pressions systolique et diastolique de l'artère pulmonaire, et de la pression d'occlusion de l'artère pulmonaire. Les pressions obtenues sont influencées par le débit et le volume sanguin, la compliance du vaisseau ou des chambres cardiaques et par la résistance en aval de tous ces sites. La pression dans l'oreillette est le reflet des pressions du remplissage ventriculaire droit. La compliance des gros vaisseaux pulmonaires est le déterminant majeur de la pression systolique et la résistance des petits vaisseaux pulmonaires, la durée de la diastole et les pressions de remplissage du ventricule gauche sont les déterminants de la pression diastolique pulmonaire. En absence d'obstruction à la circulation dans les petits vaisseaux pulmonaires et avec une durée de diastole suffisante pour permettre un point d'équilibre, la pression diastolique pulmonaire devrait être équivalente à la pression dans l'oreillette gauche, elle-même considérée comme un reflet de la pression ventriculaire gauche en fin de diastole. La pression capillaire pulmonaire, obtenue par l'occlusion de la circulation à travers une petite branche de l'artère pulmonaire, devrait être un reflet plus exact de cette pression de fin de diastole du ventricule gauche.

Même si l'on peut enregistrer facilement des valeurs numériques pour les pressions ci-haut mentionnées, la précision de la mesure dépend du positionnement du

cathéter dans la zone III de West¹ et d'un système d'enregistrement précis et bien calibré.² Une analyse soigneuse du caractère et des relations temporelles des ondes de pression peut faciliter le diagnostic et le traitement d'une variété de problèmes cardiaques.³ Il est dès lors important de pouvoir enregistrer simultanément sur papier les courbes de pression de l'oreillette droite, de l'artère pulmonaire, de la pression capillaire bloquée et de la pression artérielle systémique.

La pression de l'oreillette droite est en bonne corrélation avec la pression capillaire pulmonaire bloquée chez les patients à fonction ventriculaire et fraction d'éjection normales, mais cette corrélation disparaît en présence de dysfonction ventriculaire. La mesure de la pression capillaire pulmonaire bloquée elle-même présente des difficultés particulières et peut ne pas refléter la pression de fin de diastole du ventricule gauche. L'emploi d'une mesure de pression (force par unité de surface) comme index d'un volume (quantité de liquide) est discutable et peut conduire à des décisions thérapeutiques erronées.⁴

Débit cardiaque

On peut mesurer facilement et à répétition des valeurs de débit cardiaque par thermodilution, après l'insertion d'un cathéter à thermistor, sauf en présence de shunt intracardiaque ou d'incompétence tricuspéidienne importante qui peuvent tous deux être identifiés par examen visuel de la courbe de thermodilution. Stetz *et al.*⁵ ont analysé l'ensemble des données recueillies dans 14 études pour évaluer la précision et la reproductibilité de la méthode par thermodilution. L'évaluation du débit cardiaque par thermodilution semble être aussi précise que les méthodes de Fick et de dilution de colorant, mais la reproductibilité est faible. Ils en concluent que si l'on accepte comme valeur de débit cardiaque la moyenne de trois mesures, un changement d'au moins 15% devient requis pour signifier un changement réel du débit cardiaque. Si une seule valeur est obtenue la différence avec les valeurs suivantes devraient être d'au moins 25%. Pour réduire la marge d'erreur il faut prendre trois mesures du débit cardiaque et en faire la moyenne. La solution injectée peut être à la température de la pièce, puisque ceci amène des résultats

TABLEAU I Profil cardiovasculaire⁸

	Normal
IC = D.C. Surf. corp · min ⁻¹	2.4–4.2
VEI = IC · FC ⁻¹	40–60
RVPI = (PAP – PCP) · IC ⁻¹ · 79.9	225–231
RVSI = (PAM – POD) · IC ⁻¹ · 79.9	1940–2400
TVGI = (PAM – PCP) · VEI · 0,0136	45–60

IC = Index cardiaque [L · (m²)⁻¹] · min⁻¹; VEI = volume d'éjection indexé [ml · (m²)⁻¹]; RVPI = résistance vasculaire pulmonaire indexée (dynes · sec · cm⁻⁵); RVSI = résistance vasculaire systémique indexée (dynes · sec · cm⁻⁵); TVGI = travail ventriculaire gauche indexé = [g · m · (m²)⁻¹ · battement⁻¹].

aussi précis qu'une solution froide, si l'injection est rapide et en volume adéquat (10 ml chez les adultes, 3 ml chez les enfants).⁶ On doit éviter l'utilisation de l'électrocautère pendant la mesure puisque celui-ci produit de l'interférence dans les circuits de l'analyseur. L'injection au même moment du cycle respiratoire (fin d'expiration) augmente la reproductibilité de la mesure.⁷

La mesure du débit cardiaque permet le calcul de variables dérivées qui décrivent les relations entre les fonctions ventriculaires et la vascularisation. L'apport d'oxygène peut être facilement mesuré si les valeurs de PaO₂ sont disponibles. Un profil cardiovasculaire devrait être établi chez chaque patient méritant l'insertion d'un CAP et ce profil devrait être répété à des intervalles appropriés pour évaluer l'effet des interventions (Tableau I).⁸

L'observation de la SvO₂

Un CAP muni de fibres optiques permet la mesure continue par spectrophotométrie de la saturation en oxygène du sang veineux mêlé (SvO₂) en plus de celle du débit cardiaque.⁹ La SvO₂ mesurée ainsi a des valeurs qui ressemblent de près à celles obtenues par aspiration directe de sang à partir de la lumière distale du CAP.¹⁰ Le système est susceptible cependant d'être influencé par des artéfacts provenant de la paroi vasculaire et la migration du cathéter en position bloquée produira des lectures faussement élevées de la SvO₂. Par contre, la mesure directe de la SvO₂ par aspiration prend beaucoup de temps et doit être répétée fréquemment pour obtenir une tendance. Le prélèvement du sang doit d'ailleurs se faire lentement pour diminuer les chances d'obtenir du sang de l'oreillette gauche.¹¹ L'obtention simultanée de la SvO₂, de la PaO₂, et du débit cardiaque permet le calcul de la consommation d'oxygène et du degré de shunt intra-pulmonaire (Tableau II). Cette information devient utile pour ajuster le traitement dans l'insuffisance respiratoire. La mesure continue de la SvO₂ facilite aussi l'évaluation de la fonction respiratoire et cardiovasculaire chez les patients instables. La SvO₂ sera considérée normale si elle se situe entre 60 et 80%.

TABLEAU II Livraison/consommation d'O₂ et indices respiratoires dérivés⁸

	Normal
Livraison d'O ₂ = DC · (Hb · SaO ₂ · 1,38)	1000 ml · min ⁻¹
Consommation d'O ₂ = DC · Hb · 1,38 · (SaO ₂ – SvO ₂)	240 ml · min ⁻¹
Shunt intrapulmonaire = (CcO ₂ – CaO ₂) · (CcO ₂ – CvO ₂) ⁻¹	7%
Gradient alvéolo-artériel O ₂ = PAO ₂ – PaO ₂	34 mmHg if FiO ₂ = 10

DC = débit cardiaque; SaO₂ = saturation artérielle en O₂; SvO₂ = saturation veineuse en O₂; CcO₂ = contenu capillaire en O₂; CvO₂ = contenu veineux mêlé en O₂; CaO₂ = contenu artériel en O₂; PAO₂ = tension alvéolaire en O₂; PaO₂ = tension artérielle en O₂.

Une diminution de la SvO₂ sous les valeurs normales implique soit une diminution de l'apport d'oxygène ou une augmentation de la demande d'O₂. Une valeur de SvO₂ supérieure à la normale se rencontre fréquemment dans le sepsis, et suggère une incapacité d'extraction d'oxygène par les tissus, ou la présence d'un shunt.¹² Cependant, la SvO₂ n'est pas reflet de la tension d'oxygène au niveau tissulaire et peut être normale en dépit d'une hypoxie dans un organe donné. Une SvO₂ inférieure à 40% signifie habituellement l'atteinte des limites inférieures de la compensation et annonce le début d'une acidose lactique.¹³

Mesure de la fraction d'éjection du ventricule droit

Les mesures de la fraction d'éjection du ventricule droit, de son volume de fin de diastole et du débit cardiaque peuvent être accomplies au moyen d'un CAP muni d'un thermistor capable d'enregistrer les plateaux, des changements successifs de température, qui se produisent avec chaque battement cardiaque, dans la partie descendante de la courbe de thermodilution. Ce modèle de cathéter devient moins utile en présence de dysrythmie et sa précision est compromise lorsque la fréquence cardiaque dépasse 125 battements · min⁻¹. Les deux ventricules fonctionnent de façon interdépendante,¹⁴ et l'identification des patients avec prédominance de défaillance ventriculaire droite peut être utile.¹⁵

Cathéter d'artère pulmonaire avec Doppler

Le CAP avec Doppler est un produit récent du développement de la technologie des cathéters d'artère pulmonaire qui utilise de multiples transducteurs à ultra-sons pour mesurer le débit instantané et continu dans l'artère pulmonaire. Cette méthode a été évaluée chez les patients soumis à un cathétérisme cardiaque et semble en bonne corrélation avec les mesures par thermodilution.¹⁶

Cathéter d'artère pulmonaire pour « pacing »

Une version de ce modèle de cathéter a deux séries

d'électrodes de surface qui peuvent être employées pour la lecture intra-cardiaque de l'ECG ou le « pacing » temporaire, cependant ce modèle peut être difficile à positionner. Il existe aussi un modèle de CAP à cinq lumières qui permet le passage d'une électrode bi-polaire de calibre 2,4 F dans le ventricule.¹⁷ Ces instruments peuvent être utiles pour « pacing » d'urgence.

Cathéter d'artère pulmonaire sentinelle

Le risque de migration de cathéter et de blocage imprévu est toujours ennuyeux. On a développé un cathéter d'artère pulmonaire avec lumière latérale placée à 10 cm du bout distal et à partir de laquelle on mesure la pression ventriculaire droite : ceci facilite le positionnement du cathéter et permet de surveiller sa position.¹⁸

Correspondance entre les données et la clinique

La thèse qui veut que l'information recueillie d'un cathéter d'artère pulmonaire améliore le processus de décision est loin d'être confirmée, il y a toujours un risque que les données numériques plutôt que l'état du patient deviennent le centre d'attention. Cependant, la littérature rapporte que les observations cliniques chez les patients à haut risque ne sont pas fiables. Connors *et al.*¹⁹ ont évalué sur une base prospective 56 patients avec maladie multisystémique, et ont trouvé que la pression capillaire pulmonaire et le débit cardiaque ont été prédits correctement seulement dans 42 et 44% du temps, respectivement. La précision de la prédiction n'était pas influencée par le niveau d'entraînement ou d'expérience des observateurs. Dans un travail subséquent, impliquant 650 patients,²⁰ le même groupe a tenté de définir si la précision des estimations de fonction cardiaque par les médecins était influencée ou non par la présence ou l'absence de maladie cardiaque aiguë. Les mesures de pression capillaire étaient précises seulement dans 60% des cas chez les patients avec ou sans maladie cardiaque aiguë. Par contre, la prédiction du débit cardiaque était plus précise chez les patients sans infarctus du myocarde ou ischémie aiguë (75% vs 60%). Le traitement a été modifiée chez 50% des patients après l'insertion d'un cathéter d'artère pulmonaire. La prédiction par des anesthésistes des variables hémodynamiques après chirurgie cardiaque semblait être tout aussi inexacte.²¹ Les données disponibles actuellement semblent donc indiquer que l'interprétation soigneuse des données recueillies par le cathéter pulmonaire (en se rappelant des limites) devrait amener une meilleure compréhension de la pathophysiologie des maladies des patients et conduire à une base de traitement plus rationnelle.

Morbidité des cathéters d'artère pulmonaire

Dans les 15 années qui ont suivi immédiatement la mise en marché du CAP, on a estimé que presque 2 000 000 de

cathéters ont été insérés à un coût de 2 milliards de dollars.²² Brandstetter et Gitler,²³ après avoir revu la littérature sur les CAP publiée pendant le même intervalle, ont trouvé qu'environ 25% des citations ont mis l'accent sur les complications reliées à l'utilisation du CAP. Deux grandes études prospectives sont disponibles et permettent l'évaluation du potentiel iatrogénique direct de l'insertion d'un cathéter d'artère pulmonaire.

Shah *et al.*²⁴ ont revu sur une base prospective 6 245 patients qui ont eu un cathéter posé pendant la période périopératoire. Des complications se sont produites pendant la ponction veineuse, l'insertion de cathéter, pendant que le cathéter était en place et pendant le retrait de l'introducteur. La carotide a été ponctionnée par inadvertance chez 120 patients (1,9%), et 4 des introducteurs de calibre 7,5 ont été placés dans la carotide. Trente-et-un patients (0,5%) ont subi un pneumothorax après des tentatives de cathétérisation de veine centrale. Les dysrythmies à l'insertion sont courantes (>70% des patients) avec 193 patients (3,1%) nécessitant l'administration de bolus de lidocaïne. Un patient avec bloc de branche gauche a développé un bloc complet durant l'insertion d'un CAP et a requis du « pacing ». On a relevé neuf complications tardives directement attribuables au CAP. Quatre patients (0,064%) ont eu une hémorragie intra-pulmonaire secondaire à la rupture de cathéter (3 durant une chirurgie extra-corporelle). L'infarctus pulmonaire s'est produit chez 4 patients (0,064%) et il y a eu perforation du ventricule droit chez un patient (0,016%). On a soupçonné une embolie pulmonaire chez quatre patients (0,064%) qui ont présenté de la tachycardie, de la tachypnée, de la diaphorèse, et de la douleur thoracique lors du retrait de l'introducteur.

Une étude prospective des complications associées au CAP lors de 528 insertions chez 500 patients consécutifs a été menée par Boyd *et al.*,²⁵ le médecin responsable devait faire part de son évaluation du CAP dans la conduite thérapeutique. La population à l'étude comprenait des patients tant chirurgicaux que médicaux. Il y a eu des complications sérieuses chez 23 patients (4,4%). Elles comprennent de la tachycardie ventriculaire (8 patients ; 1,5%), l'infarctus pulmonaire (7 patients ; 1,3%), la septicémie (7 patients ; 1,3%) et l'hémorragie pulmonaire (1 patient ; 0,2%). Le CAP a été jugé utile dans 80% des cas. L'éditorial joint à cet article a suggéré avec justesse le besoin d'autres études prospectives pour évaluer le rapport risque/bénéfice de l'insertion des CAP.²⁶ Cet éditorial suggère fortement que si un patient était soumis aux risques de l'insertion d'un cathéter de l'artère pulmonaire, on devait d'autant plus obtenir des données sur une base fréquente et les utiliser de façon appropriée.

La rupture de l'artère pulmonaire, même si elle est rare, est la complication la plus sérieuse associée au CAP. Les

TABLEAU III Conditions nécessitant un CAP

Mauvaise fonction ventriculaire gauche
FE < 0,4
IC < 2 L · min ⁻¹ · m ⁻²
Infarctus récent compliqué
Maladie cardiaque ischémique sévère
Hypertension pulmonaire
Déplacements anticipés et importants de volume
États de choc
Toxémie de la grossesse

facteurs de risques importants sont des pressions d'artère pulmonaire élevées, l'anticoagulation et l'âge avancé.²⁷ D'autres facteurs comprennent l'hypothermie, la circulation extracorporelle, un gonflement excessif du ballon, la manipulation du cathéter et le sexe féminin.²⁸ La conduite à tenir dans cette condition mérite une revue. Il faut renverser l'anticoagulation, laisser le cathéter en place pour faire de l'embolisation via le cathéter, mesurer la pression de l'artère pulmonaire, réduire la pression dans l'artère pulmonaire par une thérapie médicamenteuse, insérer un tube endotrachéal à double lumière si l'hémoptysie est massive, appliquer un PEEP allant jusqu'à 20 cm pour diminuer l'hémorragie et se préparer le cas échéant pour une lobectomie ou pneumonectomie d'urgence.²⁹

Indications et bénéfices pour les patients

Des lignes de conduite applicables à la surveillance des cathéters d'artère pulmonaire ont été élaborées par divers organismes dans les cinq dernières années.^{30,31} Le Tableau III fait l'énumération de quelques situations où le CAP peut être utile dans le soin de patients chirurgicaux. La décision d'insérer un CAP devrait être fondée sur les besoins particuliers de patients et implique un engagement du médecin à utiliser les données obtenues. Il faut comprendre que le CAP en lui-même n'apporte pas de bénéfices thérapeutiques et son insertion ne devrait pas constituer un geste de routine.

Il a été extrêmement difficile de mesurer le bénéfice net apporté aux patients à la suite d'insertion de CAP. Chez les patients soumis à une chirurgie coronarienne, Truman *et al.*³² n'ont pu démontrer de différence significative dans le sort des patients surveillés ou non avec CAP, même dans la plus haute classe de risques. Par contre, le monitoring hémodynamique invasif, dans un groupe de patients avec maladie coronarienne soumis à une chirurgie non cardiaque, semble amener une diminution du taux d'infarctus du myocarde post-opératoire.³³ Ce travail n'était pas soumis à l'attribution au hasard et les résultats ont été comparés avec les contrôles historiques. Robin,³⁴⁻³⁶ dans une série d'articles hautement discutables, a fait l'assaut du CAP, en qualifiant son usage répandu de forme de «cultisme médical» et a promulgué l'abolition de son

utilisation jusqu'à ce que des études démontrant un bénéfice net pour les patients deviennent disponibles. Cette opinion est loin d'être unanime.³⁷ Un travail récent sur le CAP vient de suggérer que les valeurs «normales» chez les patients en état critique peuvent ne pas être appropriées. Shoemaker *et al.*³⁸ ont montré qu'une thérapie menée à l'aide d'un CAP, avec comme objectif des valeurs supra-normales de débit cardiaque et de livraison d'oxygène chez des patients en post-opératoire, amenait une diminution de la mortalité lorsque comparée à celle de patients traités avec ou sans CAP, et où la «normalité» était l'objectif thérapeutique.

Vingt ans se sont écoulés depuis l'introduction du cathéter d'artère pulmonaire en pratique clinique.³⁹ Il est inévitable et approprié de réévaluer son utilité. L'auteur croit que l'information obtenue à partir du CAP est utile autant dans le diagnostic que le traitement des bas débits cardiaques; que la pression capillaire pulmonaire bloquée, comme mesure du volume ventriculaire gauche, devrait être interprétée en respectant ses limites en présence de dysfonction ventriculaire; que par dessus tout le CAP devrait être utilisé avec discrimination et l'information recueillie interprétée à la lumière de l'état clinique de chaque patient.

Références

(Voir page R74)