



The pulmonary artery catheter: a solution still looking for a problem

Sonny Thiara, MD · Donald E. G. Griesdale, MD, MPH 

Received: 6 July 2021 / Revised: 6 July 2021 / Accepted: 7 July 2021 / Published online: 17 August 2021
© Canadian Anesthesiologists' Society 2021

In 1970, Jeremy Swan, William Ganz, and colleagues published their seminal paper “Catheterization of the heart in man with use of flow-directed balloon-tipped catheter”.¹ Few devices in our specialty have generated more interest or passion as the pulmonary artery catheter (PAC). At its core, the PAC measures right-sided cardiac pressures, pulmonary capillary wedge pressure, cardiac output, and mixed venous oxygen saturation.² Given the ability to guide therapy in near real-time to subtle perturbations in physiology, the PAC became synonymous with critical care medicine. Clinicians have believed that using the PAC to “correct” abnormal physiology results in better clinical outcomes. Nevertheless, there are fundamental flaws that underpin this belief. First, the PAC is simply a monitor, it provides no therapy by itself. Any benefit is crucially dependent on accurate and reproduceable interpretation by the clinician. However, clinicians often do not agree on the interpretation of PAC values and can act upon the same physiologic data with diametrically opposed interventions.³ Second, the PAC carries attributable risk with both

misinterpretation of data and procedural complications. Finally, studies have consistently failed to show any benefit to patients in whom a PAC is inserted.

In 1991, a randomized trial of PAC use in critically ill patients in Ontario was stopped early as only 33 of 148 eligible patients were randomized. Fifty-two eligible patients were excluded as the attending physician felt it was *unethical* to withhold a PAC.⁴ In 1996, Connors *et al.* published a cohort study of 5,735 critically ill patients showing the PAC use was associated with increased mortality and resource utilization.⁵ This served as a call to action to conduct more high-quality research on the use and indications of PAC. In the early 2000's, several randomized trials failed to show any superiority of PAC use over standard care in different populations, including high-risk surgical patients,⁶ general critical care patients,⁷ and patients with acute respiratory distress syndrome.⁸ This lack of benefit persisted even when the interventions were standardized, thereby obviating the need for physicians to correctly interpret the data.⁸ In 2005, the multicentre Evaluation Study of Congestive Heart Failure and Pulmonary Artery Catheterization Effectiveness (ESCAPE) trial showed that when added to clinical assessment in patients with severe symptomatic and recurrent heart failure, the PAC afforded no improvement in any clinical outcomes, while doubling adverse events.⁹ Interestingly, sites participating in ESCAPE kept a registry of patients in whom the clinician felt that a PAC was indicated, and thus were not randomized. These 439 patients who received a PAC outside of the trial were more severely ill (lower blood pressure, worse renal function, and higher use of inotropes) and had higher mortality and longer hospitalizations than patients enrolled in the ESCAPE trial.¹⁰ Thus, even clinicians in participating sites, where there was presumably

S. Thiara, MD
Division of Critical Care Medicine, Department of Medicine,
The University of British Columbia, ICU Room 2438, JPP2, 899
West 12th Avenue, Vancouver, BC V5Z 1M9, Canada

D. E. G. Griesdale, MD, MPH (✉)
Division of Critical Care Medicine, Department of Medicine,
The University of British Columbia, ICU Room 2438, JPP2, 899
West 12th Avenue, Vancouver, BC V5Z 1M9, Canada
e-mail: donald.griesdale@ubc.ca

Department of Anesthesiology, Pharmacology & Therapeutics,
The University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada

Centre for Clinical Epidemiology and Evaluation, Vancouver
Coastal Health Research Institute, Vancouver, BC, Canada

equipoise, felt that there were patients who would benefit from the use of a PAC.

Despite these results, the use of PACs *increased* in the years following publication of the ESCAPE trial.¹¹ This highlights the central dilemma of the PAC. Proponents will posit that despite the consistent lack of evidence across different populations, there is still a role for the PAC. They will reasonably argue that existing trials have not included the “right patients” that could potentially benefit.¹² This position is further supported by societal guidelines recommending the use of PAC to guide therapy in patients with cardiogenic shock where cardiac filling pressures cannot be determined from clinical assessment.¹³ Proponents will further argue that despite literature to the contrary, they themselves can reliably respond to the information offered by the PAC to provide nuanced therapy that is near impossible to test in randomized trials. In contrast, non-believers in PAC use will, in addition to highlighting the lack of studies showing efficacy, point to the attributable harm and increased resource utilization. They will argue that using a PAC is at best no-better than conventional care, and at worst, harmful.

In this issue of the *Journal*, Chow *et al.* try to build upon this history and identify a potential patient population that may benefit from using a PAC.¹⁴ They present a systematic review and meta-analysis examining the use of PAC compared with no PAC in studies of patients with cardiogenic shock. The authors identified 19 cohort studies with 2,716,287 patients. Overall, PAC use (compared with no PAC use) was associated with improved survival to hospital discharge ($n = 8$, relative risk [RR], 0.77; 95% confidence interval [CI], 0.64 to 0.91) and at the longest available follow-up ($n = 13$, RR, 0.72; 95% CI, 0.60 to 0.87). Pulmonary artery catheter use was also associated with 3.5 days increased hospital length-of-stay ($n = 6$; 95% CI, 1.5 to 5.55). Nevertheless, arguably the most striking finding is the marked between-study statistical heterogeneity observed. Between-study heterogeneity, or consistency, is quantified using the I^2 statistic which is the “percentage of total variation across studies that is due to heterogeneity rather than chance”.¹⁵ Heterogeneity is caused by a variety of factors that could differ between the included studies: patient populations, interventions, study design, statistical analysis, or difference in outcomes. In the study by Chow *et al.*, the degree of between-study heterogeneity for all outcomes was at least 98%. Heterogeneity itself is not problematic, it simply warrants a conscientious approach to try and *explain* its causes. An obvious potential source of between-study heterogeneity were the patients included in the studies. Although the inclusion criteria were studies of patients with cardiogenic shock, 13 of 19 studies did not

define this, while the remaining six studies used various other definitions such as systolic blood pressure thresholds, vasopressor use, or cardiac index cut offs. Although the authors had hoped to explore the marked heterogeneity observed, a lack of important study variables did not allow this. Finally, as with all observational studies, the decision to insert a PAC was made by the clinician, thereby subjecting the results to confounding by indication.¹⁶ Evidence of confounding by indication is seen in the current study in that patients who received PACs were younger with increased rates of mechanical circulatory support, mechanical ventilation, and renal replacement therapy. Overall, in the presence of such overwhelming heterogeneity and confounding by indication, we need to strongly temper our desire to ascribe a mortality benefit to the use of a PAC.

We applaud the important effort of Chow *et al.* to further identify a population of patients with cardiogenic shock who may benefit from the use of a PAC. Although this systematic review and meta-analysis could justify a future randomized trial in a well-defined patient population with cardiogenic shock, this itself will be a challenge because of the very narrow patient population identified. In the interim, PAC use should be limited to highly selected patients (e.g., those being evaluated for mechanical circulatory support or for evaluation and management of heart or lung transplant) by physicians truly facile with its use.¹⁷ We do not feel the evidence justifies the use of a PAC in the vast majority of current cases. Given the near ubiquity of echocardiography coupled with the decreased familiarity of PAC use among clinicians, we believe that the pinnacle of the PAC is far behind us.

Le cathéter de l'artère pulmonaire : une solution toujours à la recherche d'un problème

En 1970, Jeremy Swan, William Ganz et leurs collègues ont publié leur article fondateur, intitulé « Catheterization of the heart in man with use of flow-directed balloon-tipped catheter », soit ‘Le cathétérisme du cœur de l’homme en utilisant un cathéter guidé par le flux sanguin avec ballon distal’.¹ Peu de dispositifs dans notre spécialité ont suscité plus d’intérêt ou de passion que le cathéter de l’artère pulmonaire (CAP). À la base, le CAP mesure les pressions cardiaques du côté droit, la pression capillaire pulmonaire, le débit cardiaque, et la saturation en oxygène du sang veineux mêlé.² Comme le CAP nous aide à aiguiller le traitement en temps quasi réel en fonction de perturbations

physiologiques subtiles, ce dispositif est devenu synonyme de médecine de soins intensifs. Pour les cliniciens, l'utilisation du CAP pour « corriger » une physiologie anormale se traduit par de meilleures issues cliniques. Pourtant, plusieurs écueils fondamentaux sous-tendent cette croyance. En premier lieu, le CAP demeure un simple moniteur et ne fournit aucun traitement par lui-même. Tout bienfait dépendra donc, fondamentalement, de l'interprétation précise et reproductible des données par le clinicien. Cependant, les cliniciens sont souvent en désaccord en ce qui touche à l'interprétation des valeurs de CAP et peuvent décider, en se basant sur les mêmes données physiologiques, d'intervenir de façon diamétralement opposée.³ Deuxièmement, le CAP comporte un risque attribuable à la fois à la mauvaise interprétation des données et à des complications procédurales. Enfin, les études n'ont toujours pas montré de bienfait chez les patients chez lesquels un CAP a été inséré.

En 1991, une étude randomisée sur l'utilisation du CAP chez des patients gravement malades en Ontario a été interrompue précocement, car seuls 33 des 148 patients admissibles avaient été randomisés. Cinquante-deux patients admissibles ont été exclus, car le médecin traitant était d'avis qu'il était *contraire à l'éthique* de ne pas placer un CAP.⁴ En 1996, Connors et coll. ont publié une étude de cohorte portant sur 5735 patients gravement malades et ont démontré que l'utilisation d'un CAP était associée à une augmentation de la mortalité et de l'utilisation des ressources.⁵ Il s'en est ensuivi un appel à l'action pour mener davantage de recherches de haute qualité sur l'utilisation et les indications du CAP. Au début des années 2000, plusieurs études randomisées n'ont pas réussi à démontrer la supériorité de l'utilisation d'un CAP par rapport aux soins standard dans différentes populations, y compris chez les patients chirurgicaux à haut risque,⁶ les patients de soins intensifs généraux,⁷ ou les patients présentant un syndrome de détresse respiratoire aiguë.⁸ Cette absence de bénéfices a persisté même lorsque les interventions étaient standardisées, évitant ainsi la nécessité, pour les médecins, de devoir interpréter correctement les données.⁸ En 2005, l'étude multicentrique ESCAPE (*Evaluation Study of Congestive Heart Failure and Pulmonary Artery Catheterization Effectiveness*) a montré que, lorsque le CAP était ajouté à l'évaluation clinique chez les patients atteints d'insuffisance cardiaque symptomatique et récurrente sévère, le dispositif n'offrait aucune amélioration des devenir cliniques, tout en doublant les événements indésirables.⁹ Fait intéressant, les sites participant à l'étude ESCAPE ont tenu un registre des patients pour lesquels les cliniciens avaient estimé qu'un CAP était indiqué, et les patients n'ont donc pas été randomisés. Ces

439 patients qui ont reçu un CAP en dehors de l'étude étaient plus gravement malades (tension artérielle plus basse, fonction rénale plus altérée et utilisation plus élevée d'inotropes) et présentaient une mortalité plus élevée et des hospitalisations plus longues que les patients inscrits à l'étude ESCAPE.¹⁰ Ainsi, même les cliniciens des sites participants, où régnait vraisemblablement un certain équilibre, étaient d'avis que certains patients bénéficieraient de l'utilisation d'un CAP.

Malgré ces résultats, l'utilisation des CAP *a augmenté* dans les années qui ont suivi la publication de l'étude ESCAPE.¹¹ Cela met en évidence le dilemme central du CAP. Ses défenseurs avanceront que, malgré l'absence endémique de données probantes dans différentes populations, le CAP a toujours un rôle à jouer. Ils feront valoir, de façon raisonnée, que les études existantes n'ont pas inclus les « bons patients » qui pourraient potentiellement bénéficier de cette modalité.¹² Cette opinion est en plus soutenue par des lignes directrices des sociétés scientifiques recommandant l'utilisation du CAP pour guider le traitement des patients en choc cardiogénique lorsque les pressions de remplissage cardiaque ne peuvent être déterminées par l'évaluation clinique.¹³ Les défenseurs feront également valoir que, malgré la littérature affirmant le contraire, ils peuvent eux-mêmes réagir de façon fiable à l'information fournie par le CAP de manière offrir un traitement nuancé, ce qu'il est presque impossible de tester dans les études randomisées. En revanche, les non-croyants à l'utilisation du CAP, en plus de signaler le manque d'études démontrant son efficacité, souligneront les dommages attribuables et l'utilisation accrue des ressources. Ils diront que l'utilisation d'un CAP n'est, au mieux, pas meilleure que les soins conventionnels, et au pire, nocive.

Dans ce numéro du *Journal*, Chow et coll. tentent de s'appuyer sur cet historique et d'identifier une population de patients potentiels qui pourraient bénéficier de l'utilisation d'un CAP.¹⁴ Ils présentent une revue systématique et une méta-analyse examinant l'utilisation du CAP par rapport à la non-utilisation d'un CAP dans les études portant sur des patients en choc cardiogénique. Les auteurs ont identifié 19 études de cohorte portant sur 2 716 287 patients. Dans l'ensemble, l'utilisation d'un CAP (comparativement à l'absence de CAP) était associée à une meilleure survie au moment du congé de l'hôpital ($n = 8$, risque relatif [RR], 0,77; intervalle de confiance [IC] 95 %, 0,64 à 0,91) et au suivi disponible le plus lointain dans le temps ($n = 13$, RR, 0,72; IC 95 %, 0,60 à 0,87). L'utilisation d'un CAP a également été associée à une augmentation de 3,5 jours de la durée de séjour à l'hôpital ($n = 6$; IC 95 %, 1,5 à 5,55). Néanmoins, la constatation sans doute la plus frappante réside dans l'hétérogénéité statistique observée entre les études.

L'hétérogénéité, ou la cohérence, entre les études est quantifiée à l'aide de la statistique I^2 , soit le « pourcentage de variation totale entre les études qui est dû à l'hétérogénéité plutôt qu'au hasard ». ¹⁵ L'hétérogénéité est causée par une variété de facteurs qui peuvent différer entre les études incluses : populations de patients, interventions, conception de l'étude, analyse statistique ou encore différence dans les résultats. Dans l'étude de Chow et coll., le degré d'hétérogénéité entre les études pour tous les critères d'évaluation était d'au moins 98 %. En tant que telle, l'hétérogénéité n'est pas problématique : elle exige simplement une approche consciencieuse afin de tenter d'*expliquer* ses causes. Les patients inclus dans les études constituaient une source potentielle évidente d'hétérogénéité entre les études. Bien que les critères d'inclusion aient été des études portant sur des patients présentant un choc cardiogénique, 13 des 19 études n'ont pas défini ce critère, tandis que les six autres ont utilisé diverses autres définitions telles que les seuils de pression artérielle systolique, l'utilisation de vasopresseurs, ou encore les seuils d'index cardiaque. Bien que les auteurs aient espéré pouvoir explorer l'importante hétérogénéité observée, ils n'ont pu le faire en l'absence des variables majeures dans les études. Enfin, comme pour toutes les études observationnelles, la décision d'insérer un CAP a été prise par le clinicien, soumettant ainsi les résultats à un biais de confusion par indication. ¹⁶ La confusion par indication est évidente dans l'étude dont il est question ici, en ce que les patients qui ont reçu des CAP étaient plus jeunes et avaient des taux plus élevés d'assistance circulatoire mécanique, de ventilation mécanique, et de traitement substitutif de l'insuffisance rénale. Dans l'ensemble, en présence d'une hétérogénéité tellement écrasante et d'une telle confusion par indication, il est essentiel de fortement tempérer notre désir d'attribuer un quelconque bénéfice en matière de mortalité à l'utilisation d'un CAP.

Nous saluons les efforts importants de Chow et coll. afin de mieux identifier une population de patients en choc cardiogénique qui pourraient bénéficier de l'utilisation d'un CAP. Bien que cette revue systématique et cette méta-analyse puissent justifier une future étude randomisée auprès d'une population bien définie de patients en choc cardiogénique, en raison de la population très restreinte de patients identifiés, une telle entreprise constituera en soi un défi. Dans l'intervalle, l'utilisation du CAP devrait se limiter aux patients triés sur le volet (p. ex., ceux qui sont évalués pour assistance circulatoire mécanique ou pour une évaluation et une prise en charge de transplantation cardiaque ou pulmonaire) par des médecins extrêmement à l'aise avec son utilisation. ¹⁷ Selon nous, les données probantes ne justifient pas l'utilisation d'un CAP dans la grande majorité des cas actuels. Étant donné la quasi

omniprésence de l'échocardiographie, combinée à la réduction du confort des cliniciens face à l'utilisation de CAP, nous pensons que l'apogée du CAP est révolue depuis longtemps.

Disclosures None.

Funding statement Dr. Donald Griesdale is funded through a Health Professional-Investigator Award from the Michael Smith Foundation for Health Research (Vancouver, BC, Canada).

Editorial responsibility This submission was handled by Dr. Philip M. Jones, Deputy Editor-in-Chief, *Canadian Journal of Anesthesia*.

Déclaration Aucune.

Déclaration de financement Le Dr Donald Griesdale est financé par une bourse de chercheur-professionnel de la santé de la Michael Smith Foundation for Health Research (Vancouver, C.-B., Canada).

Responsabilité éditoriale Cet article a été traité par Dr Philip M. Jones, rédacteur en chef adjoint, *Journal canadien d'anesthésie*.

References

1. Swan HJ, 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.
2. De Backer D, Vincent JL. The pulmonary artery catheter: is it still alive? *Curr Opin Crit Care* 2018; 24: 204-8.
3. Jain M, Canham M, Upadhyay D, Corbridge T. Variability in interventions with pulmonary artery catheter data. *Intensive Care Med* 2003; 29: 2059-62.
4. Guyatt G. A randomized control trial of right-heart catheterization in critically ill patients. Ontario Intensive Care Study Group. *J Intensive Care Med* 1991; 6: 91-5. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12630-021-02083-2>
5. Connors AF Jr, Speroff T, Dawson NV, et al. The effectiveness of right heart catheterization in the initial care of critically ill patients. SUPPORT Investigators. *JAMA* 1996; 276: 889-97.
6. Sandham JD, Hull RD, Brant RF, et al.; Canadian Critical Care Clinical Trials Group. A randomized, controlled trial of the use of pulmonary-artery catheters in high-risk surgical patients. *N Engl J Med* 2003; 348: 5-14.
7. Harvey S, Harrison DA, Singer M, et al.; PAC-Man study collaboration. Assessment of the clinical effectiveness of pulmonary artery catheters in management of patients in intensive care (PAC-Man): a randomised controlled trial. *Lancet* 2005; 366: 472-7.
8. National Heart, Lung, and Blood Institute Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS) Clinical Trials Network; Wiedemann HP, Wheeler AP, Bernard GR, et al. Comparison of two fluid-management strategies in acute lung injury. *N Engl J Med* 2006; 354: 2564-75.
9. Binanay C, Califf RM, Hasselblad V, et al.; ESCAPE Investigators and ESCAPE Study Coordinators. Evaluation study of congestive heart failure and pulmonary artery catheterization effectiveness: the ESCAPE Trial. *JAMA* 2005; 294: 1625-33.
10. Allen LA, Rogers JG, Warnica JW, et al.; Escape Investigators and Coordinators. High mortality without ESCAPE: the registry

- of heart failure patients receiving pulmonary artery catheters without randomization. *J Card Fail* 2008; 14: 661-9.
11. Pandey A, Khera R, Kumar N, Golwala H, Girotra S, Fonarow GC. Use of pulmonary artery catheterization in US patients with heart failure, 2001-2012. *JAMA Intern Med* 2016; 176: 129-32.
 12. Lee M, Curley GF, Mustard M, Mazer CD. The Swan-Ganz catheter remains a critically important component of monitoring in cardiovascular critical care. *Can J Cardiol* 2017; 33: 142-7.
 13. Yancy CW, Jessup M, Bozkurt B, et al.; American College of Cardiology Foundation; American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. 2013 ACCF/AHA guideline for the management of heart failure: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol* 2013; 62: e147-239.
 14. Chow JY, Vadakken ME, Whitlock RP, et al. Pulmonary artery catheterization in patients with cardiogenic shock: a systematic review and meta-analysis. *Can J Anesth* 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12630-021-02083-2>
 15. Higgins JP, Thompson SG, Deeks JJ, Altman DG. Measuring inconsistency in meta-analyses. *BMJ* 2003; 327: 557-60.
 16. Griesdale D, Jones PM. In asking the right questions, be cautious of confounding by indication. *Can J Anesth* 2018; 65: 979-84.
 17. Garan AR, Kanwar M, Thayer KL, et al. Complete hemodynamic profiling with pulmonary artery catheters in cardiogenic shock is associated with lower in-hospital mortality. *JACC Heart Fail* 2020; 8: 903-13.

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.