Critical care ultrasonography in shock management: the elephant in Canadian intensive care units

John Basmaji, MD · Ian Ball, MD, MSc · Philip Jones, MD, MSc · Bram Rochweg, MD, MSc · Robert Arntfield, MD · on behalf of the CRIXUS Investigators

Received: 28 January 2020 / Revised: 11 March 2020 / Accepted: 24 March 2020 / Published online: 10 July 2020
© Canadian Anesthesiologists' Society 2020

Making clinical decisions under duress with little information is “business as usual” for front line resuscitators like emergency physicians, intensivists, and anesthesiologists. That said, undifferentiated shock can be a cognitively and psychologically challenging clinical problem even for the most experienced providers. As such, there has long been a fascination with point-of-care hemodynamic monitoring tools, in hopes that they can decrypt shock physiology and guide us when confronting the complexities of circulatory failure.

The most evolved such tool is critical care ultrasonography (CCUS). Critical care ultrasonography is effectively the resuscitative arm of the broader field of point-of-care ultrasound and has been enthusiastically adopted by many Canadian resuscitative physicians in the past decade.¹ Although cynics argue that CCUS is merely the next device in a long line of now defunct and

decommissioned hemodynamic guidance systems, an unignorable populace of physicians are espousing CCUS as their preferred tool of choice when challenged with life-threatening clinical problems. What justifies this groundswell of sustained enthusiasm? Critical care ultrasonography provides dynamic, real-time physiologic data while remaining portable, reproducible, and non-invasive. Most potent and unique, however, is its visual nature—the ability to characterize anatomical origins for the disordered physiologic state in question—thereby removing the opacity and trust asked of us when interacting with other, often proprietary, hemodynamic tools such as the pulmonary artery catheter (PAC).

Critics of CCUS remind us that history repeats itself; our enthusiasm for CCUS is reminiscent of that of the PAC. Some parallels are hard to deny; like the PAC, CCUS has transitioned from a diagnostic test to a therapeutic tool used to select, adjust, and monitor treatments. Both tools originated in the domain of cardiology and have since evolved in scope and migrated to the intensive care unit. While both have improved the physician's confidence in diagnosis and certainty in management,^{2,3} their widespread adoption has outpaced the production of prospective evidence showing improved patient outcomes and the correlation between diagnostic accuracy and user competence.

Yet for all its parallels, CCUS has its own identity as a point-of-care assessment tool and occupies an entirely different sphere when compared with the PAC. Critical care ultrasonography goes further than just defining the subtype of shock by pushing clinicians to a specific diagnosis. CCUS takes clinicians beyond the heart to a seamlessly integrated multi-organ assessment: evaluating causes of respiratory failure through lung ultrasonography, assessing for abdominal catastrophe or obstructive renal

J. Basmaji, MD (✉) · I. Ball, MD, MSc · R. Arntfield, MD
Division of Critical Care, Department of Medicine, Schulich
School of Medicine and Dentistry, Western University, London,
ON, Canada
e-mail: jbasmaji@uwo.ca

P. Jones, MD, MSc
Department of Epidemiology and Biostatistics, Western
University, London, ON, Canada

Department of Anesthesia and Perioperative Medicine, Schulich
School of Medicine and Dentistry, Western University, London,
ON, Canada

B. Rochweg, MD, MSc
Division of Critical Care, Department of Medicine, McMaster
University, Hamilton, ON, Canada

Department of Health Research Methods, Evidence, and Impact,
McMaster University, Hamilton, ON, Canada

failure with a goal-directed abdominal ultrasound as well as assessing the leg veins for clots when other CCUS findings (e.g., a dilated right ventricle) raise suspicion for thromboembolic disease. Its merits have already been shown for the evaluation of the hypotensive trauma patient and procedural guidance.^{4,5} While this list is not exhaustive, it highlights how the diversity and scalability of CCUS have paved the way to its current widespread use.

The merits of CCUS still lacks the necessary underpinnings of strong prospective research to justify its adoption. It is ironic that the versatility of CCUS also makes the empiric study of this tool challenging for researchers. Should we approach CCUS as a diagnostic tool, a therapeutic intervention, or both? The literature has framed CCUS as a diagnostic tool more often than as a therapeutic intervention.⁶⁻⁸ Validating CCUS based on its diagnostic accuracy is more feasible and pragmatic but ignores many of its core properties. CCUS can be so intricately intertwined with selecting therapies and monitoring responses that it can be challenging to dissociate it from the very interventions it guides. Additionally, a diagnostic tool is typically studied in a method that measures physician-centred outcomes (e.g., diagnostic accuracy) which does not always lead to proportional improvements in patient-centred outcomes. For example, the magnetic resonance imaging's superiority in identifying diffuse axonal injury over computed tomography scanning does not lead to improved neurologic outcomes for the patient.

Studying CCUS in the context of the therapeutic interventions it generates (e.g., CCUS-guided resuscitation) is more apt to reflect the bundle of care it provides, but the methodology is far more convoluted. To determine the chain of benefit in an intervention study, we require: 1) a diagnosable illness, 2) a tool that can produce the correct results, 3) clinical acumen to arrive at the accurate diagnosis, 4) appropriate therapy for the diagnosis, and 5) a clinical response. Each component of the chain has the potential to dilute the treatment effect of CCUS guided resuscitation if not precisely characterized and evaluated. Coupled with the heterogeneity of shock patients, accurately portraying the influence of CCUS in these patients' clinical trajectories is a daunting methodological endeavour. These challenges may explain why the literature houses a plethora of narrative reviews and the sensitivity and specificity of CCUS as a diagnostic tool, yet a dearth of original research that reports on patient-important outcomes.⁹

These barriers do not exonerate us from studying CCUS. Reflecting on the PAC chapter in our discipline's history sheds light on what we require to contextualize the study of CCUS and lend credence to its use. If we approach this area of research with *a priori*, predefined

acknowledgement of these unique elements of CCUS and carefully elucidate every item in the chain of benefit, we will be better positioned to interpret the results in context. It is often raised that this understanding—that the PAC is more than a diagnostic tool—was lacking from its dismissal in the wake of its negative trials from the early 2000s.^{10,11}

A research program on CCUS must, therefore, tackle this topic incrementally and harmonize its diagnostic and therapeutic elements. We must build up to the “definitive” evaluation of CCUS-guided resuscitation in a stepwise fashion, as though navigating our way through a series of intellectual “locks” of the CCUS research canal. This disciplined approach will take ample time and resources; however, as the leading users of CCUS in Canada, our group is uniquely positioned to dedicate our efforts to address this agenda:

To delineate the circumstances that make CCUS accurate in identifying the etiology of shock

There have been several studies showing diagnostic accuracy of CCUS in identifying the etiology of shock, with a recent meta-analysis showing increased diagnostic accuracy for ruling in shock subtypes, determining fluid responsiveness, and fluid tolerance.^{6-8,12} The flexibility in CCUS gives way for many treatment algorithms, which have not yet been compared head-to-head. In addition, studies reporting high diagnostic accuracy utilized highly qualified operators. We need to define the minimum user competency standards for diagnostic accuracy to establish an educational curriculum and assess our national “readiness” for an interventional study evaluating CCUS-guided resuscitation.

To characterize the practice patterns of CCUS

Despite its popularity, we have little data on the quality of image acquisition, accuracy of interpretation, and the comprehensiveness of CCUS studies performed. A technology that has few barriers to accessibility and application means that anyone can apply the probe to a patient. Even the competence of “experienced” users is hard to appraise because of a lack of a national, standardized curriculum. We anticipate significant heterogeneity in practice patterns of CCUS, not just with the image quality and the accuracy of interpretation but also the frequency and timing of when CCUS studies occur, and which patients are prioritized by intensivists.

To understand what treatment decisions are being made based on CCUS findings and their implications on relevant stakeholders

Access to hemodynamic data is not without its price. Although few studies have shown that CCUS findings lead to a change in diagnostic impression,^{3,13} we have little data on how clinicians are responding to CCUS findings, and whether those changes lead to improved patient outcomes.

Does a physician who identifies pathology on CCUS respond by ordering more diagnostic tests to confirm the finding? Or does the CCUS study obviate the need for more diagnostic tests? The effects of this modality on the healthcare system are not known, and we are unsure if this reduces the cost of care or increases it.

As this effort moves from the local level to a fully actualized national research program, the history lessons from the recent past in resuscitation have deeply influenced our approach, attitude, and implementation. While we welcome healthy skepticism, we caution against insidious pessimism towards hemodynamic monitoring tools monitoring. We trust that an open-minded, incremental, methodologically sound approach will encourage our colleagues to walk with us and actively participate in this CCUS research program.

L'échographie en soins intensifs pour la prise en charge du choc : l'éléphant dans les unités de soins intensifs canadiennes

Nombreuses sont les décisions cliniques prises sous pression et avec peu d'informations : elles font partie du quotidien des réanimateurs de première ligne que sont les médecins urgentistes, les intensivistes et les anesthésiologistes. Ceci étant dit, un choc d'étiologie indéterminée peut constituer un problème clinique difficile d'un point de vue cognitif et psychologique et ce, même pour les professionnels les plus aguerris. Ainsi, la fascination pour les outils de monitoring hémodynamique au chevet existe depuis longtemps, avec l'espoir que de tels outils permettront de décrypter la physiologie du choc et nous guideront lorsque nous sommes confrontés aux complexités d'une défaillance circulatoire.

L'outil le plus évolué est l'échographie en soins intensifs (CCUS – *Critical Care Ultrasonography*). En fait, on parle d'échographie en soins intensifs pour décrire le volet de réanimation du domaine plus vaste de l'échographie au chevet; cette modalité a été adoptée avec enthousiasme par de nombreux médecins réanimateurs canadiens au cours des dix dernières années.¹ Pour les cyniques, l'échographie en soins intensifs n'est que la dernière mouture d'une longue lignée de technologies de guidage hémodynamique aujourd'hui défuntes et mises hors service; cependant, une population de médecins de plus en plus nombreuse a adopté ce type d'échographie comme outil de prédilection

lors de la survenue des problèmes cliniques potentiellement fatals. Qu'est-ce qui justifie un tel engouement? L'échographie en soins intensifs fournit des données physiologiques dynamiques et en temps réel tout en demeurant portable, reproductible et non invasive. Sa nature visuelle compte parmi ses caractéristiques les plus puissantes et uniques – en d'autres termes, sa capacité à caractériser les origines anatomiques de l'état physiologique perturbé – faisant ainsi disparaître l'opacité et la confiance exigée lorsque nous interagissons avec d'autres outils hémodynamiques souvent brevetés tels que le cathéter artériel pulmonaire (SWAN).

Les détracteurs de l'échographie en soins intensifs nous rappellent que l'histoire ne fait que se répéter : notre engouement pour l'échographie en soins intensifs fait penser à celui qu'a suscité le SWAN. Certains parallèles sont effectivement difficiles à nier : tout comme le SWAN, l'échographie en soins intensifs était un test diagnostique avant d'être considérée comme un outil thérapeutique utilisé pour choisir, ajuster et monitorer les traitements. Les deux outils sont issus du monde de la cardiologie et leurs applications ont ensuite évolué et migré à l'unité des soins intensifs. Alors que tous deux ont amélioré la confiance du médecin en son diagnostic et sa certitude dans la prise en charge,^{2,3} leur adoption répandue est allée plus vite que la production de données probantes prospectives démontrant une amélioration réelle des devenir des patients et une corrélation entre précision diagnostique et compétence de l'utilisateur.

Pourtant, en dépit de ces parallèles, l'échographie en soins intensifs a sa propre identité en tant qu'outil d'évaluation au chevet et occupe une place complètement différente de celle du SWAN. L'échographie en soins intensifs va plus loin que la simple définition du sous-type de choc en poussant les cliniciens à poser un diagnostic spécifique. L'échographie en soins intensifs emmène les cliniciens au-delà du cœur et vers une évaluation multisystémique parfaitement intégrée : ses opérateurs peuvent désormais évaluer les causes d'une insuffisance respiratoire via une échographie des poumons, déterminer s'il y a une pathologie abdominale ou une insuffisance rénale obstructive grâce à une échographie abdominale ciblée, ou encore examiner les veines des jambes pour déterminer s'il y a des caillots lorsque d'autres résultats de l'échographie en soins intensifs (par ex. un ventricule droit dilaté) suggèrent une pathologie thromboembolique. Ses mérites ont déjà été démontrés pour l'évaluation du patient de trauma hypotendu et pour émettre des recommandations procédurales.^{4,5} Bien que cette liste ne soit pas exhaustive, elle met en lumière les façons dont la diversité et l'évolutivité de l'échographie en soins intensifs ont ouvert la voie à son utilisation actuelle.

Les mérites de l'échographie en soins intensifs ne sont toutefois pas encore soutenus par des recherches prospectives rigoureuses justifiant son adoption. Il est ironique que la polyvalence de l'échographie en soins intensifs soit ce qui, simultanément, rende son étude empirique si ardue pour les chercheurs. Devrions-nous aborder l'échographie en soins intensifs en tant qu'outil diagnostique, en tant qu'intervention thérapeutique, ou les deux? La littérature a défini l'échographie en soins intensifs comme un outil diagnostique plus souvent que comme une intervention thérapeutique.⁶⁻⁸ Il est plus facile et plus pragmatique de valider l'échographie en soins intensifs en se fondant sur sa précision diagnostique, mais cela ignore bon nombre de ses caractéristiques fondamentales. L'échographie en soins intensifs peut également être si intimement mêlée à la sélection de thérapies et de réponses de monitoring qu'il peut être difficile de la dissocier des interventions qu'elle guide. En outre, un outil diagnostique est en général étudié via une méthodologie qui mesure des résultats centrés sur le médecin (par ex., la précision diagnostique), ce qui ne mène pas toujours à des améliorations proportionnelles des résultats centrés sur le patient. Par exemple, la supériorité de l'imagerie par résonance magnétique pour identifier une lésion axonale diffuse par rapport au tomogramme n'entraîne pas pour autant de meilleurs devenir neurologiques chez le patient.

L'étude de l'échographie en soins intensifs dans le contexte des interventions thérapeutiques qu'elle génère (par ex., la réanimation guidée par échographie en soins intensifs) est mieux à même de refléter l'ensemble des soins qu'elle procure, mais la méthodologie est beaucoup plus complexe. Pour déterminer la cause des avantages dans une étude interventionnelle, il faut : 1) une maladie qui puisse être diagnostiquée, 2) un outil qui puisse produire les bons résultats, 3) une expertise clinique afin de parvenir au diagnostic précis, 4) un traitement adapté en fonction du diagnostic, et 5) une réponse clinique. Chaque maillon de cette chaîne peut potentiellement diluer l'effet du traitement de réanimation guidé par l'échographie en soins intensifs s'il n'est pas précisément caractérisé et évalué. Ajoutons à cela l'hétérogénéité des patients en état de choc, faire le portrait précis de l'influence de l'échographie en soins intensifs sur les trajectoires cliniques de ces patients constitue un effort méthodologique titanesque. Ces défis pourraient expliquer pourquoi la littérature compte une pléthore de comptes rendus narratifs sur la sensibilité et la spécificité de l'échographie en soins intensifs en tant qu'outil diagnostique, mais une pénurie de recherches originales rapportant des résultats pertinents au patient.⁹

Ces obstacles ne veulent pas dire qu'il ne faut pas étudier l'échographie en soins intensifs. En repensant au

chapitre du SWAN dans l'histoire de notre discipline, nous sommes capables de déterminer le nécessaire pour contextualiser l'étude de l'échographie en soins intensifs et donner une crédibilité à son utilisation. Si nous abordons ce domaine de recherche avec une reconnaissance *a priori* et prédéfinie des éléments uniques à l'échographie en soins intensifs et déchiffrons attentivement chaque maillon de la chaîne de ses avantages, nous serons en meilleure position pour interpréter les résultats en contexte. Si nous avons compris à l'époque que le SWAN est plus qu'un outil diagnostique, peut-être que son abandon suite à des études négatives au début des années 2000 aurait été différent.^{10,11}

Un programme de recherche sur l'échographie en soins intensifs devrait donc traiter de cette question de façon incrémentielle et harmoniser ses composantes diagnostiques et thérapeutiques. Nous devons progresser jusqu'à l'évaluation 'définitive' de la réanimation guidée par échographie en soins intensifs pas à pas, comme si nous naviguions au travers d'une série d'écluses intellectuelles dans le canal de la recherche en échographie en soins intensifs. Une telle approche rigoureuse prendra du temps et des ressources; toutefois, en tant qu'utilisateurs principaux de l'échographie en soins intensifs au Canada, notre groupe occupe une place de choix pour consacrer ses efforts à répondre au programme suivant :

Déterminer les circonstances favorisant la précision de l'échographie en soins intensifs pour identifier l'étiologie d'un choc

Plusieurs études ont établi la précision diagnostique de l'échographie en soins intensifs pour identifier l'étiologie d'un choc, dont une méta-analyse récente démontrant une précision diagnostique accrue pour déterminer les sous-types de choc et permettant d'établir la réponse au remplissage et à la tolérance liquidienne.^{6-8,12} La flexibilité de l'échographie en soins intensifs permet l'utilisation de nombreux algorithmes de traitement qui n'ont pas encore été comparés entre eux. En outre, les études rapportant une grande précision diagnostique ont utilisé des opérateurs hautement qualifiés. Il faut définir des normes minimales de compétence de l'utilisateur en matière de précision diagnostique afin de mettre au point un curriculum éducatif et évaluer le degré de préparation, à l'échelle nationale, à la réalisation d'une étude interventionnelle explorant la réanimation guidée par échographie en soins intensifs.

Caractériser les habitudes de pratique de l'échographie en soins intensifs

Malgré sa popularité, nous n'avons que peu de données concernant la qualité d'acquisition des images, la précision de l'interprétation et l'exhaustivité des études réalisées en échographie en soins intensifs. Une technologie qui ne rencontre que peu d'obstacles en matière d'accessibilité et d'application signifie que n'importe qui peut appliquer une sonde sur un patient. Même la compétence des utilisateurs

‘expérimentés’ est difficile à évaluer en raison de l’absence d’un curriculum standardisé à l’échelle nationale. Nous anticipons une importante hétérogénéité dans les habitudes de pratique de l’échographie en soins intensifs, non seulement en matière de qualité des images et de précision de l’interprétation, mais aussi en ce qui touche à la fréquence et au moment où les études échographiques en soins intensifs sont réalisées, et en ce qui a trait aux patients priorités par les intensivistes.

Comprendre quelles décisions de traitement sont prises sur la base des résultats d’échographie en soins intensifs et leurs implications pour les parties prenantes

L’accès aux données hémodynamiques a son prix. Bien que quelques études aient démontré que des résultats d’échographie en soins intensifs aient mené à un changement de l’impression diagnostique,^{3,13} nous ne disposons que de peu de données quant à la réponse des cliniciens aux résultats d’échographie en soins intensifs, et nous ne savons pas si ces changements entraînent de meilleurs dévénements pour les patients. Un médecin identifiant une pathologie grâce à l’échographie en soins intensifs réagit-il en exigeant davantage de tests pour confirmer sa découverte? Ou alors, l’étude de l’échographie en soins intensifs élimine-t-elle le besoin d’autres tests diagnostiques? Les effets de cette modalité sur le système de soins de santé sont inconnus, et nous ne savons pas si elle réduit ou augmente le coût des soins.

Alors que nos efforts quittent le niveau local pour atteindre la taille d’un programme national de recherche complètement actualisé, les leçons tirées du passé récent en matière de réanimation ont une profonde influence sur notre approche, notre attitude, et sa mise en œuvre. Bien que nous soyons ouverts à un scepticisme sain, nous demeurons sur nos gardes quant au pessimisme insidieux envers les outils de monitoring hémodynamique. Nous sommes confiants qu’une approche ouverte d’esprit, incrémentielle et rigoureuse d’un point de vue méthodologique encouragera nos collègues à nous rejoindre et à prendre une part active dans ce programme de recherche en échographie en soins intensifs.

Conflicts of interest None.

Funding statement None.

Editorial responsibility This submission was handled by Dr. Gregory L. Bryson, Deputy Editor-in-Chief, *Canadian Journal of Anesthesia*.

Conflit d’intérêt Aucun.

Déclaration de financement Aucune.

Responsabilité éditoriale Cet article a été traité par Dr Gregory L. Bryson, rédacteur en chef adjoint, *Journal canadien d’anesthésie*.

References

1. Leschyna M, Hatam E, Britton S, et al. Current state of point-of-care ultrasound usage in Canadian emergency departments. *Cureus* 2019; DOI: <https://doi.org/10.7759/cureus.4246>.
2. Staudinger T, Locker GJ, Laczika K, et al. Diagnostic validity of pulmonary artery catheterization for residents at an intensive care unit. *J Trauma* 1998; 44: 902-6.
3. Shokoohi H, Boniface KS, Pourmand A, et al. Bedside ultrasound reduces diagnostic uncertainty and guides resuscitation in patients with undifferentiated hypotension. *Crit Care Med* 2015; 43: 2562-9.
4. Peabody CR, Mandavia D. Deep needle procedures: Improving safety with ultrasound visualization. *J Patient Saf* 2017; 13: 103-8.
5. Melniker LA, Leibner E, Mckenney MG, Lopez P, Briggs WM, Mancuso CA. Randomized controlled clinical trial of point-of-care, limited ultrasonography for trauma in the emergency department: the first sonography outcomes assessment program trial. *Ann Emerg Med* 2006; 48: 227-35.
6. Stickles SP, Carpenter CR, Gekle R, et al. The diagnostic accuracy of a point-of-care ultrasound protocol for shock etiology: a systematic review and meta-analysis. *CJEM* 2019; 21: 406-17.
7. Keikha M, Salehi-Marzijarani M, Soldozi Nejat R, Sheikh Motahar Vahedi H, Mirrezaie SM. Diagnostic accuracy of rapid ultrasound in shock (RUSH) exam: a systematic review and meta-analysis. *Bull Emerg Trauma* 2018; 6: 271-8.
8. Richardson L, Loubani O, Atkinson P. MPO5: Diagnostic accuracy of point of care ultrasound in undifferentiated hypotension presenting to the emergency department: a systematic review. *CJEM* 2019; 21(Suppl S1): S43-4.
9. Smallwood N, Dachsels M. Point-of-care ultrasound (POCUS): unnecessary gadgetry or evidence-based medicine? *Clin Med (Lond)* 2018; 18: 219-24.
10. Marik PE. Obituary: pulmonary artery catheter 1970 to 2013. *Ann Intensive Care* 2013; DOI: <https://doi.org/10.1186/2110-5820-3-38>.
11. Chatterjee K. The Swan-Ganz catheters: past, present, and future. A viewpoint. *Circulation* 2009; 119: 147-52.
12. Maw AM, Hassanin A, Ho PM, et al. Diagnostic accuracy of point-of-care lung ultrasonography and chest radiography in adults with symptoms suggestive of acute decompensated heart failure: a systematic review and meta-analysis. *JAMA Netw Open* 2019; DOI: <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2019.0703>.
13. Reynolds TA, Amato S, Kulola I, et al. Impact of point-of-care ultrasound on clinical decision-making at an urban emergency department in Tanzania. *PLoS One* 2018; DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194774>.

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