

Applications de l'échographie Doppler en anesthésie réanimation

S. Duperret, Hôpital de la Croix-Rousse, Lyon

Introduction

L'échocardiographie trans-thoracique (ETT) et trans-oesophagienne (ETO), bien qu'étant un outil de monitoring discontinu, a pris sa place dans les unités d'anesthésie et de réanimation depuis les années quatre vingt. Le temps n'est plus à justifier la technique face à d'autres en procédant par opposition, mais à celui d'un bilan global de son utilisation en anesthésie-réanimation (avec une nécessaire individualisation des problèmes rencontrés par l'anesthésiste-réanimateur de chirurgie cardiaque). Ce document n'a pas pour but d'être exhaustif, c'est l'objet des nombreux ouvrages dédiés et des formations spécialisées, mais de mettre en évidence l'utilité de cet outil au quotidien.

I – Ce que permet l'échocardiographie

a) – L'estimation des performances globales ventriculaires

1 - Fraction d'éjection ventriculaire gauche (VG)

La fraction d'éjection ventriculaire gauche peut être estimée, à partir de la mesure en diastole et en systole, soit des surfaces, soit des diamètres ventriculaires, et en calculant un pourcentage de variation. En pratique l'appréciation subjective visuelle, par un utilisateur entraîné, s'avère comparable aux méthodes de référence (angiographique, scintigraphique, par résonance magnétique¹).

2 - Le débit cardiaque (fig 1)

Il est le produit du volume d'éjection systolique (VES) par la fréquence cardiaque. L'intégration de l'aire sous la courbe du flux obtenu en doppler pulsé (fenêtre d'exploration placée dans la chambre de chasse du ventricule gauche, en incidence apicale 5 cavités pour l'ETT ou en incidences trans-gastriques en ETO), donne la distance parcourue par le sang dans cette chambre dont on peut mesurer précisément la section. Le produit de cette distance par la section donne le VES. Cette technique, comparée à la méthode par thermodilution est parfaitement validée². **En pratique une ITV inférieure à 14-17 cm signe un débit cardiaque bas.**

3 – Performance du ventricule droit (VD)

Si l'on peut détecter une hypokinésie de la paroi ventriculaire droite et une dilatation du VD, ces signes sont difficiles à quantifier. De plus, une dilatation du VD peut signifier simplement une adaptation de la précharge VD en réponse à une augmentation aiguë de la post-charge, sans que les performances systoliques soient dépassées. Le VES est alors maintenu. Une étude du déplacement systolique de l'anneau tricuspideen, soit en mode TM, soit par doppler pulsé tissulaire permet de distinguer, en cas de dilatation VD, les états d'adaptation des états de défaillance où l'éjection ventriculaire est diminuée. Une vitesse de l'anneau inférieure à 11 cm.s⁻¹ témoigne d'une atteinte systolique VD³.

b) - Estimation des conditions de charge (fig. 2)

La précharge ventriculaire gauche est représentée par la surface télé diastolique du VG (STDVG). La surface normale pour un sujet donné n'est pas connue. Néanmoins deux critères robustes sont utilisés en pratique. Une exclusion systolique du VG (contact des piliers de la valve mitrale) témoigne d'une hypovolémie⁴; l'expansion volémique s'impose alors en cas d'insuffisance circulatoire. Par ailleurs, une augmentation de la STDVG pendant l'expansion volémique signifie que le point de relation entre la pression et le volume sur la courbe de Frank-Starling se situe sur la portion ascendante de celle-ci. *A contrario* quand cette surface cesse d'augmenter, la précharge maximale est atteinte et la poursuite du remplissage n'aboutit qu'à une augmentation des pressions, sans gain en terme de débit⁵. On peut définir ainsi une précharge de référence, utile notamment au bloc opératoire où les conditions de charge varient brutalement et de façon répétée.

Pour le VD, apte à se dilater rapidement, l'interprétation d'une dilatation repose sur l'anamnèse. Soit il s'agit d'une surcharge en volume, en cas d'insuffisance rénale par exemple, soit d'une réponse à une augmentation brutale de la post charge, comme dans le syndrome de détresse respiratoire aiguë (SDRA) ou l'embolie pulmonaire (EP).

c) - Estimation des pressions intracavitaires

1 – A gauche

L'exploration du **flux mitral en doppler pulsé** en est la pierre angulaire (fig. 4). L'étude des pressions de remplissage gauches ne présente aucun intérêt dans le cadre d'une insuffisance circulatoire chez un patient sans antécédent cardiaque et à fonction systolique ventriculaire gauche conservée ; le traitement de première intention est alors l'expansion volémique et si besoin l'usage d'agents vasoconstricteurs.

Connaître le niveau des pressions gauches est nécessaire dans deux circonstances. Premièrement, « existe-t-il une marge de remplissage en présence d'une myocardiopathie ? » (Exemples : insuffisance rénale aiguë fonctionnelle ou choc septique). Deuxièmement, « l'hypoxémie, dans le cadre d'un œdème pulmonaire, est-elle d'origine cardiogénique ? ». Quand le flux mitral est inversé (onde E, de remplissage passif, moins rapide que l'onde A, contemporaine de la systole auriculaire), on peut répondre « oui » à la première question et « non » à la seconde, sauf si entre le début de l'hypoxémie et l'échographie, les conditions de charge ont baissé (après diurétiques par exemple). Dans les cas intermédiaires ou douteux, il faut s'aider d'autres paramètres (doppler tissulaire à l'anneau mitral et doppler pulsé du flux veineux pulmonaire), qui permettent de trancher⁶.

En résumé, quand le clinicien doit répondre à un problème critique, l'analyse doppler du flux mitral seul permet une thérapeutique pertinente dans la majorité des cas. Le suivi de l'évolution des paramètres échocardiographiques sous traitement est le meilleur moyen de le vérifier ; l'échographie prend bien sa place comme outil de monitoring.

2 – A droite

La pression artérielle pulmonaire systolique est proportionnelle à la vitesse de régurgitation tricuspidiennne selon la formule de Bernoulli ($PAPs - POD = 4 \cdot V_{max} IT^2$)⁷. On peut également dépister une hypertension artérielle

pulmonaire (HTAP) en enregistrant le flux dans l'artère pulmonaire⁸. Plus le délai d'atteinte de la vitesse maximale est court, plus l'HTAP est sévère avec un seuil de 90 ms ; en dessous de 60 ms l'HTAP est sévère. La pression veineuse centrale (POD) n'est estimable qu'en ventilation spontanée ; une variation respiratoire du diamètre de la veine cave inférieure de plus de 50 % prédit une POD inférieure à 10 mmHg⁹.

d) - Diagnostic d'un épanchement péricardique et d'une tamponnade cardiaque

Les ultrasons traversent librement les milieux liquides. Les épanchements péricardiques sont donc faciles à mettre en évidence. Leur retentissement sur les cavités cardiaques (en dehors de la phase postopératoire de chirurgie cardiaque où de minimes épanchements localisés peuvent être compressifs) s'évalue par la taille de l'épanchement (circonférentiel ou pas), la présence d'une inversion localisée de courbure de la paroi libre du VD en proto diastole (la pression péricardique excède la pression du VD) ou l'amplification des variations respiratoires des flux doppler sous aortique, mitral ou tricuspïdien.

II - Application en cas d'insuffisance circulatoire

a) - la fonction VG est conservée

Si les indices de débit sont bas (ITV sous aortique, débit cardiaque calculé), un défaut de remplissage est la première cause à envisager. Si les indices de débit sont élevés, l'hypothèse première est une postcharge ventriculaire basse.

Dans les deux cas une expansion volémique sera nécessaire mais dans le premier elle peut être suffisante (choc hémorragique par exemple), alors que dans le second, l'emploi de vasoconstricteurs s'imposera probablement (cas du choc septique ou anaphylactique).

L'étude du flux mitral peut devenir utile en deuxième intention quand la réponse au traitement est incomplète ou lorsque les volumes perfusés sont importants. Il renseigne alors sur le risque de surcharge capillaire pulmonaire.

b) - La fonction VG est altérée

L'utilisation des bêtamimétiques est logique. Mais l'erreur serait de méconnaître un défaut de remplissage associé. En effet augmenter l'inotropisme sans optimiser la précharge risque d'entraîner une tachycardie sans augmentation du VES. Dans ces situations complexes il faut prêter autant d'intérêt à l'évolution de la clinique que du VES et du flux mitral.

c) - Le VD est dilaté

Il s'agit d'une décompensation globale si la fonction VG est altérée et/ou les pressions de remplissage gauches élevées. Sinon il s'agit d'un tableau de cœur pulmonaire aigu (CPA).

III - Application en cas d'hypoxémie

a) - il existe un œdème pulmonaire

L'échocardiographie permet de dépister une insuffisance ventriculaire gauche et de la traiter. Elle permet aussi de diagnostiquer l'apparition d'un CPA au décours d'un SDRA. La vasoconstriction hypoxique, mais également une ventilation trop agressive peuvent être responsables ; il faut alors envisager une baisse du volume courant, de la pression téléexpiratoire (PEP) si possible¹⁰.

b) - il n'existe pas d'œdème pulmonaire

Là encore deux situations sont à individualiser. Soit la recherche d'un processus thrombo embolique (surtout en cas de CPA) est positive et il s'agit d'une EP (fig 4). Soit cette recherche est négative et on réalisera une échocardiographie avec **épreuve de contraste** à la recherche d'un shunt droit-gauche.

IV – L'ETO au bloc opératoire de chirurgie non cardiaque

Les indications reconnues sont la chirurgie lourde, où les conditions de charge peuvent varier de façon brutale, l'existence d'une pathologie cardiaque sévère susceptible de se décompenser (myocardiopathie, HTAP) ou la survenue d'une instabilité hémodynamique et/ou d'une hypoxémie brutale [résistantes au traitement](#)¹¹. Les schémas décrits précédemment s'appliquent et l'impact thérapeutique varie selon la catégorie retenue¹² et la classe ASA¹³.

- La chirurgie hépatique, notamment pour transplantation, illustre l'utilité de l'ETO comme outil de monitoring. Des mesures répétées de la STDVG comparées à une valeur de référence correspondant à une période stable (par exemple après l'induction et avant le début de l'acte chirurgical) permettent de suivre précisément la précharge. L'évolution du débit cardiaque ou plus simplement de l'ITV sous aortique, l'examen des cavités droites, de la veine cave supérieure et du flux mitral permettent de limiter le remplissage et ses conséquences sur le VD. En effet toute surcharge droite gêne, voire rend impossible, le geste opératoire.

- Les instabilités hémodynamiques brutales ne répondant pas aux traitements habituels sont une indication d'ETO. Sur 22 cas d'arrêts circulatoires survenus en chirurgie non cardiaque¹⁴, l'ETO a permis le diagnostic 19 fois : 9 cas d'embolie pulmonaire, 6 d'ischémie myocardique aiguë, 2 d'hypo volémie et 2 de tamponnade. Dix-huit fois l'impact de l'ETO a été majeur et dans 12 cas il a guidé la procédure chirurgicale. L'augmentation de la post-charge VD explique le plus souvent la survenue d'un CPA par EP cruriale (Fig 4), embolie gazeuse lors de la neurochirurgie en position assise ou parfois encore par embolie graisseuse au cours de la chirurgie prothétique du membre inférieur¹⁵.

- L'ETO lors d'une chirurgie d'embolie artérielle est une indication de catégorie [B2](#)^{11,16}. L'embolie est d'origine cardiaque (60 %), artério-artérielle (15 %) ou thromboembolique veineuse avec embolie paradoxale (4 %). La présence d'un anévrysme du septum inter atrial (ASIA) est fortement associée à la survenue d'un accident embolique¹⁷. L'examen de l'aorte thoracique permet la mise en évidence d'un athérome (plaques plus ou moins

exubérantes et ulcérées dont le caractère emboligène est marqué à partir de 4 mm d'épaisseur¹⁸), d'un thrombus intra aortique ou d'une dissection. La découverte d'une dissection aortique lors du bilan d'une ischémie artérielle aiguë d'un membre n'est pas exceptionnelle et justifie à elle seule la réalisation d'une ETO à titre diagnostique¹⁹. L'ETO permet également de vérifier le positionnement des endoprothèses pour le traitement des dissections de type B²⁰.

- La neurochirurgie en position assise expose au risque d'embolie gazeuse veineuse (EGV dans 75 à 100 % des cas lorsque l'on utilise l'ETO²¹), et d'embolie paradoxale (EGP) en cas de FOP. L'EGP est plus rare (7-14 %)^{21,22}. Comparée à l'ETO dans la détection préopératoire du FOP, le **doppler trans crânien** avec épreuve de contraste (DTCC) s'avère un moyen sensible (92 %) et doté d'une bonne valeur prédictive négative (VPN = 97 %). En pratique, le FOP doit être recherché avant chirurgie en position assise et le doppler transcrânien est le moyen de surveillance peropératoire de choix en neurochirurgie car l'ETO demeure un objet encombrant et le partage du champ opératoire est un vrai problème.

Conclusion

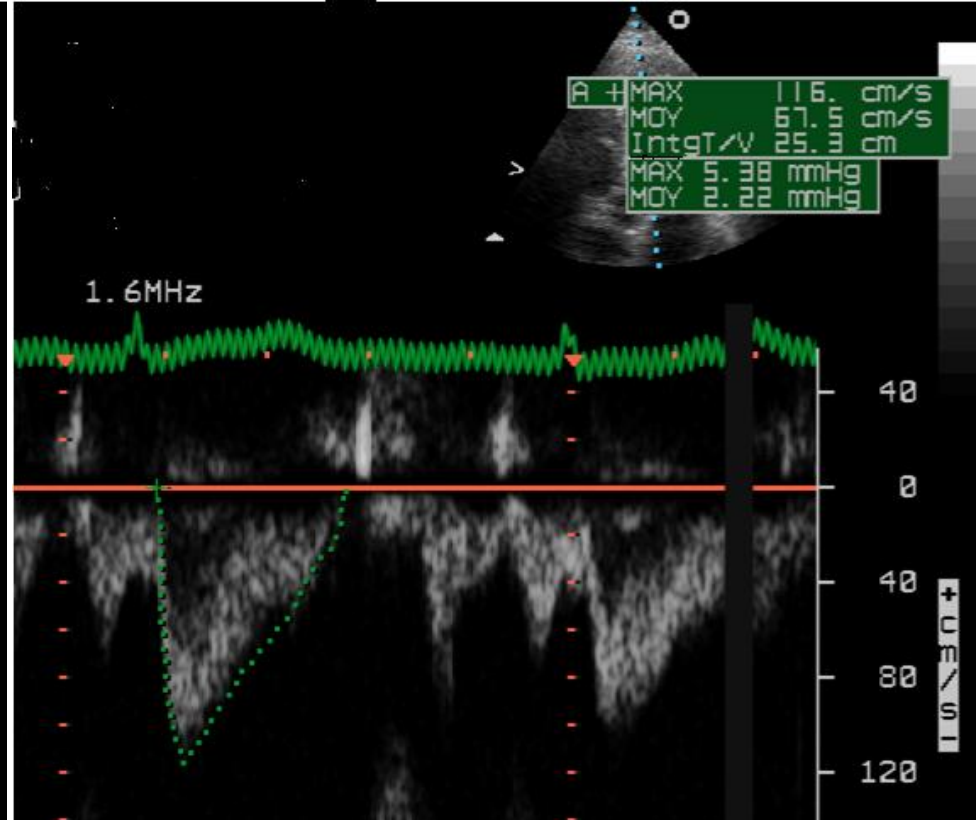
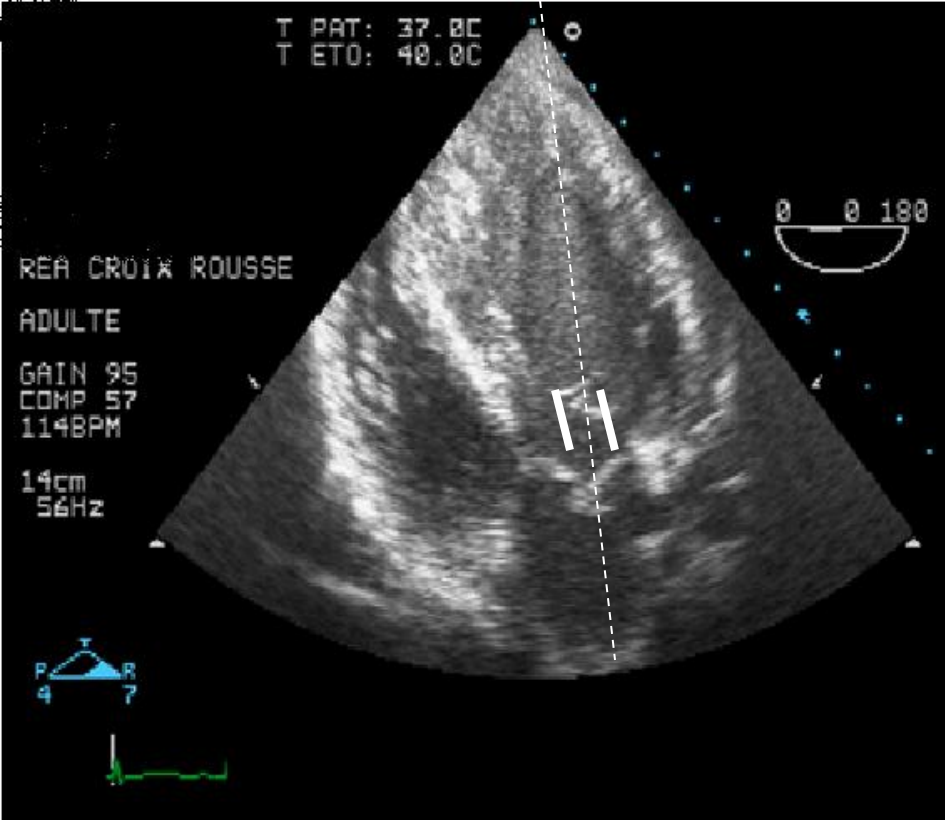
L'échographie est devenu un outil incontournable pour de multiples raisons. Pour la gestion des situations hémodynamiques difficiles il permet de connaître les conditions de pré charge et le niveau d'inotropisme ainsi que le débit cardiaque résultant, ce qui nous fait déduire rapidement à quelle post charge est soumis le patient. Face à une hypoxie, l'examen des plèvres et du champ pulmonaire (dépistage d'un épanchement, d'un œdème ou d'une condensation) nous oriente rapidement vers une cause cardiaque ou pulmonaire.

Le fait que tout ce qui a été envisagé peut être réalisé durant la phase pré per et post opératoire ne fait que renforcer l'utilité de cet outil.

Bibliographie

- 1 - Sievers, B., S. Kirchberg, U. Franken, B.J. Puthenveetil, A. Bakan, and H.J. Trappe, *Visual estimation versus quantitative assessment of left ventricular ejection fraction: a comparison by cardiovascular magnetic resonance imaging*. Am Heart J, 2005. **150**(4): p. 737-42.
- 2 - Descorps-Declere, A., N. Smail, B. Vigue, J. Duranteau, O. Mimoz, A. Edouard, and K. Samii, *Transgastric, pulsed Doppler echocardiographic determination of cardiac output*. Intensive Care Med, 1996. **22**(1): p. 34-8.
- 3 - Meluzin, J., L. Spinarova, J. Bakala, J. Toman, J. Krejci, P. Hude, T. Kara, and M. Soucek, *Pulsed Doppler tissue imaging of the velocity of tricuspid annular systolic motion; a new, rapid, and non-invasive method of evaluating right ventricular systolic function*. Eur Heart J, 2001. **22**(4): p. 340-8.
- 4 - Leung, J.M. and E.H. Levine, *Left ventricular end-systolic cavity obliteration as an estimate of intraoperative hypovolemia*. Anesthesiology, 1994. **81**(5): p. 1102-9.
- 5 - van Daele, M.E., A. Trouwborst, L.C. van Woerkens, R. Tenbrinck, A.G. Fraser, and J.R. Roelandt, *Transesophageal echocardiographic monitoring of preoperative acute hypervolemic hemodilution*. Anesthesiology, 1994. **81**(3): p. 602-9.
- 6 - Bouhemad, B., A. Nicolas-Robin, A. Benois, S. Lemaire, J.P. Goarin, and J.J. Rouby, *Echocardiographic Doppler assessment of pulmonary capillary wedge pressure in surgical patients with postoperative circulatory shock and acute lung injury*. Anesthesiology, 2003. **98**(5): p. 1091-100.
- 7 - Yock, P., Popp R, *Noninvasive estimation of right ventricular systolic pressure by Doppler ultrasound in patients with tricuspid regurgitation*. Circulation, 1984. **70** : 657-62.
- 8 - Kitabatake, A., M. Inoue, M. Asao, T. Masuyama, J. Tanouchi, T. Morita, M. Mishima, M. Uematsu, T. Shimazu, M. Hori, and H. Abe, *Noninvasive evaluation of pulmonary hypertension by a pulsed Doppler technique*. Circulation, 1983. **68**(2): p. 302-9.
- 9 - Kircher, B.J., Himmelman, RB, Schiller, NB, *Noninvasive estimation of right atrial pressure from the inspiratory collapse of the inferior vena cava*. Am J Cardiol, 1990. **66** : 483-9.
- 10 - Vieillard-Baron, A., K. Chergui, R. Augarde, S. Prin, B. Page, A. Beauchet, and F. Jardin, *Cyclic changes in arterial pulse during respiratory support revisited by Doppler echocardiography*. Am J Respir Crit Care Med, 2003. **168**(6): p. 671-6.
- 11 - *Practice guidelines for perioperative transesophageal echocardiography. An updated report by the American Society of Anesthesiologists and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists Task Force on Transesophageal Echocardiography*. Anesthesiology, 2010. **112**(5): p. 1084-1096.
- 12 - Schulmeyer, M.C., E. Santelices, R. Vega, and S. Schmied, *Impact of intraoperative transesophageal echocardiography during noncardiac surgery*. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2006. **20**(6): p. 768-71.
- 13 - Suriani, R.J., S. Neustein, L. Shore-Lesserson, and S. Konstadt, *Intraoperative transesophageal echocardiography during noncardiac surgery*. J Cardiothorac Vasc Anesth, 1998. **12**(3): p. 274-80.

- 14 - Memtsoudis, S.G., P. Rosenberger, M. Loffler, H.K. Eltzschig, A. Mizuguchi, S.K. Shernan, and J.A. Fox, *The usefulness of transesophageal echocardiography during intraoperative cardiac arrest in noncardiac surgery*. *Anesth Analg*, 2006. **102**(6): p. 1653-7.
- 15 - Pell, A.C., J. Christie, J.F. Keating, and G.R. Sutherland, *The detection of fat embolism by transoesophageal echocardiography during reamed intramedullary nailing. A study of 24 patients with femoral and tibial fractures*. *J Bone Joint Surg Br*, 1993. **75**(6): p. 921-5.
- 16 - Tan, C.N. and A.G. Fraser, *Transesophageal echocardiography and cardiovascular sources of embolism: implications for perioperative management*. *Anesthesiology*, 2007. **107**(2): p. 333-46.
- 17 - Mugge, A., W.G. Daniel, C. Angermann, C. Spes, B.K. Khandheria, I. Kronzon, R.S. Freedberg, A. Keren, K. Denning, R. Engberding, and et al., *Atrial septal aneurysm in adult patients. A multicenter study using transthoracic and transesophageal echocardiography*. *Circulation*, 1995. **91**(11): p. 2785-92.
- 18 - Cohen, A., C. Tzourio, B. Bertrand, C. Chauvel, M.G. Bousser, and P. Amarenco, *Aortic plaque morphology and vascular events: a follow-up study in patients with ischemic stroke. FAPS Investigators. French Study of Aortic Plaques in Stroke*. *Circulation*, 1997. **96**(11): p. 3838-41.
- 19 - Pacifico, L. and D. Spodick, *ILEAD--ischemia of the lower extremities due to aortic dissection: the isolated presentation*. *Clin Cardiol*, 1999. **22**(5): p. 353-6.
- 20 - Gonzalez-Fajardo, J.A., V. Gutierrez, J.A. San Roman, A. Serrador, E. Arriba, L. Del Rio, M. Martin, S. Carrera, and C. Vaquero, *Utility of intraoperative transesophageal echocardiography during endovascular stent-graft repair of acute thoracic aortic dissection*. *Ann Vasc Surg*, 2002. **16**(3): p. 297-303.
- 21 - Mammoto, T., Y. Hayashi, Y. Ohnishi, and M. Kuro, *Incidence of venous and paradoxical air embolism in neurosurgical patients in the sitting position: detection by transesophageal echocardiography*. *Acta Anaesthesiol Scand*, 1998. **42**(6): p. 643-7.
- 22 - Cucchiara, R.F., M. Nugent, J.B. Seward, and J.M. Messick, *Air embolism in upright neurosurgical patients: detection and localization by two-dimensional transesophageal echocardiography*. *Anesthesiology*, 1984. **60**(4): p. 353-5.



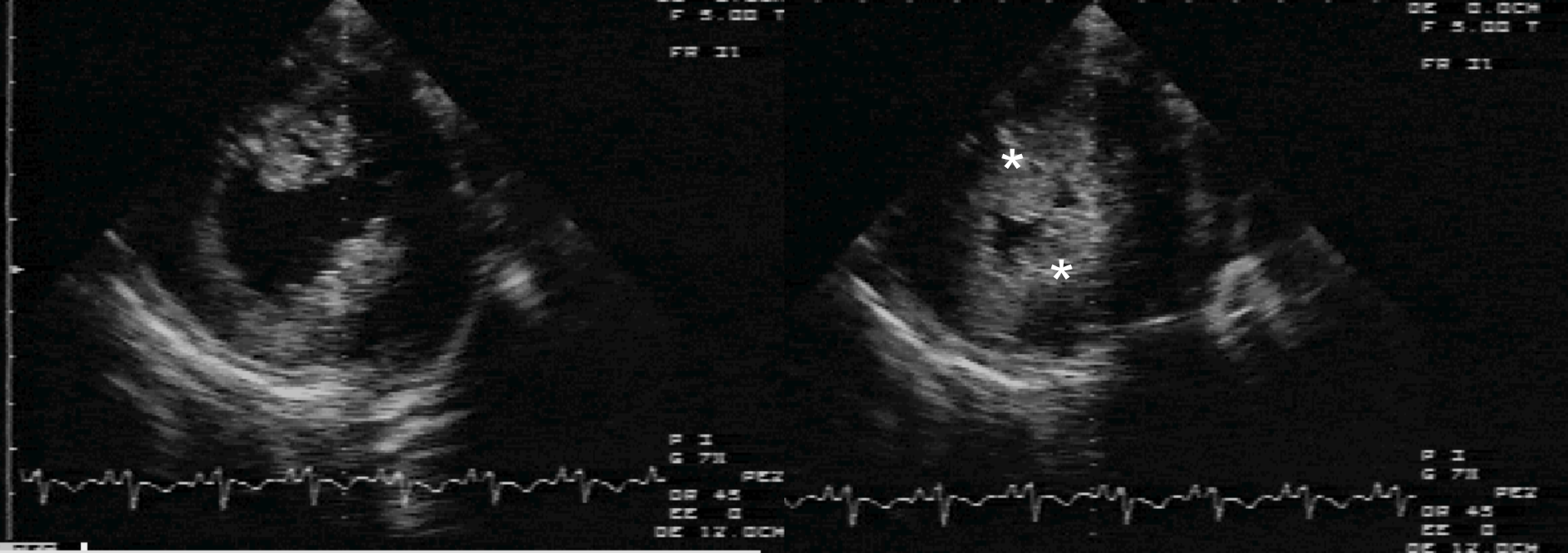
Fenêtre d'exploration (doppler pulsé) placée dans la CCVG
(ETO, incidence trans gastrique profonde «5 cavités»)

Intégrale temps vitesse (ITV) obtenue par planimétrie du flux d'éjection sous aortique
(ex : 25,3 cm)

Surf CCVG = $\pi \cdot \text{Diam CCVG}^2/4$ le diamètre de la CCVG est mesuré sur une autre incidence

$$\text{DC (l/mn)} = \text{ITV (cm)} \cdot \text{Surf CCVG (cm}^2) \cdot \text{FC (l/mn)}$$

Figure 1 : enregistrement du flux doppler pulsé dans la chambre de chasse du VG (CCVG) et calcul du débit cardiaque (DC)



Diastole

Systole

ETO : incidence transgastrique. Noter le contact des piliers de la valve mitrale en systole (*), signe de précharge VG basse.

Figure 2 : exclusion systolique et pré charge VG

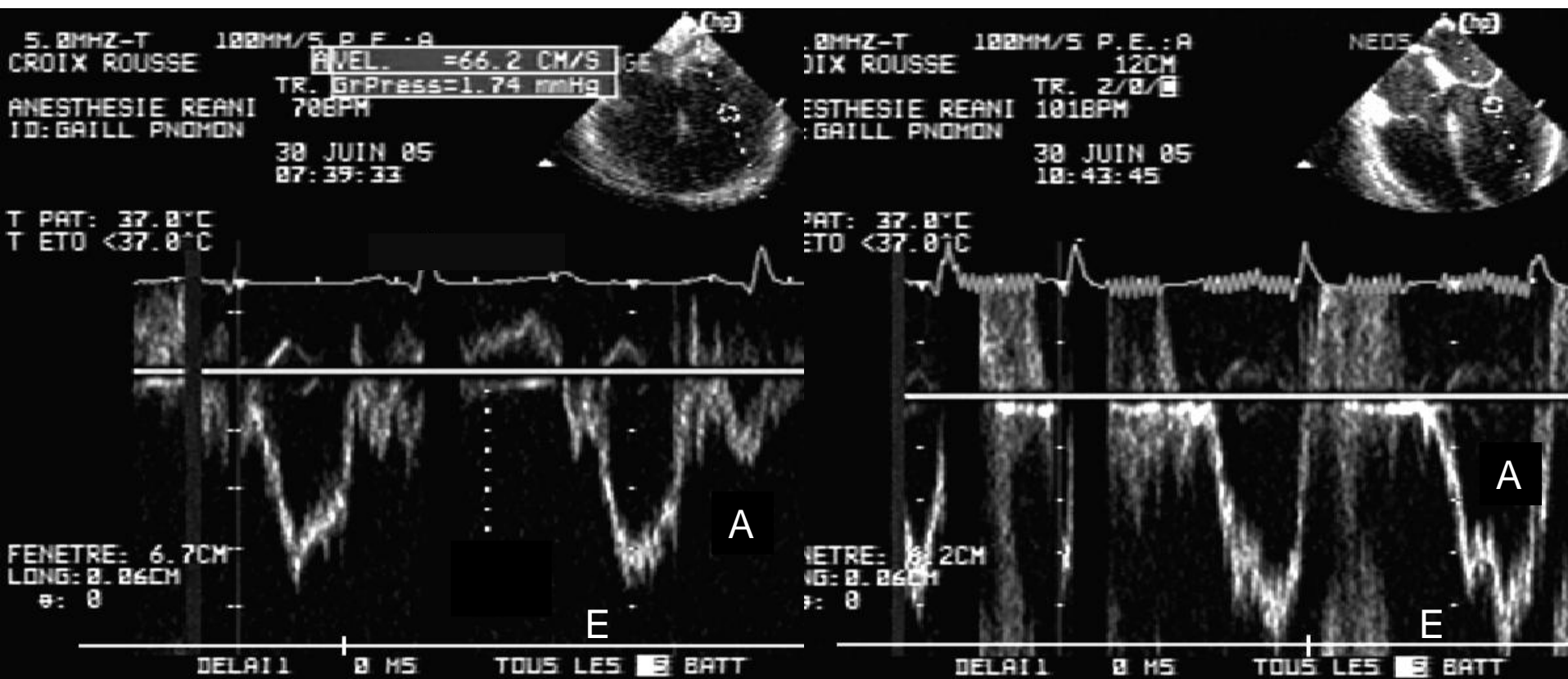
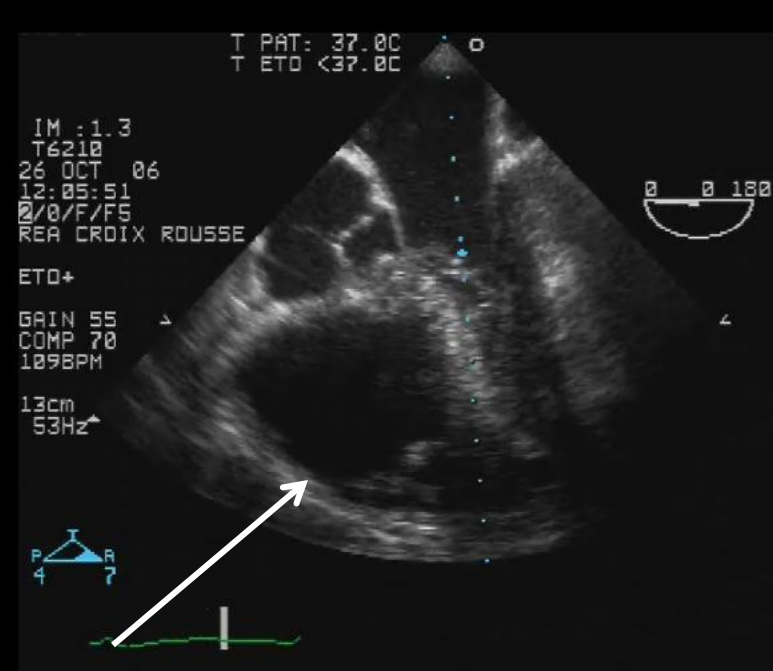
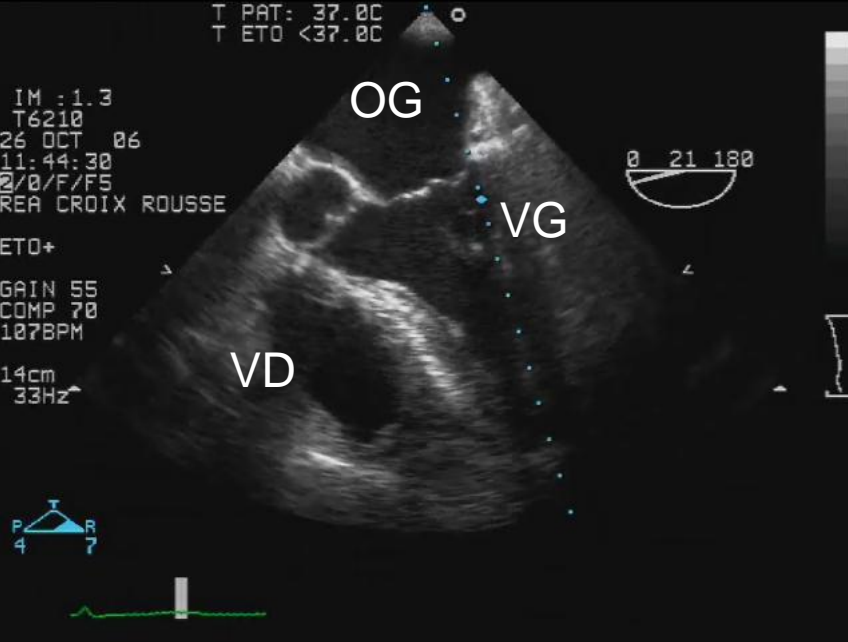


Figure 3 : Flux mitral antérograde (ETO)
 Diminution du rapport E/A au décours d'un saignement



ETO, incidence 5 cavités : modification brutale du rapport VD/VG signant un CPA
 Incidence des vaisseaux de la base : thrombus dans l'artère pulmonaire gauche

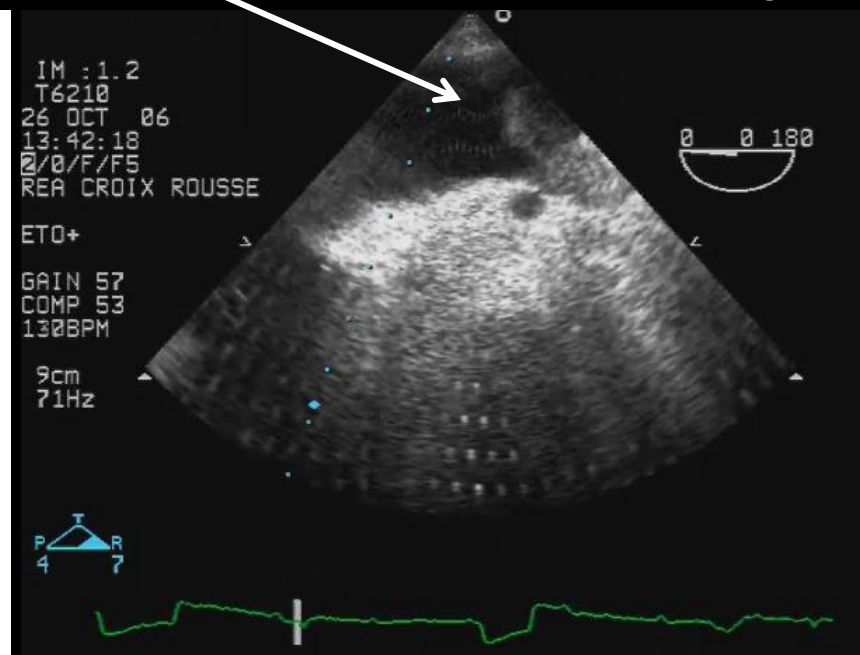


Figure 4 : collapsus au décours du déclampage cave inférieure (chirurgie hépatique carcinologique)