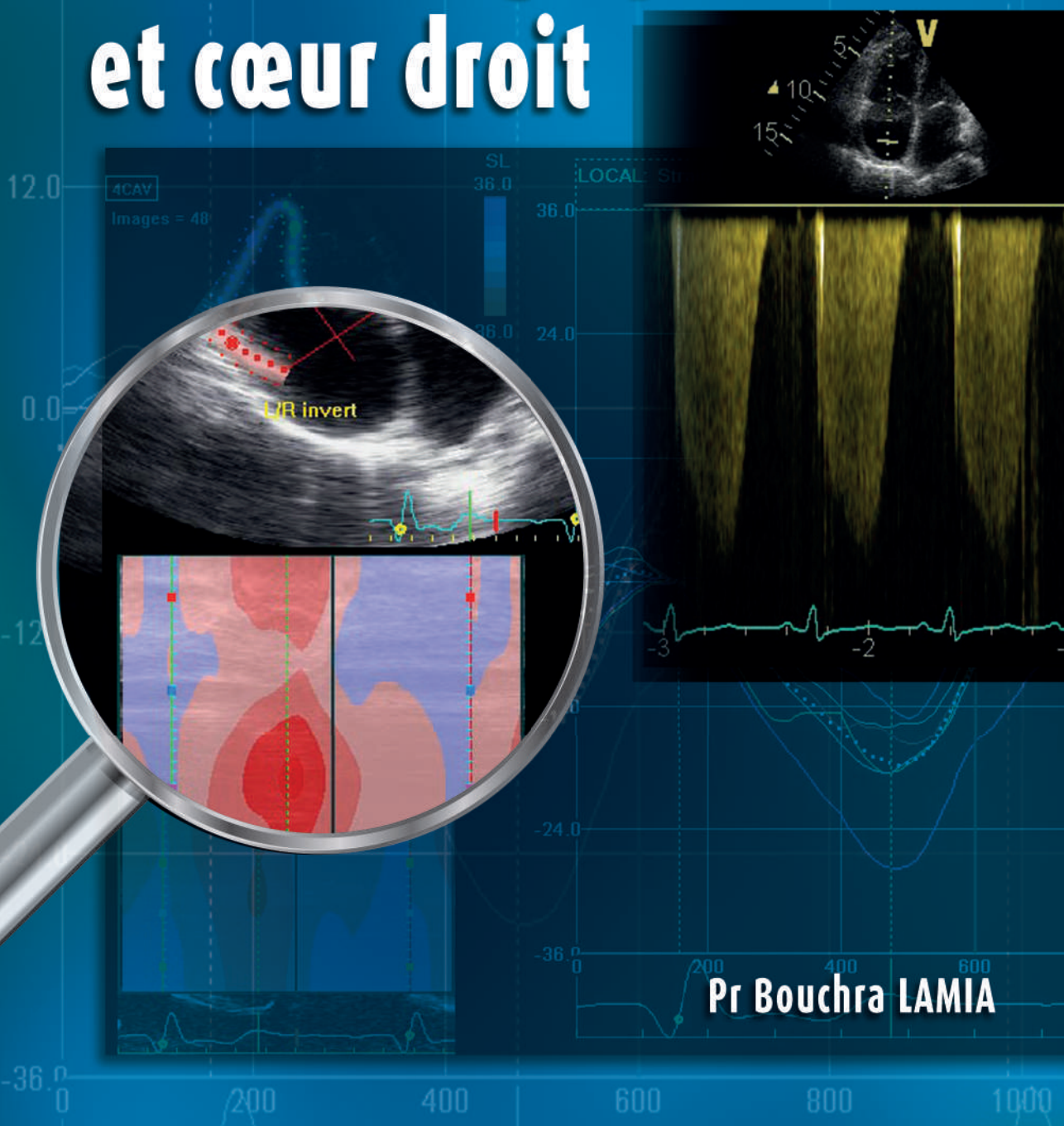


LOCAL: Strain longitudinal (%) = -5.91

T=602 msec



Échocardiographie et cœur droit

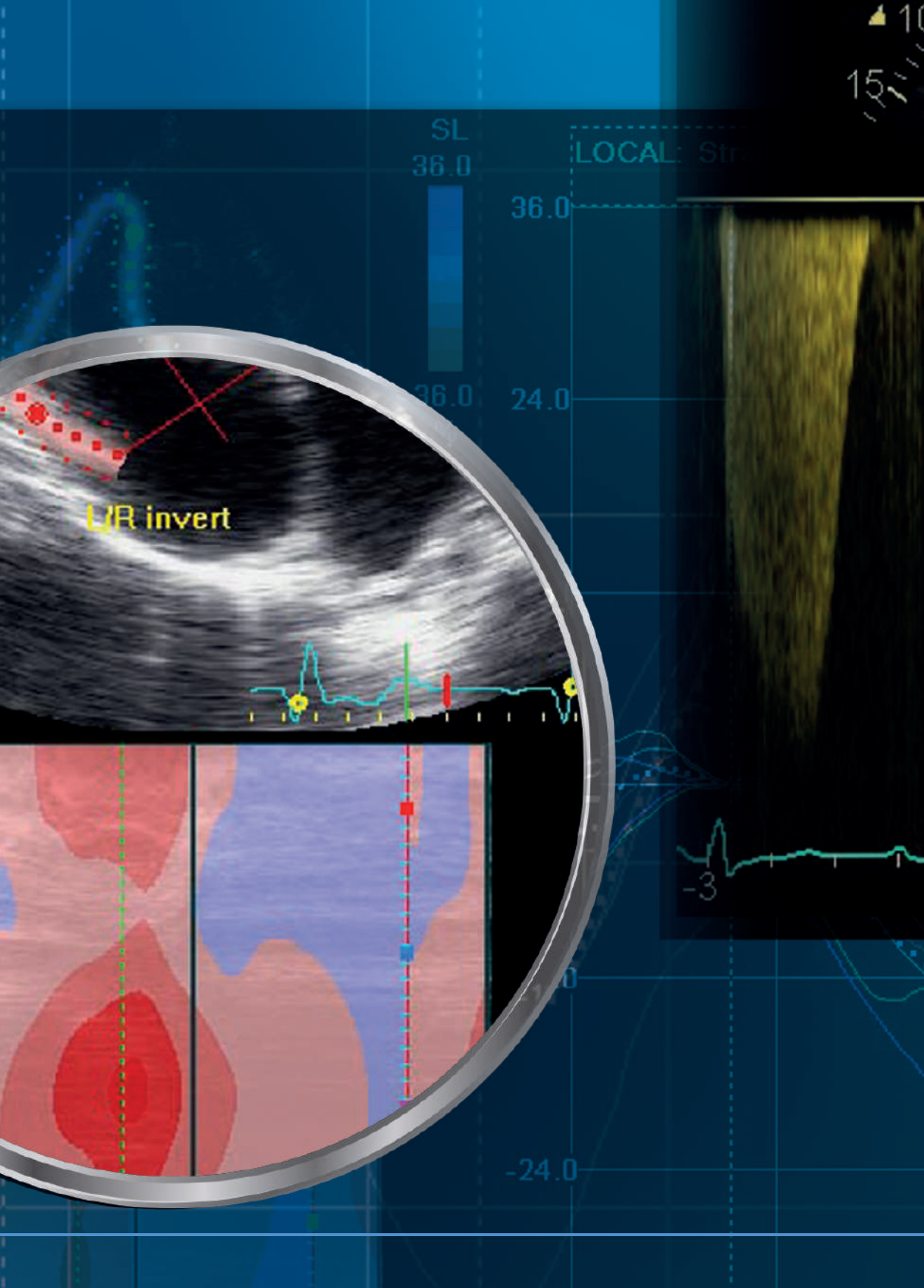


Pr Bouchra LAMIA

Échocardiographie et cœur droit

Pr Bouchra LAMIA

Nos remerciements à MSD
pour leur soutien dans la réalisation de ce projet



Échocardiographie et cœur droit

● Pr Bouchra LAMIA

- Service de Pneumologie et Unité de Soins Intensifs Respiratoires - EA 3830.
CHU de Rouen- Groupe Hospitalier du Havre
Université de Rouen.

bouchra.lamia@chu-rouen.fr
bouchra.lamia@ch-havre.fr

Introduction

I - Échographie cardiaque pour rechercher une augmentation de la postcharge du ventricule droit

- A. Estimation de la pression artérielle pulmonaire systolique
- B. Estimation de la pression artérielle pulmonaire diastolique
- C. Calcul de la pression artérielle pulmonaire moyenne
- D. Calcul des résistances vasculaires pulmonaires
- E. Calcul du débit cardiaque

II - Retentissement cardiaque droit de l'hypertension pulmonaire

A. Remodelage des cavités droites

- 1. Oreillette droite
- 2. Ventricule droit
 - a. Épaisseur de la paroi libre du ventricule droit
 - b. Dimensions du ventricule droit
 - c. Dimensions de la chambre de chasse du ventricule droit
 - d. Morphologie du septum interventriculaire

B. Fonction systolique du ventricule droit

- 1. Contractilité globale du ventricule droit
 - a. Index de performance myocardique ou index de Tei
 - b. Fraction de raccourcissement de surface du ventricule droit
 - c. Fraction d'éjection du ventricule droit en mode tridimensionnel
- 2. Contractilité régionale du ventricule droit
 - a. Excursion systolique du plan de l'anneau tricuspide ou TAPSE
 - b. Doppler tissulaire à l'anneau tricuspide et onde S systolique
 - c. Speckle tracking strain du ventricule droit
 - d. Désynchronisation du ventricule droit

C. Réouverture du foramen ovale

III - Rechercher une dysfonction cardiaque gauche associée

1. Fonction systolique du ventricule gauche
 - a. Fraction d'éjection du ventricule gauche
 - b. Strain longitudinal global
2. Fonction diastolique du ventricule gauche
 - a. Doppler pulsé transmitral
 - b. Doppler tissulaire mitral

IV - Éléments échocardiographiques de l'interaction ventricule gauche/ventricule droit

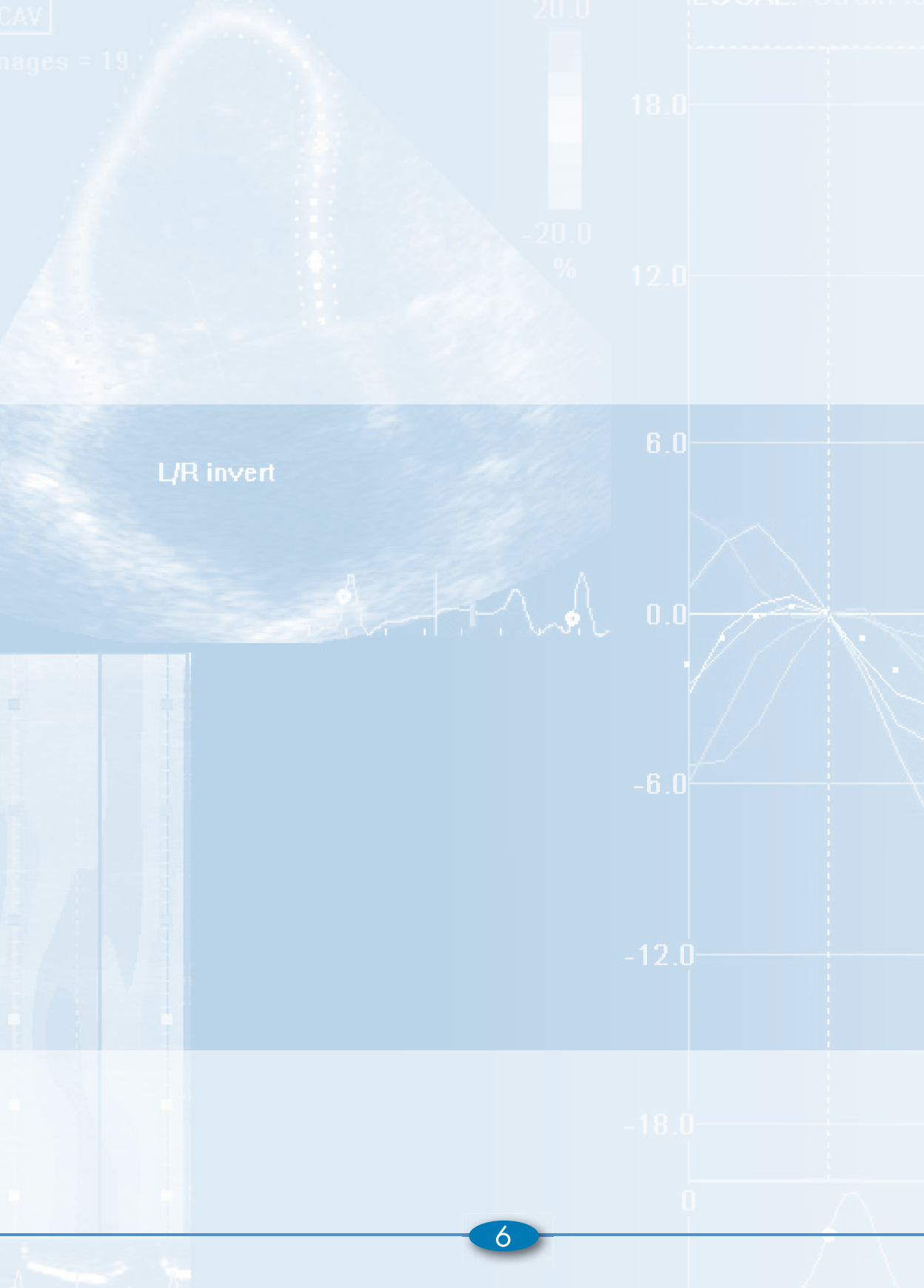
V - Éléments échocardiographiques de mauvais pronostic en présence d'une dysfonction cardiaque droite

VI - Algorithme de synthèse : de la dyspnée au diagnostic de la dysfonction cardiaque droite

VII - Conclusion

VIII - Références

IX - Annexes : Iconographie



Introduction

Diverses pathologies respiratoires telles que la broncho-pneumopathie chronique obstructive (**BPCO**), l'hypertension pulmonaire (**HTP**), l'embolie pulmonaire, le syndrome des apnées du sommeil (**SAS**) et l'insuffisance respiratoire quelle qu'en soit la cause peuvent s'accompagner d'une défaillance du ventricule droit. Celui-ci est alors défaillant du fait d'une élévation de sa postcharge et/ou d'une réduction de sa contractilité. Cette insuffisance cardiaque droite peut altérer la fonction cardiaque gauche, source supplémentaire d'altération de la fonction respiratoire de nos patients.

L'échocardiographie transthoracique est une technique non invasive dont les performances se sont accrues ces dernières années pour permettre une analyse détaillée des performances cardiaques. Les paramètres échocardiographiques recueillis renseignent sur la précharge, la contractilité et la postcharge du cœur gauche et du cœur droit. Les informations ainsi recueillies contribuent à expliquer l'origine de la dyspnée de nos patients et à guider nos choix thérapeutiques. Ce document aborde principalement l'étude échocardiographique du cœur droit en raison de son implication fréquente dans les pathologies respiratoires (aiguës ou chroniques) et afin d'orienter le médecin pneumologue sur les éléments échocardiographiques à rechercher lorsqu'il suspecte une dysfonction cardiaque droite.

Pr Bouchra LAMIA



CAV

nages = 19

20.0

LOCA

18.0

chapitre

L/R invert

6.0

0.0

-6.0

-12.0

VA Ferm.

I. Échographie cardiaque pour rechercher une augmentation de la postcharge du ventricule droit

I. Échographie cardiaque pour de la postcharge du ventricule droit

L'échocardiographie transthoracique est recommandée comme méthode non invasive de dépistage de l'hypertension pulmonaire (Hoepfer MM et al. 2013). L'échoDoppler cardiaque est utilisé pour estimer la pression artérielle pulmonaire systolique à partir du gradient de pression entre le ventricule droit et l'oreillette droite en appliquant l'équation de Bernoulli.

A - Mesure de la pression artérielle pulmonaire systolique

Le premier rôle de l'échocardiographie est de dépister l'hypertension pulmonaire. Un dépistage échocardiographique précoce est justifié dans les populations à risque ou en cas de dyspnée inexpliquée afin de proposer la prise en charge la plus précoce possible.

Le Doppler continu est utilisé pour le calcul de la pression artérielle pulmonaire systolique à partir du pic de vélocité de l'insuffisance tricuspidiennne. Une insuffisance tricuspidiennne est visualisée à partir du Doppler couleur (**Figure 1**). L'analyse du pic de vélocité de l'insuffisance tricuspidiennne permet de mesurer le gradient de pression systolique entre le ventricule droit et l'oreillette droite et d'en déduire la pression artérielle pulmonaire systolique à partir de l'équation de Bernoulli (Rudski LG et al. 2010) :

$$PVDS - POD = 4 V^2 \max IT$$

PVDS = pression ventriculaire droite systolique

POD = pression dans l'oreillette droite

V = vélocité maximale de la régurgitation tricuspide en mètres par seconde

IT = insuffisance tricuspidiennne

En l'absence de sténose de la valve pulmonaire, la pression ventriculaire droite systolique est égale à la pression artérielle pulmonaire systolique.

L'équation de Bernoulli s'écrit alors de la façon suivante :

$$PAPS = 4 V^2 \max IT + POD$$

PAPS = pression artérielle pulmonaire systolique

La valeur normale de la vélocité maximale de l'IT est de 2,8 à 2,9 m/sec, correspondant à une PAPS comprise entre 35 et 36 mm Hg lorsque la POD est comprise entre 3 et 5 mm Hg.

rechercher une augmentation

VA Ferm.

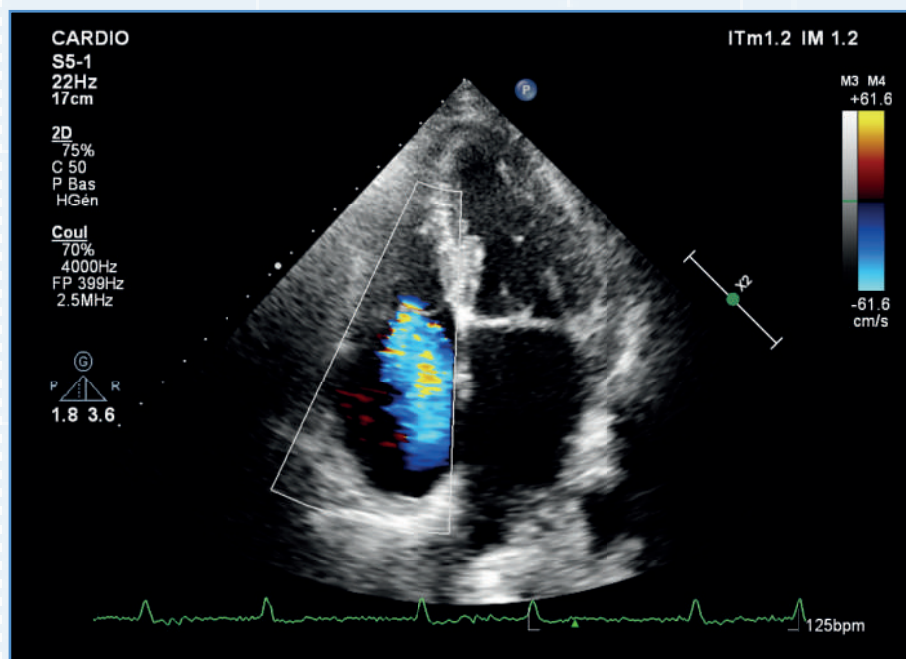


Figure 1

Le calcul de la PAPS par l'équation de Bernoulli dépend de l'estimation de la POD mais aussi de la qualité de l'enveloppe du flux de l'IT en Doppler continu. En effet, le signal peut être d'excellente qualité, avec une enveloppe parfaite visualisant parfaitement bien le pic de vélocité de l'IT (**Figure 2**), de bonne qualité avec un signal de Doppler continu montrant une amputation minimale au pic de vélocité de l'IT (**Figure 3**), de qualité correcte avec un signal de Doppler continu montrant une amputation modérée à élevée au pic de vélocité de l'IT (**Figure 4**), et enfin le signal peut être pauvre avec une enveloppe Doppler de faible intensité, visualisant difficilement le pic de vélocité de l'IT. La qualité de l'enveloppe du flux d'IT en Doppler continu impacte la valeur estimée de la PAPS. Plus la qualité de l'enveloppe est excellente, plus l'estimation de la PAPS est juste.

La pression dans l'oreillette droite est estimée à partir du diamètre de la veine cave inférieure (VCI) et de ses variations respiratoires. Un diamètre de la VCI inférieur ou égal à 21 mm associé à des variations respiratoires du diamètre

I. Échographie cardiaque pour de la postcharge du ventricule droit

Chapitre 1

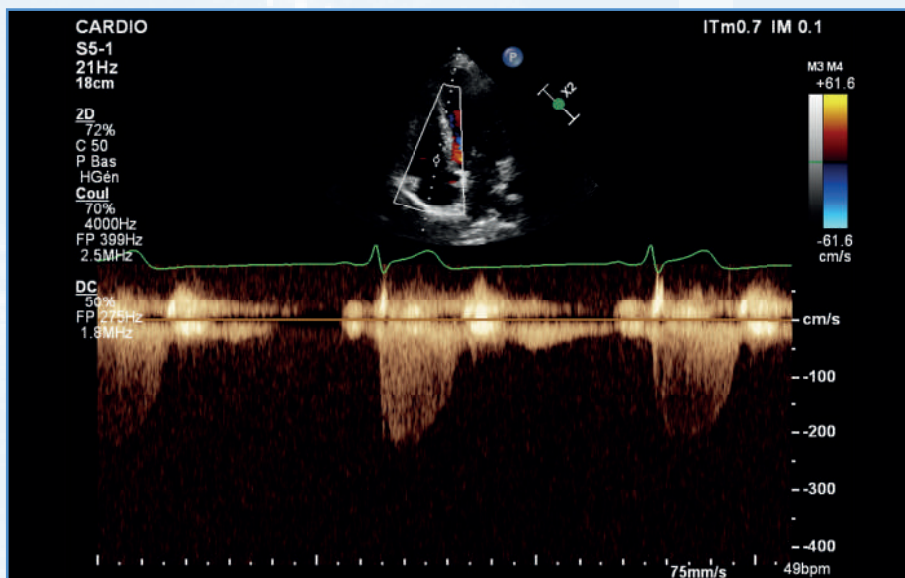


Figure 2

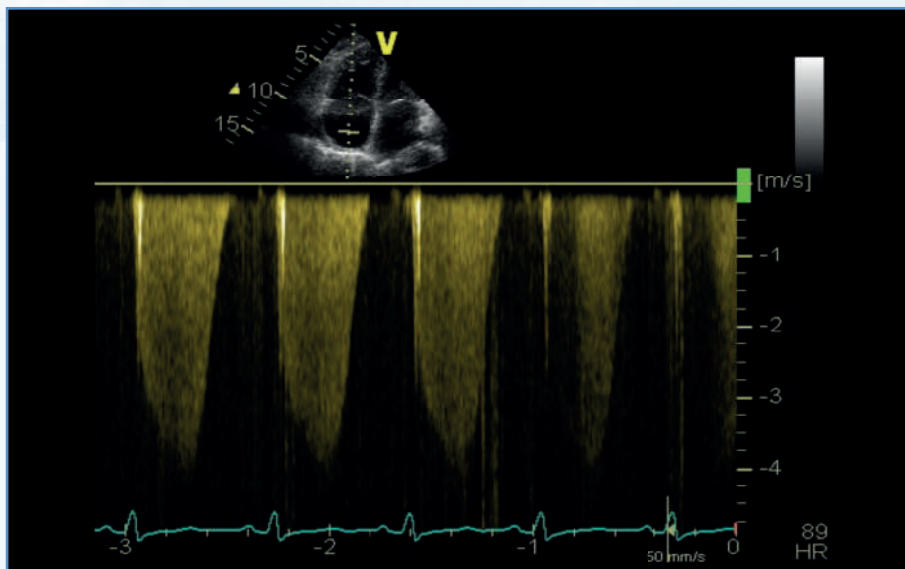


Figure 3

rechercher une augmentation

VA Ferm.

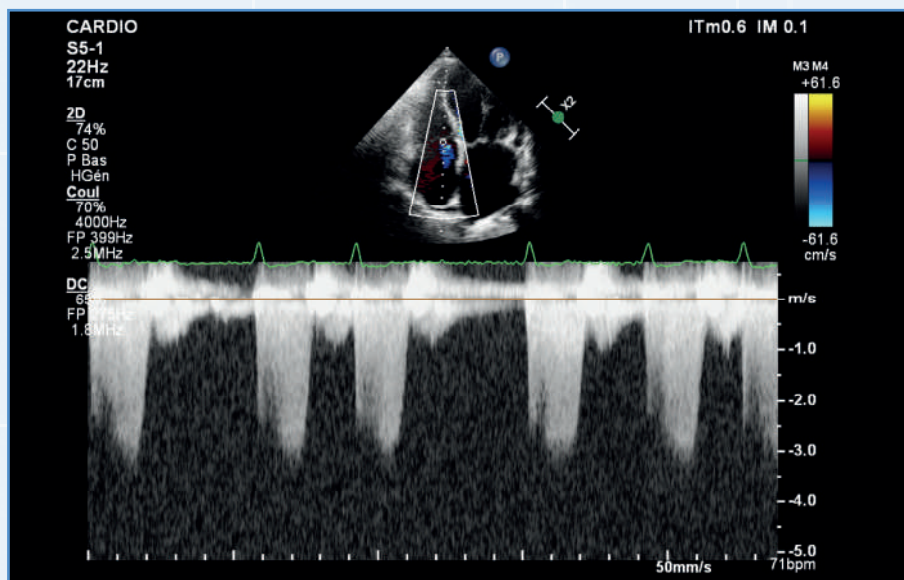


Figure 4

de la VCI de plus de 50 % indique une POD normale de 3 mm Hg (entre 0-5 mm Hg), tandis qu'un diamètre de la VCI supérieur à 21 mm associé à des variations respiratoires inférieures à 50 % suggèrent une POD élevée à 15 mm Hg (entre 10 et 20 mm Hg) (**Figure 5**). Dans les situations intermédiaires, la POD est estimée à 8 mm Hg (entre 5 et 10 mm Hg) (**Tableau 1**).

Tableau 1. Estimation de la pression dans l'oreillette droite (POD) en fonction du diamètre de la veine cave inférieure (VCI) et de ses variations respiratoires.

POD	Normal (0-5 (3) mm Hg)	Intermédiaire (5-10 (8) mm Hg)	Élevée (15 mm Hg)
Diamètre de la VCI	≤ 21 mm	≤ 21 mm > 21 mm	> 21 mm
	> 50 %	< 50 % >50 %	< 50 %

Il existe une excellente corrélation entre le gradient ventricule droit/oreillette droite mesuré au Doppler continu et au cathétérisme cardiaque droit lorsque les deux examens sont pratiqués simultanément (Currie PJ *et al.* 1985).

I. Échographie cardiaque pour de la postcharge du ventricule droit

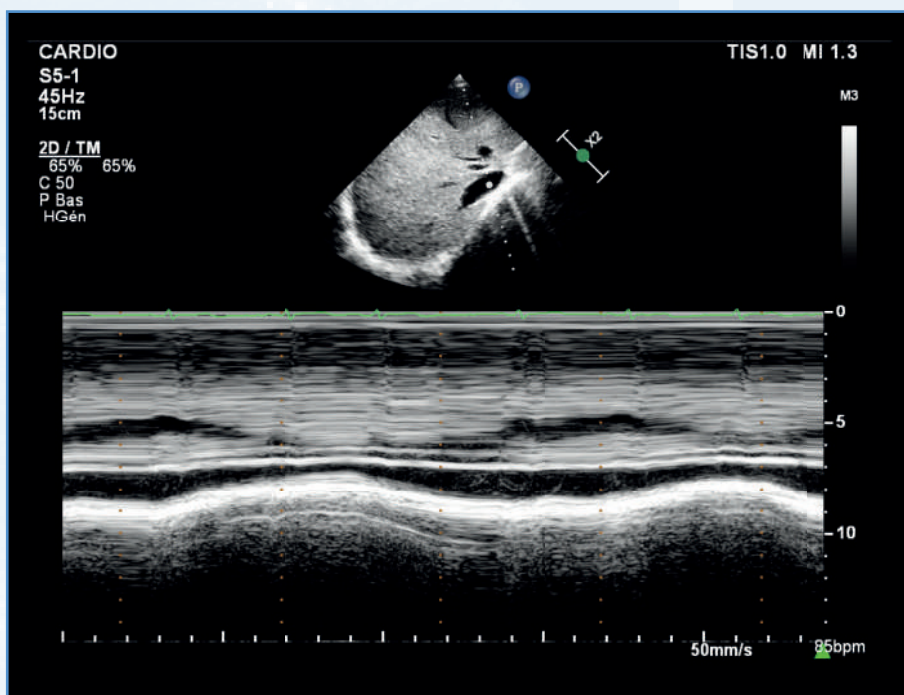


Figure 5

Les corrélations peuvent être moins bonnes entre l'estimation de la pression artérielle pulmonaire systolique en Doppler et la mesure de la pression artérielle pulmonaire systolique par cathétérisme cardiaque droit et lorsque les deux examens ne sont pas réalisés simultanément (Fisher MR *et al.* 2009).

B - Estimation de la pression artérielle pulmonaire diastolique

La pression artérielle pulmonaire diastolique peut être estimée à partir de la vélocité du flux de régurgitation télédiastolique pulmonaire en appliquant l'équation de Bernoulli modifiée :

$$PAPD = 4 \times (\text{vélocité télédiastolique du flux de régurgitation pulmonaire})^2 + POD.$$

PAPD = pression artérielle pulmonaire diastolique

POD = pression dans l'oreillette droite.

La POD est alors estimée comme indiqué précédemment.

rechercher une augmentation

VA Ferm.

C – Estimation de la pression artérielle pulmonaire moyenne

La pression artérielle pulmonaire moyenne peut être estimée à partir de la vélocité maximale du flux de régurgitation pulmonaire (vitesse protodiastolique) en appliquant l'équation de suivante :

$$PAPM = 4 \times (\text{vélocité maximale du flux de régurgitation pulmonaire})^2 + POD.$$

Une autre méthode consiste à calculer la pression artérielle pulmonaire moyenne en appliquant la formule habituelle à partir de la pression artérielle pulmonaire diastolique et de la pression artérielle pulmonaire systolique, :

$$PAPM = 1/3 PAPS + 2/3 PAPD$$

PAPM = pression artérielle pulmonaire moyenne

PAPS = pression artérielle pulmonaire systolique

PAPD = pression artérielle pulmonaire diastolique

À partir de la seule valeur de pression artérielle pulmonaire systolique, il est possible d'estimer la pression artérielle pulmonaire moyenne en appliquant la formule suivante (Chemla D *et al.* 2009) :

$$PAPM = 0,61 PAPS + 2 \text{ mm Hg.}$$

Les recommandations suggèrent que la pression artérielle pulmonaire systolique devrait être estimée chez tous les patients ayant un signal fiable de jet d'insuffisance tricuspide. La méthode recommandée est la mesure de la vélocité maximale de la régurgitation tricuspide et l'application de l'équation de Bernouilli simplifiée. L'estimation de la pression dans l'oreillette droite est basée sur le diamètre de la veine cave inférieure et ses variations respiratoires. Si l'estimation de la pression artérielle pulmonaire systolique est supérieure à 35-40 mm Hg, il est nécessaire de poursuivre les investigations pour confirmer l'hypertension pulmonaire.

L'utilisation de l'échoDoppler cardiaque nécessite une technique rigoureuse, si nécessaire aidée par l'utilisation de produit de contraste pour renforcer le signal de l'insuffisance tricuspidiennne. Il est nécessaire de garder en mémoire le risque de surestimation ou de sous-estimation de la pression artérielle pulmonaire systolique en cas de mauvaise évaluation de la pression de l'oreillette droite et en fonction de la qualité de l'enveloppe du flux d'IT en Doppler continu. La sténose pulmonaire ou l'insuffisance tricuspidiennne massive sont responsables d'un flux laminaire et ne permettent pas de mesure fiable de la pression artérielle pulmonaire par échoDoppler.

I. Échographie cardiaque pour de la postcharge du ventricule droit

D – Calcul des résistances vasculaires pulmonaires

Une augmentation de la pression artérielle pulmonaire systolique n'implique pas toujours une augmentation des résistances vasculaires pulmonaires comme en témoigne la relation :

$$\text{Pression} = \text{Débit} \times \text{Résistance.}$$

Les résistances vasculaires pulmonaires permettent de distinguer l'augmentation de pression artérielle pulmonaire systolique due à un hyperdébit de celle due à une maladie vasculaire pulmonaire.

Les résistances vasculaires pulmonaires sont définies au cathétérisme cardiaque droit de la façon suivante :

$$RVP_{KT} = (PAPM - PAPO) / DC$$

RVP_{KT} = résistances vasculaires pulmonaires calculées à partir des mesures obtenues par cathétérisme cardiaque droit

PAPM = pression artérielle pulmonaire moyenne obtenue par cathétérisme cardiaque droit

PAPO = pression artérielle pulmonaire d'occlusion

DC = débit cardiaque

En échocardiographie, les résistances vasculaires pulmonaires sont estimées de la façon suivante à partir du rapport (Abbas AE *et al.* 2003).

RVP_{ECHO} estimée à partir de la relation: V max IT / ITV sous-pulmonaire

RVP_{ECHO} = résistances vasculaires pulmonaires estimées par échocardiographie

V max IT = vitesse maximale de l'insuffisance tricuspide en mètres par seconde

ITV sous pulmonaire = intégrale temps vitesse sous-pulmonaire en cm.

Une valeur du rapport supérieur ou égal à 0,2 prédit des résistances vasculaires pulmonaires supérieures à 2 unités Wood avec une spécificité de 94 % et une sensibilité de 70 %.

L'estimation des résistances vasculaires pulmonaires par échocardiographie est moins fiable lorsque les résistances vasculaires pulmonaires sont supérieures à 8 unités wood. (Rajagopalan N *et al.* 2009). Les résistances vasculaires pulmonaires sont normalement inférieures à 1,5 unités Wood (120 dynes.cm/s²). L'estimation non invasive des résistances vasculaires pulmonaires ne doit pas remplacer la mesure invasive des résistances vasculaires pulmonaires par cathétérisme cardiaque droit pour guider une prise en charge thérapeutique.

rechercher une augmentation

VA Ferm.

E – Calcul du débit cardiaque

Le volume d'éjection systolique est calculé comme le produit de l'intégrale-temps-vitesse du flux sanguin sous-aortique (ITVAo) (**Figure 6**) par la surface de l'anneau aortique.

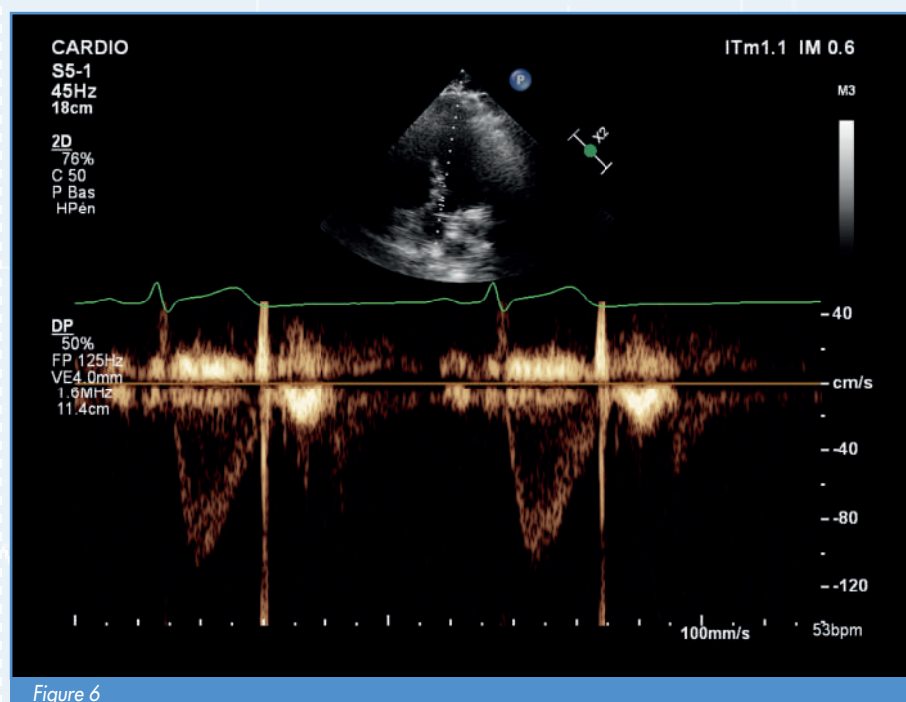


Figure 6

À partir de la coupe apicale 5 cavités, l'ITVAo est calculée à partir de l'aire sous l'enveloppe du signal Doppler pulsé obtenu au niveau de l'anneau aortique. La valeur de l'ITVAo est réalisée sur au moins trois cycles cardiaques pour tenir compte de la variabilité inter-battements. À partir de la coupe para-sternale grand axe, le diamètre de l'orifice aortique est mesuré à l'insertion des valvules aortiques et la surface aortique est calculée d'après la relation suivante : surface de l'orifice aortique = π (diamètre de l'orifice aortique)²/4. Le volume d'éjection systolique indexé (VES i) est calculé comme le rapport du volume d'éjection systolique sur la surface corporelle. Le débit cardiaque (N = 5 à 6 L/min) est calculé comme le produit du volume d'éjection systolique par la fréquence cardiaque.

I. Échographie cardiaque pour de la postcharge du ventricule droit

L'index cardiaque ($N = 2,5$ à $3,5$ L/min/m²) est calculé comme le rapport du débit cardiaque sur la surface corporelle. (Lamia B et al. 2007).

Débit cardiaque (L/min) = Volume d'éjection systolique X fréquence cardiaque

Index cardiaque (L/min/m²) = débit cardiaque / surface corporelle.

En cas de suspicion échocardiographique d'hypertension pulmonaire, le cathétérisme cardiaque droit reste la méthode de référence. Chez un patient à risque, lorsque la vitesse maximale de l'insuffisance tricuspide est inférieure à 2,8 m/sec, le cathétérisme cardiaque droit n'est pas indiqué. Lorsque la vitesse maximale de l'insuffisance tricuspide est supérieure ou égale à 3 m/sec le cathétérisme cardiaque droit doit être réalisé. Pour une vitesse maximale de l'insuffisance tricuspide comprise entre 2,8 m/sec et 3 m/sec le cathétérisme cardiaque droit est à prévoir en cas de signes échocardiographiques en lien avec une hypertension pulmonaire (signes directs ou indirects de dilatation du ventricule droit, de l'oreillette droite, de la veine cave inférieure ou de l'artère pulmonaire).

Le cathétérisme cardiaque droit reste donc l'examen diagnostique de référence, il permet de confirmer l'hypertension pulmonaire, de mesurer le débit cardiaque et de calculer les résistances vasculaires pulmonaires, dont l'estimation par échocardiographie a ses limites.

rechercher une augmentation

VA Ferm.



CAV

nages = 19

20.0

LOCA

18.0

chapitre

-10.0
%

12.0

L/R invert

6.0

0.0

-6.0

-12.0

VA Ferm.

2

II - Retentissement cardiaque droit de l'hypertension pulmonaire

II - Retentissement cardiaque droit

A - Remodelage des cavités droites

1 - Oreillette droite

L'oreillette droite contribue au remplissage du ventricule droit en se comportant comme un réservoir du retour veineux systémique lorsque la valve tricuspide est fermée, comme un conduit passif en proto-diastole lorsque la valve tricuspide est ouverte et comme un conduit actif en télédiastole lors de la contraction auriculaire (Gaynor SL *et al.* 2005).

Les dimensions de l'oreillette droite sont mesurées à partir de la coupe apicale 4 cavités (**Figure 7**). La valeur normale du volume de l'oreillette droite en échocardiographie 2D est de 25 ± 7 ml/m² chez l'homme et de 21 ± 6 ml/m² chez la femme. Une surface de l'oreillette droite supérieure à 18 cm² est pathologique (Lang RM *et al.* 2015).

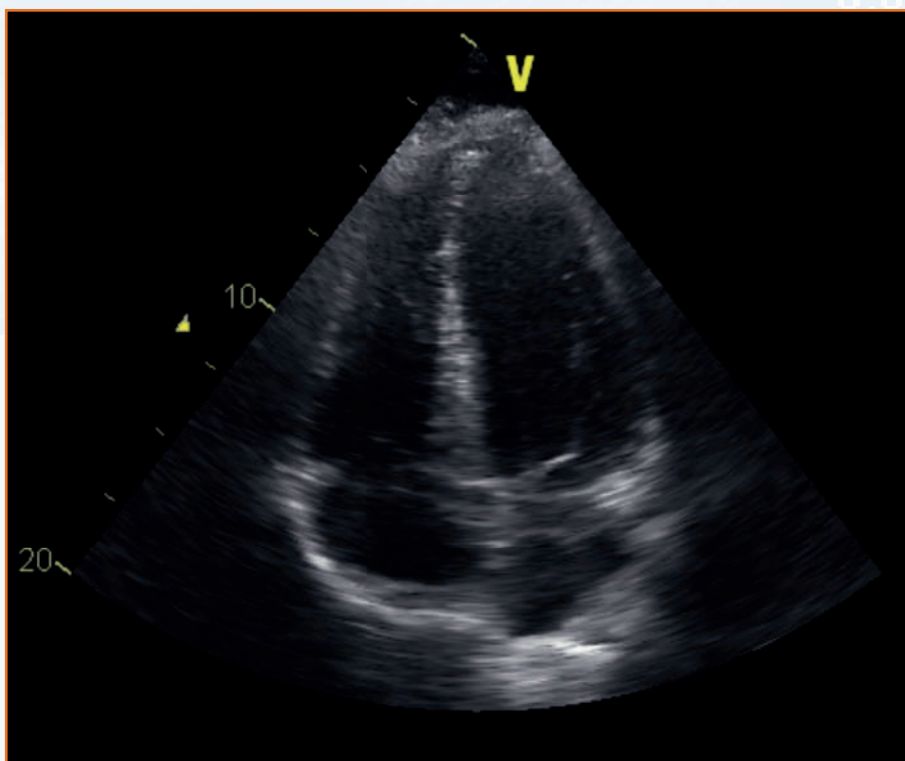


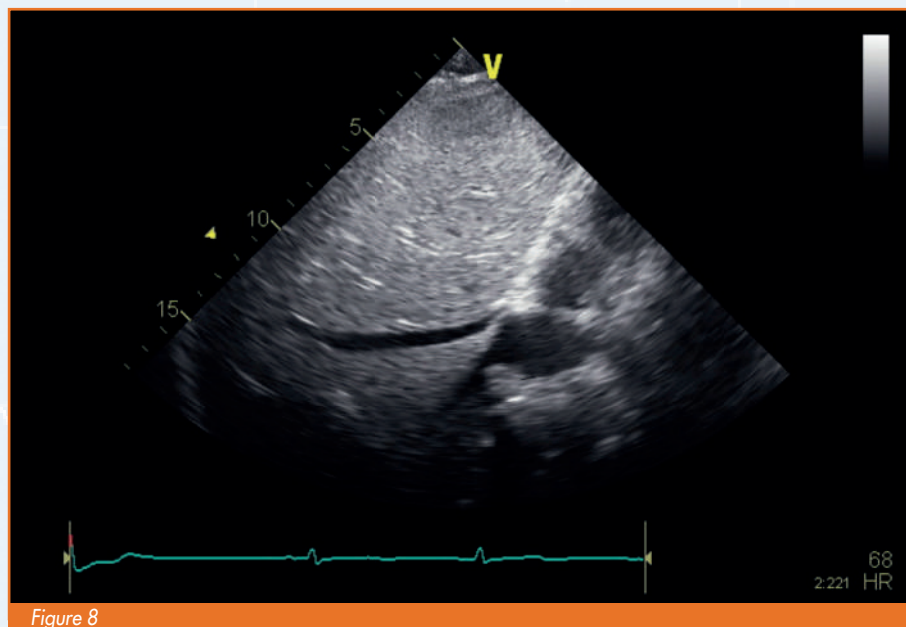
Figure 7

de l'hypertension pulmonaire

2 - Ventricule droit

a - Épaisseur de la paroi libre du ventricule droit

L'épaisseur du ventricule droit est un reflet de l'hypertrophie ventriculaire droite, conséquence d'une augmentation de la pression systolique du ventricule droit (Prakash R *et al.* 1983). L'épaisseur de la paroi libre du ventricule droit est mesurée en télédiastole en mode temps-mouvement ou bidimensionnel à partir de la voie sous-costale (Weyman A *et al.* 2007) (**Figure 8**) ou de la voie parasternale grand axe.



Le ventricule droit est hypertrophique lorsque l'épaisseur de la paroi libre du ventricule droit mesurée en mode temps-mouvement ou en mode bidimensionnel est supérieure ou égale à 5 mm.

b - Dimensions du ventricule droit

Le ventricule droit se dilate en réponse à une surcharge chronique en volume et/ou en pression (Haddad F *et al.* 2008) et lors de la défaillance ventriculaire droite. Le diamètre télédiastolique indexé du ventricule droit est un indice pronostique chez les patients atteints de maladie respiratoire chronique et le rapport de

II - Retentissement cardiaque droit

18.0

la surface télédiastolique du ventricule droit/surface télédiastolique du ventricule gauche est prédictif de la survie hospitalière chez les patients atteints d'embolie pulmonaire aiguë (Fremont B *et al.* 2008). En mode bidimensionnel, les dimensions du ventricule droit sont mesurées à partir de la coupe apicale 4 cavités. Normalement, le ventricule droit est toujours plus petit que le ventricule gauche et n'occupe que un tiers de l'espace péricardique. Si le ventricule droit apparaît plus grand que le ventricule gauche dans la coupe apicale 4 cavités, il s'agit alors d'une dilatation significative du ventricule droit (Rudski LG *et al.* 2010).

Le diamètre basal du ventricule droit est mesuré à partir de la coupe apicale 4 cavités comme la distance maximale du tiers inférieur du ventricule droit (**Figure 9**). Une dilatation du ventricule droit est objectivée en comparant les dimensions télédiastoliques des ventricules droit et gauche et en mesurant la distance de la base du ventricule droit (**Figure 10**).

6.0

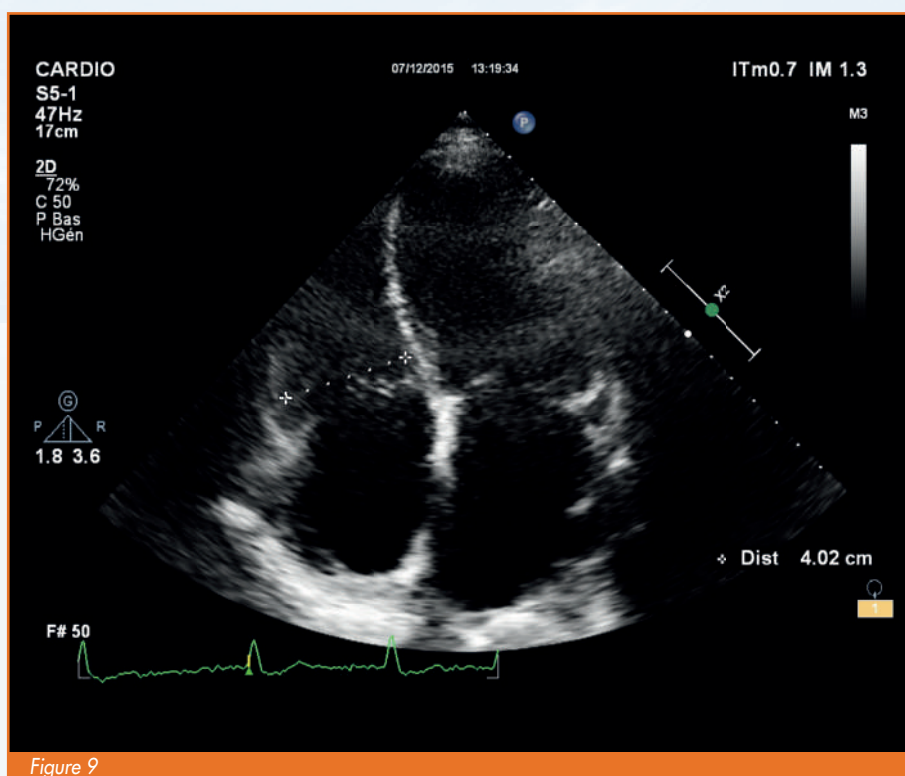


Figure 9

-12.0

de l'hypertension pulmonaire

VA Fem.

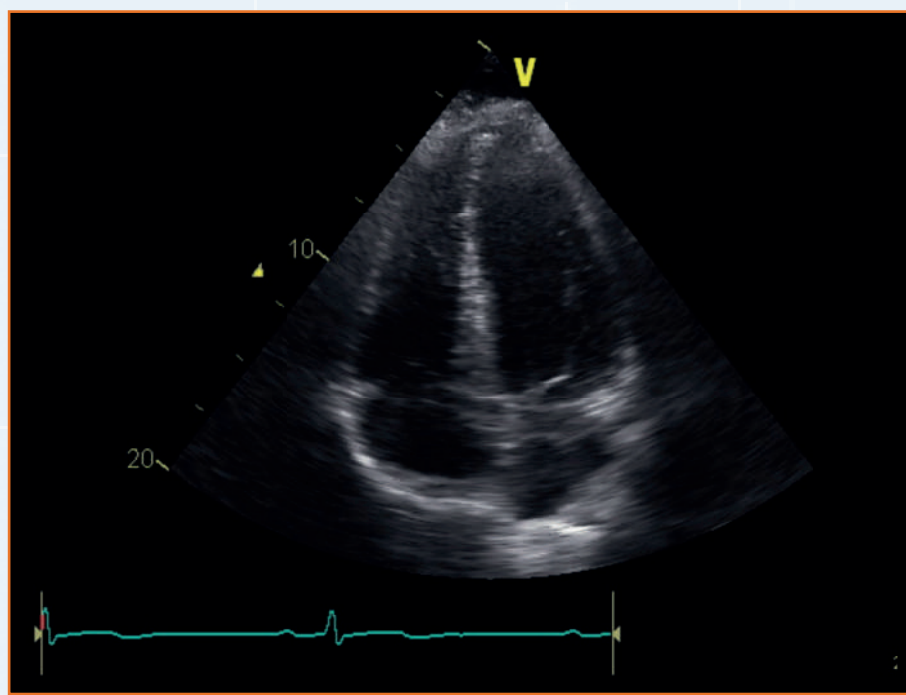


Figure 10

Un rapport surface télésystolique du ventricule droit/ surface télédiastolique du ventricule gauche $> 0,6$ et/ou un diamètre de la base du ventricule droit > 41 mm indiquent une dilatation du ventricule droit.

c - Dimensions de la chambre de chasse du ventricule droit

La chambre de chasse du ventricule droit comprend l'infundibulum pulmonaire et la valve pulmonaire. La portion proximale de la chambre de chasse du ventricule droit est visualisée à partir de la coupe parasternale grand axe. La mesure doit être réalisée en télédiastole et le diamètre maximal est de 35 mm (Lang RM *et al.* 2015).

d - Morphologie du septum interventriculaire

La dilatation chronique du ventricule droit entraîne un élargissement progressif de la base vers l'apex et de la paroi libre vers le septum du ventricule droit qui écrase progressivement le ventricule gauche. Dans la vue parasternale petit axe,

II - Retentissement cardiaque droit

18.0

le ventricule gauche perd sa forme circulaire et prend une forme en D du fait de l'applatissage du septum (Reynertson SI *et al.* 1999) (**Figure 11**). L'augmentation de pression dans le ventricule droit affecte la géométrie normale du ventricule gauche et déplace le septum vers la gauche par rapport au centre du ventricule droit (aspect de septum bombant anormalement dans le ventricule gauche ou septum paradoxal).

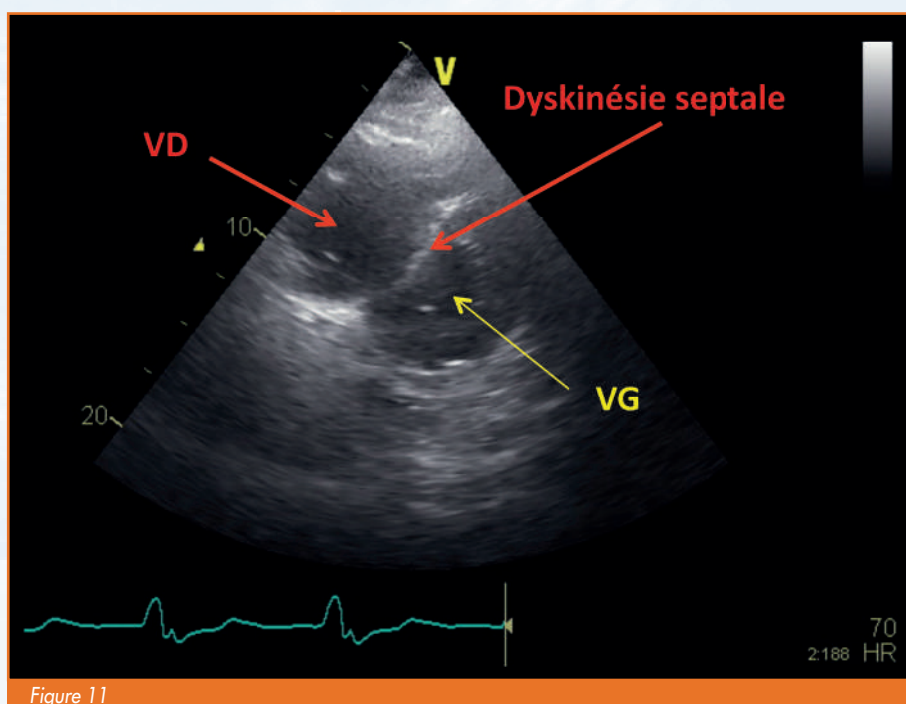


Figure 11

B - Fonction systolique du ventricule droit

Le retentissement de l'hypertension pulmonaire sur la fonction systolique du ventricule droit est complexe du fait de la géométrie du ventricule droit. L'étude de la fonction systolique globale du ventricule droit inclut la mesure de l'index de performance myocardique ou index de Tei, de la fraction de raccourcissement de surface du ventricule droit et de la fraction d'éjection du ventricule droit en échocardiographie en mode tridimensionnel. L'étude de la fonction systolique régionale inclut la mesure de l'excursion systolique du plan de l'anneau tricuspide

de l'hypertension pulmonaire

(TAPSE), de l'onde S' tricuspide systolique en Doppler tissulaire et la mesure du strain (= déformation) *en speckle tracking*.

1 - Contractilité globale du ventricule droit

a - Index de performance myocardique ou index de Tei

L'index de Tei est défini d'après la relation suivante (Tei C *et al.* 1996) :

$$\text{Index de Tei du ventricule droit} = \frac{(\text{Temps de contraction isovolumique} + \text{Temps de relaxation isovolumique})}{\text{Temps d'éjection}}$$

Il peut être mesuré en Doppler pulsé ou en Doppler tissulaire. En Doppler pulsé, la limite supérieure de référence est 0,43. En Doppler tissulaire la limite supérieure de référence de l'index de Tei est de 0,54. Un index de Tei supérieur à la limite de référence indique une altération de la contractilité. (Lang RM *et al.* 2015) **(Figure 12).**

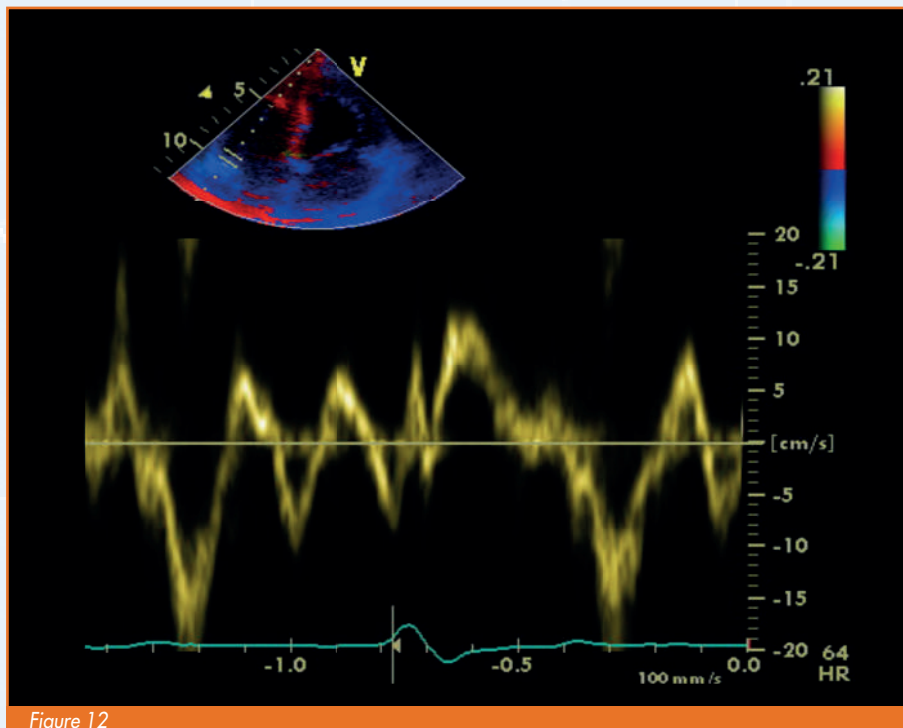


Figure 12

II - Retentissement cardiaque droit

18.0

b - Fraction de raccourcissement de surface du ventricule droit

À partir de la chambre apicale 4 cavités, la surface télédiastolique du ventricule droit (STDVD) et la surface télésystolique du ventricule droit (STSVD) sont mesurées. La fraction de raccourcissement de surface du ventricule droit (FRSVD) est calculée de la façon suivante :

$$\text{FRSVD} = \frac{(\text{STDVD} - \text{STSVD})}{\text{STDVD}} \times 100$$

En cas de dysfonction systolique ventriculaire droite, la fraction de raccourcissement de surface du ventricule droit est inférieure à 35 % (Lang RM *et al.* 2015).

c - Fraction d'éjection du ventricule droit en mode tridimensionnel

La fraction d'éjection du ventricule droit (VD) est calculée à partir de la mesure des volumes du ventricule droit en échocardiographie tridimensionnelle par la méthode de sommation des disques. La fraction d'éjection est calculée d'après la formule classique :

$$\text{Fraction d'éjection} = \frac{(\text{volume télédiastolique du VD} - \text{volume télésystolique du VD})}{\text{volume télédiastolique}}$$

Une valeur de fraction d'éjection du VD en 3D inférieure à 45 % indique une dysfonction du ventricule droit (Lang RM *et al.* 2015).

2 - Contractilité régionale du ventricule droit

a - Excursion systolique du plan de l'anneau tricuspide ou TAPSE

À partir de la coupe apicale 4 cavités, le raccourcissement baso-apical du ventricule droit durant la systole est mesuré par le déplacement systolique de la portion latérale de l'anneau tricuspide. L'excursion systolique du plan de l'anneau tricuspide (*Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion ou TAPSE*) est mesurée en mode TM après repérage en mode bidimensionnel. Le curseur est orienté à la jonction du plan de la valve tricuspide avec la paroi libre du ventricule droit sur la fenêtre apicale 4 cavités (Lamia B *et al.* 2007). Plusieurs études ont démontré que TAPSE est corrélée à la fraction d'éjection du VD et/ou à la fraction de raccourcissement de surface du VD dans différentes pathologies cardiaques incluant l'ischémie myocardique, l'insuffisance cardiaque et l'hypertension pulmonaire (Kaul S *et al.* 1984). De plus, une diminution de TAPSE est associée à un mauvais pronostic chez les patients porteurs d'une hypertension artérielle pulmonaire (Forfia PR *et al.* 2006).

-12.0

de l'hypertension pulmonaire

VA Fem.

La mesure de TAPSE doit être utilisée en routine pour apprécier la fonction du ventricule droit. Une valeur de TAPSE inférieure strictement à 17 mm indique une altération de la fonction systolique du ventricule droit (**Figure 13**).

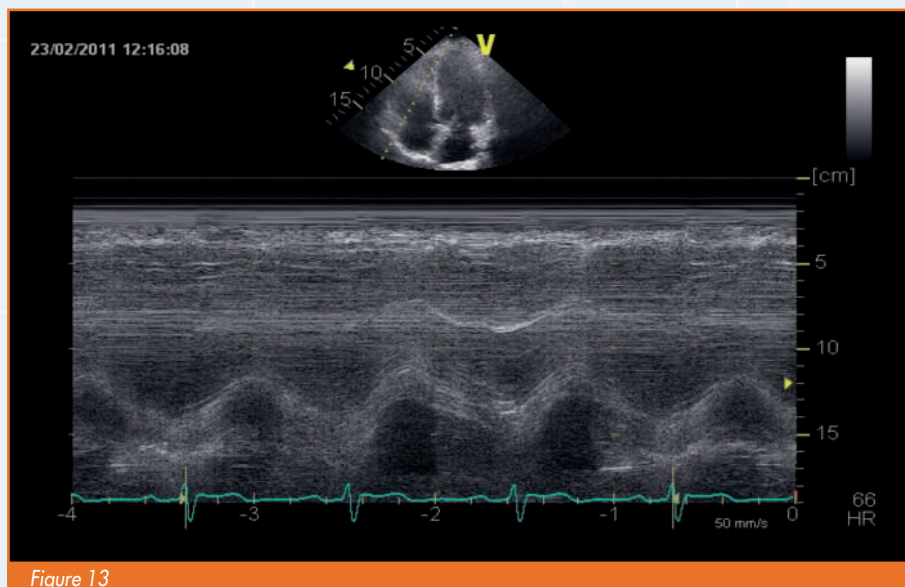


Figure 13

b - Doppler tissulaire à l'anneau tricuspide et onde S' systolique

L'onde S' systolique est mesurée en Doppler tissulaire à la jonction de l'anneau tricuspide et de la paroi libre du ventricule droit (Lindqvist P *et al.* Echocardiography 2005). La mesure de l'onde S' est une mesure simple et reproductible évaluant la fonction contractile de la portion basale de la paroi libre du ventricule droit. Une onde S' inférieure à 9,5 cm/sec doit faire suspecter une fonction ventriculaire droite anormale (**Figure 14**).

c - Speckle tracking strain du ventricule droit

L'analyse par speckle tracking a été introduite par Reisner et Leitman (Reisner SA *et al* 2004, Leitman P *et al* 2004). Leitman et Lysyansky ont utilisé le speckle tracking pour calculer le strain (ou déformation) régional du ventricule gauche. Dans cette technique, à partir d'images bidimensionnelles échocardiographiques de routine, les mouvements de marqueurs acoustiques stables sont analysés toutes les 20 millisecondes (cadence d'images) au cours du cycle cardiaque.

II - Retentissement cardiaque droit

18.0

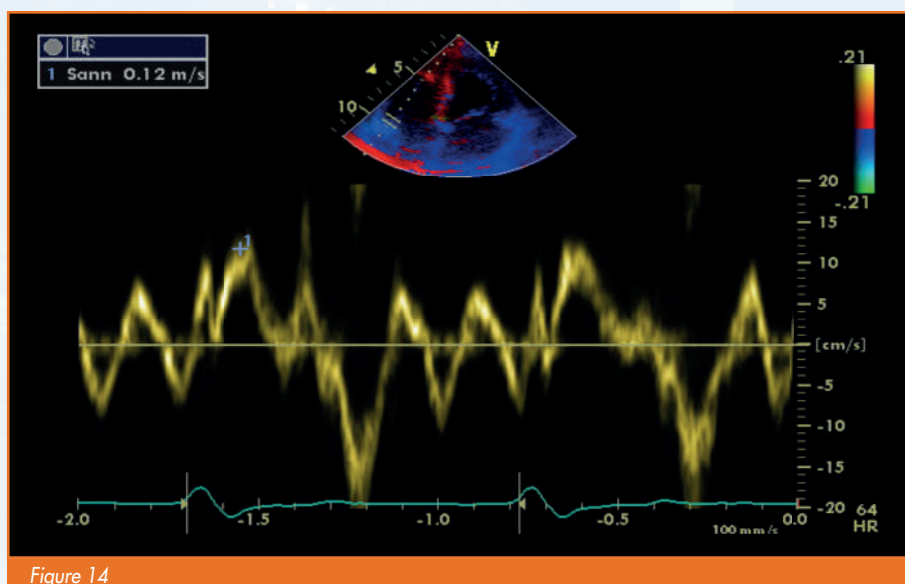


Figure 14

Les régions d'intérêt à analyser sont définies manuellement. Dans le cas du speckle tracking une région circulaire est tracée pour délimiter les contours de l'endocarde et de l'épicarde. Les déplacements de ces marqueurs acoustiques représentent le mouvement tissulaire. Le strain longitudinal du ventricule droit est calculé comme le rapport du changement de longueur sur la longueur initiale entre l'endocarde et l'épicarde au cours d'un cycle cardiaque. Le strain longitudinal calculé par la technique de speckle tracking peut être analysé pour chacun des six segments du ventricule droit (strain segmentaire) et pour l'ensemble du ventricule droit, correspondant au strain longitudinal global du ventricule droit. La valeur de speckle tracking strain de la paroi libre du ventricule droit supérieure à -20 % (c'est-à-dire inférieure à 20 % en valeur absolue) est considérée comme anormale. La technique de speckle tracking a été validée versus Doppler tissulaire (Tanabe *et al* 2008) pour l'étude du ventricule gauche et du ventricule droit (*Figure 15*).

d - Désynchronisation du ventricule droit.

La contractilité segmentaire hétérogène du ventricule droit résulte en une désynchronisation myocardique qui altère les performances cardiaques. La mesure du strain segmentaire par 2D speckle tracking et du délai de survenue du strain maximal pour chaque segment du ventricule droit permet de mesurer un indice de désyn-

de l'hypertension pulmonaire

VA Ferm.

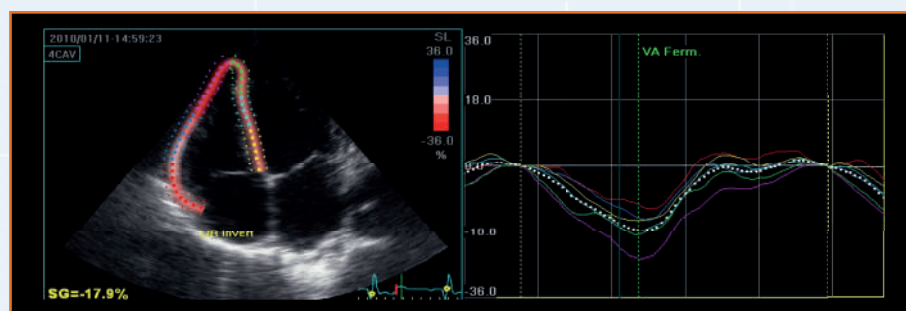


Figure 15

chronisation (Lamia *et al* 2009 ; Lamia *et al* 2011). L'indice de désynchronisation est défini comme la déviation standard des pics de strain des segments inféro-septal, inféro-latéral, medio-septal et medio latéral du ventricule droit. Le strain longitudinal global est mesuré comme la moyenne des valeurs de strain segmentaires (Figure 16). Un ventricule droit désynchronisé a une fonction systolique altérée. La désynchronisation peut être observée très précocément, avant les altérations des autres indices de dysfonction systolique du ventricule droit (Lamia *et al* 2011, 2017).

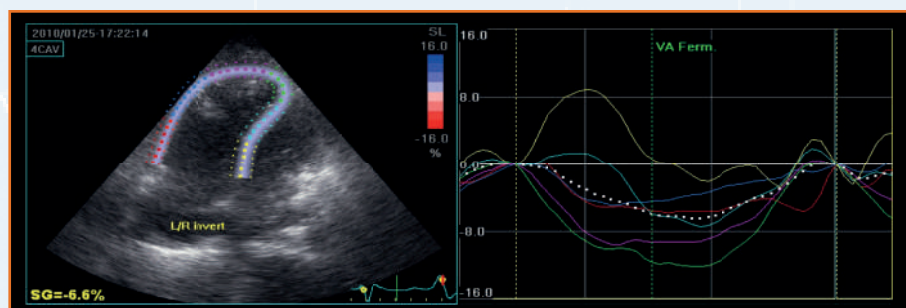
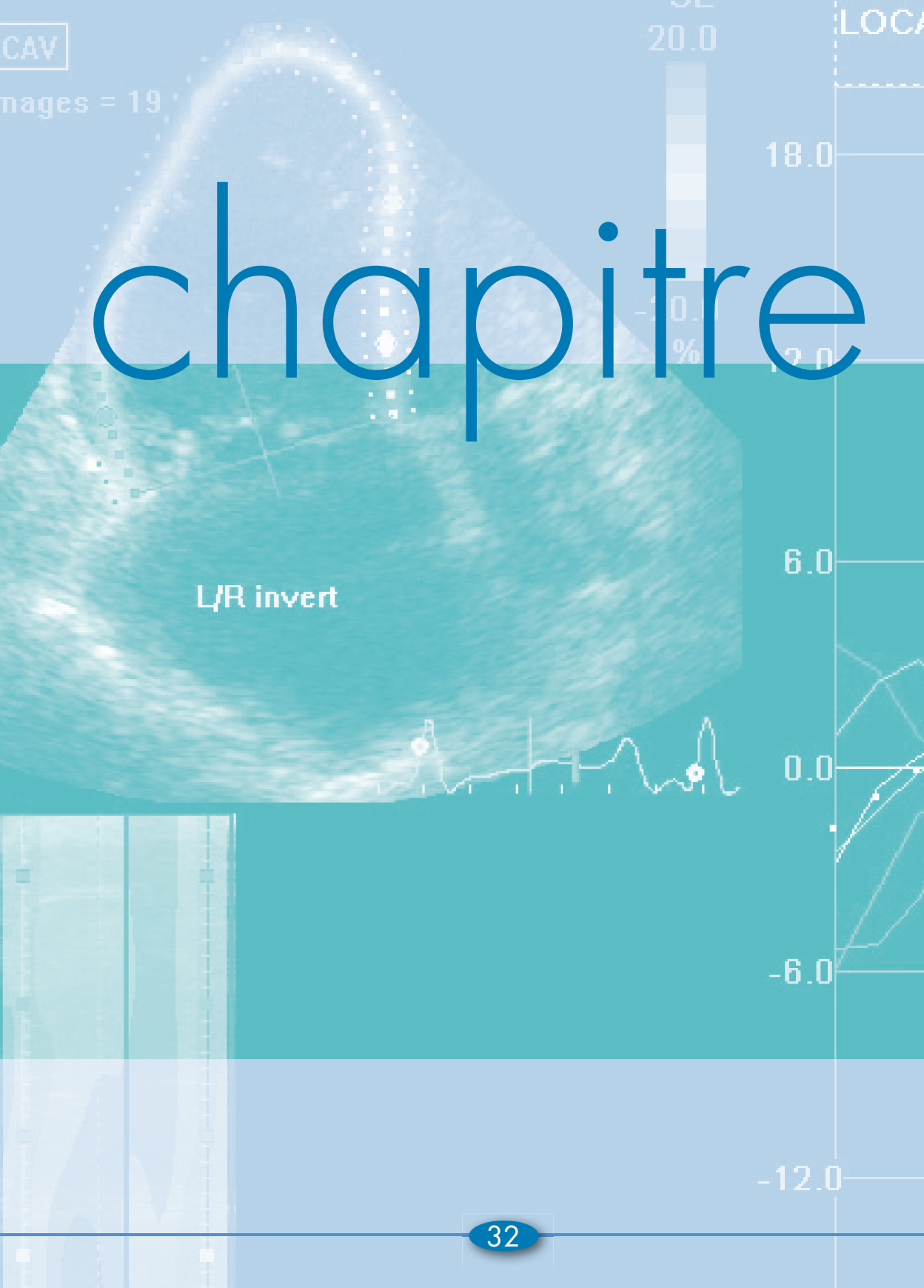


Figure 16

C- Réouverture du foramen ovale

L'existence d'une réouverture du foramen ovale permet de juger de la sévérité de l'élévation de la POD et d'expliquer le mécanisme de l'hypoxie en mettant en évidence un shunt lors de l'épreuve de bulles.



CAV

nages = 19

20.0

LOCA

18.0

-10.0
%

12.0

L/R invert

6.0

0.0

-6.0

-12.0

VA Ferm.

3

III. Rechercher une dysfonction cardiaque gauche associée

III. Rechercher une dysfonction

L'échocardiographie joue un rôle important dans l'évaluation de la fonction systolique du ventricule gauche et dans la recherche d'une augmentation des pressions de remplissage du ventricule gauche (Ruan Q et al 2007).

1- Fonction systolique du ventricule gauche

a - Fraction d'éjection du ventricule gauche

La fraction d'éjection du ventricule gauche est calculée à partir de la mesure des volumes télédiastolique et téléstolique du ventricule gauche en utilisant la formule : Fraction d'éjection du ventricule gauche = (volume télédiastolique du ventricule gauche - volume téléstolique du ventricule gauche) / volume télédiastolique du ventricule gauche. La méthode biplan des disques (méthode de Simpson) est la méthode de référence pour la mesure bidimensionnelle de la fraction d'éjection du ventricule gauche (Figure 17).

La mesure de la fraction d'éjection en mode 3D est tout aussi fiable (Lang RM et al. 2015).

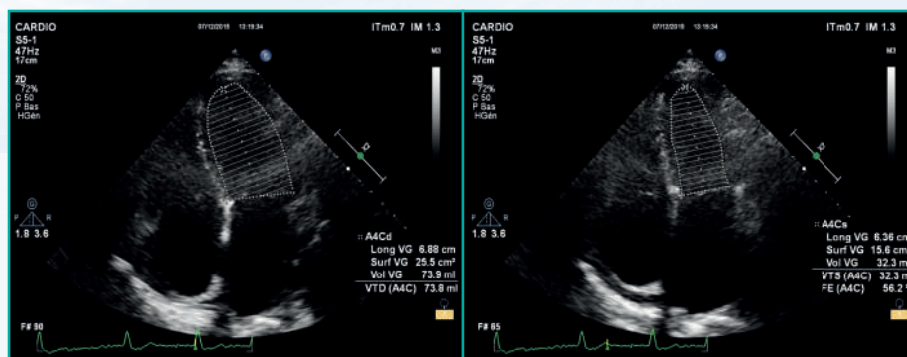


Figure 17

b - Strain longitudinal global

Le strain (ou déformation) est défini comme un changement de longueur d'un objet ou d'une structure par rapport à sa longueur initiale.

$$\text{Strain en pourcentage} = (L_t - L_o) / L_o$$

où L_t est la longueur au temps t et L_o est la longueur initiale au temps 0.

cardiaque gauche associée

Le strain longitudinal global du ventricule gauche est utilisé pour estimer la fonction systolique globale du ventricule gauche. Ce strain est calculé par la méthode de *speckle tracking*.

La longueur du myocarde en télésystole est plus petite que la longueur du myocarde en télédiastole donc le pic du strain longitudinal global a une valeur négative.

En routine, la fonction systolique du ventricule gauche doit être évaluée en mode bidimensionnel ou tridimensionnel en calculant la fraction d'éjection du ventricule gauche à partir du volume télésystolique et du volume télédiastolique du ventricule gauche.

Une fraction d'éjection du ventricule gauche < 52 % chez l'homme et < 54 % chez la femme correspond à une fonction systolique du ventricule gauche anormale.

Le strain longitudinal global mesuré par *speckle tracking* échocardiographique est reproductible et accessible en pratique clinique. Un pic de strain longitudinal global normal est de -20 %. Plus la valeur absolue du strain est basse, plus cela est anormal.

2- Fonction diastolique du ventricule gauche

La fonction diastolique du ventricule gauche est la capacité du ventricule gauche à se remplir suffisamment pour produire le volume d'éjection nécessaire en systole à un régime de pressions diastoliques normales du ventricule gauche et de l'oreillette gauche.

La fonction diastolique du ventricule gauche est étudiée en échocardiographie par l'analyse du flux transmitral en Doppler pulsé (**Figure 18**) et la vitesse Ea diastolique de la partie latérale de l'anneau mitral en Doppler tissulaire (**Figure 19**). Cette analyse couplée du Doppler pulsé transmitral et du Doppler tissulaire mitral permet d'estimer la pression dans l'oreillette gauche.

a - Doppler pulsé transmitral

À partir de la coupe apicale 4 cavités, la vitesse de l'onde diastolique précoce E (E comme Early, précoce en anglais) et la vitesse de l'onde diastolique A (A comme auriculaire car flux secondaire à la contraction auriculaire) du flux transmitral sont mesurées en Doppler pulsé. Le rapport E/A est calculé.

b - Doppler tissulaire mitral

La vitesse Ea diastolique de la partie latérale de l'anneau mitral est mesurée en Doppler tissulaire. Le rapport E/Ea est calculé.

III. Rechercher une dysfonction

L'estimation des pressions de remplissage est basée sur les valeurs des rapports E/A et E/Ea en fonction de la fraction d'éjection du ventricule gauche.

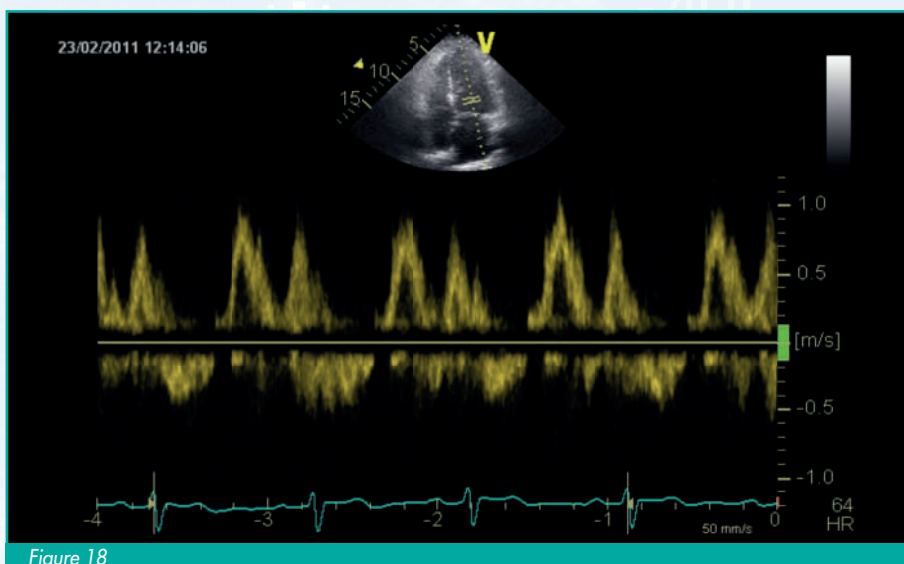


Figure 18

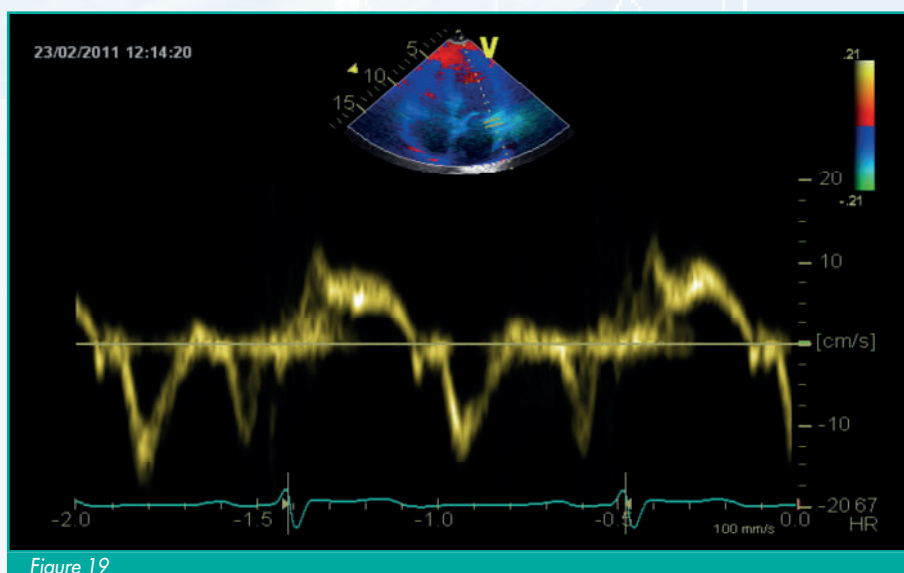
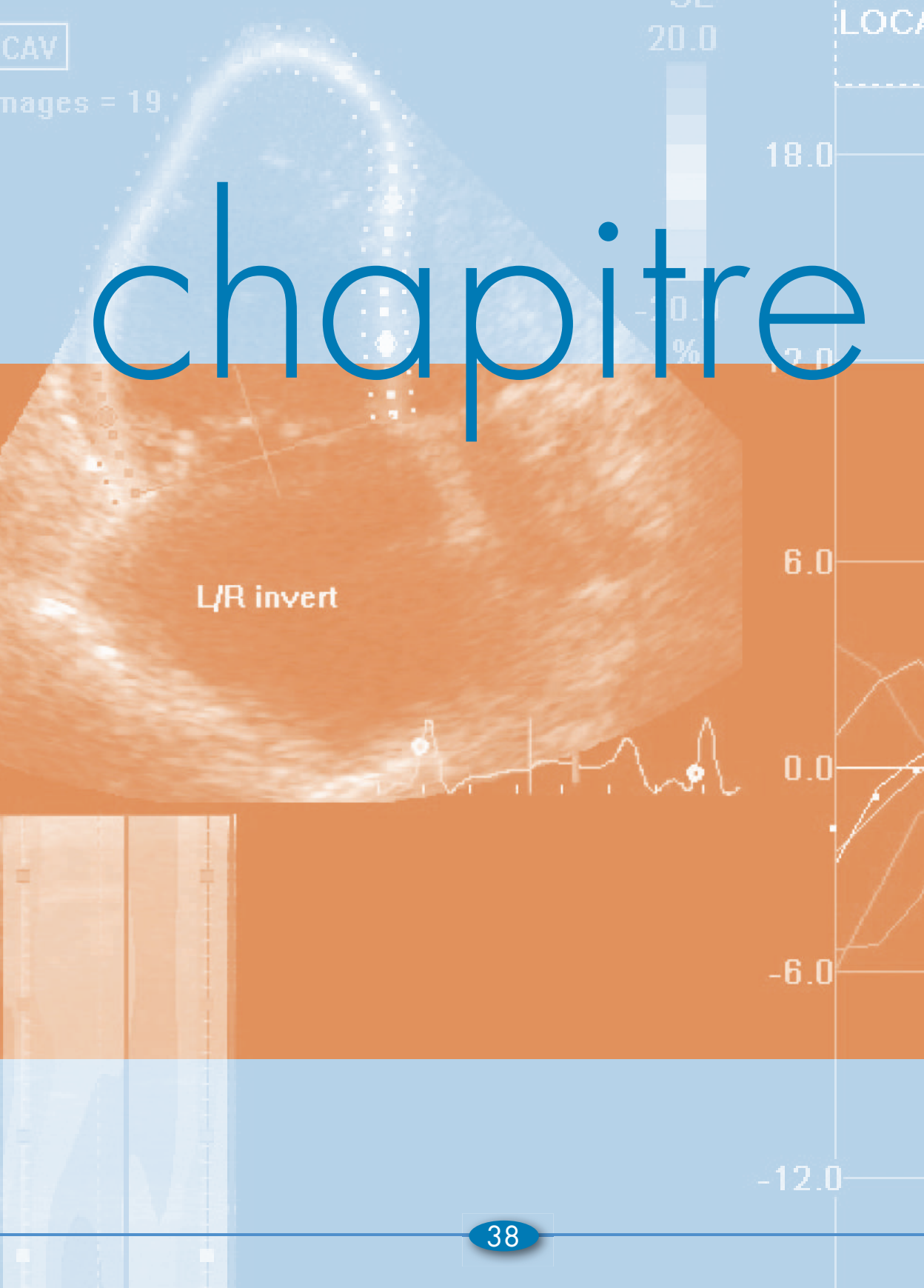


Figure 19

cardiaque gauche associée

VA Ferm.





CAV

images = 19

20.0

LOCA

18.0

-10.0
%

12.0

chapitre

L/R invert

6.0

0.0

-6.0

-12.0

4

VA Ferm.

IV - Éléments échocardiographiques de l'interaction ventricule gauche/ventricule droit

IV - Éléments échocardiographiques ventricule gauche/ventricule droit

Chapitre 4

Plus le ventricule droit est dilaté, plus le ventricule gauche est comprimé. Lorsque le ventricule droit est significativement dilaté, le septum bombe anormalement dans le ventricule gauche et constitue le septum paradoxal ou dyskinésie septale. Le degré de compression de ventricule gauche est aussi apprécié par le calcul de l'index d'excentricité du ventricule gauche. A partir de la coupe parasternale petit axe en télésystole, l'index d'excentricité est le rapport du diamètre antéropostérieur du ventricule gauche sur le diamètre latéro-septal du ventricule gauche. Lorsque le ventricule gauche est normalement circulaire, l'index d'excentricité est de 1. Lorsque le ventricule gauche est comprimé l'index d'excentricité est supérieur à 1.

L/R invert

de l'interaction

VA Ferm.





chapitre

L/R invert

VA Ferm.

5

Éléments échocardiographiques de mauvais pronostic en présence d'une dysfonction cardiaque droite

V - Éléments échocardiographiques d'une dysfonction cardiaque droite

Chapitre 5

La dilatation du ventricule droit est le premier marqueur d'une augmentation des résistances vasculaires pulmonaires. Puis le ventricule droit s'hypertrophie pour surmonter l'augmentation des résistances vasculaires pulmonaires.

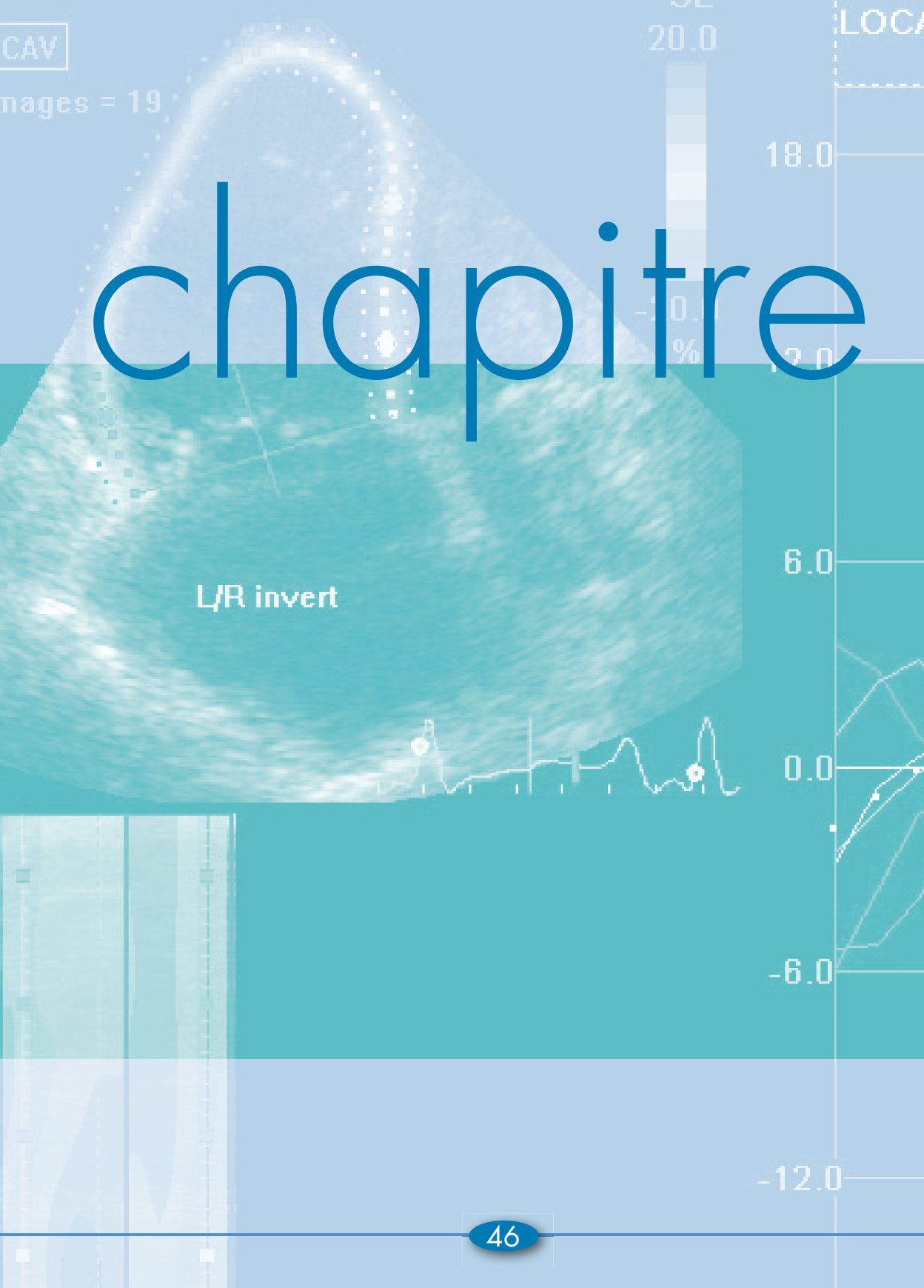
Les éléments de mauvais pronostic à rechercher sont le degré de dilatation de l'oreillette droite, le degré de compression du ventricule gauche, l'existence d'un épanchement péricardique et la sévérité de la dysfonction systolique du ventricule droit. Plus les indices précédemment décrits de fonction systolique du ventricule droit : TAPSE, fraction de raccourcissement de surface du ventricule droit, fraction d'éjection du ventricule droit en mode 3D, index de performance myocardique du ventricule droit sont altérés et plus le pronostic est péjoratif (Vonk Noordegraaf A *et al* 2015).

L/R invert

de mauvais pronostic en présence

VA Ferm.





CAV

nages = 19

20.0

LOCA

18.0

chapitre

L/R invert

6.0

0.0

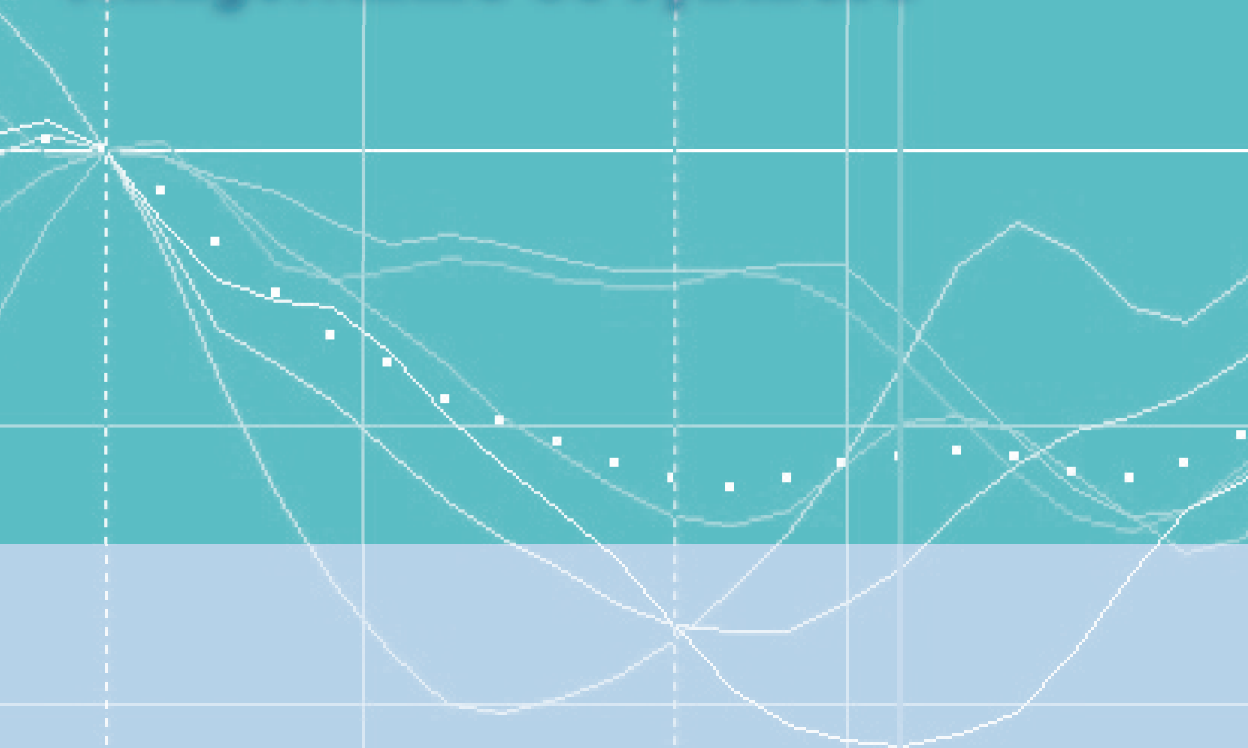
-6.0

-12.0

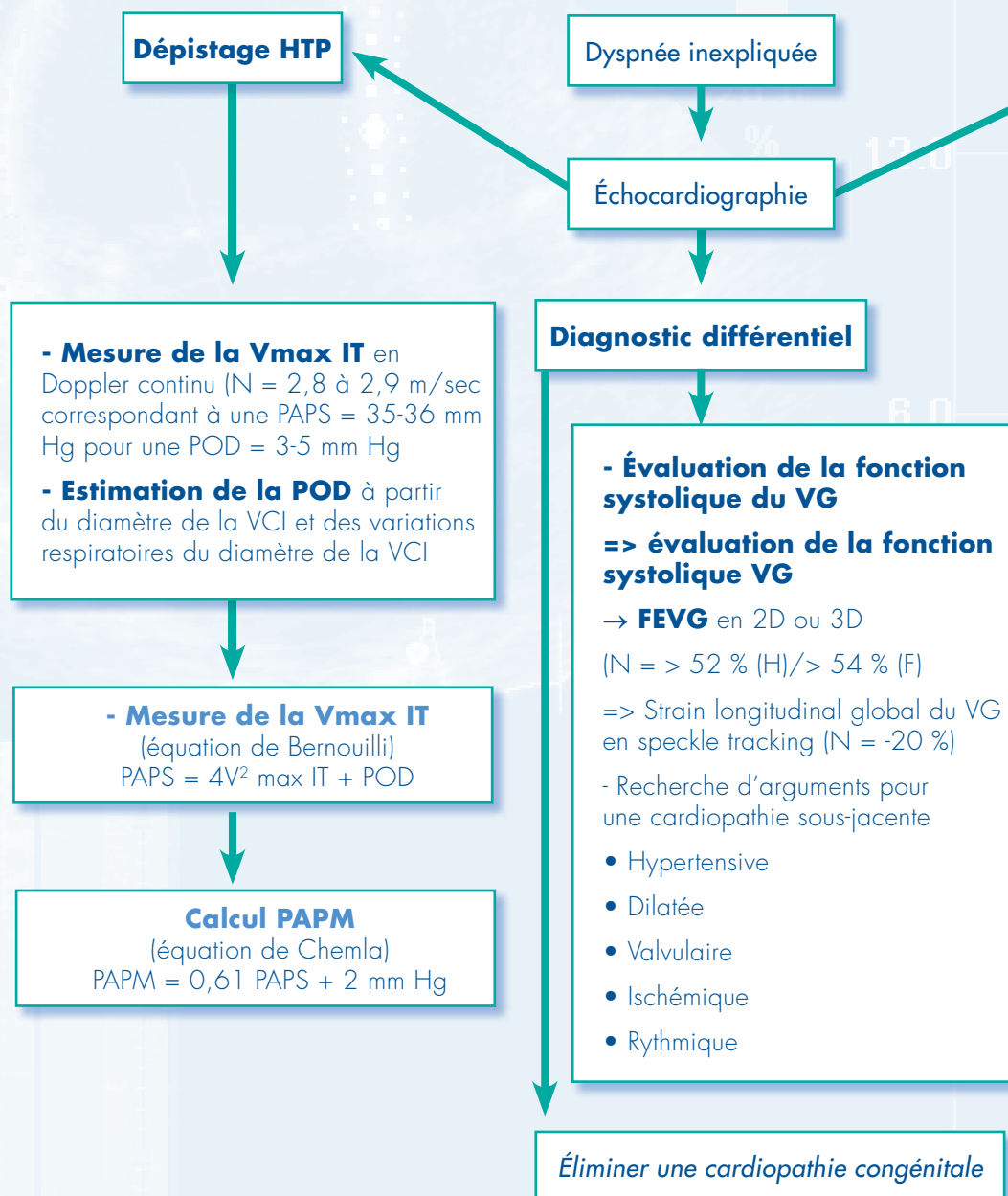
6

VA Ferm.

VI. Algorithme de synthèse



VI. Algorithme de synthèse



VA Ferm.

Retentissement sur le cœur droit

Remodelage des cavités droites

=> Vol oreillette droite en 2D =

- $25 \pm 7 \text{ ml/m}^2$ (H)
- $21 \pm 6 \text{ ml/m}^2$ (F)

=> Surface OD en télésystole : $N < 18 \text{ cm}^2$

=> Ventricule droit

- Épaisseur paroi libre = 1-5 mm
- Dimensions VD
- * diamètre de la base du VD (N: 25-41 mm)
- * STDVD/STDVG (N: < 0,6)
- * Index d'excentricité du VG (N: < 1,1)
- Recherche d'une dyskinésie septale

Fonction systolique du VD*

=> Contractilité globale

- FEVD 3D ($P < 45 \%$)
- FRSVD ($P < 35 \%$)
- Index de Tei en Doppler tissulaire > ($P < 0,54$)

=> Contractilité régionale

- TAPSE ($P < 17 \text{ mm}$)
- Onde S' ($P < 9,5 \text{ cm/sec}$)
- ST strain de la paroi libre du VD < 20 % (valeur absolue), désynchronisation du VD

Réouverture du foramen ovale

Épanchement péricardique (pathologique si présent)

Liste des abréviations :

DC : débit cardiaque

E : vitesse de l'onde diastolique précoce E ; **A** : vitesse de l'onde diastolique.

Ea : vitesse diastolique de la partie latérale de l'anneau mitral.

F : femme.

FEVG : fraction d'éjection du ventricule gauche

FEVD : fraction d'éjection du ventricule droit

FRSVD : fraction de raccourcissement de surface du VD

H : homme

HTP : hypertension pulmonaire

IC : Index cardiaque

N : valeur normale

OD : oreillette droite

OG : oreillette gauche

P : pathologique

PAPS : pression artérielle pulmonaire systolique

PAPM : pression artérielle pulmonaire moyenne.

POD : pression dans l'oreillette droite.

SC : surface corporelle

ST : speckle tracking.

STDVD : surface télédiastolique du ventricule droit

STDVG : surface télédiastolique du ventricule gauche

TAPSE : excursion systolique du plan de l'anneau tricuspideen

VCI : veine cave inférieure.

VD : ventricule droit

VG : ventricule gauche

Vmax IT : vitesse maximale de l'insuffisance tricuspideenne.

** les valeurs seuils des paramètres de la fonction systolique du VD correspondent aux valeurs seuils pathologiques.*



Conclusion

L'échocardiographie est un examen clé dans l'évaluation des patients dyspnéiques présentant une pathologie respiratoire avec comorbidités cardiovasculaires. Cet examen d'imagerie non invasif permet une analyse détaillée de la fonction cardiaque gauche mais aussi de la fonction cardiaque droite. L'étude du cœur droit ne doit pas être succincte lors d'un examen échocardiographique réalisé à la phase aiguë ou en état stable chez nos patients cardiorespiratoires. La demande d'examen auprès des cardiologues et/ou échocardiographistes doit être orientée vers une étude du remodelage des cavités droites, de la fonction systolique du ventricule droit pour une meilleure compréhension de la symptomatologie des patients et la meilleure prise en charge thérapeutique.

1. Hoeper MM, Bogaard HJ, Condliffe R, *et al.* Definitions and diagnosis of pulmonary hypertension. *J Am Coll Cardiol* 2013;62(25 Suppl):D42-50.
2. Haddad F, Hunt SA, Rosenthal DN, Murphy DJ. Right ventricular function in cardiovascular disease, part I: anatomy, physiology, aging, and functional assessment of the right ventricle. *Circulation* 2008;117:1436-48.
3. Haddad F, Doyle R, Murphy DJ, Hunt SA. Right ventricular function in cardiovascular disease, part II: pathophysiology, clinical importance, and management of right ventricular failure. *Circulation* 2008;117:1717-31.

L/R invert

4. Rudski LG, Lai WW, Afilalo J, *et al.* Guidelines for the echocardiographic assessment of the right heart in adults: a report from the American Society of Echocardiography endorsed by the European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2010;23:685-713.
5. Currie PJ, Seward JB, Chan KL, *et al.* Continuous wave Doppler determination of right ventricular pressure: a simultaneous Doppler-catheterization study in 127 patients. *J Am Coll Cardiol* 1985;6:750-6.
6. Chemla D, Castelain V, Provencher S, *et al.* Evaluation of various empirical formulas for estimating mean pulmonary artery pressure by using systolic pulmonary artery pressure in adults. *Chest* 2009;135:760-8.
7. Abbas AE, Fortuin FD, Schiller NB, Appleton CP, Moreno CA, Lester SJ. A simple method for noninvasive estimation of pulmonary vascular resistance. *J Am Coll Cardiol* 2003;41:1021-7.
8. Rajagopalan N, Simon MA, Suffoletto MS, *et al.* Noninvasive estimation of pulmonary vascular resistance in pulmonary hypertension. *Echocardiography* 2009;26:489-94.
9. Lamia B, Teboul JL, Monnet X, Richard C, Chemla D. Relationship between the tricuspid annular plane systolic excursion and right and left ventricular function in critically ill patients. *Intensive Care Med* 2007;33:2143-9.

10. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, *et al.* Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American society of echocardiography and the European association of cardiovascular imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2015;16:233-71.

11. Nagueh SF, Appleton CP, Gillebert TC, Marino PN, Oh JK, Smiseth OA, Waggoner AD, Flachskampf FA, Pellikka PA, Evangelisa A. Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography. *Eur J Echocardiogr.* 2009 Mar;10:165-193.

12. Lamia B, Maizel J, Ochagavia A, *et al.* Echocardiographic diagnosis of pulmonary artery occlusion pressure elevation during weaning from mechanical ventilation. *Crit Care Med* 2009;37:1696-701.

13. Gaynor SL, Maniar HS, Prasad SM, Steendijk P, Moon MR. Reservoir and conduit function of right atrium: impact on right ventricular filling and cardiac output. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2005;288:H2140-5.

14. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, *et al.* Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr* 2015;28:1-39.

15. Prakash R, Matsukubo H. Usefulness of echocardiographic right ventricular measurements in estimating right ventricular hypertrophy and right ventricular systolic pressure. *Am J Cardiol* 1983;51:1036-40.

16. Weyman A. Principles and practice of echocardiography. 3rd ed. Philadelphia: Lippincott, Williams and Wilkins; 2007.

17. Burgess MI, Mogulkoc N, Bright-Thomas RJ, Bishop P, Egan JJ, Ray SG. Comparison of echocardiographic markers of right ventricular function in determining prognosis in chronic pulmonary disease. *J Am Soc Echocardiogr* 2002;15:633-9.

18. Fremont B, Pacouret G, Jacobi D, Puglisi R, Charbonnier B, de Labriolle A. Prognostic value of echocardiographic right/left ventricular end-diastolic diameter ratio in patients with acute pulmonary embolism: results from a mono-center registry of 1,416 patients. *Chest* 2008;133:358-62.

19. Reynertson SI, Kundur R, Mullen GM, Costanzo MR, McKiernan TL, Louie EK. Asymmetry of right ventricular enlargement in response to tricuspid regurgitation. *Circulation* 1999;100:465-7.

20. Tei C, Dujardin KS, Hodge DO, *et al.* Doppler echocardiographic index for assessment of global right ventricular function. *J Am Soc Echocardiogr* 1996;9:838-47.

21. Kaul S, Tei C, Hopkins JM, Shah PM. Assessment of right ventricular function using two-dimensional echocardiography. *Am Heart J* 1984;107:526-31.

22. Forfia PR, Fisher MR, Mathai SC, *et al.* Tricuspid annular displacement predicts survival in pulmonary hypertension. *Am J Respir Crit Care Med* 2006;174:1034-41.

23. Lindqvist P, Waldenström A, Henein M, Mörner S, Kazzam E. Regional and global right ventricular function in healthy individuals aged 20-90 years: a pulsed Doppler tissue imaging study: Umea General Population Heart Study. *Echocardiography* 2005;22:305-14.

24. Reisner SA, Lysyansky P, Agmon Y, Mutlak D, Lessick J, Friedman Z. Global longitudinal strain: a novel index of left ventricular systolic function. *J Am Soc Echocardiogr* 2004;17:630-3.

- 25.** Leitman M, Lysyansky P, Sidenko S, *et al.* Two-dimensional strain-a novel software for real-time quantitative echocardiographic assessment of myocardial function. *J Am Soc Echocardiogr* 2004;17:1021-9.
- 26.** Tanabe M, Lamia B, Tanaka H, Schwartzman D, Pinsky MR, Gorcsan J 3rd. Echocardiographic speckle tracking radial strain imaging to assess ventricular dyssynchrony in a pacing model of resynchronization therapy. *J Am Soc Echocardiogr*. 2008;21:1382-8.
- 27.** Lamia B, Tanabe M, Kim HK, Johnson L, Gorcsan J 3rd, Pinsky MR. Quantifying the role of regional dyssynchrony on global left ventricular performance. *JACC Cardiovasc Imaging* 2009;2:1350-6.
- 28.** Lamia B, Tanabe M, Tanaka H, Kim HK, Gorcsan J 3rd, Pinsky MR. Left ventricular systolic torsion correlates global cardiac performance during dyssynchrony and cardiac resynchronization therapy. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2011;300:H853-8.
- 29.** Lamia B *et al.* *Int J Cardiovasc Imaging* 2017;33:1331-39.
- 30.** Ruan Q, Nagueh SF. Clinical application of tissue Doppler imaging in patients with idiopathic pulmonary hypertension. *Chest* 2007;131:395-401.
- 31.** Vonk-Noordegraaf A, Haddad F, Chin KM, *et al.* Right heart adaptation to pulmonary arterial hypertension: physiology and pathobiology. *J Am Coll Cardiol* 2013;62(25 Suppl):D22-33.

