



P.L. MASSOURE¹, S. LAFITTE², J.M. CHEVALIER¹, R. ROUDAUT²

¹Hôpital des Armées Robert Picqué, BORDEAUX.

²Hôpital Cardiologique Haut-Lévêque, BORDEAUX.

Mesure pratique de la PISA

Toute évaluation échocardiographique comporte une analyse qualitative et une analyse quantitative ou semi-quantitative indissociables pour porter un diagnostic (lésion, mécanisme, gravité).

La méthode de la PISA (Proximal Isovelocity Surface Area) est une méthode d'évaluation quantitative simple et fiable décrite il y a plus de 15 ans [1]. Son utilisation est effectuée en routine et simplifiée par les progrès des appareils d'échocardiographie en termes d'imagerie, de réglages et de calculs intégrés.

■ QU'EST-CE QUE LA PISA ?

La PISA correspond en français à ce que l'on appelle la zone de convergence. Il s'agit de la zone de convergence (ZC) d'un flux passant à travers un orifice. Adapté au cœur, cette ZC correspond aux courants sanguins passant à travers un orifice comme "le flot d'une baignoire se vidant à travers la bonde" : il se crée donc une "demi-sphère" (sous réserve d'un orifice circulaire plan) constituée en fait d'une succession d'hémisphères concentriques de rayon décroissant mais correspondant chacun à des vitesses de plus en plus élevées au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'orifice de vidange.

A chacun de ces hémisphères correspond donc une vitesse donnée égale en tout point du même hémisphère : c'est ce que l'on appelle un hémisphère d'isovitesse. Par principe de continuité (conservation de la masse : en deux points distincts d'une conduite, un flux continu garde la même masse volumique), le débit au niveau d'un hémisphère d'isovitesse est égal au débit au niveau de l'orifice de vidange.

■ VALIDATION DES MESURES RECUEILLIES

Pour valider les mesures recueillies par la méthode PISA, il faut rappeler brièvement les calculs qui permettent d'obtenir la surface de l'orifice et du volume sanguin passé à travers l'orifice étudié (orifice valvulaire ou communication intercavitaire) :

1. La zone de convergence est donc une zone délimitée par un hémisphère dont on mesure le **rayon (R)** en partant du plan de l'orifice et du centre de l'hémisphère.

2. La vitesse (V_a) au niveau de l'hémisphère (*fig. 1*) dont on vient de mesurer le rayon (R) est la **vitesse d'aliasing** (entre 20 et 40 cm/s), réglée en déplaçant vers le bas la ligne de base de la limite de Nyquist du spectre Doppler couleur lorsque le jet fuit la sonde d'échographie (*fig. 2*) et que l'on déplace vers le haut lorsque le jet vient vers la sonde (*fig. 3 et 4*). Ce réglage de la vitesse d'aliasing entre 20 et 40 cm/s permet d'obtenir des hémisphères d'isovitesse réellement hémisphériques rendant la mesure valide (l'hypothèse d'une zone de convergence hémisphérique n'est plus valide pour des V_a trop élevées ou trop faibles).

3. On calcule la surface (S_a) de l'hémisphère d'isovitesse à partir de son rayon R ($S_a = 2\pi R^2$). On multiplie S_a par V_a pour obtenir le débit instantané (Q_a) au niveau de l'hémisphère qui, par principe de continuité, est égal au **débit maximal instantané au niveau de l'orifice** (Q_o).

Donc : $Q_a = Q_o = 2\pi R^2 \times V_a$.

4. Le débit est le produit d'une surface par une vitesse. Le débit à travers l'orifice (Q) est donc le produit de la surface de l'orifice (S_o) par la vitesse à travers l'orifice (V) : $Q_o = S_o \times V$. Cette vitesse correspond en fait à la vitesse maximale (Dop-

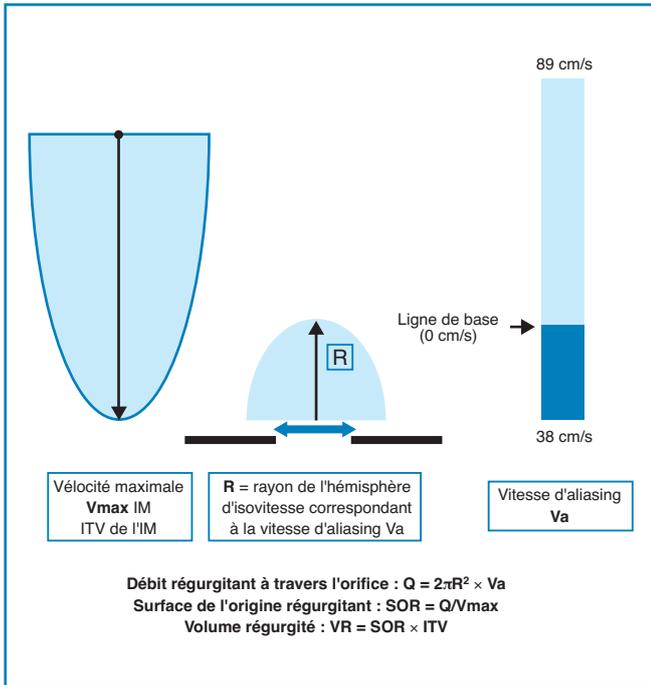


Fig. 1 : Schéma de la zone de convergence et calculs des paramètres obtenus (exemple de l'insuffisance mitrale IM).

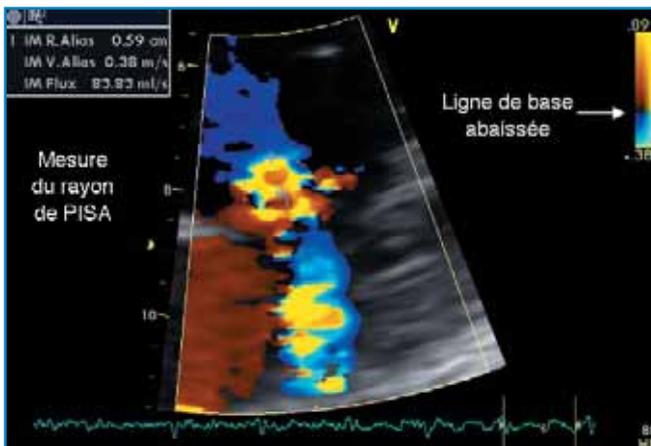


Fig. 2 : Première étape de l'évaluation d'une insuffisance mitrale par méthode PISA: zoom sur la zone étudiée, réduction de la largeur de la fenêtre Doppler couleur, réglage de la vitesse d'aliasing entre 40 et 20 cm/s (ici 38 cm/s) et mesure du rayon de l'hémisphère d'isovitesse correspondant ($R = 0,59$ cm).

pler continu) du flux à travers l'orifice (V_{max}). On en déduit la **surface de l'orifice** : $So = Q_0/V_{max}$ (fig. 1).

5. Le volume passé à travers l'orifice (V_0) est le produit de So par l'intégrale temps vitesse (ITV) du flux à travers l'orifice : $V_0 = So \times ITV$. Cette mesure est une approximation, car le débit (Q_0) et la surface (So) sont mesurés à un instant "t" reflétant des valeurs instantanées, alors que l'ITV du flux à travers l'orifice

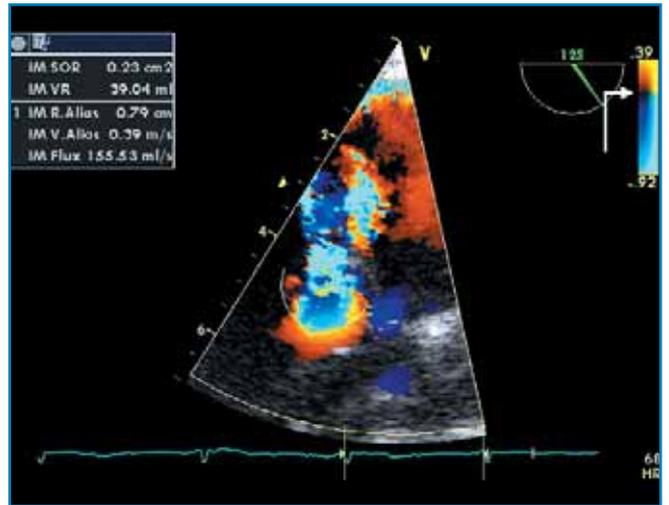


Fig. 3 : Lorsque le jet analysé vient vers la sonde (ici évaluation d'un insuffisance mitrale en ETO à 125°), il faut déplacer la ligne de base vers le haut (flèche) et garder une vitesse d'aliasing entre 20 et 40 cm/s (ici 39 cm/s).

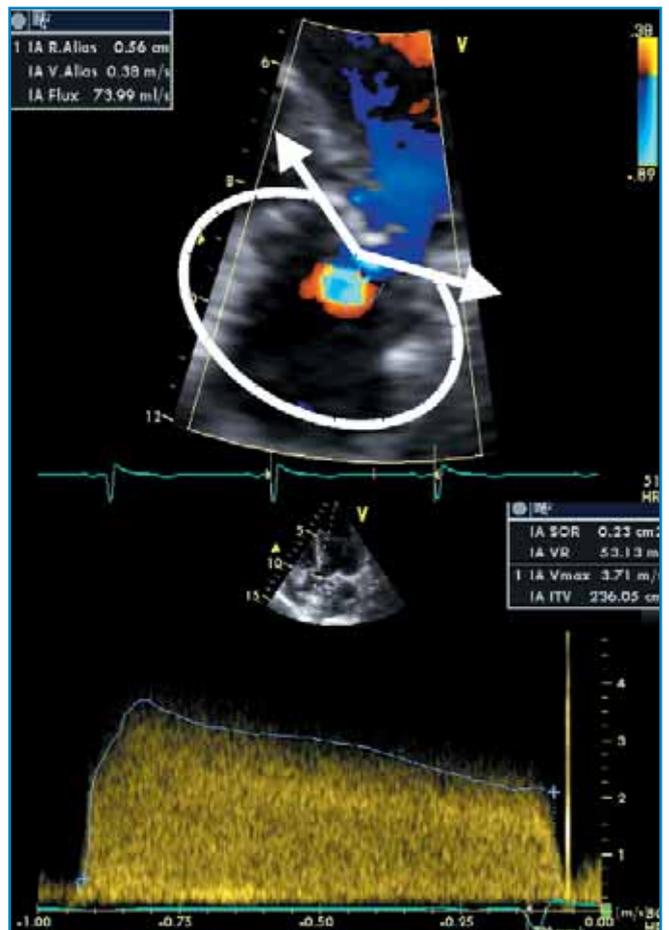


Fig. 4 : L'application de la méthode PISA à l'insuffisance aortique avec correction d'angle ($\alpha = 210^\circ$) permet de calculer une surface de l'orifice régurgitant à $0,17$ cm² (alors que l'appareil calcule 23 mm² sans correction d'angle). Le volume régurgité est alors de 40 mL.

“intégrer” les variations du flux durant tout un cycle. La surface S_0 (à l’instant t) est considérée comme une surface moyenne au cours du cycle pour calculer V_0 , d’où l’approximation.

Les mesures peuvent être réalisées par voie transthoracique ou transœsophagienne. Il est nécessaire de répéter et de moyenner les mesures. Pour réaliser une bonne mesure, il faut se mettre en mode Doppler couleur, régler sa vitesse d’aliasing (V_a) et “zoomer” sur l’orifice étudié. La V_a doit être inférieure de 5 à 10 % de la V_{max} du flux étudié pour ne pas sous-estimer le débit au niveau de l’hémisphère d’isovitesse correspondant (entre 20 et 40 cm/s). Toutes les mesures doivent être réalisées au même temps du cycle cardiaque (par exemple en mésosystole pour une fuite mitrale) et en utilisant les mêmes unités. Les mesures doivent être précises, car le rayon R de PISA est porté au carré et les valeurs sont multipliées (et donc les erreurs aussi). Les échographes actuels permettent de calculer automatiquement la surface de l’orifice : il suffit de déterminer R et V_{max} . Parfois, la base de l’hémisphère d’isovitesse n’est pas plane, mais présente une angulation (α). Les mesures sont alors corrigées en fonction de cette angulation : $Q_0 = 2\pi R^2 \times V_a \times (\alpha/180)$.

Sans rentrer dans les détails, les limites de la technique sont liées à la configuration anatomique de l’orifice étudié et à la détermination de la V_a (une V_a trop basse surestime les mesures et trop haute les sous-estime). En pratique, la mesure peut être considérée comme valide quand on obtient un hémisphère homogène, symétrique, non déformé et centré sur l’orifice.

■ APPLICATIONS

La PISA est une méthode de quantification des flux à travers un orifice. C’est surtout une méthode rapide, simple, fiable et réalisable au repos et à l’effort, en FA et en présence de valvulopathies complexes (fuite et sténose associée). Elle est principalement utilisée pour les valvulopathies (régurgitantes mitrales, aortiques et tricuspides ; fuites paraprothétiques ; sténose mitrale) ainsi que l’estimation des shunts de communication interventriculaire ou interauriculaire (que nous ne détaillerons pas ici).

1. – Repères pratiques dans l’insuffisance mitrale (IM)

Du fait de sa fréquence et des possibilités thérapeutiques en constant progrès (plastie...), l’IM est la valvulopathie qui a été le plus étudiée par la méthode de la PISA [2]. Les calculs du débit régurgité (Q_r) de la surface de l’orifice régurgitant (SOR)

- ▶ La méthode PISA (Proximal Isovelocity Surface Area) est une méthode d’analyse quantitative fiable et reproductible essentielle pour le diagnostic de gravité des valvulopathies.
- ▶ La vitesse d’aliasing doit être ajustée entre 20 et 40 cm/s afin d’obtenir une zone de convergence la plus proche possible d’un hémisphère.
- ▶ Les limites sont liées au choix de la vitesse d’aliasing (trop basse = surestimation, trop haute = sous-estimation), à la géométrie de l’orifice (appliquer alors une correction d’angle) et au “confinement” de la zone de convergence par les structures adjacentes.

Mesures	Insuffisance mitrale	Insuffisance aortique	Insuffisance tricuspide
SOR	≥ 40 mm ²	≥ 30 mm ²	≥ 40 mm ²
VR	≥ 60 mL	≥ 60 mL	≥ 40 mL
FR	≥ 50 %	≥ 50 %	-

SOR : surface de l’orifice régurgitant, VR : volume régurgité, FR : fraction de régurgitation.

Tableau 1 : Indices de sévérité des valvulopathies régurgitantes obtenus par la méthode de la PISA d’après des recommandations récentes [6].

et du volume régurgité (V_r) sont devenus des critères incontournables de sévérité de cette valvulopathie (**tableau 1**).

Avec ces résultats, on peut estimer la fraction de régurgitation $FR = V_r/V_r + VES$ ($VES = \text{volume d’éjection systolique} = \text{surface sous-aortique} \times \text{ITV sous-aortique}$). Les résultats sont peu dépendants des conditions de charge.

Les difficultés de la méthode sont les fuites par prolapsus (jet excentré). Une correction d’angle peut être apportée et on peut également jouer sur la vitesse d’aliasing pour réduire la “boule de PISA” si elle est tronquée par les parois ventriculaires (confinement de la ZC). En présence de plusieurs jets d’IM (fuite bi-commissurale par exemple), on mesure le rayon de chaque ZC ($R_1, R_2...$) et on calcule le Q_r par la formule $Q_r = 2\pi \times V_a \times (R_1^2 + R_2^2 + ...)$; on obtient ainsi une SOR fictive qui représente la somme des orifices régurgitants. L’enveloppe du flux Doppler continu permet de préciser le temps de la fuite.

Dans le cas d’une fuite holosystolique (condition requise de validité des mesures), le rayon de PISA et la V_{max} de l’IM sont mesurés en mésosystole (**fig. 2 et 5**). Les calculs de Q_r et de la SOR sont des mesures instantanées à un instant “ t ”, et il faut donc se méfier des fuites non holosystoliques qui seraient alors surévaluées par le calcul de la SOR (mais cette erreur sera alors pon-

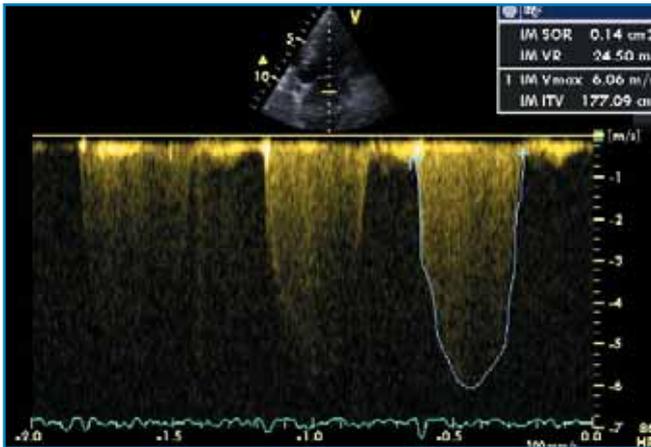


Fig. 5 : Deuxième étape de l'évaluation d'une insuffisance mitrale (IM) par méthode PISA : mesure de la vitesse maximale en mésosystole (V_{max}) du flux d'IM en Doppler continu (6,06 m/s) et calcul de la surface de l'orifice régurgitant (0,14 cm^2) – on mesure l'ITV de ce flux d'IM pour obtenir le débit régurgité (24,5 mL). En fibrillation auriculaire, il faut répéter et "moyenner" les mesures (au moins 5 mesures).

dérée par le calcul du Vr, l'ITV de la fuite étant réduite) et des fuites par prolapsus valvulaire (renforcement téléstolique). L'étude en TM des variations du rayon de PISA, avec possibilité de "moyenner" 4 mesures sur une même systole, a été proposée.

Signalons qu'il existe des méthodes de calcul simplifiées décrites pour l'évaluation de l'IM uniquement à partir du rayon R de PISA, particulièrement utiles lorsqu'il est difficile d'obtenir une enveloppe Doppler continu valide (jets excentrés) :

- $SOR = R^2/2$ (valide si $V_a = 40$ cm/s et $V_{max} = 5$ m/s) [3],
- $VR = 2\pi R^2 \times V_a/3,25 = Q/3,25$ (considérant que le rapport $V_{max} IM/ITV IM$ est constant) [4].

La quantification des variations du SOR à l'effort est validée et a une forte valeur pronostique, en particulier dans l'insuffisance cardiaque ischémique ($\uparrow SOR \geq 13$ mm^2 = mauvais pronostic pour P. Lancelotti, *Circulation*, 2003 ; 108 : 1713-7).

La méthode PISA est applicable pour les fuites paraprothétiques mitrales, mais ces fuites sont souvent excentrées et la ZC est tronquée ; dans ce cas, une correction d'angle est nécessaire.

2. – Repères pratiques dans le rétrécissement mitral (RM)

L'évaluation de la surface valvulaire dans le RM peut être faite par la méthode PISA avec une bonne corrélation avec les autres méthodes. L'avantage est qu'elle peut être réalisée en présence d'une IM, d'une insuffisance aortique et en FA (il faut alors moyenner au moins 5 mesures). En coupe apicale des 4 cavités, la ligne de base de la limite de Nyquist est déplacée vers le haut.

La ZC n'est pas un hémisphère à base plane, mais un cône à base tronquée en rapport avec "l'entonnoir mitral".

La principale source d'erreur réside dans la correction d'angle inévitable en rapport avec l'entonnoir mitral qui peut être très calcifié et difficile à délimiter. Cet angle α est le plus souvent situé entre 110° et 150° . On obtient donc : $Q = 2\pi R^2 \times V_a \times (\alpha/180)$, et la surface du RM = Q/V_{max} du flux transmitral.

3. – Repères pratiques dans l'insuffisance aortique (IA)

La méthode PISA est également valide pour l'IA. On déplace vers le haut la limite de Nyquist en coupe apicale et on place le zoom sur l'orifice aortique. La méthode est applicable si la valve n'est pas trop calcifiée : $SOR = Q_r \times V_{max}$ de l'IA. En cas d'ectasie importante de la racine aortique (anévrisme du sinus de Valsalva par exemple), la déformation majeure des sigmoïdes aortiques en forme d'entonnoir inversé avec un angle $\alpha > 180^\circ$ peut entraîner une sous-estimation du débit régurgité (**fig. 4**) ; dans le cas où $\alpha > 220^\circ$, il est préférable de renoncer à la mesure [5].

4. – Repères pratiques dans l'insuffisance tricuspide (IT)

L'application de la PISA à l'IT est également validée, mais les résultats sont moins précis, car il y a souvent plusieurs jets, et on observe une variation des rayons de PISA en fonction du cycle respiratoire. La mesure est similaire à ce qui est réalisé pour l'IM en mésosystole. Cependant, il est parfois nécessaire d'appliquer une correction d'angle (la ZC ne repose pas toujours sur une base plane). Du fait de vitesses parfois faibles de l'IT, il est souvent nécessaire d'abaisser la vitesse d'aliasing bien en dessous de 40 cm/s sans toutefois descendre en dessous de 20 cm/s pour que la mesure reste valide. ■

Bibliographie

1. BARGIGLIA GS, TRONCONI L, SAHN DJ *et al.* A new method for quantification of mitral regurgitation based on color flow Doppler imaging of flow convergence proximal to regurgitant orifice. *Circulation*, 1991 ; 84 : 1481-9.
2. ENRIQUEZ-SARANO M, MILLER FA JR, HAYES SN *et al.* Effective mitral regurgitant orifice area : clinical use and pitfalls of the proximal isovelocity surface area method. *J Am Coll Cardiol*, 1995 ; 25 : 703-9.
3. PU M, PRIOR DL, FAN X *et al.* Calculation of mitral regurgitant orifice area with use of a simplified proximal convergence method : initial clinical application. *J Am Soc Echocardiogr*, 2001 ; 14 : 180-5.
4. ROSSI A, DUJARDIN KS, BAILEY KR *et al.* Rapid estimation of regurgitant volume by the proximal isovelocity surface area method in mitral regurgitation : Can continuous-wave Doppler echocardiography be omitted ? *J Am Soc Echocardiogr*, 1998 ; 11 : 138-48.
5. TRIBUILLOY CM, ENRIQUEZ-SARANO M, FETT SL *et al.* Application of the proximal flow convergence method to calculate the effective regurgitant orifice area in aortic regurgitation. *J Am Coll Cardiol*, 1998 ; 32 : 1032-9.
6. AHA/ACC 2006 guidelines for the management of the patient with valvular heart disease. *Circulation*, 2006 ; 114 : 84-231.