

# CATHÉTÉRISME CARDIAQUE

## INTRODUCTION

Le cathétérisme cardiaque est une méthode d'exploration relativement ancienne. Il y a plus d'un siècle, Chauveau introduisait par la veine jugulaire un cathéter dans le coeur d'un cheval et obtenait les premiers enregistrements de pressions endocavitaires. Mais ce n'est qu'en 1929 que Werner Forssman pratiquait sur lui-même le premier cathétérisme cardiaque humain. Durant la deuxième guerre mondiale, André Cournand et collaborateurs développèrent et codifièrent aux Etats-Unis les techniques du cathétérisme cardiaque droit et gauche. Depuis lors, le perfectionnement de ces techniques et les injections sélectives de produit de contraste dans les cavités cardiaques et les artères coronaires ont fait rapidement évoluer les connaissances sur les structures et le fonctionnement du coeur normal et pathologique.

## INDICATIONS DES EXPLORATIONS HEMODYNAMIQUES

Les circonstances dans lesquelles on peut être mené à demander un cathétérisme et/ou une angiographie sont multiples et peuvent être schématiquement résumées comme suit :

### **1 - dans les cardiopathies valvulaires acquises,**

une exploration hémodynamique est souvent nécessaire pour poser l'indication opératoire et préciser les modalités du geste chirurgical (spécialement en cas d'atteinte polyvalvulaire et/ou d'âge > 40 ans pour contrôler le réseau coronaire).

### **2 - au cours des cardiopathies congénitales,**

il est habituellement nécessaire d'y recourir, afin de préciser la malformation dominante, de rechercher des lésions associées et d'en apprécier le retentissement, tous éléments nécessaires pour juger de la possibilité d'un traitement chirurgical et en déterminer le moment et le type.

### **3 - dans les cardiopathies ischémiques,**

la coronarographie associée à la ventriculographie, en autorisant un bilan objectif des lésions, apparaît aujourd'hui comme un examen dont l'intérêt est capital. Ses risques, quoique minimes, doivent cependant la faire réserver dans un but diagnostique :

- aux douleurs gênantes, voire invalidantes, même si elles sont atypiques,
- aux cas, où ses résultats influenceront directement le traitement, c'est à dire pourront déboucher sur un geste chirurgical ou de cardiologie interventionnelle.

#### **4 - chez les malades, présentant des signes**

d'hypertension artérielle pulmonaire, ou une insuffisance cardiaque, dont l'origine est peu claire, une exploration hémodynamique est indiquée afin de ne pas méconnaître une lésion chirurgicalement curable.

#### **5 - après chirurgie cardiaque,**

et notamment lorsque ses résultats semblent imparfaits, un cathétérisme pourra révéler le dysfonctionnement d'une prothèse valvulaire, une altération de la fonction ventriculaire méconnue en pré-opératoire, et une coronarographie une thrombose secondaire d'un greffon.

### **TECHNIQUE DU CATHÉTÉRISME CARDIAQUE**

Le cathétérisme cardiaque consiste à introduire une sonde généralement opaque aux rayons X, dans les cavités cardiaques droites et/ou gauches. On peut ainsi :

- mesurer les pressions intra-vasculaires et intra-cardiaques,
- prélever des échantillons sanguins,
- injecter divers indicateurs pour mesurer le débit cardiaque et détecter un shunt intra-cardiaque,
- injecter des produits opaques permettant une étude morphologique et cinétique des différentes cavités et vaisseaux.

### **COMPLICATIONS DES EXPLORATIONS HÉMODYNAMIQUES**

Les progrès de la chirurgie cardiaque, la création des Unités de Soins Intensifs Coronariens ont entraîné ces dernières années une demande accrue d'explorations hémodynamiques, de plus en plus complexes sur des malades dans un état parfois critique. Il faut donc connaître parfaitement les risques inhérents à ces techniques et peser avec soin le bien-fondé de telles investigations.

La mortalité (%) de l'exploration hémodynamique (cathétérisme et coronarographie) varie avec l'âge, la cardiopathie en cause et son degré de décompensation, selon le tableau ci-dessous.

Mortalité globale (%)	<b>0,14</b>
Âge > 60 ans	0,25
Âge > 80 ans	0,8
Coronaropathies	
Maladie coronaire monotronculaire	0,03
Maladie tri-tronculaire	0,16
Sténose du tronc	0,86
Insuffisance cardiaque	
Classe I ou II de la NYHA	0,02
Classe III	0,12
Classe IV	0,67
Valvulopathies	0,28

En outre, sont considérés comme à haut risque de complications les patients atteints de: angine instable, infarctus ou oedème pulmonaire récent, suspicion de sténose du tronc coronaire gauche, insuffisance cardiaque stade III ou IV, sténose aortique serrée, hypertension artérielle pulmonaire.

Le risque global d'infarctus du myocarde est de 0,07 à 0,6 %  
d'accident vasculaire cérébral de 0,03 à 0,2 %  
d'arythmie sévère de 0,6 à 1,3 %

La fréquence des complications vasculaires majeures (occlusion nécessitant la chirurgie pour réparer une plaie artérielle ou faire une thrombectomie, hématome, pseudo-anévrisme, fistule artérioveineuse) est de 0,40 %. Ces complications locales sont plus fréquentes chez les sujets âgés, les insuffisants cardiaques et les obèses.

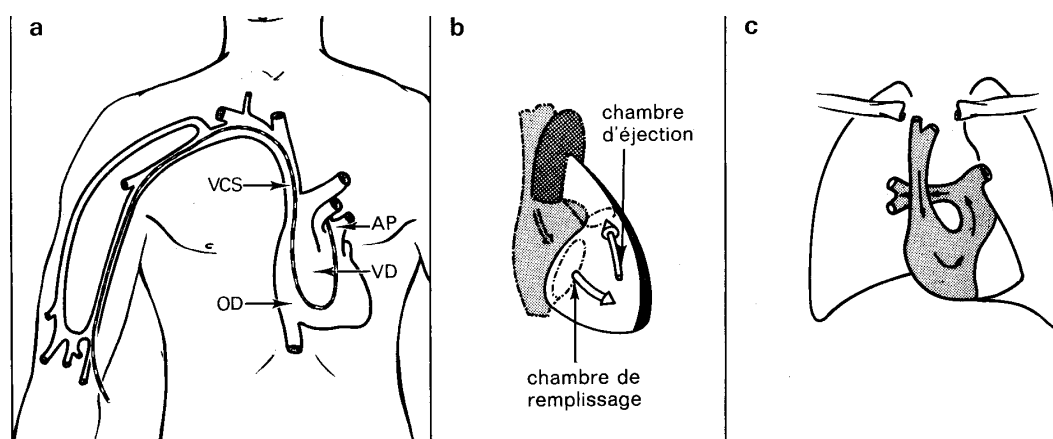
Les complications systémiques vont du simple malaise vagal à la réaction vagale sévère qui peut conduire à l'arrêt cardiaque. Cet accident est spécialement à redouter dans la sténose valvulaire aortique, l'hypertension artérielle pulmonaire primitive (ou par cardiopathie congénitale), la tamponnade. Dans ces 3 affections, le massage cardiaque externe est peu ou pas efficace. la réaction vagale est réversible avec l'atropine mais les réactions plus marquées requièrent le remplissage vasculaire. D'autres complications graves peuvent s'observer : perforation, infarctus du myocarde, réaction anaphylactique au produit de contraste iodé. En cas d'allergie connue, un traitement préventif doit être administré dans les jours précédents. Les complications mineures (4 %) sont l'hypotension transitoire vagale et la survenue d'une douleur angineuse de courte durée.

Après le cathétérisme, le patient doit être surveillé : phase d'hypotension, hémostase au point de ponction de l'artère fémorale, présence des pouls distaux, diurèse. Chez les patients qui ont une insuffisance rénale, le produit de contraste est néphrotoxique. La prévention la plus efficace de l'insuffisance rénale aiguë est la réhydratation par le serum salé : elle est plus efficace (11 % d'accidents) que le mannitol (28%) et le furosémide (40%). Chez les diabétiques, les hypoglycémiantes de la classe des biguanides (Glucinan, Stagid, Glucophage) doivent être interrompus 48 heures avant et repris 48 heures après l'exploration. Les risques d'insuffisance rénale aiguë sont faibles

si la quantité de produit de contraste utilisée pour la totalité de l'examen est limitée à 30 ml.

## CATHÉTÉRISME DES CAVITÉS DROITES (Figure 1)

L'exploration des cavités droites s'effectue sous anesthésie locale en introduisant le cathéter dans une veine superficielle (veine basilique ou céphalique, au pli du coude) ou dans une veine profonde (veine fémorale ou veine sous-clavière). La veine peut être soit dénudée chirurgicalement, soit ponctionnée par voie transcutanée selon la technique de Desilets-Hoffman. Cette méthode, actuellement la plus utilisée (car respectant le capital veineux), permet des cathétérismes itératifs. Elle nécessite l'emploi d'un " passe-cathéter" formé d'un guide métallique, d'un perforateur et d'une gaine. Après avoir ponctionné la veine avec l'aiguille, et introduit le guide dans la lumière, on retire l'aiguille et on glisse l'ensemble perforateur-gaine sur le guide, perforateur et guide sont ensuite retirés. Dans la gaine, qui seule reste en place dans la veine, on peut ainsi introduire successivement des sondes différentes, en fonction des nécessités propres à chaque examen. Les sondes peuvent être radio-opaques et introduites dans les cavités cardiaques en contrôlant leur progression sous amplicateur de brillance. Elles peuvent être également mises en place " à l'aveugle " au lit du malade (cathétérisme flottant) en surveillant en permanence l'électrocardiogramme et la morphologie des courbes de pression pour repérer la cavité dans laquelle se situe l'extrémité de la sonde. Cette technique utilisée depuis quelques années en réanimation a été perfectionnée par Swan et Ganz qui ont imaginé de placer à l'extrémité du cathéter un ballonnet. Celui-ci est gonflé dans l'oreillette droite, puis est emporté par le courant sanguin, ce qui facilite sa progression jusque dans l'artère pulmonaire. Lorsqu'il est gonflé dans une branche distale de cette artère, il en obstrue la lumière et on peut obtenir la pression pulmonaire "bloquée" qui est voisine de la pression capillaire pulmonaire.



**Figure 1** - (a) Trajet du cathéter dans les cavités droites: le cathéter est poussé de la veine basilique dans la veine cave supérieure (VCS), l'oreillette droite (OD) puis dans le ventricule droit (VD), le tronc de l'artère pulmonaire (AP) et habituellement dans la branche droite. (b) Dans le VD, le cathéter franchit la chambre

de remplissage puis dans la chambre d'éjection. (c) Boucle du cathéter pour atteindre l'AP (angiographie des cavités droites).

## CATHÉTÉRISME DES CAVITÉS GAUCHES (Figure 2)

Pour explorer les cavités cardiaques gauches, on utilise actuellement l'une des techniques suivantes :

### **- Cathétérisme rétrograde de SELDINGER**

Sous anesthésie locale, on ponctionne à l'aide d'un trocart de Cournand, l'artère fémorale deux centimètres en dessous de l'arcade crurale. Après avoir retiré le mandrin et s'être assuré de l'existence d'un jet de sang rouge, franchement pulsatile, on introduit dans la lumière de l'aiguille par son extrémité souple un guide métallique. Ce guide doit être poussé, sans forcer, jusque dans l'aorte abdominale, où l'on contrôle sa position sous écran radioscopique. L'aiguille est alors retirée et la sonde poussée sur le guide jusqu'à la racine de l'aorte.

Le franchissement des valves sigmoïdes doit s'effectuer avec douceur : la technique consiste à faire boucler le guide, dépassant de 1 à 2 cm l'extrémité de la sonde sur le plancher sigmoïdien ; lors d'un mouvement de retrait rapide, le guide se détend et franchit l'orifice valvulaire. On pousse alors la sonde jusqu'à la pointe du ventricule en retirant progressivement le guide.

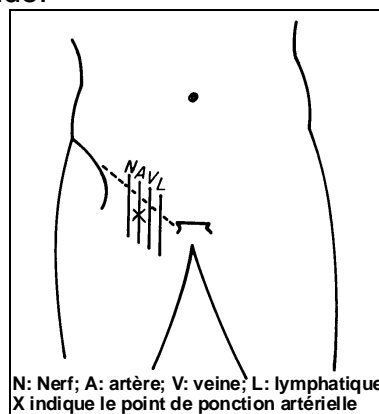
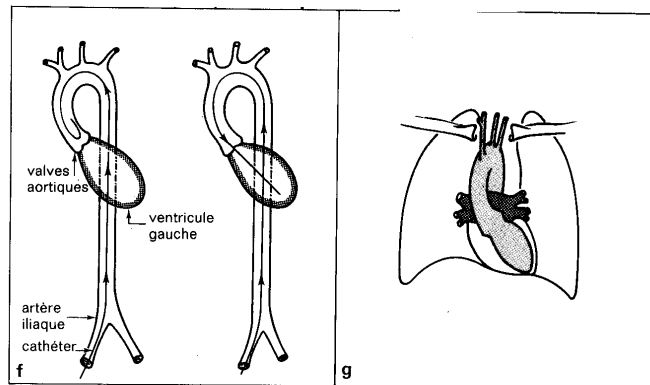


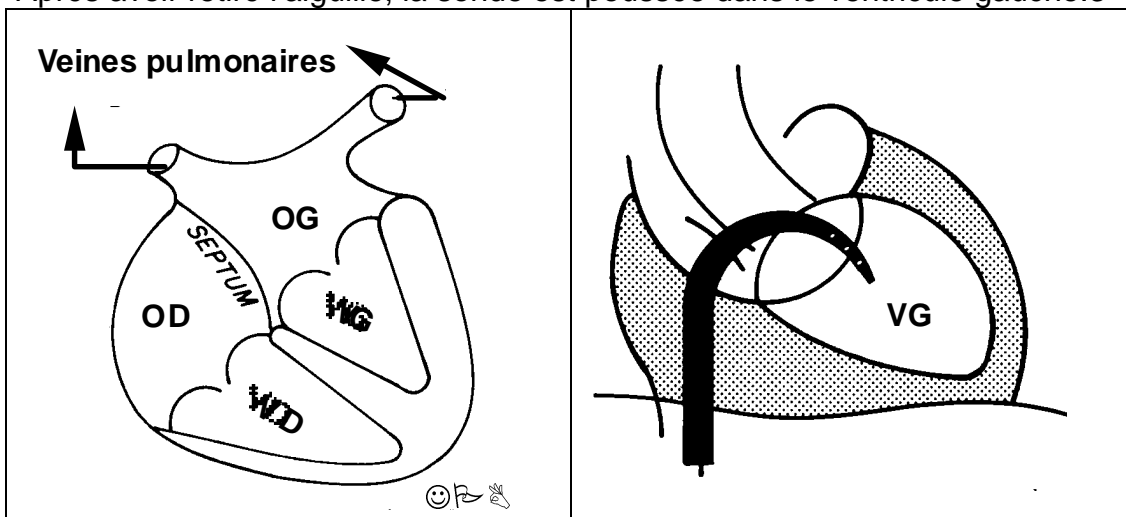
Figure 2- A , Repère de l'artère fémorale



**Figure 2-B.** Cathétérisme gauche rétrograde. f: franchissement des sigmoïdes aortiques; g, angiographie des cavités gauches

### **- Cathétérisme transeptal de ROSS**

Après ponction de la veine fémorale, selon la technique de Desilets-Hoffman, on pousse jusque dans l'oreillette droite une sonde préformée dont l'extrémité est recourbée pour faciliter son passage ultérieur dans le ventricule gauche. On introduit ensuite dans la sonde une longue aiguille fine qui présente un index externe, qui donne la direction de l'extrémité distale incurvée. En dirigeant cet index, en arrière et à gauche, selon un angle de 45° avec le plan horizontal, on recherche, aiguille rentrée, le contact septal au niveau de la fosse ovale. Lorsque les battements transmis à l'aiguille sont nettement perçus, on pousse doucement l'aiguille qui perfore le septum et on fait glisser sur l'aiguille la sonde qui passe de l'oreillette droite dans l'oreillette gauche. Après avoir retiré l'aiguille, la sonde est poussée dans le ventricule gauche.<sup>3</sup>



**Figure 3-** A gauche: schéma anatomique des cavités droites. A droite: le cathéter après avoir franchi le septum inter-auriculaire, puis la mitrale, pénètre dans le ventricule gauche (VG).

## **MESURE DES PRESSIONS INTRA-VASCULAIRES ET INTRA-CARDIAQUES**

Pour mesurer les pressions endocavitaires, on utilise actuellement des électromanomètres. Ces manomètres peuvent être situés à l'extérieur de l'organisme et le système électrique sensible reçoit la pression transmise par l'intermédiaire de la colonne liquidienne remplissant le cathéter. Dans ce cas, l'inertie de la colonne liquidienne et des phénomènes de résonance sont à l'origine de la distorsion dans la morphologie des courbes enregistrées.

On peut utiliser également des micromanomètres placés à l'extrémité de la sonde, et on introduit directement dans la circulation. Ces microcapteurs ont des caractéristiques de réponse en fonction de la fréquence bien supérieures à celles des systèmes conventionnels et donnent des courbes dénuées d'artéfacts qui peuvent servir à l'étude de la contractilité myocardique.

**TABLEAU I - Valeurs normales des pressions dans les cavités cardiaques (mm Hg)**

OREILLETTE DROITE Onde a 7 Onde v 5 Moyenne 5	CAPILLAIRE PULMONAIRE  Moyenne 12
VENTRICULE DROIT Systolique 30 Télédiastolique 5	OREILLETTE GAUCHE Onde a 7 Onde v 15 Moyenne 12
ARTÈRE PULMONAIRE Systolique 30 Diastolique 15 Moyenne 20	VENTRICULE GAUCHE Systolique 150 Télédiastolique 12

**TABLEAU II**  
Autres  
paramètres  
hémodynamiques

Consommation d'oxygène (VO <sub>2</sub> )	140 ± 20 ml/min/m <sup>2</sup>
Différence artério-veineuse (DAV)	4,4 ± 1,0 vol %
Index Cardiaque (IC)	3,1 l/min/m <sup>2</sup>
Résistances vasculaires pulmonaires (RPT)	200 ± 50 dynes.sec.cm <sup>-5</sup>
Résistances artériolaires pulmonaires	67 ± 30 dynes.sec.cm <sup>-5</sup>
Volume télédiastolique: angiographie	70 ± 20 ml/m <sup>2</sup>
Fraction d'éjection VG (FE) = (VTD - VTS) / VTD = VS / VTD	66 ± 0,8 %
Fraction Régurgitée (FR, %) = VS (angio) - VS (thermo) / VS (angio) VS (angio) nécessite la mesure des volumes ventriculaires et VS (thermo) = Q / fréquence	Normalement = 0 % Évalue le degré de la régurgitation mitrale ou aortique



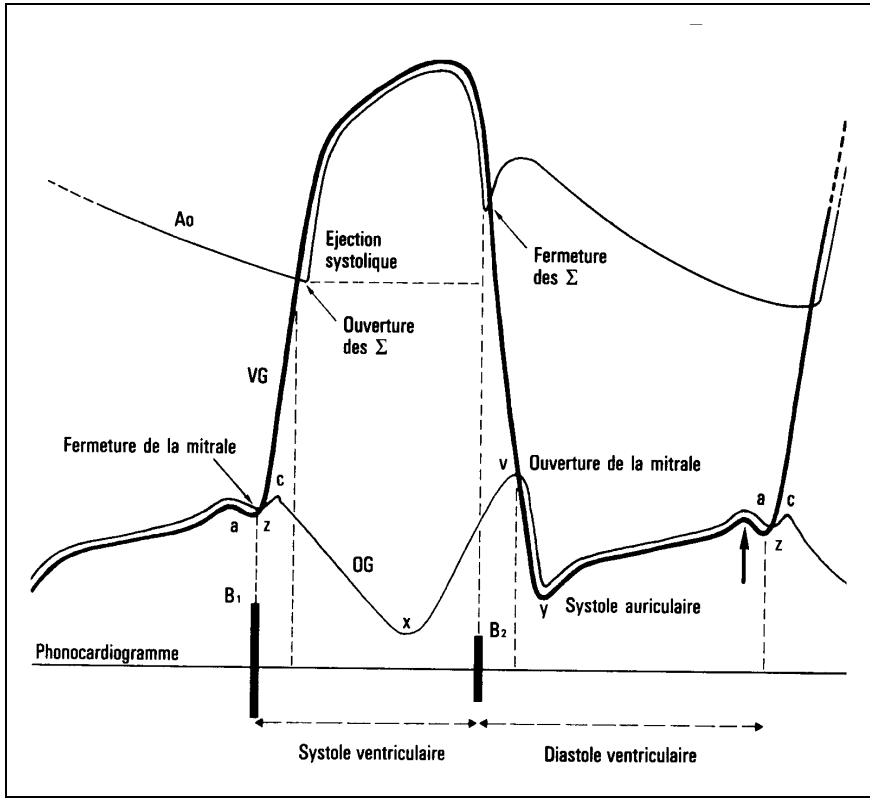
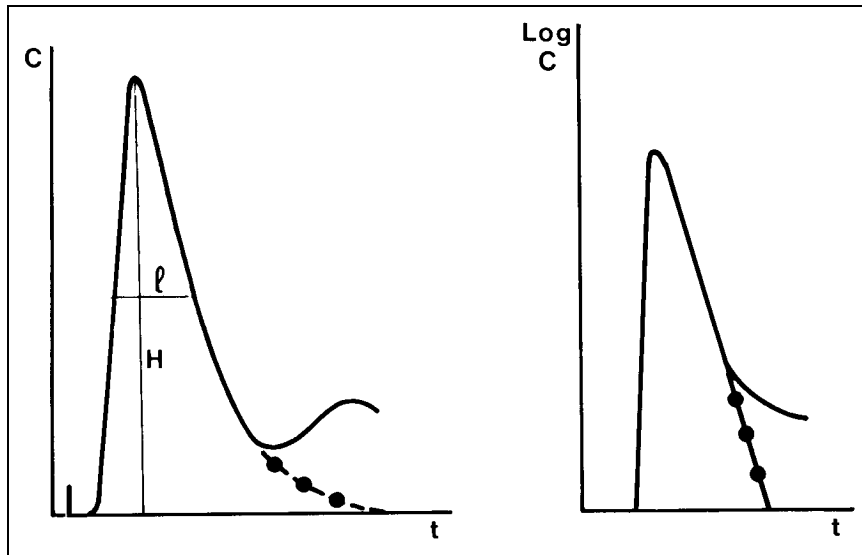


Figure 4- Schéma du cycle cardiaque.

## COURBES NORMALES DE DILUTION D'UN INDICATEUR : APPLICATIONS À LA MESURE DU DÉBIT CARDIAQUE.



**Figure 5** - A gauche, courbe de dilution normale obtenue par injection de l'indicateur dans l'AP et détection dans l'aorte. La partie terminale de la courbe n'est plus exponentielle du fait de la recirculation. On peut extrapoler cette partie de la courbe en reportant les valeurs en coordonnées semi-logarithmiques (à droite). c: concentration; t: temps

Actuellement, on utilise un indicateur froid qui est injecté dans l'oreillette droite et détecté dans l'AP grâce à une thermistance. Il n'y a pas de recirculation: la courbe se poursuit selon le pointillé et peut être exploitée directement, d'où la possibilité de mesurer la surface grâce à un micro. H est la hauteur du pic et L la largeur à mi-hauteur.

Calculer le débit cardiaque (l / mn)  $Q = 0,89 \times V \times \Delta\theta \times 60 / S \times v \times Fc$  où :

0. 89 : constante physique dépendant de la nature de l'injectat (ici, le sérum glucosé isotonique)

V : volume de l'injectat = 10 ml

$\Delta\theta$ : différence entre la température du patient (37°) et celle de l'injectat ( $i = 0^\circ$ )

S (surface de la courbe) évaluée selon la formule de Bradley :

$S = 0.856 \times H \times L$ , où : H : hauteur du pic ; L : largeur à mi-hauteur

v : vitesse de déroulement du papier = 4 cm/sec

Fc : facteur de calibration 1 cm = 0.10°

H = 7 cm

L = 1,2 cm

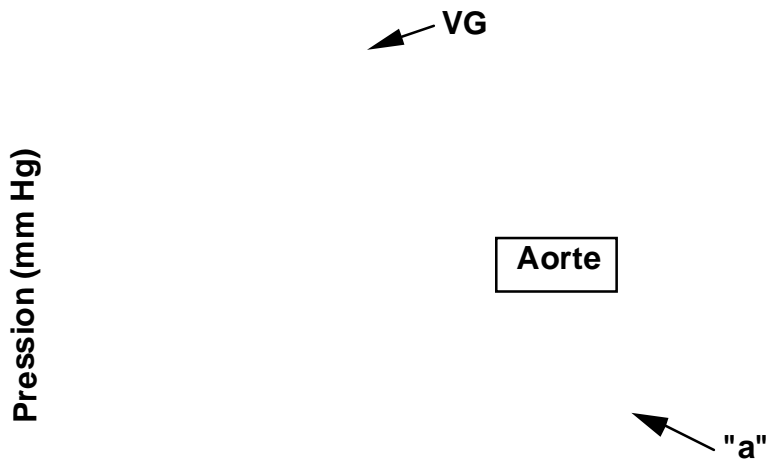
La surface corporelle est de 1,80 m<sup>2</sup>, calculer l'index cardiaque; celui-ci est-il normal ?

# DIAGNOSTIC ET QUANTIFICATION DES RÉGURGITATIONS VALVULAIRES

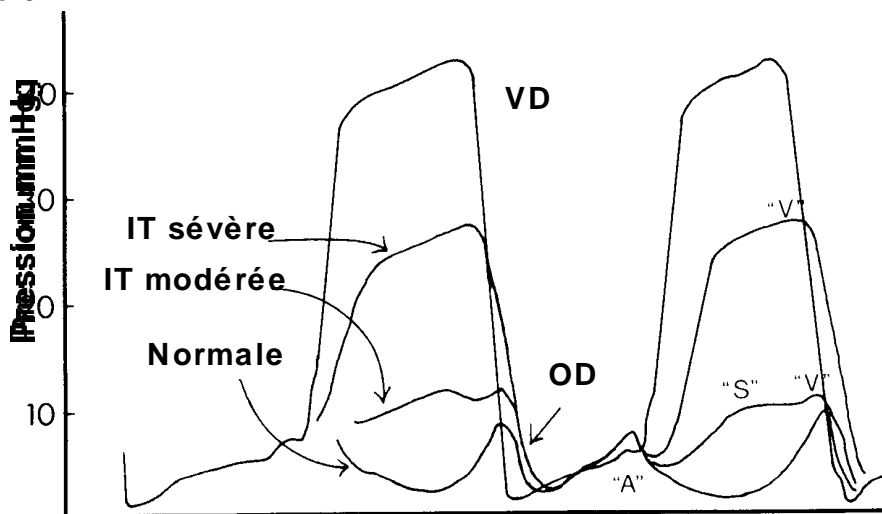
*Les régurgitations valvulaires sont :*

- 1) Suspectées sur la morphologie des courbes des pressions

**Figure 6- ENREGISTREMENT SIMULTANÉ DE LA PRESSION VENTRICULAIRE GAUCHE ET DE L'AORTE SUS-SIGMOIDIENNE.**



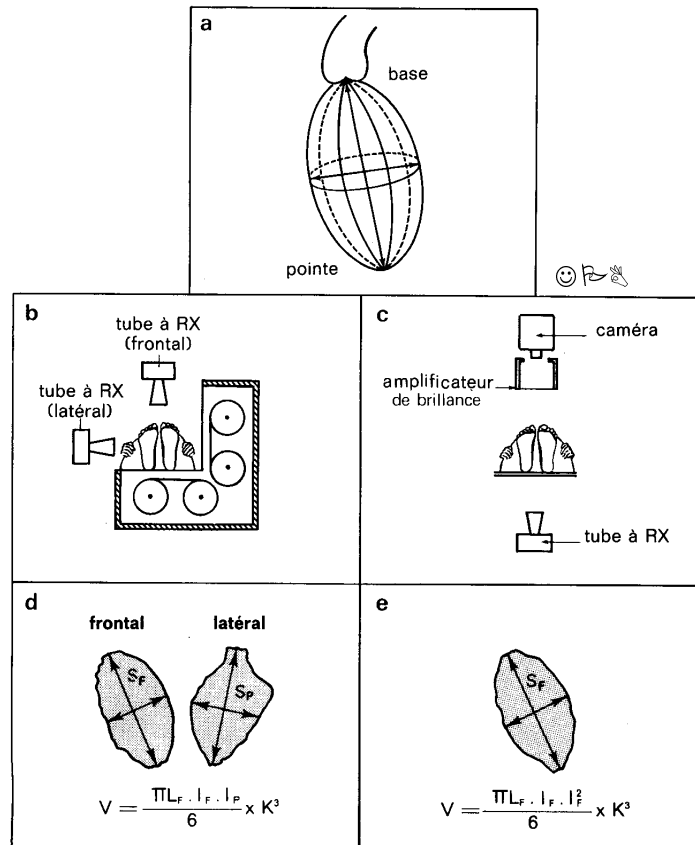
**Figure 6**



**Figure 7** - Enregistrement simultané de la pression ventriculaire et auriculaire droites à l'état normal et dans une insuffisance tricuspide (IT) de degré croissant. Le flux régurgitant "S" est à peine séparable de

l'onde "V" dans l'IT modérée et englobe complètement l'onde "V" dans l'IT massive. Dans ce dernier cas, la courbe de l'OD ressemble à celle du VD. Identifier le creux x et le creux y.

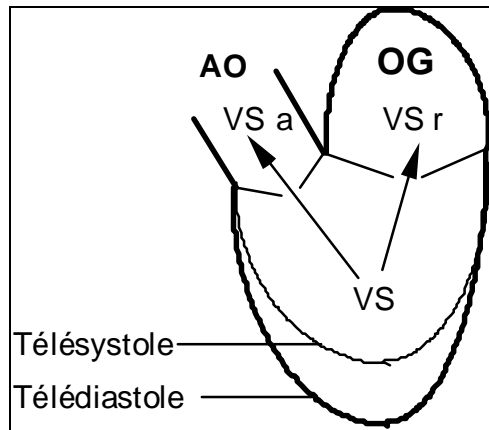
## 2) Affirmées et quantifiées par la cinéangiographie : Mesure des volumes ventriculaires gauches



**Figure 8** - Mesure des volumes ventriculaires gauches.

Elle est fondée sur l'assimilation du VG à un ellipsoïde de révolution (Fig 8 a) et la mesure de ses diamètres, si possible dans 2 incidences orthogonales (OAD et OAG ou face et profil, Fig 8 b ). En raison de la petite distance entre la source de RX et l'image, les Rx ne sont pas parallèles et il est nécessaire d'établir un facteur de correction (K) pour l'agrandissement et la distorsion de l'image.

En biplan,  $V = \frac{\pi}{6} \times [LOAD \times lOAD \times lOAG] \times K^3$ , où L et l sont le grand axe (base-pointe) et les petit axes menés par le milieu du grand axe. Actuellement, avec un PC, il est plus rapide et plus précis de planimètrer le surface (S) dans une ou les deux incidences, ce qui permet de calculer le volume par intégration selon la règle de Simpson. Lorsque la cavité VG n'est pas déformée, on peut se contenter d'une seule incidence (OAD, Fig 8 c et e); les mesures en biplan et monoplane sont concordantes ( $V_{\text{biplan}} = 0,951 V_{\text{mono}} - 3$ , avec  $r = 0,990$ ).



**Figure 9** - Représentation schématique d'une angiographie ventriculaire gauche en oblique antérieure droite chez un patient ayant une insuffisance mitrale : application à la mesure des volumes ventriculaires, de la fraction d'éjection et de la fraction réurgitée. VSa est le volume antérograde = débit cardiaque / fréquence cardiaque; VSr est le volume réurgité, c'est-à-dire la différence entre le VTD et le VTS mesurés en angiographie.

Chez un patient dont le volume télédiastolique et télésystolique sont respectivement de 220 ml et 80 ml : calculer le volume systolique (VS) et la fraction d'éjection (EF). La fréquence cardiaque est de 90/mn et le débit cardiaque mesuré par thermodilution de 4,5 l/mn, calculer le débit cardiaque réurgité (QR) et la fraction réurgitée (FR).

Réurgitation	Évaluation visuelle (subjective)	Grade	Fraction réurgitée (objective)
Minime	Opacification partielle de la cavité d'amont disparaissant en un battement	1 +	13 %
Légère	Opacification complète de la cavité d'amont dont la densité est < à celle de la cavité d'aval	2 +	28 %
Moyenne	Opacité complète de la cavité d'amont dont la densité est = à celle de la cavité d'aval	3+	45 %
Massive	Opacification complète de la cavité d'amont dont la densité est > à celle de la cavité d'aval	4 +	64 %

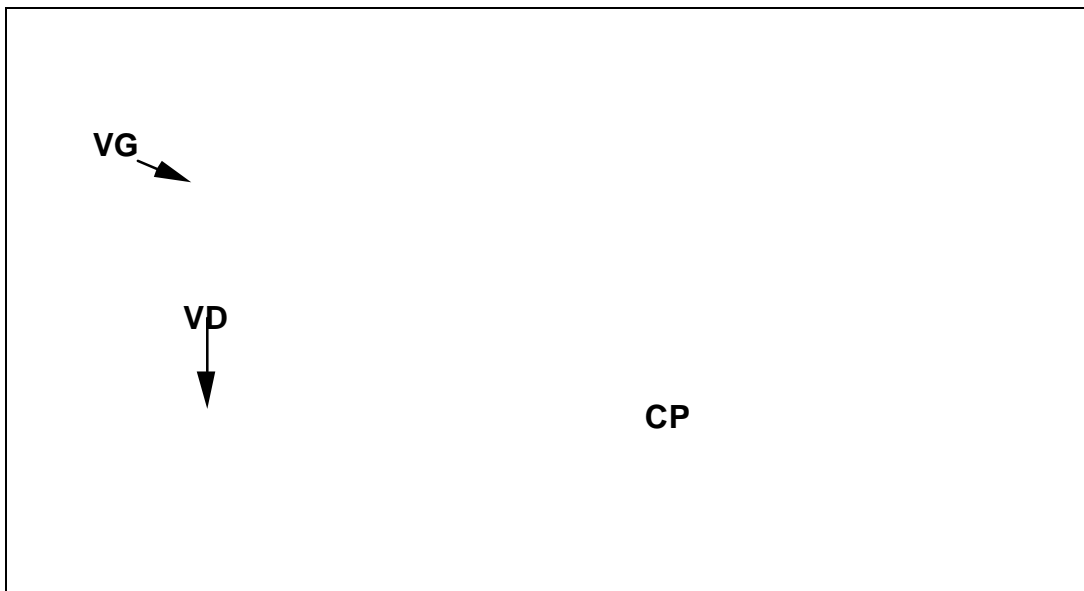
## DIAGNOSTIC ET QUANTIFICATION DES OBSTACLES AU REMPLISSAGE VENTRICULAIRE

### 1 - Limitation péricardique ou myocardique au remplissage ventriculaire

Le diagnostic hémodynamique de restriction diastolique repose sur:

\* L'aspect en dip-plateau (ou en racine carrée) de la courbe ventriculaire avec un creux y profond, suivi d'un plateau qui doit égaliser ou dépasser 30 % de la pression systolique du VD.

\* Tendance à l'égalisation des pressions diastoliques dans la petite circulation.  
( $POD = P_{tdVD} = PAPd = P_{cp} = P_{tdVG}$ )



**Figure 10** - Enregistrement simultané de la pression dans les ventricules (à gauche) et de la pression ventriculaire gauche et capillaire pulmonaire (à droite).

- Que remarquez-vous sur les courbes de pression VD et VG ?
- Quelle est la valeur de la pression méso et télédiastolique ventriculaire ?
- Quelle est la valeur du rapport pression plateau télédiastolique / pression systolique VD ?
- Comparer le niveau de la pression télédiastolique VG et VD et de la pression capillaire pulmonaire (CP).

### 2 - Obstacles valvulaires au remplissage ventriculaire

Le diagnostic repose sur la mise en évidence d'un gradient de pression de part et d'autre de la valve.

La quantification du barrage doit tenir compte du gradient de pression ( $\Delta P$ ) et du flux transvalvulaire (FV). La formule de Gorlin (voir figure 11) permet de calculer la surface fonctionnelle (S) de la valve rétrécie en fonction de ces 2 paramètres.

$S \text{ (cm}^2\text{)} = FV \text{ (ml/sec.)} / a \times \sqrt{\text{gradient}} \text{ (mmHg)}$   
a = constante expérimentale (0,85 x 44,5 = 38)  
FV = VS / PRD  
VS est le volume d'éjection systolique  
PRD est la durée du remplissage diastolique (seconde)

Exemple de calcul dans une sténose valvulaire mitrale

Débit cardiaque: 4200 ml/min;

Fréquence: 70 / min; VS = 4200 / 70 = 60 ml/ battement

Durée du remplissage par battement: 0,56 seconde / battement

Gradient diastolique CP - VG (CP: 20 et diastolique VG: 5) = 15 mmHg

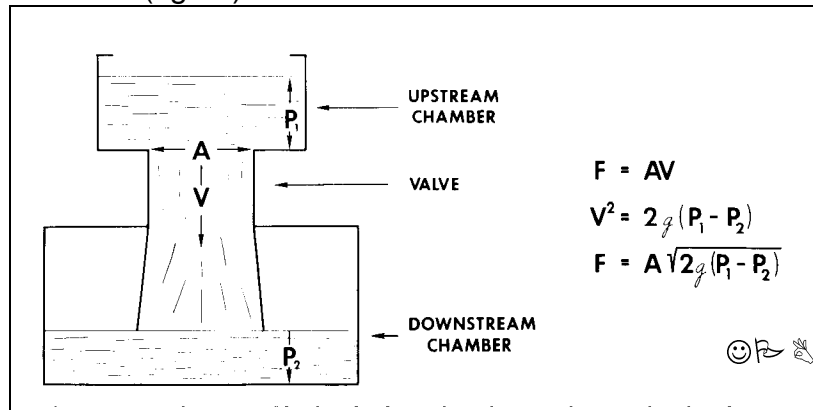
Flux mitral (ml/sec) = VS / Durée du remplissage

$$= 60 / 0,56 = 107 \text{ ml / sec}$$

Surface valvulaire mitrale = 107 / (38 x  $\sqrt{15}$ ) = 0,73 cm<sup>2</sup>

## DIAGNOSTIC ET QUANTIFICATION DES OBSTACLES À L'ÉJECTION DU VENTRICULE GAUCHE

Leur diagnostic repose sur la mise en évidence d'un gradient de pression. Leur localisation intra-ventriculaire, valvulaire, supra-valvulaire ou intra-aortique repose sur les données de la courbe de retrait et de l'angiographie sélective. Le degré de sévérité est évalué par le calcul de la surface orificielle par la formule de Gorlin dérivée du théorème de Toricelli (fig 11)



**Figure 11-** Calcul de la surface  $A$  d'un orifice.  $P_1$  est la pression d'amont et  $P_2$  la pression d'aval. Le flux  $F = A \times V$  où  $V$  est la vitesse du flux. D'après le théorème de Toricelli,  $F$  dépend de  $A$  et de  $\sqrt{2g(P_1 - P_2)}$  soit :  $\sqrt{1982\Delta P}$ .

A une constante près, c'est la formule de Gorlin :  $A = F / [44,5 \times \sqrt{\Delta P} \times k]$

Cette constante  $k$  est pour l'orifice mitral de 0,85 à condition de mesurer la durée du remplissage de façon précise (entre 2 sommets de l'onde  $v$ , voir figure 4), d'où  $44,5 \times 0,85 = 38$ . Elle est de 1,0 pour l'orifice aortique.

### Formule de Gorlin

$$S \text{ (cm}^2\text{)} = F \text{ (ml/sec.)} / b \sqrt{\text{gradient}} \text{ VG-Ao (mmHg)}$$

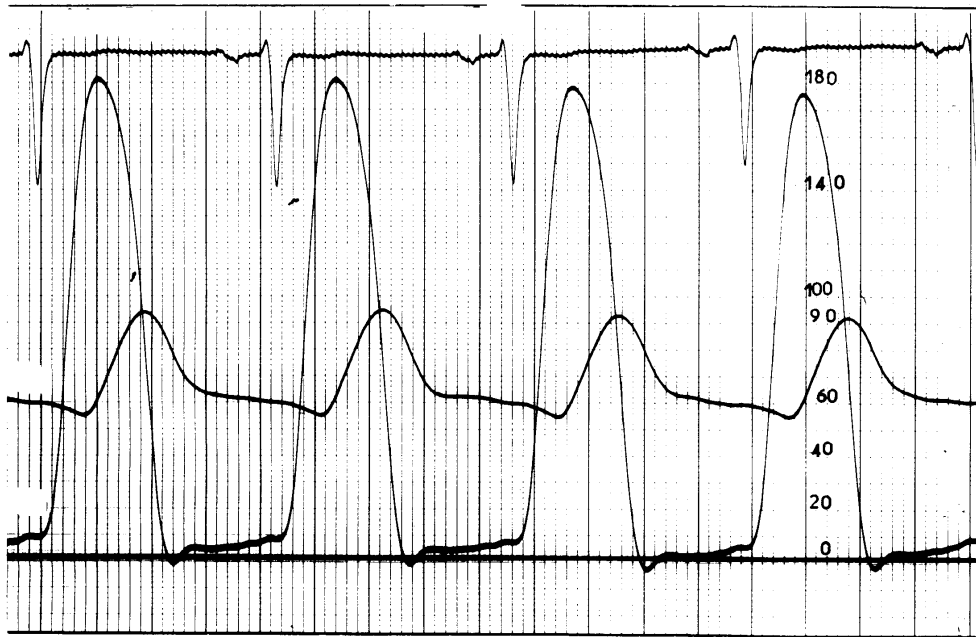
$$F = \text{Flux transvalvulaire} = \text{VS} / \text{ES} \text{ (ml / seconde)}$$

$$\text{VS} = \text{Débit cardiaque} / \text{fréquence cardiaque}$$

$$\text{ES} = \text{durée de l'éjection par battement (seconde)}$$

$$b = 44.5 \text{ (constante} = 1 \times 44,5\text{)}$$





**Fig 12-** Enregistrement simultané de la pression aortique (PAo) et de la pression ventriculaire gauche (PVG). Localiser l'ouverture (OS) et la fermeture (FS) des sigmoïdes aortiques. Désigner par une flèche ( $\Leftrightarrow$ ) le temps d'éjection systolique et ombrer le gradient de pression. Quel est votre diagnostic et pourquoi ? Sachant que :  $Q = 5.8$  l/mn,  $FC = 64$  mn,  $ES = 0,48$  s,  $G = 100$  mmHg, calculer la surface valvulaire aortique.

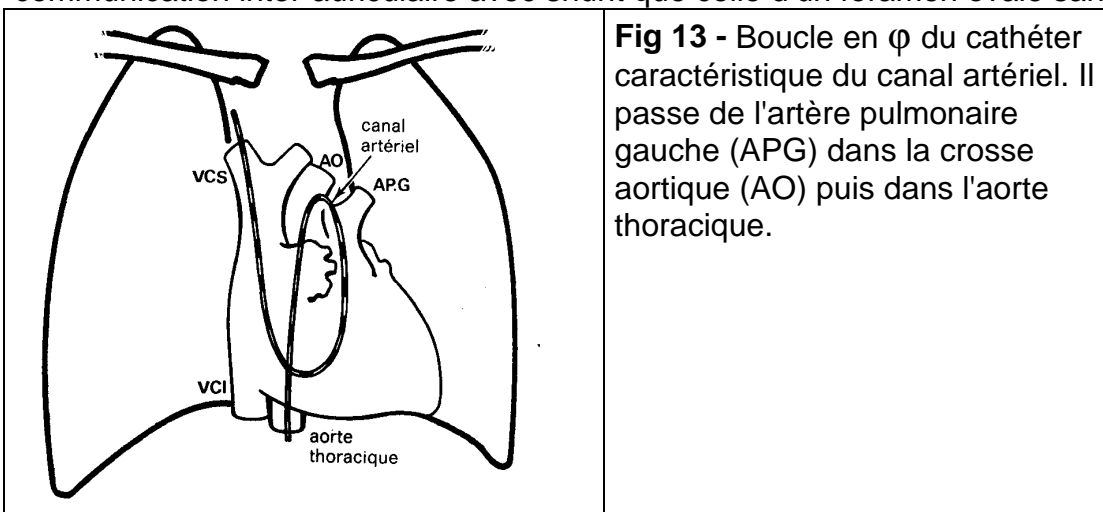
## DIAGNOSTIC ET QUANTIFICATION DES SHUNTS INTRA-CARDIAQUES

Le diagnostic des shunts intra-cardiaques repose sur une ou plusieurs des anomalies suivantes:

- Le trajet anormal du cathéter
- Les données de l'oxymétrie étagée
- Les courbes de dilution d'indicateur
- L'angiographie

### 1) Trajet anormal du cathéter (Figure 13)

Un trajet anormal du cathéter affirme l'existence d'une communication anormale. Ainsi le trajet en  $\phi$  de la sonde passant de l'artère pulmonaire dans l'aorte descendante témoigne de la persistance d'un canal artériel. La constatation d'un trajet anormal ne permet pas cependant de parler de shunt intra-cardiaque. Le passage d'un cathéter de l'oreillette droite dans l'oreillette gauche peut traduire aussi bien la présence d'une communication inter-auriculaire avec shunt que celle d'un foramen ovale sans shunt.



**Fig 13** - Boucle en  $\phi$  du cathéter caractéristique du canal artériel. Il passe de l'artère pulmonaire gauche (APG) dans la crosse aortique (AO) puis dans l'aorte thoracique.

### 2) Les données de l'oxymétrie étagée

Les prélèvements étagés d'échantillons sanguins dans les différentes cavités cardiaques permettent, en mesurant la teneur en oxygène (saturation et/ou contenu) d'en déduire la présence d'un shunt, d'en préciser le sens et le niveau. Il est nécessaire d'effectuer aussi rapidement que possible la série de prélèvements, de tenir compte des différences maximales normales entre les différentes cavités et d'exclure une contamination par une régurgitation valvulaire.

a - shunt gauche-droit

La constatation d'un enrichissement du contenu en oxygène du sang d'une cavité droite par rapport à la cavité située immédiatement en amont traduit la contamination du sang veineux par une quantité plus ou moins grande de sang artériel.

Dans l'*oreillette droite*, un enrichissement de deux volumes d'O<sub>2</sub> pour 100 ml de sang par rapport à une valeur théorique recalculée à partir des contenus de la VCS et de la VCI est nécessaire pour affirmer le shunt.

Il peut être dû à :

- \* une communication inter-auriculaire,
- \* un retour veineux pulmonaire anormal,
- \* une communication entre ventricule gauche et oreillette droite,
- \* une communication inter-ventriculaire associée à une insuffisance tricuspide,
- \* une rupture d'un sinus de Valsalva dans l'oreillette droite,
- \* une fistule entre artère coronaire et oreillette droite. Le diagnostic différentiel de ces anomalies nécessite l'utilisation conjointe d'autres techniques comme les courbes de dilution et la cinéangiographie sélective.

Dans le *ventricule droit*, un enrichissement de 1 volume % est suffisant pour affirmer la communication anormale. Il peut s'agir :

- d'une communication inter-ventriculaire,
- d'une rupture du sinus de Valsalva dans le ventricule droit,
- d'une fistule entre artère coronaire et ventricule droit,
- d'un canal artériel associé à une insuffisance pulmonaire.

Au niveau de l'*artère pulmonaire*, seul sang veineux mêlé, un enrichissement de 0.8 volume % est suffisant pour affirmer l'existence d'un canal artériel persistant, d'une fistule aorto-pulmonaire ou d'une CIV haut située.

#### b - shunt droit-gauche

Un shunt droit-gauche est présent si après une période de respiration en oxygène pur, la PaO<sub>2</sub> reste inférieure à 550 mmHg. Les autres causes de désaturation artérielle s'accompagnent d'une PaO<sub>2</sub> normale (650 mmHg) sous oxygène pur.

Le diagnostic de localisation des shunts droit-gauche par l'oxymétrie est rarement possible et nécessite des prélèvements étagés des cavités gauches, de l'oreillette gauche (ou à défaut du sang capillaire pulmonaire), du ventricule gauche, de l'aorte ascendante et thoracique.

#### 3) Courbes de dilution d'indicateur

Un shunt peut être mis en évidence par deux types de courbes de dilution :

- artérielle avec injections étagées dans les différentes cavités gauches et l'artère pulmonaire distale, et détection au niveau d'une artère périphérique.
- veineuse avec injection au niveau de l'artère pulmonaire distale (ou dans l'une des cavités gauches) et détection au niveau des différentes cavités droites.

L'indicateur actuellement utilisé est le froid (thermodilution).

#### a - shunt gauche-droit

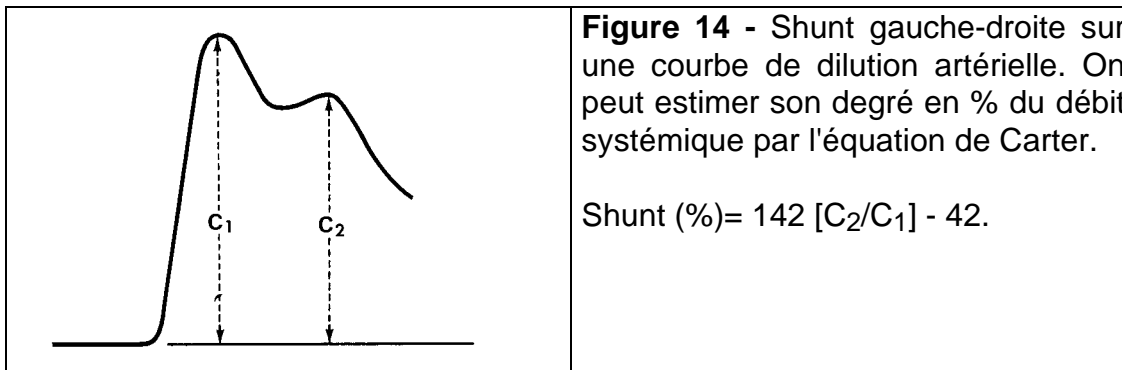
Il peut être détecté par les deux types de courbe de dilution.

- *courbe de dilution artérielle*

Le shunt provoque deux perturbations qui modifient la courbe :

- \* une augmentation du volume sanguin pulmonaire responsable d'une diminution du pic de concentration initiale.

- \* l'apparition d'un pic de recirculation précoce lié au shunt qui casse la partie descendante de la courbe.



En faisant des injections étagées, il est possible de localiser le shunt : la première cavité où la courbe de dilution est normale est située immédiatement en aval de la cavité pathologique. Cette technique permet de détecter un shunt de plus de 20 % du débit pulmonaire.

- *courbe de dilution veineuse*

Elle permet :

- \* d'affirmer le shunt en montrant un pic de concentration précoce précédant le pic de concentration maximale (portion ascendante de la courbe),

- \* de préciser le niveau du shunt : l'accident précoce est présent dans les cavités situées au niveau ou en aval du shunt, et absent dans la cavité située en amont.

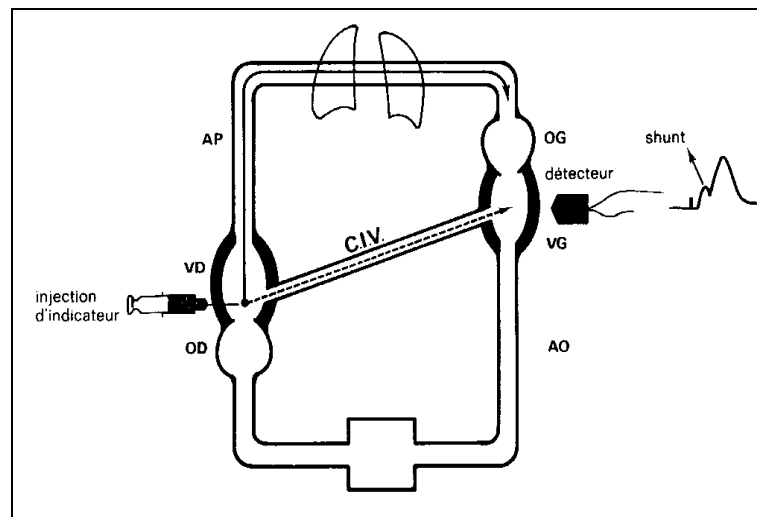
- \* de détecter un shunt gauche-droit représentant plus de 5 % du débit pulmonaire.



**Figure 15** - Shunt G-D dans une communication interventriculaire.

b - shunt droit-gauche

Il ne modifie que la courbe de dilution artérielle. Lorsque l'injection est faite en regard ou en amont du shunt, une fraction de l'indicateur gagne directement le coeur gauche sans passer par la circulation pulmonaire et détermine un pic de concentration initiale anormalement précoce, précédant le pic de concentration maximale. L'injection dans une cavité située en aval du shunt donne lieu à une courbe normale. Ainsi, le shunt peut être localisé par injections successives dans le coeur droit. Cette méthode est très sensible permettant la détection des shunts supérieurs à 5 % du débit systémique.



**Figure 16** - Shunt D-G dans une communication interventriculaire.

#### 4) L'angiocardigraphie

L'opacification des cavités cardiaques représente un des moyens les plus sûrs pour dépister ou confirmer les shunts intra-cardiaques. La mise en évidence d'un *shunt G-D* nécessite une injection sélective du produit de contraste dans la cavité d'où part le shunt. En cas d'impossibilité, l'injection dans l'artère pulmonaire opacifie en trois à cinq secondes successivement l'oreillette gauche, le ventricule gauche et l'aorte.

En cas de *shunt D-G*, le produit de contraste doit être injecté dans le coeur droit, de préférence dans la cavité d'où part le shunt, et en cas d'impossibilité, dans la cavité immédiatement en amont. La cinéangiographie matérialise mieux les shunts que la sériographie. Cette dernière doit cependant être préférée en cas de shunt D-G : les cardiopathies cyanogènes congénitales sont souvent complexes et nécessitent une étude anatomique précise. Le choix du lieu d'injection, de l'incidence et de la technique radiographique implique donc que l'on possède de solides éléments d'orientation sur le siège du shunt. Ces derniers sont fournis par l'oxymétrie, les courbes de dilution et d'éventuels trajets anormaux du cathéter.

#### Quantification des shunts intra-cardiaques

Elle peut se faire par l'oxymétrie ou les courbes de dilution.

### 1) Oxymétrie (Figure 17)

La quantification d'un shunt nécessite le calcul du débit pulmonaire (QP), du débit pulmonaire effectif (Qpe) et du débit systémique (Qs).

Le débit pulmonaire effectif représente la quantité de sang veineux périphérique soumis chaque minute à l'hématose. Il se calcule en utilisant la différence artério-veineuse entre le sang veineux pulmonaire (Cvp) et le sang prélevé dans la cavité située immédiatement en amont du shunt qui représente le sang veineux mêlé (Cv), par exemple les veines caves pour une CIA, l'oreillette droite pour une CIV, le ventricule droit pour un canal artériel.

$$Qpe = VO_2 / (Cvp - Cv).$$

Le shunt ne peut être calculé avec une certaine exactitude que si tous les prélèvements sont effectués pratiquement de façon simultanée. En effet, le sens et le débit des shunts varient d'un instant à l'autre. Des prélèvements trop éloignés dans le temps peuvent conduire à des calculs sans signification.

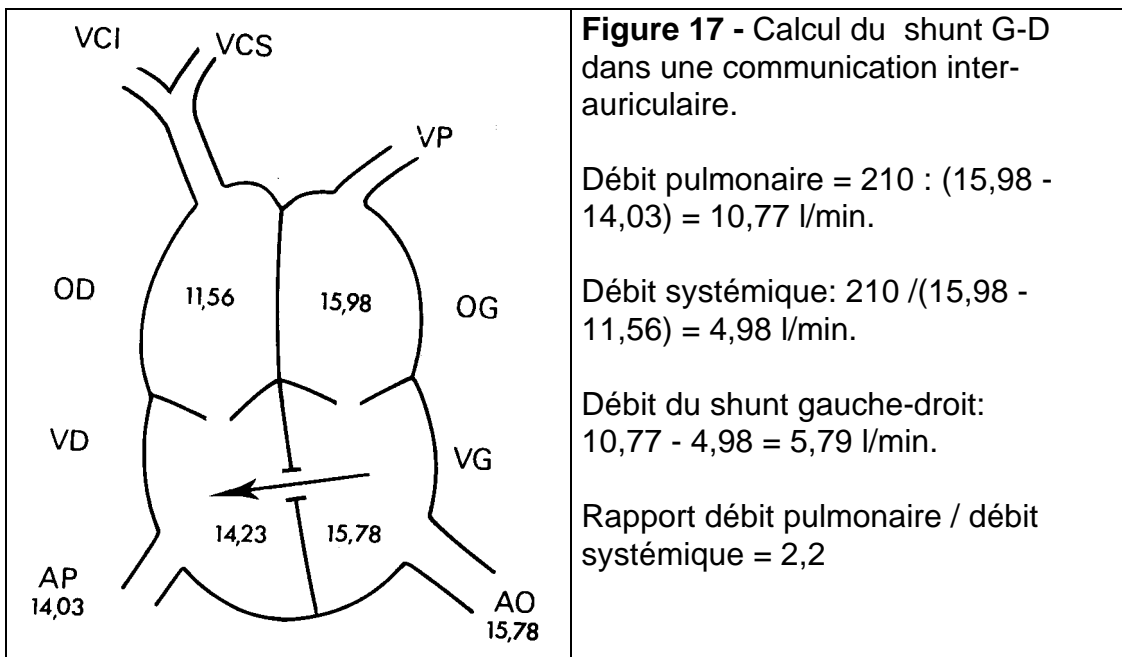
En l'absence de prélèvement direct, on peut estimer le contenu en O<sub>2</sub> du sang veineux pulmonaire à 98 % de la capacité. Pour déterminer le contenu du sang veineux mêlé lorsque le sang de l'artère pulmonaire est contaminé, il faut utiliser les équations de régression d'Elam et Oll à partir des contenus (C) des veines caves supérieure (vcs) et inférieure (vci) :

$$CVO_2 = 0.71 Cvcso_2 + 0.29 Cvcio_2.$$

Lorsque la VO<sub>2</sub> n'a pu être mesurée, il est encore possible d'apprécier l'importance relative du shunt en établissant le rapport entre débit pulmonaire (Qp) et débit systémique (Qs)

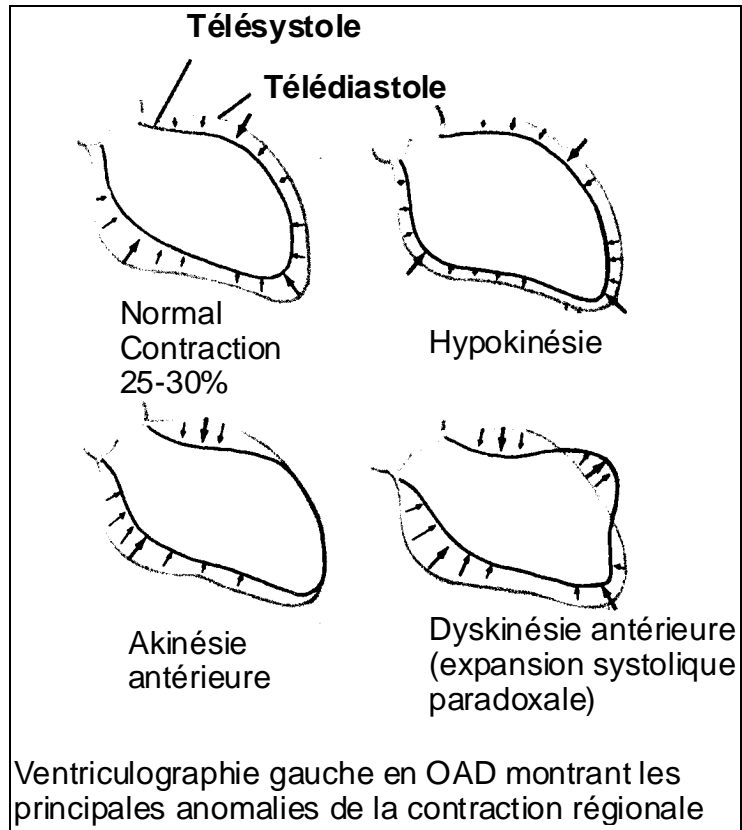
$$Qp/Qs = (CaO_2 - CVO_2) / (CaO_2 - CAPO_2)$$

Ce rapport est supérieur à l'unité en cas de shunt gauche-droit et inférieur à l'unité en cas de shunt droit-gauche.



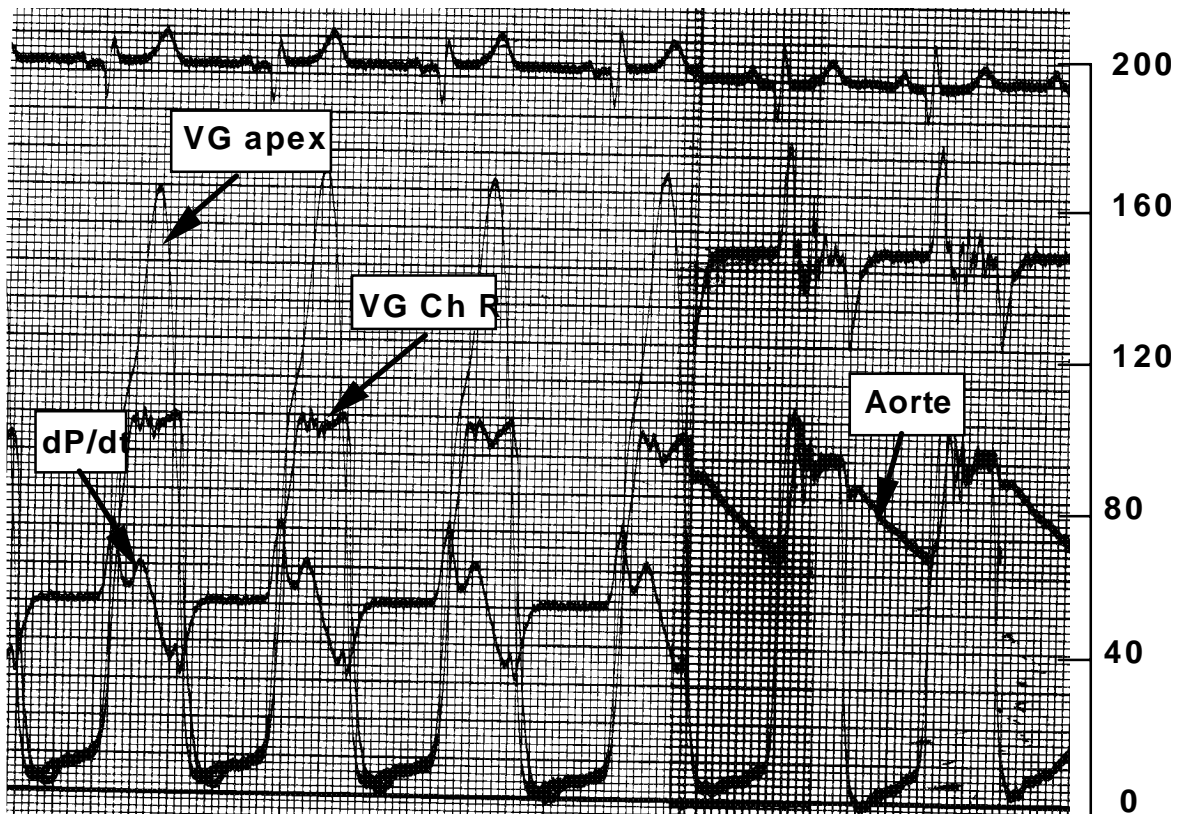
2) Courbes de dilution (voir figure 14)

## ÉTUDE DE LA CONTRACTION RÉGIONALE SUR UNE VENTRICULOGRAPHIE : DÉFINITIONS

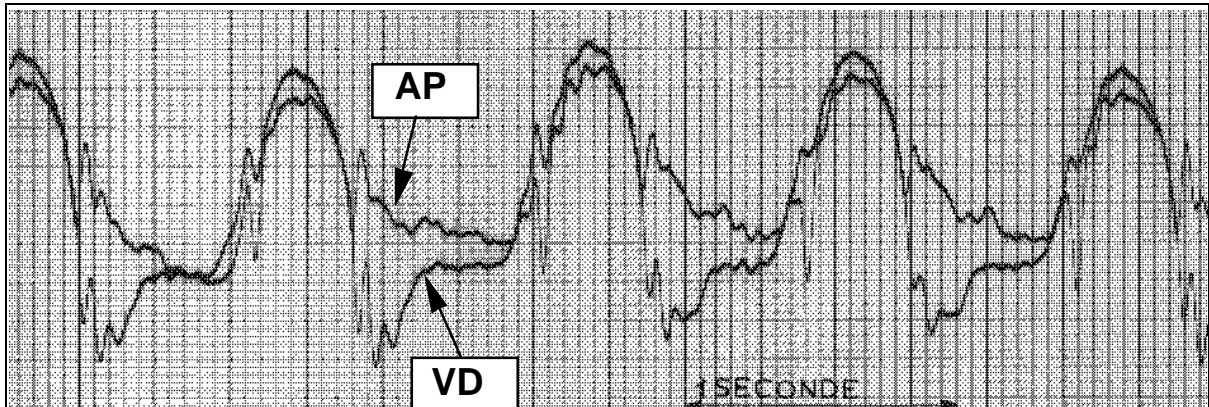




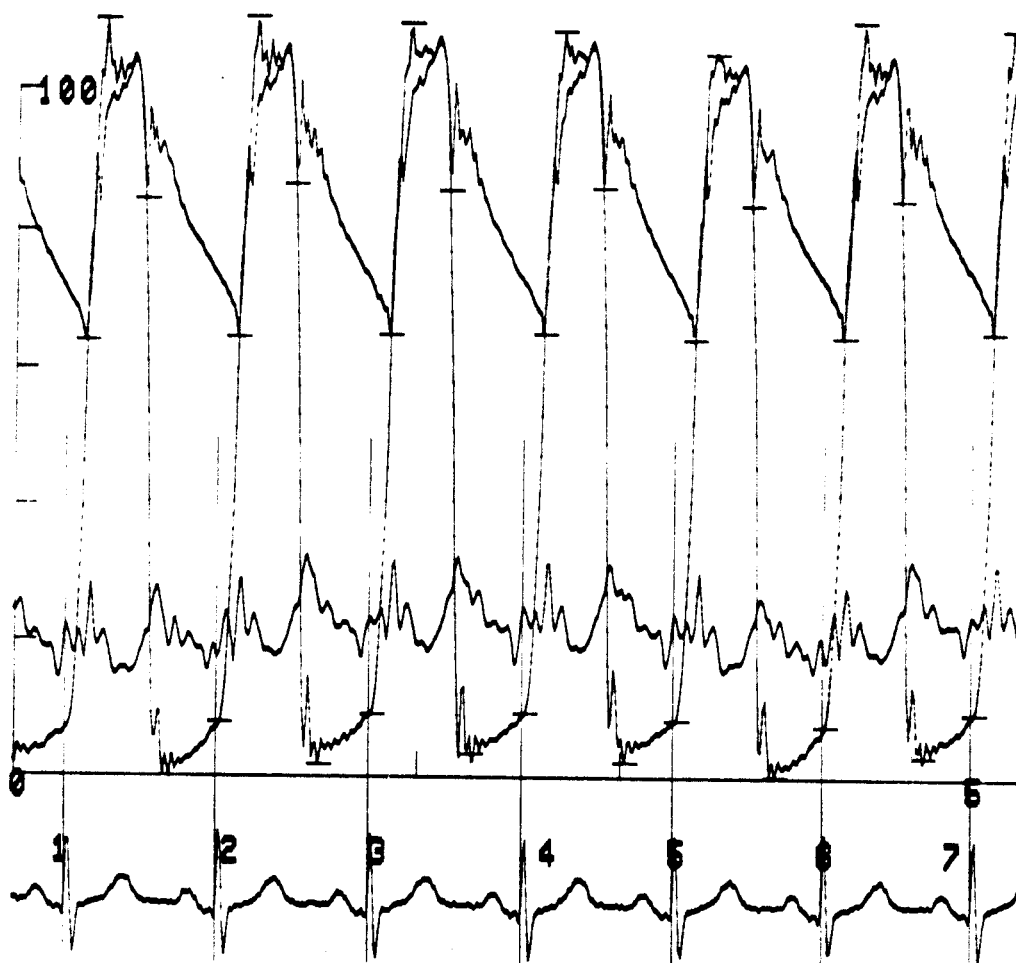
## EXERCICES



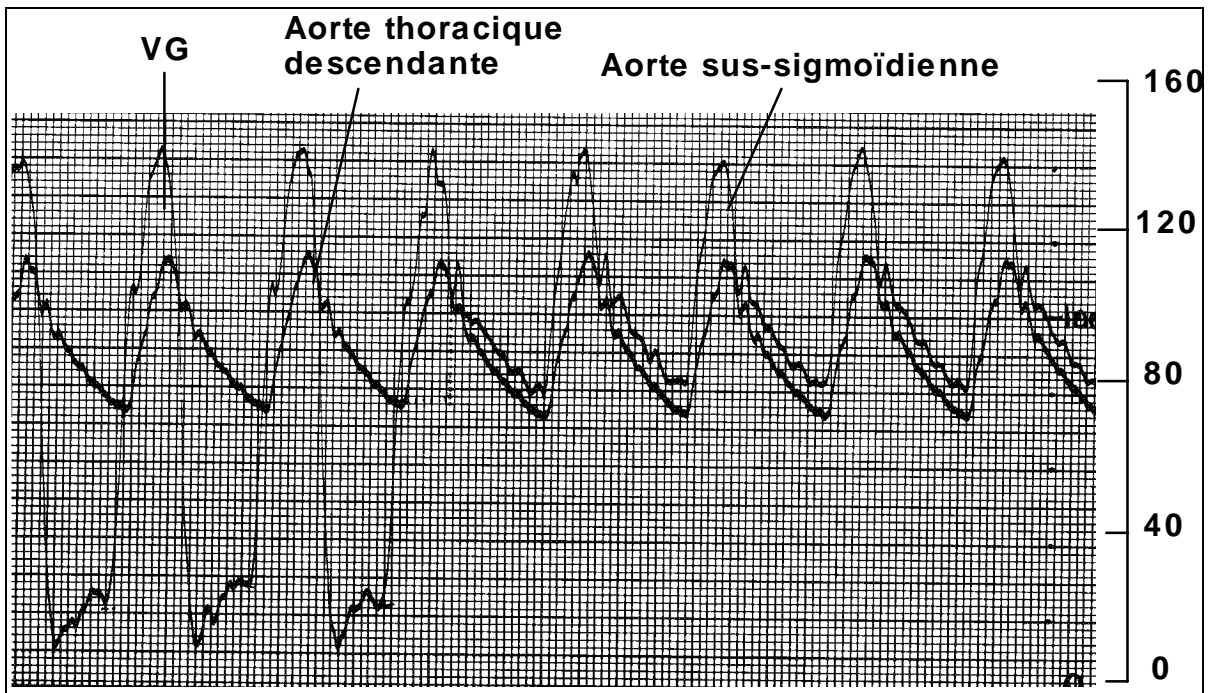
Enregistrement dans les cavités gauches : un cathéter est laissé en place dans la chambre d'éjection VG (apex), un autre situé dans la chambre de remplissage est retiré lentement dans l'aorte.  $dP/dt$  est la 1ère dérivée de la pression VG apicale. Quel est le diagnostic ? La courbe aortique a une déformation caractéristique: identifiez cette anomalie.



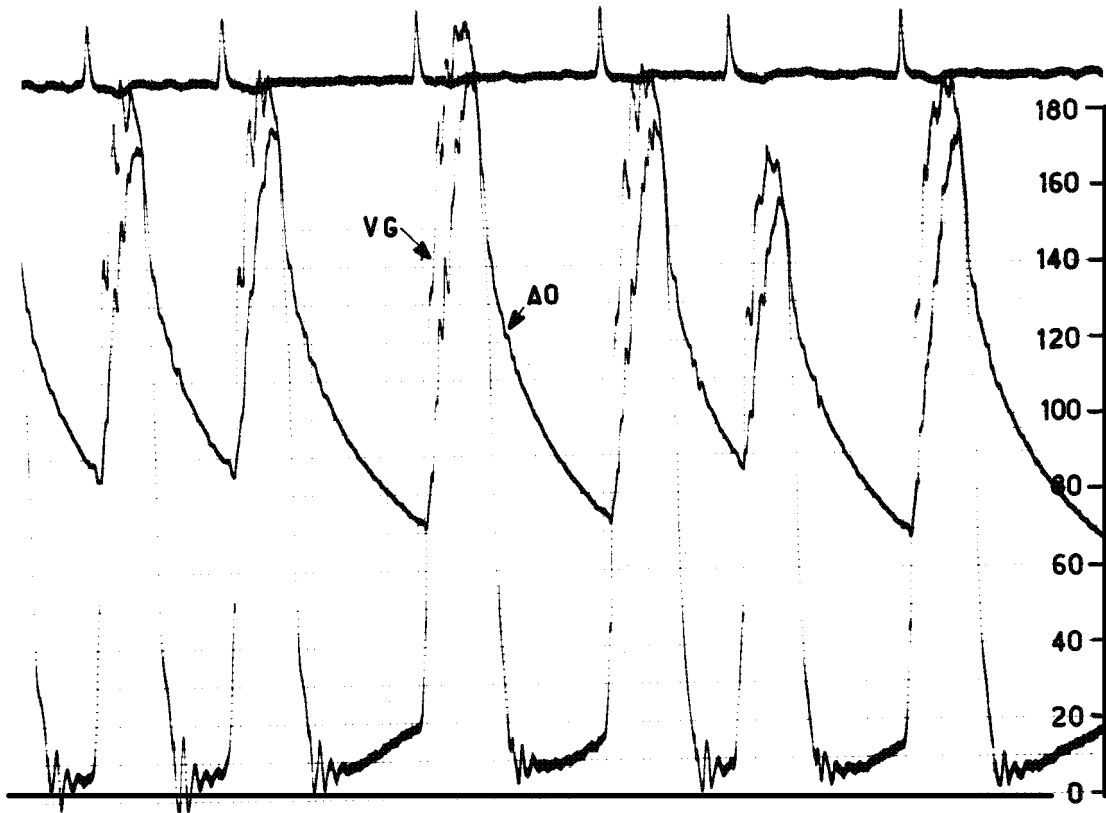
Enregistrement simultané de la pression dans le ventricule droit (VD) et l'artère pulmonaire (AP). La pression courbe de pression diastolique VD est-elle normale ? Quelle est la durée de la phase de contraction isovolumique du VD ? Quel diagnostic peut-on évoquer ?



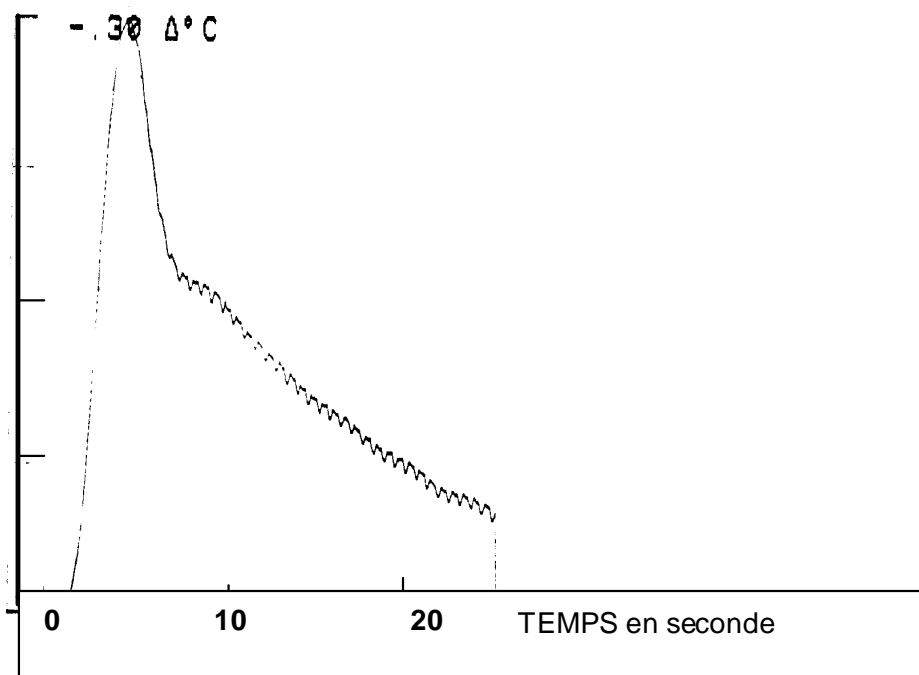
Enregistrement simultané de la pression ventriculaire gauche (VG), aortique et capillaire pulmonaire. Identifier l'onde a et l'onde v sur la courbe capillaire et l'encoche dicrote sur la courbe aortique. Quel est le diagnostic ?.



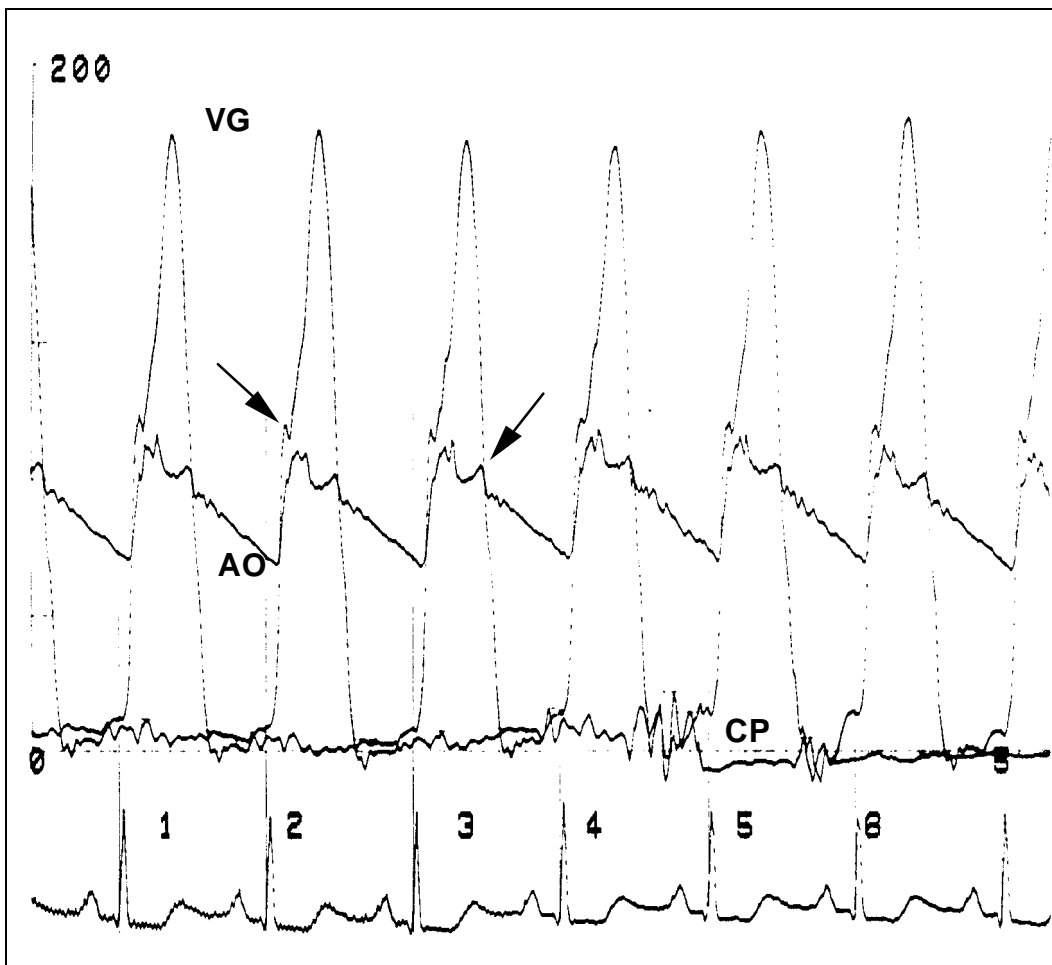
La pression dans l'aorte thoracique descendante est enregistrée en permanence. Le cathéter placé dans le VG est retiré progressivement dans l'aorte sus-sigmoïdienne. Il existe un gradient de pression entre l'aorte ascendante et l'aorte descendante. Quelle est sa signification diagnostique et quelle est sa valeur ?



Enregistrement simultané de la pression ventriculaire gauche (VG) et aortique (AO). Déterminer la valeur de la pression systolique et diastolique aortique. Quel diagnostic peut-on évoquer ? Pourquoi la pression diastolique du 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> battement est-elle plus basse ? Il existe un petit gradient entre la pression VG et la pression AO : quelle est sa signification ?

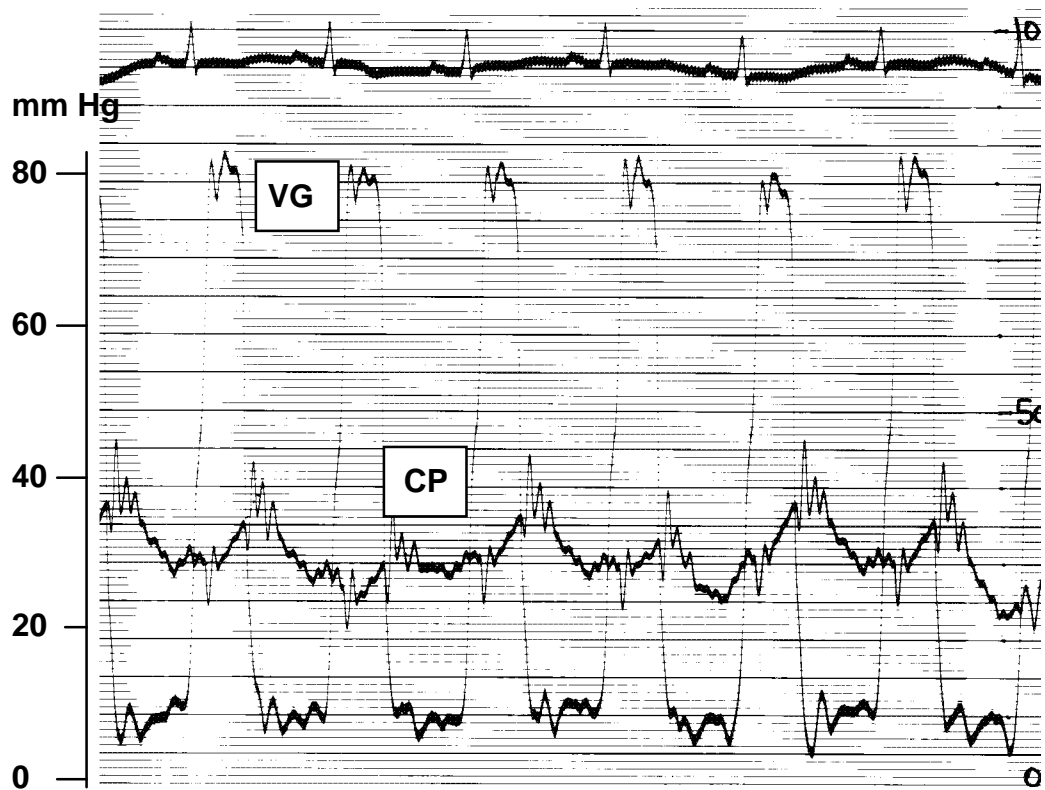


Courbe de thermodilution obtenue après injection de l'indicateur dans l'oreillette droite et détection dans l'artère pulmonaire. Est-elle normale ? Sinon, quelle anomalie suggère-t-elle ? se reporter à la figure 14.



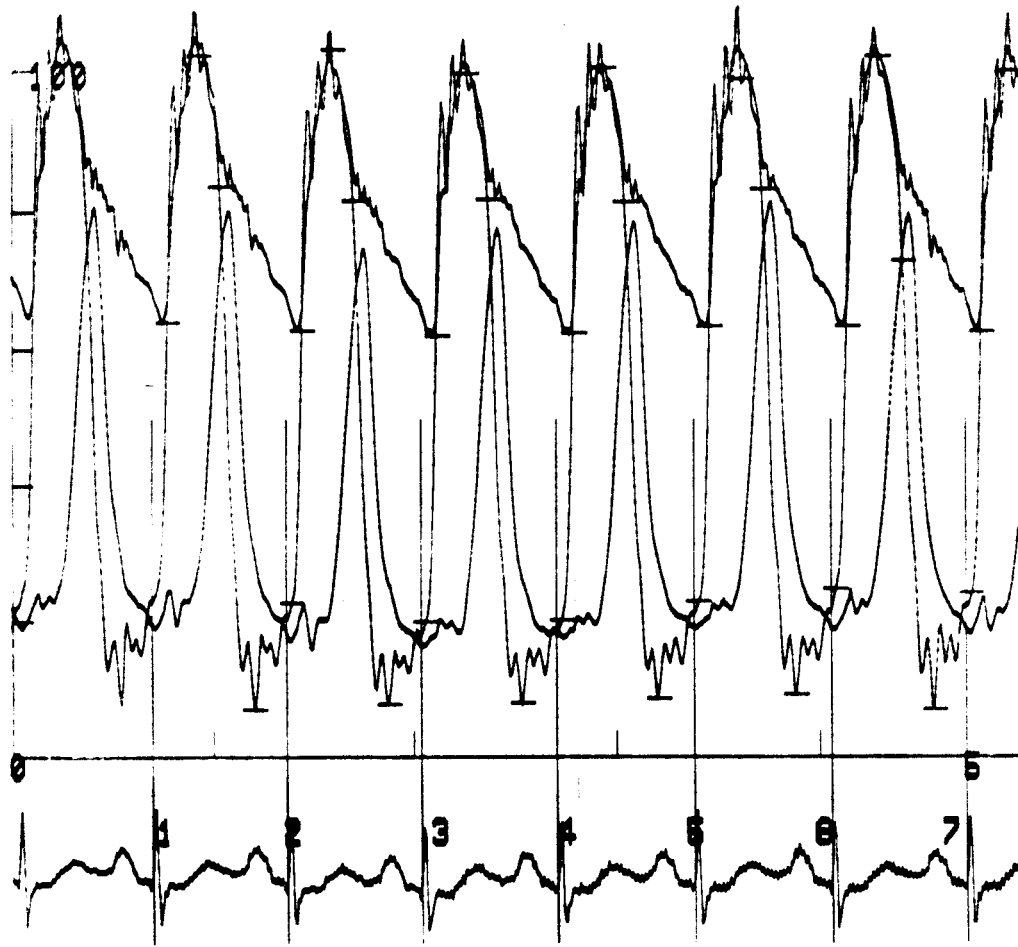
Enregistrement simultané de la pression ventriculaire gauche (VG), aortique (AO) et capillaire pulmonaire (CP).

- Quel diagnostic portez-vous ?
- Chaque flèche indique une déformation caractéristique de la courbe VG et AO. Quelle est leur signification ?

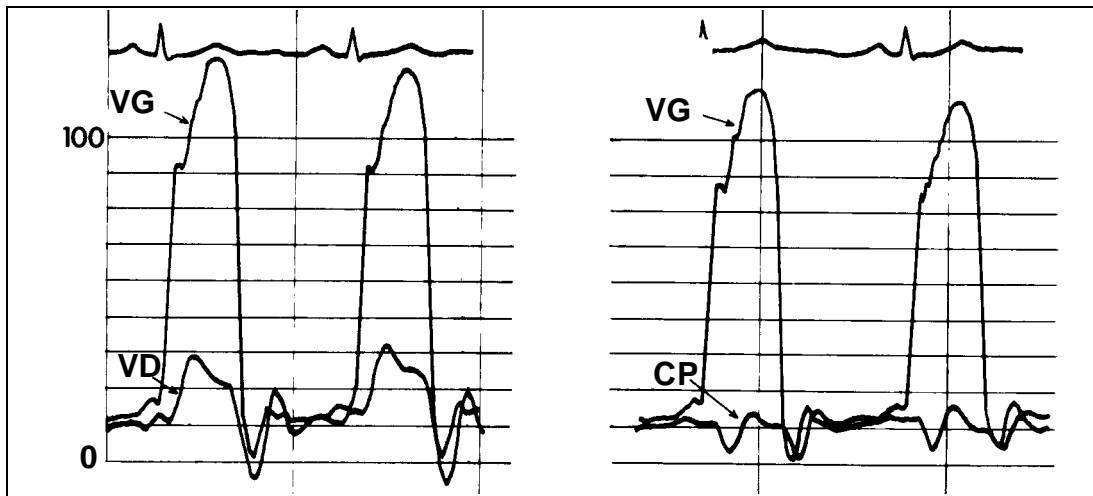


Enregistrement simultané de la pression ventriculaire gauche (VG) et capillaire pulmonaire (CP). Déterminer la valeur de la PCP et de la pression télédiastolique VG. Quelle conclusion diagnostique peut-on en tirer ?  
 L'échocardiographie de ce patient a montré que la valve mitrale était normale : quel diagnostic doit-on évoquer ?

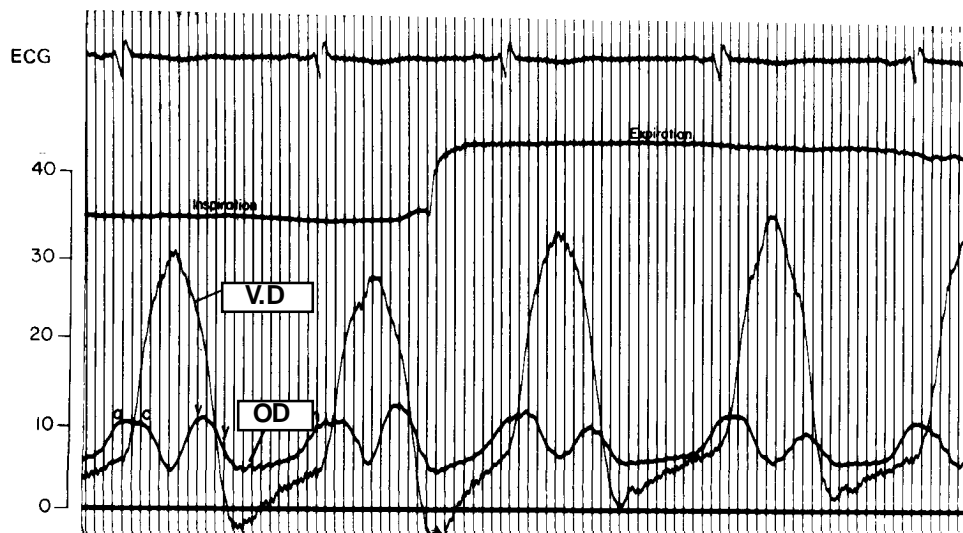




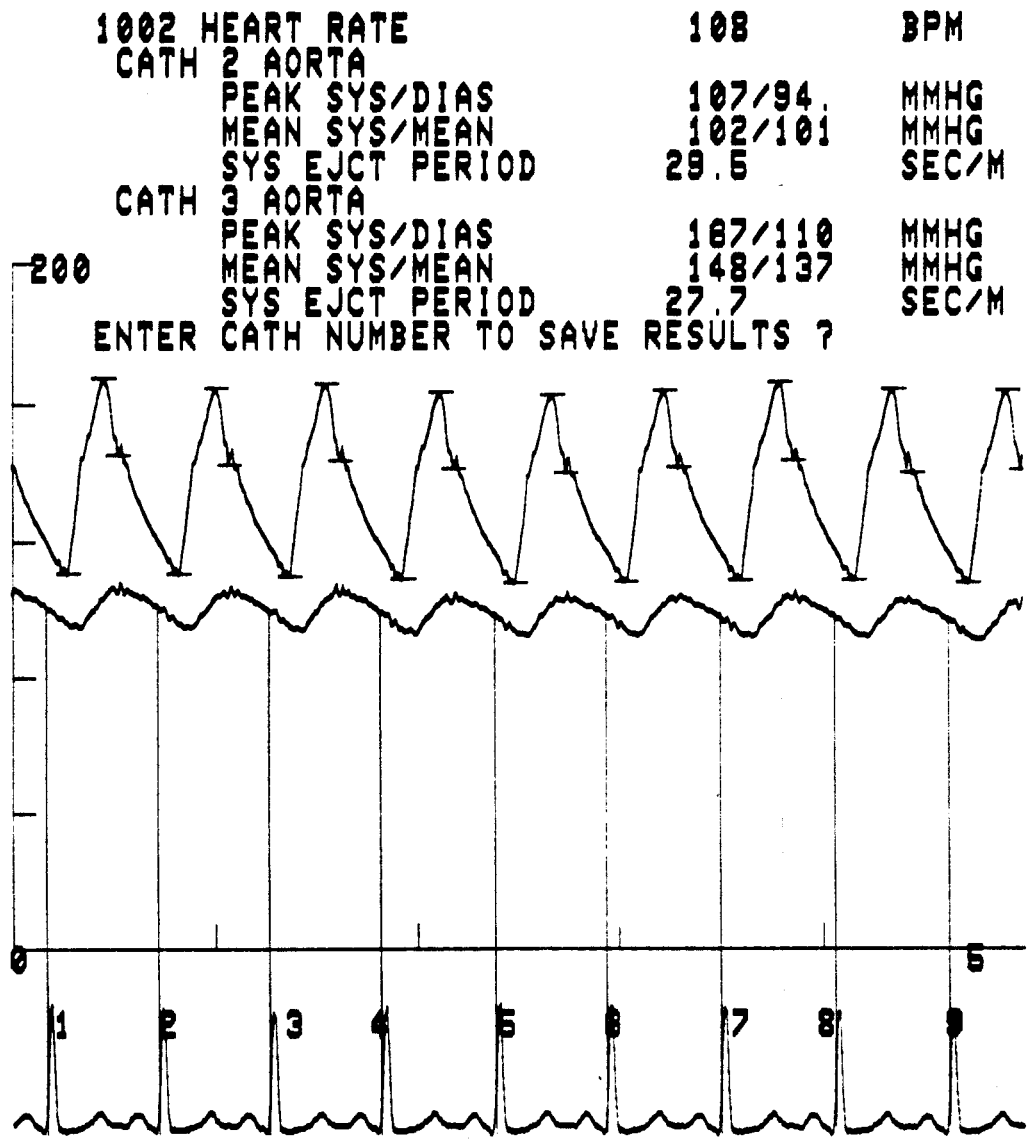
Enregistrement simultané de la pression ventriculaire gauche, aortique et capillaire pulmonaire. La courbe capillaire pulmonaire est-elle normale ? sinon, pourquoi ? Quel diagnostic permet-elle de porter ? S'agit-il d'une cardiopathie sévère ?



Enregistrement simultané de la pression dans le ventricule gauche (VG) et le ventricule droit (VD) à gauche et le capillaire pulmonaire à droite.  
 La portion diastolique de la courbe VD est-elle normale ?  
 Quelle est la valeur de la pression en télédiastole dans les 3 cavités ?  
 Quel est votre diagnostic ?



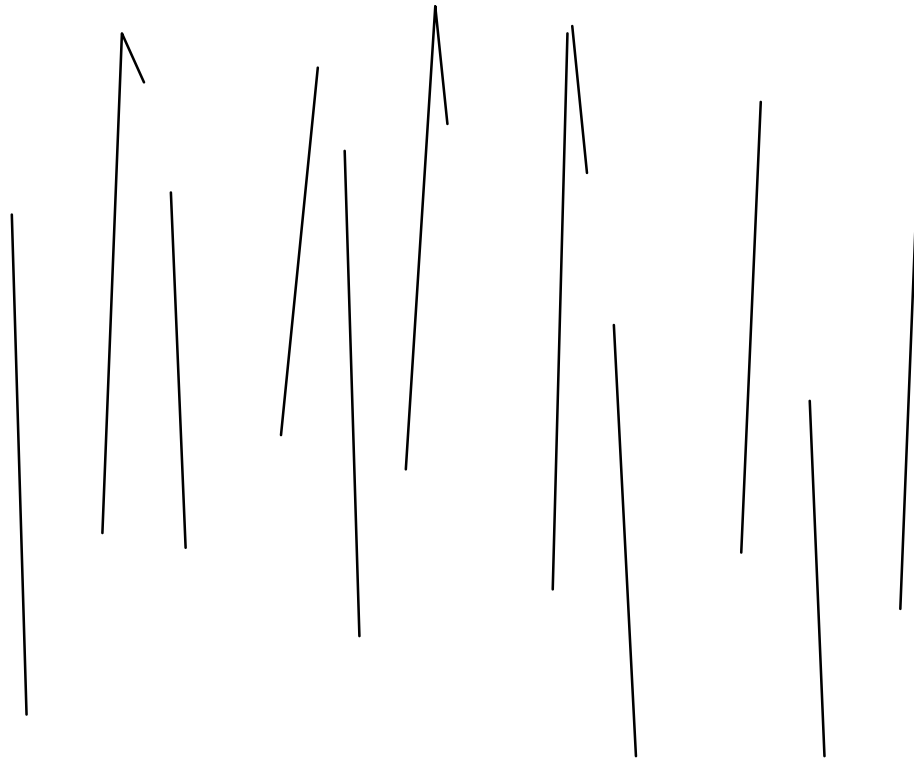
Enregistrement simultané de la pression ventriculaire droite (VD) et auriculaire droite (OD) chez un patient ayant des antécédents de RAA et un rétrécissement mitral. Quelle cardiopathie associée peut-on diagnostiquer ? Quel est l'effet de l'inspiration sur l'anomalie hémodynamique ?



Enregistrement de la pression aortique sus-sigmoïdienne par le cathéter n° 3 et de la pression aortique dans l'aorte thoracique descendante par le cathéter n° 2. Les valeurs des pressions sont mesurées par l'ordinateur. Quelle conclusion diagnostique en tirez-vous ? Quel est le degré de sévérité de la cardiopathie ?

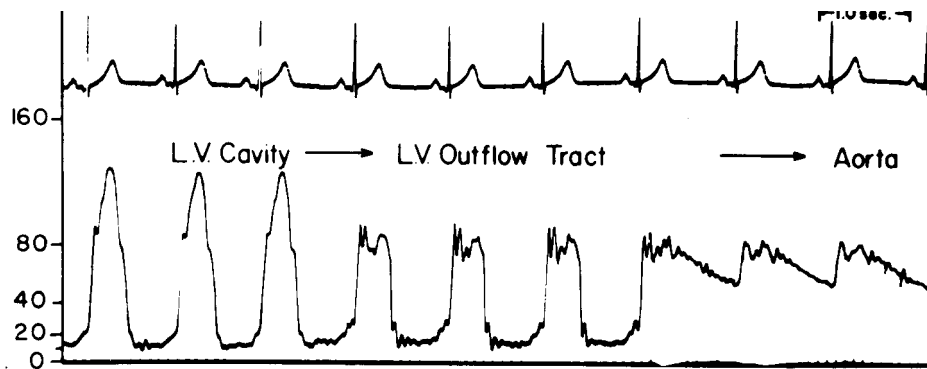
**EFFET D'UNE DIMINUTION DE LA RÉSISTANCE À L'ÉJECTION SUR L'INSUFFISANCE MITRALE**

mm Hg



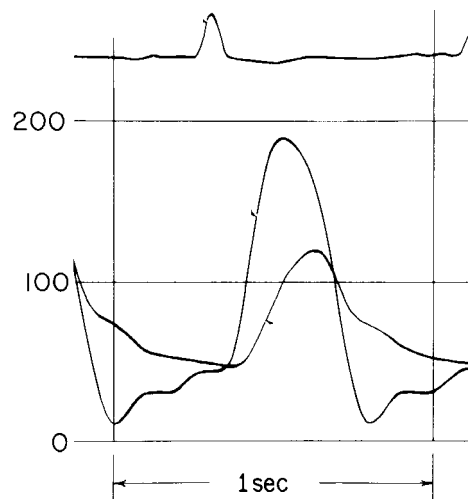
Enregistrement de la pression ventriculaire gauche (VG) et capillaire pulmonaire chez un patient ayant une insuffisance mitrale massive. A gauche: à l'état basal; à droite: sous perfusion d'un vasodilatateur (Niprid). Noter la diminution de la pression capillaire pulmonaire et de l'onde "V"

Pourquoi la pression capillaire pulmonaire et l'onde "v" diminuent-elles sous l'influence de la perfusion IV de nitroprussiate ?  
dans quel sens la fraction régurgitée évolue-t-elle?  
Quel est l'effet du nitrate sur le débit cardiaque ?

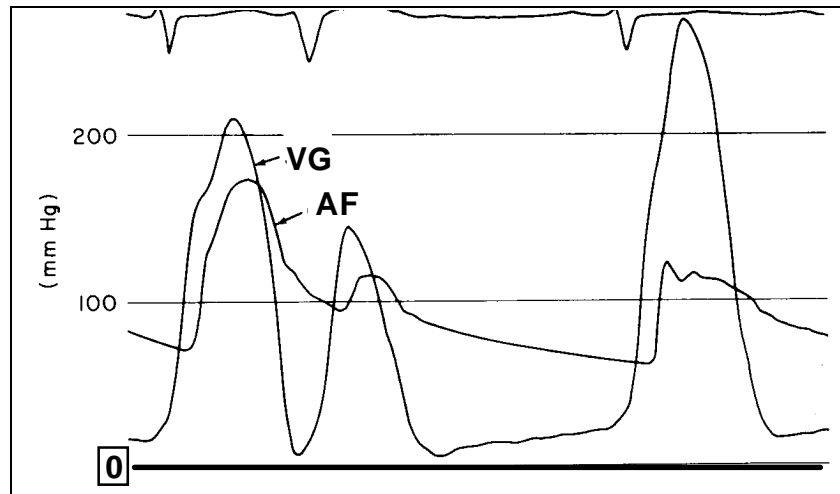


Courbe de retrait de l'apex VG vers la chambre de chasse VG puis l'aorte.

- Que remarquez-vous sur la partie ascendante de la courbe VG apicale ?
- Quel diagnostic peut-on évoquer ?

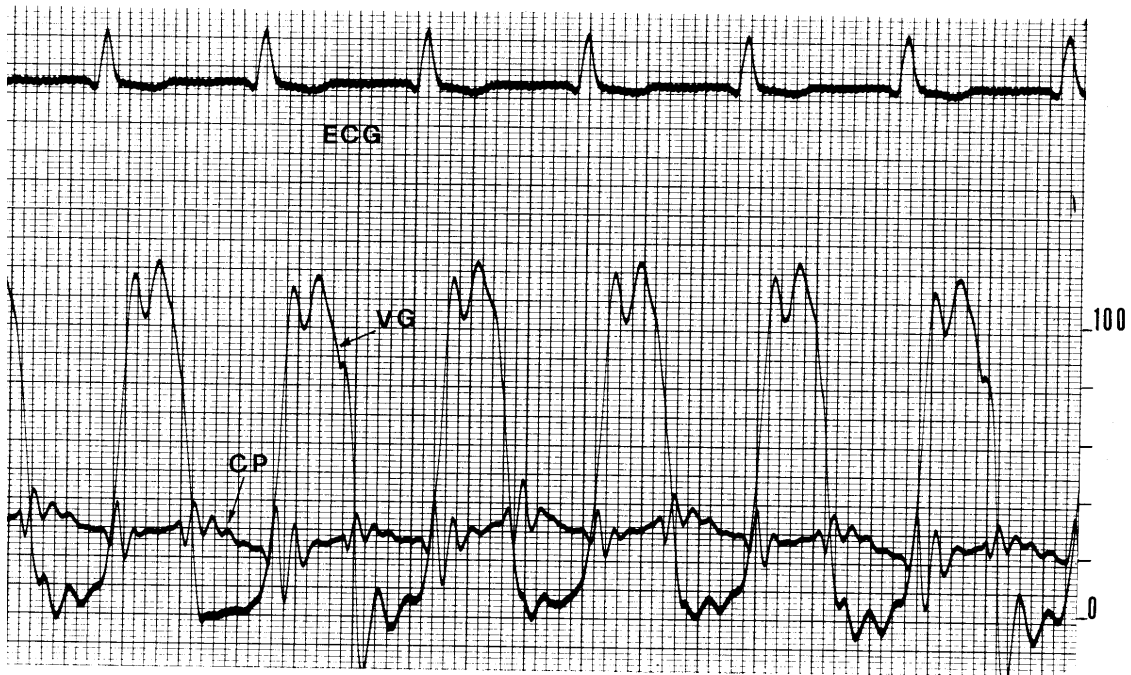


Enregistrement de la pression VG et de l'artère fémorale.  
 Quel diagnostic peut-on évoquer d'emblée ?  
 Examinez les pressions en télédiastole: que remarquez-vous ?  
 Le diagnostic final est donc : ?



Enregistrement de la pression ventriculaire gauche et artérielle fémorale.

- Quel diagnostic portez-vous ?
- Après l'extrasystole ventriculaire, que remarquez-vous ?
- Quel est le nom de cette modification post-extrasystolique ?

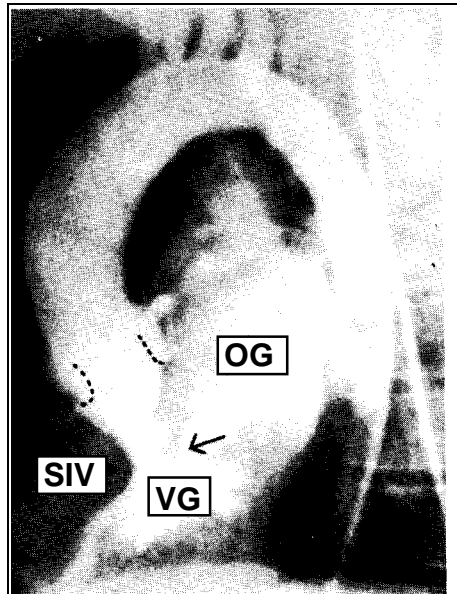


Enregistrement simultané de la pression ventriculaire gauche (VG) et capillaire pulmonaire (CP).

Quel diagnostic évoquez-vous ?

La cardiopathie est-elle sévère ? Pourquoi ?





Ventriculographie gauche sélective (incidence de profil) chez un patient ayant un souffle systolique et une HVG. Les sigmoïdes aortiques sont soulignées en pointillé. La flèche indique la valve mitrale antérieure.

- A quel temps du cycle cardiaque cette image a-t-elle été obtenue ?
- Quel diagnostic évoquez-vous ?
- Pourquoi l'oreillette gauche est-elle opacifiée par le produit de contraste ?