



**PERFORMANCE CARDIAQUE
ET ASSISTANCE MÉCANIQUE DU
VENTRICULE GAUCHE
PAR DÉRIVATION SELECTIVE
OU PAR CONTRE-PULSION**

**PAR J. HINGLAIS,
R. GOURGON, G. JACOBS,
Mlle M. CLAUVEL
ET D. LAURENT ***

L'un des buts d'une « assistance cardio-circulatoire » est d'obtenir la mise au repos du cœur, c'est-à-dire essentiellement du ventricule gauche dont le travail représente la presque totalité du travail cardiaque global. La définition des conditions permettant à une pompe extra-corporelle de prendre en charge le travail cinétique du cœur gauche devrait être aisément déduite des données de la physiologie cardio-circulatoire. Malheureusement ces données sont complexes et certains points — ceux précisément qui intéressent le plus notre sujet — sont l'objet de controverses.

Ainsi, pour juger de la « performance » du ventricule gauche, on a coutume de confronter :

- d'une part, ses dépenses énergétiques,
- d'autre part, son travail mécanique.

1. Une mesure simple et très généralement adoptée des dépenses énergétiques globales du muscle cardiaque est fournie par la consommation myocardique d'oxygène ($\dot{Q}O_2$ myoc). C'est le produit du débit coronaire par la différence artério-veineuse coronaire en oxygène.

2. Par contre, l'accord n'est pas réalisé sur le choix d'un indice « idéal » de l'activité mécanique du ventricule. « Idéal », c'est-à-dire à la fois témoin fidèle de l'activité mécanique du ventricule et lié par une relation simple à la consommation myocardique d'oxygène. L'expression habituelle d'un travail (débit \times pression) répond mal à ces conditions. Au contraire, de nombreux travaux récents s'attachent à montrer que diverses expressions de la pression intra-ventriculaire gauche sont fidèlement liées

à la consommation d'oxygène, indépendamment du débit sanguin traversant le cœur.

Ici se place précisément un des problèmes de l'assistance cardiaque : sur quel facteur cardiaque l'assistance cardio-circulatoire doit-elle agir électivement pour obtenir la meilleure « mise au repos » du ventricule gauche (c'est-à-dire la meilleure réduction des besoins myocardiques en oxygène), tandis qu'est assurée la distribution au lit artériel d'un débit sanguin physiologique sous une pression physiologique.

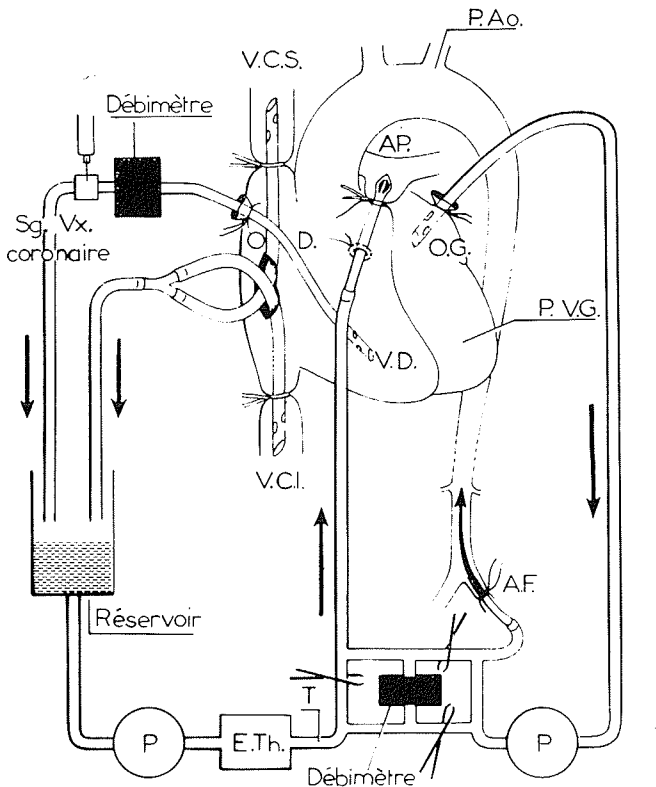
Les expériences ci-dessous rapportées nous semblent illustrer assez clairement ces problèmes. Elles se sont attachées à confronter le débit sanguin, la pression systolique maximale intra-ventriculaire gauche (P_s VG) et la consommation myocardique d'oxygène ($\dot{Q}O_2$ myoc) dans deux conditions expérimentales classiques d'assistance mécanique du ventricule gauche, savoir :

- 1° la dérivation sélective du ventricule gauche;
- 2° la contre-pulsion artério-artérielle.

**Dérivation sélective du
ventricule gauche**

Le circuit d'assistance est constitué par une pompe aspirant le sang dans l'oreillette gauche et le réinjectant dans la chambre aortique par une artère fémorale par exemple. Ainsi la pompe extra-corporelle est placée sur la circulation artérielle « en parallèle » par rapport à la pompe ventriculaire gauche : elle soustrait à l'action du ventricule gauche une part ou la totalité du débit sanguin (dérivation partielle ou totale).

* Centre d'Etudes des Techniques Chirurgicales, (C.N.R.S.), Hôpital Broussais, Paris.



DÉRIVATION du CŒUR D.

DÉRIVATION VG.

1/ Dérivation sélective du ventricule gauche. Montage expérimental.

A - La dérivation du cœur droit comprend : la canulation des veines caves supérieure (VCS) et inférieure (VCI), un réservoir recueillant le sang par gravité, une pompe (P), un échangeur thermique (E. Th.) corrigeant la déperdition de chaleur dans le circuit extracorporel, enfin une canule métallique de réinjection dans l'artère pulmonaire (AP). Une canule placée dans l'oreillette droite (OD) et le ventricule droit (VD) draine le sang veineux coronaire.

B - La dérivation du ventricule gauche est établie de l'oreillette gauche (OG) à l'artère fémorale (AF); son débit est commandé par la pompe P. Les pressions sont mesurées au niveau de l'aorte initiale (P Ao) et du ventricule gauche (PVG).

On conçoit l'intérêt de cette méthode pour différencier les rôles respectifs des paramètres débit et pression dans la performance du ventricule gauche.

Salisbury, dans un travail fondamental (1960), a le premier démontré la réalité de l'assistance apportée au cœur gauche par cette méthode dans diverses conditions expérimentales de défaillance cardio-circulatoire. D'emblée, cet auteur souligne qu'une assistance effective n'est obtenue que si la dérivation est pratiquement totale, c'est-à-dire si le circuit extracorporel prend en charge la totalité du débit cardiaque.

Deux ans plus tard, Dennis, Hall, Moreno et Senning mettent au point une méthode de dérivation sélective du ventricule gauche réalisable à thorax fermé par canulation trans-septale de l'oreillette gauche. Ils montrent que la consommation myocardique d'oxygène s'abaisse progressivement avec l'accroissement du débit dérivé et est réduite de 30 à 50 % lorsque la dérivation est totale. Ces résultats sont confirmés par Baird et Labrosse.

Une étude discriminative précise des divers paramètres en jeu dans ces conditions nous a paru souhaitable. Dans ce but, 38 chiens ont été soumis aux conditions expérimentales suivantes (fig. 1) :

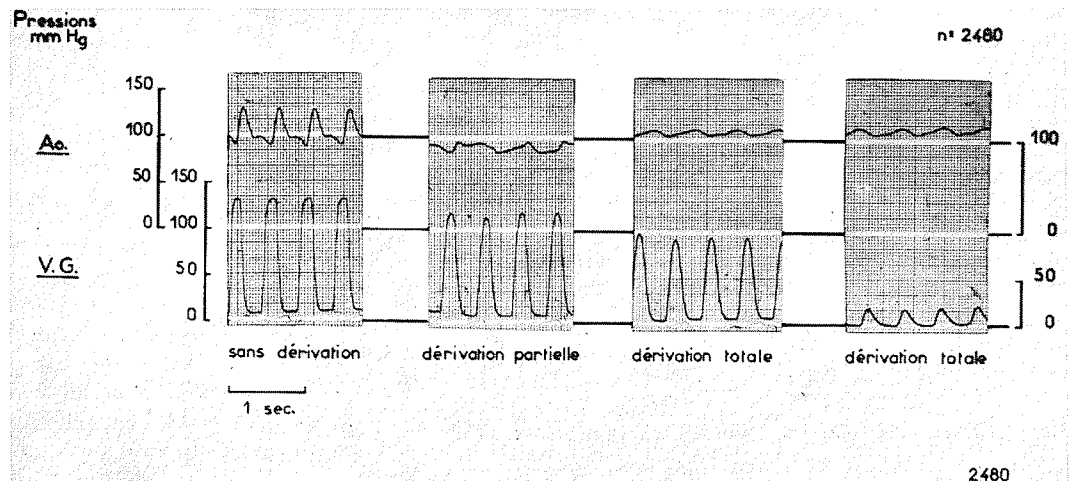
- 1° une dérivation extracorporelle continue et totale du cœur droit, placée entre les veines caves et l'artère pulmonaire, assure la stabilité du débit cardiaque global à une valeur choisie. En outre, dans les cavités droites du cœur ainsi exclues de la circulation générale, est recueillie la quasi-totalité du sang veineux coronaire, dont le débit et la contenance en oxygène permettent la meilleure estimation de la consommation myocardique d'oxygène;
- 2° le débit de la dérivation du ventricule gauche peut être confronté exactement au débit cardiaque total imposé par la dérivation droite, en utilisant alternativement un même capteur de débitmétrie électromagnétique.

Ainsi peuvent être confrontés en permanence les pressions aortique et intra-ventriculaire gauche, le débit de la dérivation du ventricule gauche et le

2/ Dérivation sélective du ventricule gauche.

Valeurs comparées des pressions aortique (Ao) et intra-ventriculaire gauche (VG), selon le débit de la dérivation.

De gauche à droite : 1 : Témoin sans dérivation; 2 : Dérivation partielle (90 %) : la pression aortique est marquée encore par de faibles accidents témoins d'éjections ventriculaires; 3 et 4 : Dérivation totale : la pression aortique ne traduit que la pulsativité de la pompe extracorporelle et sa valeur moyenne est supérieure à la pression ventriculaire gauche. Cette dernière est stable à des niveaux variables selon le degré de réplétion du ventricule.



débit cardiaque global, le débit sanguin coronaire, la différence artério-veineuse coronaire en oxygène, la consommation myocardique d'oxygène.

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX.

1. Avec l'élévation du débit dérivé, la consommation myocardique d'oxygène ne s'abaisse d'abord que faiblement, pour fléchir brutalement lorsque la dérivation est pratiquement totale (supérieure à 95 % du débit cardiaque).

2. Il en est de même pour la pression systolique intra-ventriculaire gauche (PsVG) (fig. 2). La pression aortique moyenne restant identique, si faible que soit la part de débit laissée au ventricule gauche, celui-ci doit pour l'éjecter développer une pression supérieure à la pression aortique. Lorsque la dérivation est totale, le ventricule gauche, exclu de la circulation générale, bat à une pression toujours inférieure à la pression aortique; mais le niveau de la PsVG est variable et fonction du degré de réplétion de la cavité ventriculaire : pour un même débit de dérivation gauche totale, plusieurs échelons de PsVG peuvent être obtenus en augmentant ou en réduisant le volume ventriculaire (réduction très faible et très fugitive du débit de dérivation, compression manuelle du ventricule, battement spontané de vidange consécutif à une extra-systole).

3. Pour chaque expérience, la consommation myocardique d'oxygène est liée linéairement à la seule valeur de la pression systolique intra-ventriculaire gauche (fig. 3). Les valeurs ont été recueillies :

- à pression aortique et débit cardiaque physiologiques (*);
- en collapsus modéré par réduction contrôlée du débit cardiaque global (**).

Les consommations myocardiques d'oxygène obtenues dans ces deux conditions, à dérivation nulle, partielle ou totale, s'ordonnent identiquement en fonction de la seule pression systolique du ventricule gauche.

4. Le collationnement de tous les résultats expérimentaux ne montre pas de différence statistiquement valable des valeurs de la consommation myocardique d'oxygène dans ces diverses conditions expérimentales, en fonction de la PsVG. On peut donc établir un dispersogramme de l'ensemble des points expérimentaux (fig. 4) : il montre une relation simple entre la $\dot{Q}O_2$ myoc et la PsVG, indépendante donc du débit sanguin traversant le ventricule gauche et étendue sans discontinuité depuis les valeurs obtenues pour le cœur travaillant à plein débit jusqu'au cœur battant vide. A titre de contrôle, dans neuf expériences, les consommations myocardiques d'oxygène ont été déterminées sous double dérivation, pour le cœur fibrillant et pour le cœur arrêté par le citrate de potassium (fig. 4).

(*) Valeurs moyennes globales :

P A_o = 100 mm Hg;

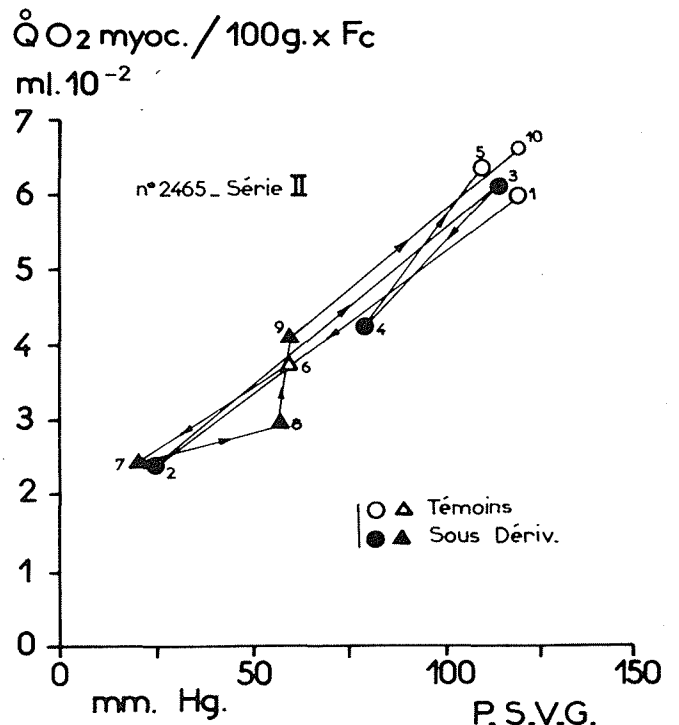
Débit cardiaque = 79,6 ml/mn . kg.

(**) C'est-à-dire par réduction du débit de la pompe de dérivation du cœur droit. Valeurs moyennes globales : P A_o = 56 mm Hg. Débit cardiaque = 38 ml/mn . kg. Ces épisodes de collapsus n'ont pas été prolongés plus de 20 à 30 mn.

EN RÉSUMÉ :

D'une façon générale, on peut donc considérer comme un témoin pratique de la « mise au repos » du ventricule gauche par une méthode d'assistance, la réduction de la pression systolique intra-ventriculaire gauche.

Selon ce critère, la dérivation sélective du ventricule gauche peut être la plus efficace des assistances cardiaques gauches, à condition non seulement que la dérivation soit totale mais encore qu'elle réalise



3/ Dérivation sélective du ventricule gauche.

Consommation myocardique d'oxygène ($\dot{Q}O_2$ myoc par 100 g de cœur total et par battement) en fonction de la pression systolique intra-ventriculaire gauche (PsVG). Exemple expérimental.

Cercles : résultats à pression aortique physiologique; points 1/5 et 10 : témoins; 3 : dérivation partielle; 2 et 4 : dérivation totale.

Triangles : résultats sous collapsus réglé. Point 6 : témoin; 7 : dérivation totale; 8 et 9 : dérivation partielle.

une importante réduction du volume ventriculaire gauche.

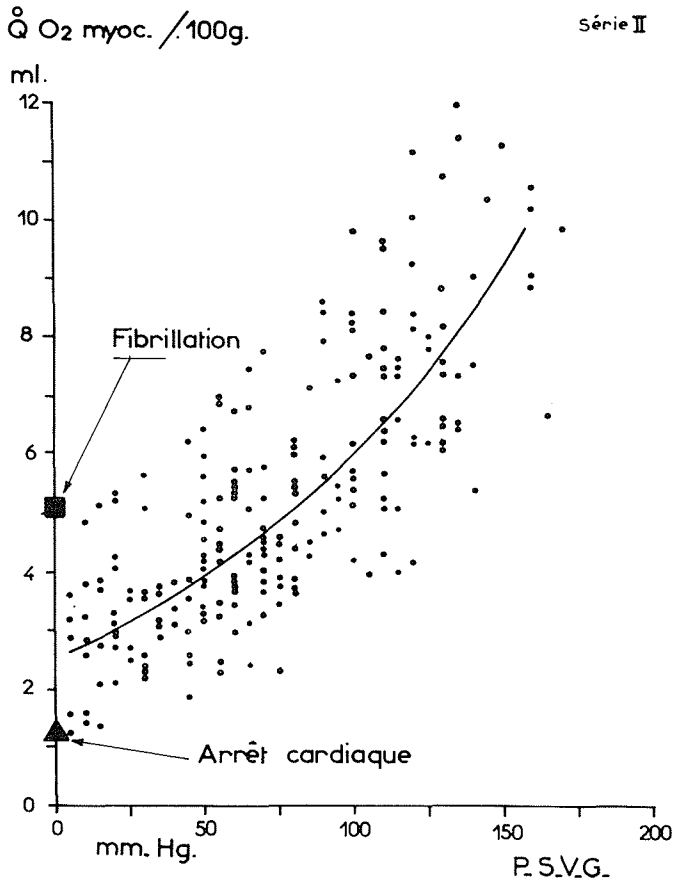
Cette dernière notion est illustrée à nos yeux par les expériences de dérivation ventriculaire gauche effectuées chez dix chiens, à thorax fermé selon la technique de Dennis et coll. :

1. La dérivation totale et l'abaissement de la PsVG à des valeurs très basses ont été obtenus en engageant très légèrement la canule auriculaire gauche dans la cavité ventriculaire.

2. Les angiographies effectuées dans ces conditions montrent un volume ventriculaire réduit à près de 50 % de son volume témoin.

Contrepulsion artério-artérielle

Sous le nom de contre-pulsion (ou contre-pulsation) artério-artérielle, on désigne une méthode d'assistance du cœur gauche utilisant une pompe

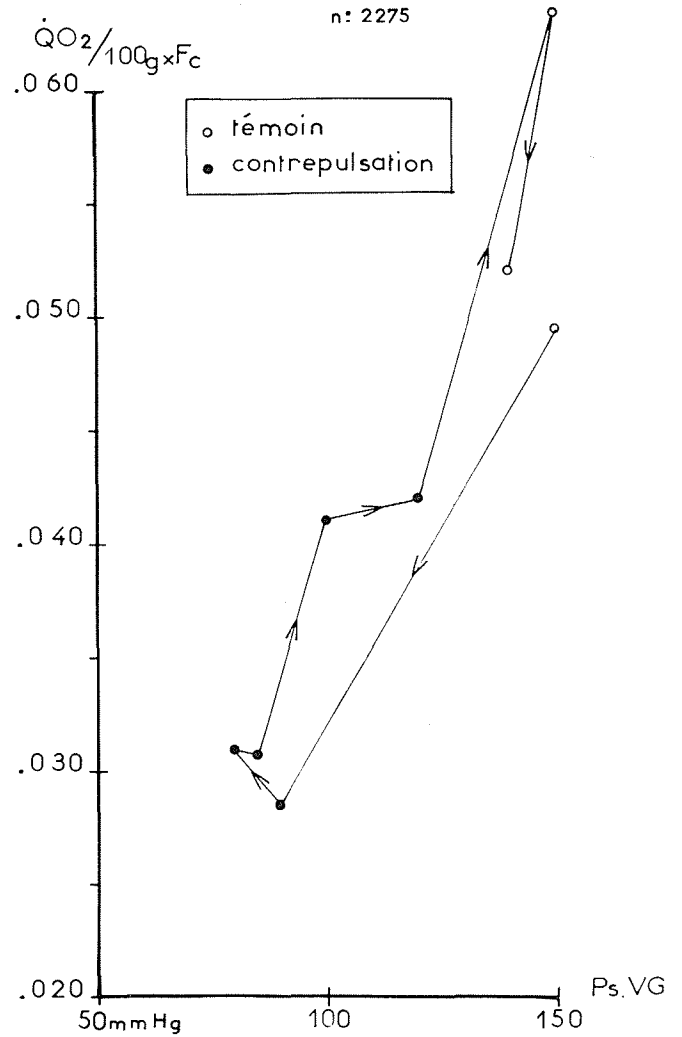


4/ Dérivation sélective du ventricule gauche.

Consommation myocardique d'oxygène ($\dot{Q} O_2 \text{ myoc}$) en fonction de la pression systolique intra-ventriculaire gauche ($P_s \text{ VG}$).

Dispersogramme et courbe de régression de l'ensemble des valeurs expérimentales obtenues sans ou avec dérivation totale ou partielle.

A titre comparatif, les moyennes des valeurs obtenues pour des cœurs en fibrillation et en arrêt sont portées sur la ligne des ordonnées.



5/ Contre-pulsion artério-artérielle.

Consommation myocardique d'oxygène ($\dot{Q} O_2$ par 100 g et par battement) en fonction de la pression systolique intra-ventriculaire gauche ($P_s \text{ VG}$). — Exemple expérimental.

branchée sur la chambre aortique en série avec le ventricule gauche et fonctionnant en alternance avec ce dernier. Il n'y a pas ici dérivation de débit : le cœur gauche est toujours traversé par la totalité du débit cardiaque, mais il bénéficie du régime particulier de pression aortique engendré par la pompe de contre-pulsion.

On rapportera seulement ici quelques résultats concernant :

- 1° la consommation myocardique d'oxygène sous contre-pulsion;
- 2° la circulation coronaire sous contre-pulsion.

1. — CONSOMMATION MYOCARDIQUE D'OXYGÈNE ET CONTRE-PULSION :

Harken, puis Soroff ont montré que la consommation myocardique d'oxygène était abaissée sous contre-pulsion. Pour une canulation de l'aorte terminale chez le chien, et par l'étude du sang du sinus veineux coronaire, ces auteurs obtiennent des réductions moyennes de la $\dot{Q} O_2 \text{ myoc.}$ respectivement de 23 et 22 %. Soroff, à l'opposé de Harken, insiste sur une augmentation constante et importante du débit

sanguin sinuisien. Ces deux auteurs remarquent que le rapport $\dot{Q} O_2 \text{ myoc.} / T.T.I. (*)$ s'élève légèrement sous contre-pulsion, témoignant d'une moins bonne performance ventriculaire.

Les expériences que nous avons effectuées sont identiques à celles de Harken et de Soroff. Cependant :

- 1° le matériel de contre-pulsion était différent (ventricule extracorporel Hufnagel) mais actionné également par détente d'air comprimé;
- 2° surtout, la contre-pulsion était exercée au niveau de l'aorte initiale, par l'intermédiaire d'une canule métallique de gros diamètre placée à thorax ouvert par le tronc artériel brachio-céphalique droit.

Ainsi était-on placé dans les conditions théoriquement optimales d'assistance du ventricule gauche

(*) T.T.I. = Time-Tension-Index de Sarnoff. Cette valeur, proposée comme indice de l'activité mécanique du ventricule, correspond à une aire définie par la courbe de pression intra-ventriculaire. Son calcul est, à vrai dire, délicat sous contre-pulsion.

par contre-pulsion. Le débit coronaire et la \dot{Q} 02 myoc ont été mesurés au niveau du sinus veineux coronaire canulé de façon étanche.

Les résultats expérimentaux dans ces conditions sont moins rigoureux que ceux rapportés pour la dérivation du ventricule gauche (débit cardiaque non fixé, recueil partiel du sang veineux coronaire). Ils apparaissent cependant très clairement.

1. La \dot{Q} 02 myoc est toujours franchement réduite, en moyenne de 34 % de sa valeur témoin (valeurs extrêmes : 13-61 %). La différence artérioveineuse coronaire en oxygène n'est que faiblement abaissée et c'est surtout le débit coronaire qui se modifie sous contre-pulsion et s'abaisse.

2. L'abaissement de la PsVG qui permet de chiffrer l'efficacité de la contre-pulsion (la pression aortique moyenne étant par ailleurs maintenue) est, avec notre protocole expérimental, de 35 % en moyenne (valeurs extrêmes : 15 à 60 %).

3. Ici encore, les valeurs de la consommation myocardique d'oxygène rapportées à 100 g de cœur et par battement apparaissent pour chaque expérience assez fidèlement liées à la seule PsVG, qu'il s'agisse de points témoins ou de différents niveaux de contre-pulsion (fig. 5).

4. Les valeurs du rapport Baisse de la \dot{Q} 02 myoc en %/baisse de la PsVG en % restent groupées de façon satisfaisante autour de 1.

Ces expériences ne font donc apparaître aucun élément particulier à la contre-pulsion : comme pour la dérivation du ventricule gauche, la consommation myocardique d'oxygène est réduite en même temps qu'est abaissée la PsVG. Ces modifications sont, comme précédemment encore, accompagnées d'une réduction du volume ventriculaire gauche, objectivée par angiographie.

2. — DÉBIT SANGUIN CORONAIRE ET CONTRE-PULSION :

Ces résultats vont à l'encontre d'une idée souvent admise : savoir que la contre-pulsion doit, par son principe même, entraîner une augmentation du débit coronaire. On sait en effet que les résistances artérielles coronaires sont brutalement accrues lors de la contraction ventriculaire; le débit artériel coronaire est donc le plus important au cours de la diastole et l'hyperpression diastolique élective produite par la contre-pulsion aurait les meilleures chances d'augmenter le débit coronaire.

Ce raisonnement est certainement juste dans des conditions pathologiques avec hypotension artérielle et dette myocardique. Mais il apparaît inexact dans les conditions cardio-circulatoires physiologiques. Rappelons dans ce sens :

- 1° Les résultats ci-dessus rapportés concernant la débit sanguin du sinus veineux coronaire et la différence artérioveineuse coronaire en oxygène;
- 2° Les enregistrements de vélocité sanguine obtenus par débitmétrie électromagnétique au niveau de

l'artère coronaire circonflexe gauche, au cours d'une douzaine d'expérimentations. Sous contre-pulsion, la vélocité marque bien une brutale élévation, contemporaine et de même forme que l'à-coup de pression diastolique enregistré au niveau de l'aorte initiale. Mais il ne s'agit là que de la vélocité sanguine du réseau coronaire épicaudique et non de l'irrigation myocardique proprement dite. Ce pic de vélocité est d'ailleurs suivi d'un fléchissement marqué lors de l'aspiration de pompe et la valeur moyenne de la vélocité (débit) est toujours apparue identique ou inférieure à la valeur témoin.

Rien ne permet donc de penser que la contre-pulsion tourne la loi de l'autorégulation de la circulation coronaire, dans les conditions évidemment où celle-ci est à même de s'exercer.

EN RÉSUMÉ.

Étudiée dans des conditions cardio-circulatoires physiologiques, l'assistance mécanique apportée au ventricule gauche par dérivation sélective ou par contre-pulsion ne modifie pas sensiblement la performance myocardique. Que le débit sanguin global traverse ou non le ventricule gauche, le degré de « mise au repos » du cœur — c'est-à-dire la réduction de ses besoins en oxygène — peut être avec une bonne fidélité apprécié selon la réduction de la pression systolique maximale intra-ventriculaire gauche, la pression aortique moyenne étant par ailleurs maintenue. Selon ce critère, la dérivation sélective du ventricule gauche peut atteindre la plus grande efficacité, mais à la double condition d'être une dérivation totale et d'obtenir la déplétion du ventricule gauche. L'efficacité de la contre-pulsion est fonction du régime de pression effectivement établi au niveau de l'aorte initiale; elle n'entraîne pas, dans les conditions physiologiques, un accroissement systématique du débit sanguin coronaire.

Discussion

Président : M. le Docteur HERRZOG

M. le Professeur MORET rend hommage aux auteurs des très intéressantes expériences rapportées par le Docteur HINGLAIS mais remarque que celles-ci ont été effectuées chez le chien, c'est-à-dire dans le cas d'une régulation coronaire normale, le débit étant adapté à la consommation d'oxygène myocardique.

Or, au cours de recherches d'auto-régulation coronaire dans les hypoxies chroniques, M. MORET a trouvé chez des malades, avec une baisse de saturation artérielle, des débits coronaires très bas, ou en tout cas, inférieurs à ceux qu'on pourrait attendre dans l'hypoxie aiguë.

En provoquant chez ces malades une hypoxie plus marquée encore, ou au contraire moins marquée, M. MORET a constaté une auto-régulation coronaire très différente de celle qu'on trouve chez le sujet normal.

Donc, M. MORET se demande si ces expériences, si intéressantes par ailleurs, sont applicables directement à des malades qui requièrent une assistance circulatoire et chez lesquels le système d'auto-régulation coronaire est probablement anormal.

HORS-TEXTE

Enregistrement obtenu sur une malade de 36 ans atteinte d'un rétrécissement et insuffisance mitrale : rythme sinusal. La régurgitation mitrale est particulièrement visible sur l'enregistrement de pression pris dans l'oreillette gauche. La première onde de cet enregistrement marquée A correspond à la contraction auriculaire, la deuxième onde marquée M correspond à la régurgitation mitrale.

(Enregistrement obtenu au Centre de Chirurgie cardio-vasculaire « Paul SANTY », à Lyon, sur appareil Hellige.)

