

## SUR LA FORME DE LA CONTRACTION DU MUSCLE VENTRICULAIRE.

par LÉON FREDERICQ

(20 figures)

(Institut de Physiologie. Liège)

UN grand nombre de physiologistes admettent avec MAREY <sup>(1)</sup>, que la contraction du muscle cardiaque, dans la systole ventriculaire, doit être considérée comme une *secousse musculaire simple*. MAREY a constaté, en effet, que le cœur de la grenouille et celui du lapin, extraits du corps, et continuant à battre spontanément, mais à vide, fournissent des graphiques en forme de colline à sommet unique, de vrais tracés de secousse musculaire. Si le tracé cardiographique de la systole ventriculaire recueilli sur le cœur *in situ*, ne présente pas cette forme simple, et nous montre d'ordinaire une courbe trapézoïde à plateau ondulé, cela provient d'après MAREY, de la présence du sang à l'intérieur des ventricules, et des réactions hydrauliques, exercées par la colonne liquide aortique sur le contenu du ventricule. MAREY a cité à l'appui de cette théorie une série d'expériences exécutées sur son *Schéma de la circulation*, expériences dans lesquelles des ondes, nées dans le tube qui représentait l'aorte, se traduisaient en effet sur le tracé du ventricule en caoutchouc, par des ondulations, rappelant celles du plateau systolique du cœur vivant.

Cette question a été étudiée à différentes reprises dans mon laboratoire par mes élèves et par moi-même <sup>(2)</sup>. Nous avons constaté que la forme du

(1) MAREY. — *La circulation du sang*. Paris 1881, 24 et suiv., 32 et suiv. et 93 et suiv.

(2) LÉON FREDERICQ. — Sur la nature de la systole ventriculaire. *Ann. soc. médico-chirurg. Liège*, juillet 1886 et *Trav. Labor., Liège*, 1887-1888, II, 32.

Sur la physiologie du cœur chez le chien. *Bull. Acad. r. Belg.* 1886, XII, n° 12, et *Trav. Lab. Liège*, 1887-1888, II, 33-34.

La pulsation du cœur chez le chien. *Bull. Acad. r. Belg.* 1887 et *Arch. de Biol. et Trav. Lab. Liège*, 1887-1888, II, 91-105.

J. WAROUX. — Du tracé myographique du cœur exsangue. *Bull. Acad. r. Belg.*, 1898, XXXV, 222; *ibid.* XXXVI, 65, et *Arch. de Biol.*, XV, 659, et *Trav. Lab. Liège*, 1901, VI, 39-60.

Du tracé de contraction d'un fragment isolé du myocarde. *Bull. Acad. r. Belg.*, 1900, 7-17 et *Arch. de Biol.* XVII, 543, et *Trav. Labor. Liège*, 1901, VI, 123-131.

JEAN DEROUAUX. — Tracé myographique du cœur du lapin isolé, nourri au moyen de liquide de Locke. *Bull. Acad. r. Belg.*, 1903, 470-483.

tracé myographique fourni par le muscle cardiaque, dépendait, non de l'état de réplétion ou de vacuité des cavités cardiaques, mais des conditions plus ou moins normales de sa nutrition.

Ainsi le tracé myographique de la systole ventriculaire peut présenter encore la forme trapézoïde alors qu'on le recueille au moyen de la pince myocardiographique sur le cœur du chien ou du lapin *in situ*, rendu exsangue par section brusque des gros vaisseaux artériels (aorte et artère pulmonaire), ou par ligature des veines caves et azygos. La même forme trapézoïde à plateau ondulé se rencontre également sur les cardiogrammes fournis par le cœur du chien ou du lapin, extrait du corps, et maintenu vivant par une circulation artificielle de sang ou de liquide de LOCKE, suivant le procédé de LANGENDORFF. Enfin les myocardiogrammes fournis par un lambeau de la paroi ventriculaire du chien, nourri par une injection de sang poussée dans une branche de l'artère coronaire, suivant le procédé de PORTER, nous montrent également la courbe trapézoïde avec ondulations du plateau. Dans toutes ces expériences, les cavités ventriculaires restent vides, ce qui exclut la production d'ondulations d'origine hydraulique. La forme du tracé cardiographique reste la même qu'il s'agisse des pulsations rythmées, spontanées, ou d'extra-systoles provoquées par l'excitation artificielle (par un choc d'induction) du myocarde. La courbe trapézoïde à plateau systolique plus ou moins ondulé, représente donc bien la forme de la contraction même du muscle cardiaque. Cette contraction ne saurait être assimilée à une secousse simple.

Dans tous ces cas, comme dans les pulsations ordinaires d'un cœur rempli de sang, le tracé myographique de la systole ventriculaire présente une phase brusque de raccourcissement, analogue à la phase d'énergie croissante de la secousse simple d'un muscle du squelette. Mais, chez le muscle du squelette, la phase d'énergie décroissante ou de relâchement, fait immédiatement suite à la phase de raccourcissement, ce qui conduit à l'inscription d'un tracé myographique en forme de colline à sommet unique ; au contraire, pour le muscle cardiaque, le raccourcissement bref du début est suivi d'une phase de contracture, maintenant le muscle cardiaque dans un état de raccourcissement oscillatoire, se traduisant par l'inscription d'un plateau ondulé, plus ou moins long, auquel succède ensuite un relâchement plus ou moins brusque. J'ai insisté sur la ressemblance que présente le tracé de la systole ventriculaire avec celui d'un court tétanos d'un muscle du squelette.

J'ai montré aussi que l'on pouvait, en plaçant le muscle ventriculaire dans de mauvaises conditions de nutrition, modifier le mécanisme de sa contraction et la rendre semblable à une secousse musculaire simple, c'est-à-dire supprimer la contracture et ne conserver que la contraction brève du début, à laquelle le relâchement succède alors immédiatement.

Les tracés à colline unique recueillis par Marey sur le cœur du lapin extrait du corps, et soustrait à toute circulation, rentrent dans cette catégorie.

Je crois utile de reproduire ici quelques graphiques illustrant ces particularités de la contraction ventriculaire et montrant que la forme trapézoïde de cette contraction est indépendante de l'état de vacuité ou de réplétion des cavités cardiaques, mais dépend au contraire de la qualité du liquide nourricier qui alimente les parois musculaires des ventricules.

La fig. 1 nous montre un tracé fourni par la pince myocardiographique introduite dans le ventricule gauche d'un cœur de chien extrait et maintenu vivant par le procédé de LANGENDORFF (le cœur est vide de sang ; le liquide nourricier ne circule que dans les parois du cœur). La contracture qui suit la secousse du début est manifeste. On arrête l'arrivée du liquide nourricier : le cœur continue à battre, mais la contracture disparaît peu à peu. A la fin on n'obtient plus que des tracés rappelant tout à fait ceux de secousse musculaire simple (voir la ligne inférieure).

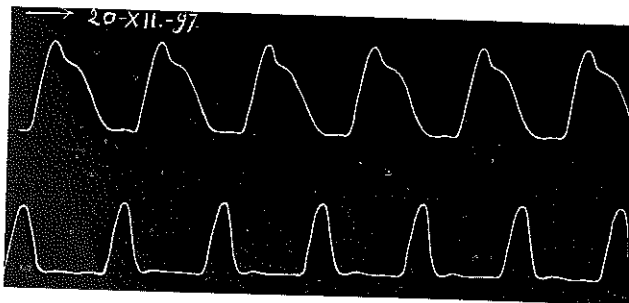


FIG. 1. — Cœur de chien isolé et vide, nourri par l'aorte au moyen de sang de chien (procédé de LANGENDORFF). Ligne supérieure : tracé normal. Ligne inférieure : tracé pris à la fin de l'expérience, après arrêt de la circulation.

Si l'on rétablit la circulation du liquide nourricier dans les artères coro-

naires, les tracés reprennent leur forme trapézoïde, comme le montrent les fig. 2, 3, 4.

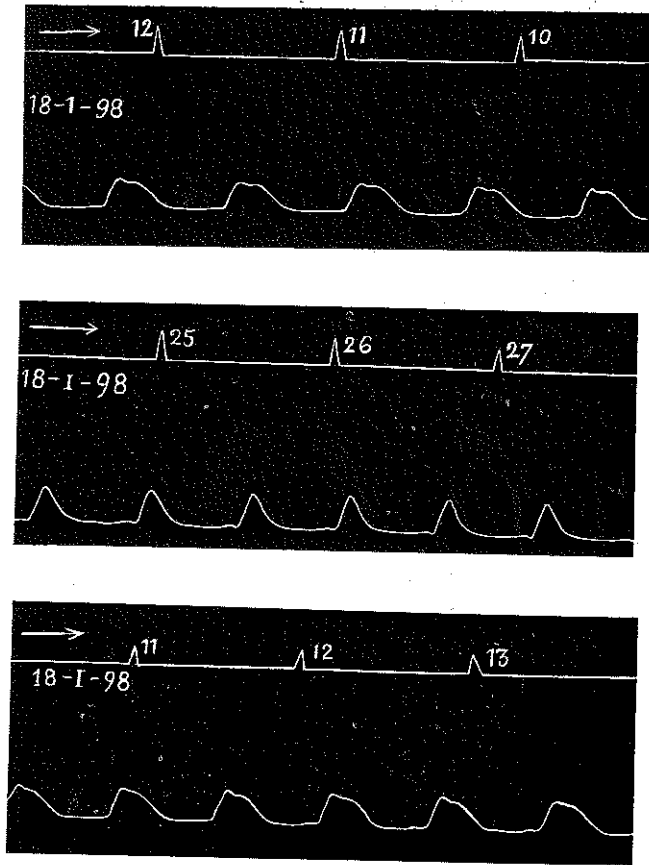


FIG. 2.-3.-4. — Tracés myocardiographiques pris sur un cœur de chien isolé (procédé de LANGENDORFF) avant l'occlusion (fig. 2), pendant l'occlusion (fig. 3), et après désocclusion (fig. 4) du tube d'arrivée du sang nourricier coronaire.

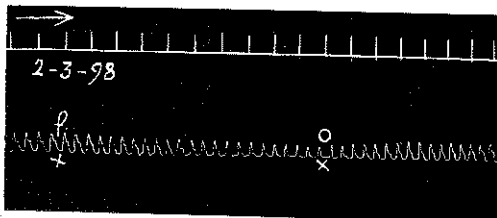


FIG. 5. — Cœur de chien extrait (LANGENDORFF). — Circulation coronaire de sang artérialisé. — Pince myocardiographique. — *f*, fermeture temporaire du tube d'arrivée du sang. — *o*, ouverture de ce tube et rétablissement de la circulation de sang artérialisé.

La fig. 5 nous fait assister aux modifications que produisent l'occlusion, puis la désocclusion du tube d'arrivée du sang nourricier.

La suppression temporaire de la circulation coronaire produit une asphyxie

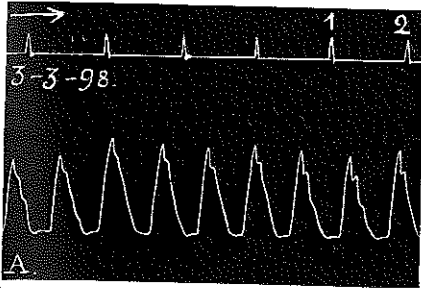


FIG. 6. — Cœur de chien extrait. — Pince myocardiographique. — Circulation artificielle de sang artériel.

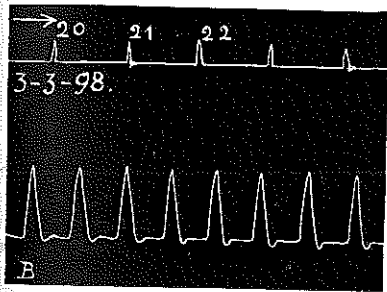


FIG. 7. — Le même cœur, 20 secondes après l'établissement de la circulation de sang à  $\text{CO}_2$  (mélange de sang à  $\text{CO}_2$  avec deux volumes de sang artériel).

lente par privation d'oxygène et par accumulation sur place des produits de la combustion organique, notamment de  $\text{CO}_2$ . Le même résultat peut être atteint beaucoup plus rapidement par une circulation coronaire artificielle de sang chargé d'acide carbonique (sang de chien défibriné, soumis à un courant de  $\text{CO}_2$ , mélangé avec deux volumes de sang normal), comme le montrent les fig. 6 et 7.

Les mêmes expériences peuvent être exécutées en utilisant, à l'exemple de W. T. PORTER, un lambeau musculaire losangique découpé dans la paroi antérieure du ventricule gauche du cœur du chien, nourri par circulation artificielle de l'artère coronaire antérieure. Dans les conditions favorables, le lambeau continue à battre spontanément et peut inscrire sa contraction par l'intermédiaire du myographe à transmission de MAREY.

Les fig. 8, 9, 10 ont été obtenues ainsi. La fig. 9 correspond à la suspension de la circulation coronaire.

Au lieu de sang, on peut employer comme liquide nourricier le liquide de LOCKE saturé d'oxygène. Les résultats sont les mêmes quand l'expérience réussit, c'est-à-dire quand le cœur de chien continue à battre, comme le montrent les fig. 11 et 12.

L'expérience est plus facile à réussir sur le cœur du lapin, isolé suivant le procédé de LANGENDORFF, et nourri également au moyen de liquide de LOCKE, saturé d'oxygène.

Si l'on remplace l'oxygène par l'anhydride carbonique, on observera

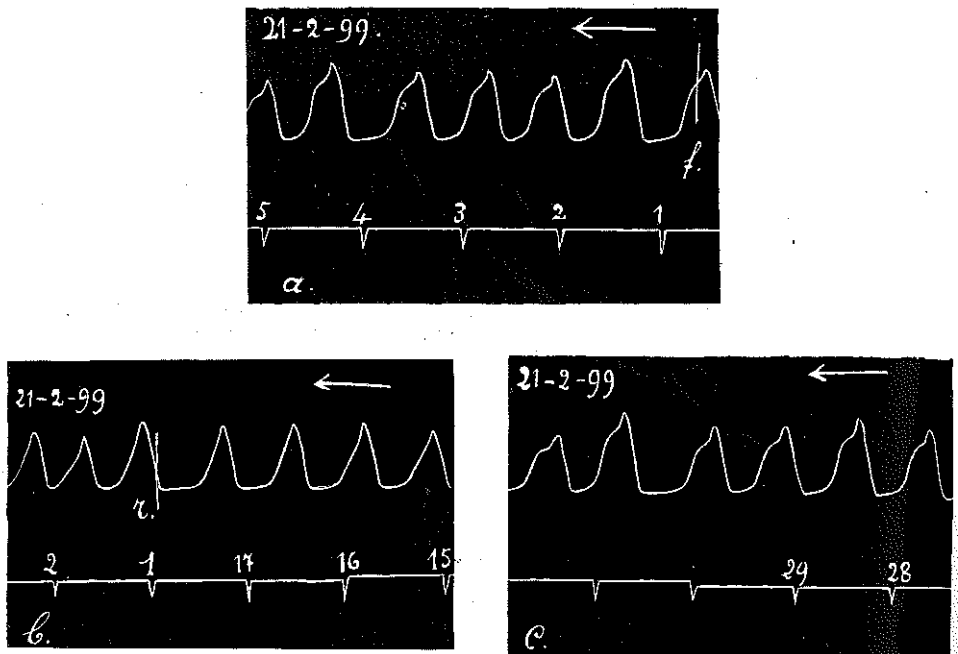


FIG. 8, 9, 10. — Myocardiogrammes correspondant aux pulsations spontanées d'un lambeau musculaire découpé dans le ventricule gauche du chien (procédé de PORTER) nourri au moyen de sang de chien injecté dans la coronaire. fig. 8 — avant l'arrêt de la circulation ; fig. 9 — 15 secondes après l'occlusion ; fig. 10 — 23 secondes après le rétablissement de la circulation. (A lire de droite à gauche.)

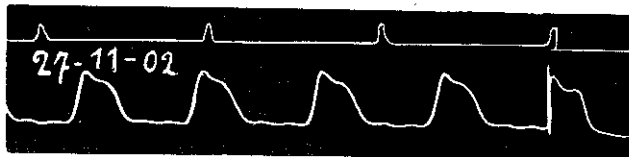


FIG. 11. — Tracé myographique du cœur du chien isolé, nourri au moyen de liquide de LOCKE saturé d'oxygène. (A lire de gauche à droite.)



FIG. 12. — Même cœur, 23 secondes après l'arrêt de la circulation.

également la transformation de la courbe myographique, par suppression de la phase de contracture. Au cours de ces expériences, on peut observer une alternance de cardiogrammes simples et de cardiogrammes à plateau (fig. 14) et enfin recueillir parfois des cardiogrammes simples, alternativement forts et

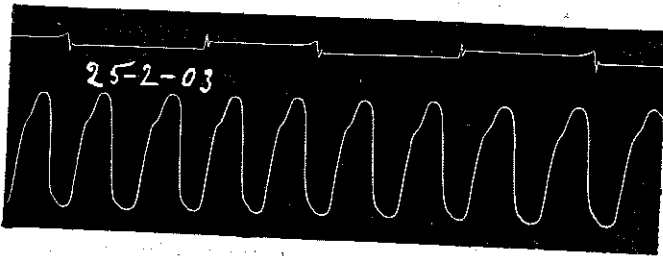


FIG. 13. — Tracé myographique du cœur du lapin isolé (LANGENDORFF), nourri au moyen de liquide de LOCKE saturé d'oxygène.

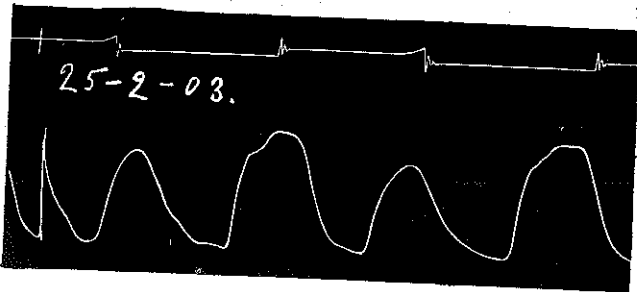


FIG. 14. — Même cœur. Depuis une demi-minute, l'oxygène a été remplacé par CO<sup>2</sup>.

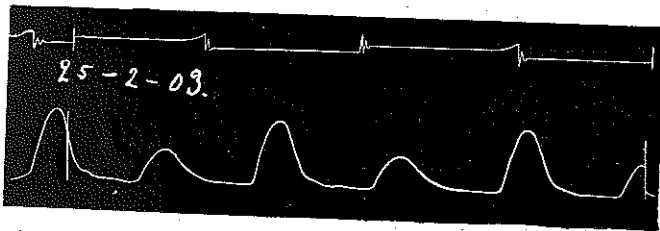


FIG. 15. — Même cœur. Depuis deux minutes et demie l'oxygène a été remplacé par CO<sup>2</sup>.

faibles (fig. 15). C'est un point sur lequel je n'insiste pas pour le moment. Les expériences que je viens de rappeler ne sont pas toutes d'une exécu-

tion très facile ni d'une réussite certaine. Il arrive assez souvent que le cœur du chien est pris de trémulations fibrillaires ou ne se ranime pas sous l'influence de la circulation artificielle de sang ou de liquide de Locke.

Il existe un moyen plus simple d'observer les effets de l'arrêt de la circulation nourricière sur la forme des tracés cardiographiques. Ce moyen consiste à lier temporairement ou à comprimer les veines caves et la veine azygos. Voici comment j'opère. Je fixe une canule dans la trachée d'un chien narcotisé (1 ctg. de chlorhydrate de morphine par kg. d'animal en injection sous-cutanée, chloroforme), de manière à pouvoir entretenir la respiration artificielle (au moyen d'air chauffé). J'incise la peau sur la ligne médiane (au scalpel ou au thermocautère), sur toute la longueur du sternum. Je fends le sternum exactement sur la ligne médiane au moyen d'une petite scie, en commençant du côté du cou et terminant au niveau de l'appendice xyphoïde. L'opération s'exécute sans perte de sang. Les deux moitiés de la paroi thoracique antérieure sont fortement écartées et rabattues à droite et à gauche au moyen de fortes ficelles, traversant de chaque côté deux espaces intercostaux (le 1<sup>er</sup> et le 6<sup>me</sup> par ex.) et se fixant sur les côtés de la table d'opération. Je place une ligature permanente sous la grande veine azygos, j'isole les deux veines caves et je passe sous chacune d'elles une forte ficelle pouvant servir à comprimer les veines caves, et faire office de ligatures temporaires. On fait passer pour chacune des veines, les deux chefs de la ficelle à travers un petit anneau porté au bout d'une tige en métal. L'anneau est maintenu contre la veine. Il suffit alors de tirer sur les deux bouts de la ficelle pour comprimer la veine contre l'anneau, sans la déplacer et sans tirailler le cœur. Il est bon de réséquer le phrénique droit sur toute la longueur des veines caves, afin d'éviter l'excitation éventuelle du nerf. Puis le péricarde est incisé et un crochet en forme d'hameçon est fixé, soit dans la paroi antérieure du ventricule droit, soit dans celle du ventricule gauche. Le crochet est relié par un fil à un tambour à air qui communique par un tube en caoutchouc avec un petit tambour à levier chargé d'inscrire les contractions du muscle cardiaque sur le papier enfumé du grand enregistreur de HERRING. Toute contraction du muscle cardiaque se traduit ainsi par une descente de la plume qui trace le graphique : *cardiogrammes négatifs*.

Il est facile de transformer ces cardiogrammes négatifs en cardiogrammes positifs : il suffit de retourner le graphique de bas en haut, ce qui entraîne comme conséquence la lecture des graphiques de droite à gauche, comme le montrent les flèches des figures 16-19.



L'inscription par ce procédé ne traduit pas toujours fidèlement la forme de

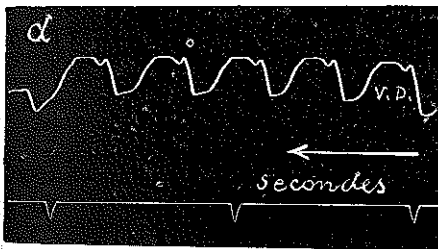
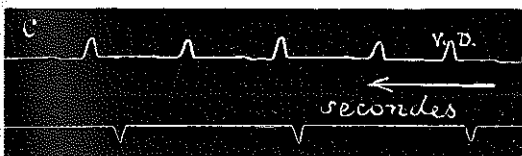
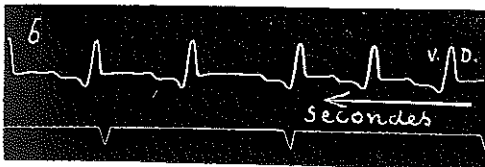
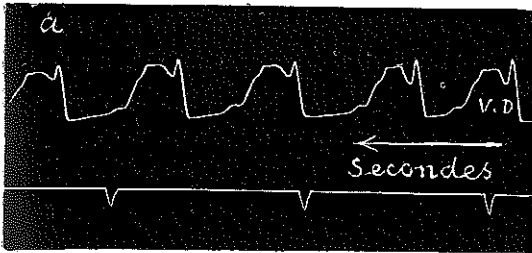


FIG. 16, 17, 18, 19. — Tracés cardiographiques du ventricule droit recueillis *in situ* chez une chienne de 7 kilog. morphinée et chloroformée. Les pulsations sont transmises par un crochet et un fil à un tambour explorateur relié à un tambour à levier. Le graphique monte à chaque pulsation. (A lire de droite à gauche).

a. — Cardiogrammes trapézoïdes, recueillis une demi minute au moins après l'occlusion des veines caves.

b. — Cardiogrammes simples, semblables à des graphiques de secousse, recueillis plus de cinq minutes après le début de l'occlusion.

c. — Cardiogrammes recueillis une minute après les tracés b.

d. — Cardiogrammes redevenus normaux, quelques secondes après le rétablissement de la circulation.

la contraction cardiaque. Je préfère l'application de ma pince myocardio-graphique, dont une branche est introduite par l'auricule gauche dans le ventricule gauche. L'opération est un peu plus compliquée : elle donne parfois lieu à la fibrillation des ventricules et au délire du cœur.

Pour étudier les effets de l'interruption de la circulation cardiaque, il suffit d'arrêter le cours du sang dans les veines caves en les comprimant au

moyen des ficelles, comme il a été dit plus haut. Au bout d'un petit nombre de secondes, le pouls carotidien disparaît. Le tracé de la systole ventriculaire n'en conserve pas moins pendant assez longtemps, parfois pendant plusieurs minutes, sa forme normale de trapèze à plateau systolique ondulé, ou si l'on veut, de contraction brusque, suivie de contracture (voir fig. 16). Mais au bout d'un temps plus ou moins long, la contracture a une tendance à s'atténuer de plus en plus et il peut ne rester qu'une contraction brusque, s'inscrivant par une seule colline et rappelant le graphique de secousse simple des muscles du squelette (voir fig. 17).

A mesure que l'arrêt de la circulation se prolonge, les contractions cardiaques s'affaiblissent et les myocardiogrammes diminuent de hauteur (fig. 18). Le cœur finirait par s'arrêter. On peut le restaurer en peu d'instants en rétablissant la circulation par le relâchement des ficelles qui comprimaient les deux veines caves. Les cardiogrammes reprennent rapidement leur forme typique (fig. 19). Si le cœur *in situ* tardait à fournir des graphiques simples, sous l'influence de l'arrêt de la circulation, on pourrait le détacher au moyen de quelques coups de ciseaux, le placer sur une assiette, et recueillir des graphiques dans les mêmes conditions que celles dans lesquelles MAREY avait opéré sur le cœur isolé du lapin.

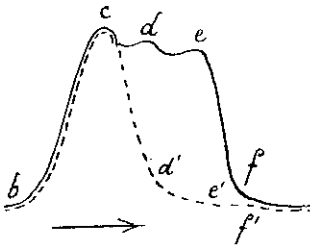


FIG. 20. — Schéma représentant les deux formes propres de contraction du muscle ventriculaire  
*bcdef*, ligne pleine — contraction normale, montrant la contraction du début *bc*, suivie de la contracture *cde*.  
*bcd'e'f'*, ligne interrompue — contraction brève correspondant à une alimentation insuffisante du cœur.

La fig. 20 représente schématiquement les deux formes de tracés myocardiographiques :

1° *bcdef*, le tracé normal correspondant à la contraction du muscle ventriculaire convenablement nourri, se composant d'une *contraction brève bc* à laquelle fait suite une *contracture cde* présentant souvent trois oscillations *c, d, e*, chez le chien (deux chez le lapin) ;

2° *bcd'e'f'* (ligne interrompue), le tracé tel que le fournit un muscle cardiaque dans de mauvaises conditions de nutrition (arrêt de la circulation, liquide de LOCKE ou sang chargés de  $\text{CO}_2$ ), ne montrant que la contraction brève du début *bcd'*, la *contracture* faisant défaut.

Faut-il, en se basant sur l'analogie extérieure que présente le plateau

systolique *c d e* avec le graphique d'un court *tétanos* de muscle du squelette, tenter d'identifier la systole ventriculaire avec un *tétanos* du muscle cardiaque, comme j'avais cru pouvoir le faire, en me plaçant sur le terrain de la *théorie neurogène* ? La question me paraît à présent oiseuse, si je me place au point de vue de la *théorie myogène*. La *théorie neurogène* supposait que les impulsions motrices, naissant dans les cellules des ganglions automoteurs du cœur, étaient transmises au muscle cardiaque par des nerfs moteurs comparables à ceux des muscles du squelette.

Le schéma de l'innervation du muscle cardiaque étant ainsi censé le même que celui de l'innervation des muscles du squelette, on pouvait discuter la question de savoir si la contraction cardiaque répondait à une seule excitation, émanée de ses ganglions automoteurs (auquel cas elle devait être assimilée à une secousse simple), ou s'il fallait admettre plusieurs excitations nerveuses pour une seule systole (comme dans la production du *tétanos* des muscles du squelette). Si l'on admet, conformément à la *théorie myogène*, que le *primum movens* de la pulsation cardiaque réside, non dans les éléments nerveux du cœur, mais dans la fibre musculaire elle-même, on se trouve dans des conditions très différentes de celles de l'innervation des muscles du squelette, et l'on n'a plus à se demander si les particularités de la systole ventriculaire reproduisent celles de l'innervation d'une secousse simple ou celle d'un *tétanos* d'un muscle du squelette. La *théorie myogène* doit donc étudier la contraction du muscle cardiaque en elle-même, sans chercher à la faire rentrer de force dans le schéma adopté pour les muscles du squelette.

#### RÉSUMÉ

La contraction du muscle ventriculaire (cœur de chien) se fait suivant un *type propre*, différent de celui des muscles du squelette. On peut y distinguer deux parties, d'abord une *contraction brève, initiale*, à laquelle, fait suite une *contracture* plus ou moins oscillatoire.

La *contraction initiale* peut se montrer seule, la *contracture* faisant défaut. C'est le cas notamment lorsque le muscle ventriculaire est placé artificiellement dans de mauvaises conditions de nutrition, par suite de la suppression de la circulation, ou par suite de circulation de sang asphyxique (riche en  $\text{CO}_2$  par exemple). C'est le cas également dans les pulsations ventriculaires *abortives*, auxquelles ne correspondent pas de pulsations artérielles. Enfin c'est le cas pour la systole auriculaire normale, dont le tracé représente une contraction brève, sans *contracture*.

La *contraction avec contracture* (de la systole ventriculaire) rappelle, par sa forme, la secousse des muscles du squelette, lorsqu'ils sont empoisonnés par la vératrine ; tandis que la *contraction brève* (de la systole auriculaire) rappelle la secousse ordinaire des muscles du squelette non empoisonnés.