

les exercices qui lui sont habituels (marche par exemple) parce qu'alors il ne contracte que les muscles dont le jeu est directement utile à l'action. Dans le cas contraire, il contracte des groupes de muscles inutiles au mouvement à accomplir, et cette contraction, ne pouvant produire un travail utile, ne donne lieu qu'à un dégagement de chaleur : aussi voit-on le corps se baigner de sueur chez les sujets qui se livrent à un exercice même peu énergique, mais nouveau pour eux.

Pouvoir électro-moteur. Nous avons vu que sous la forme de repos le muscle présente un pouvoir électro-moteur tel que sa surface est positive relativement à son intérieur.

Si sur un muscle sous la forme de repos on met les fils d'un galvanomètre en contact, l'un avec sa surface ou section longitudinale, l'autre avec sa section transversale, de façon à constater le courant qui dans ce cas se dirige de la première surface vers la seconde dans le circuit galvanométrique, et si l'on fait passer ce muscle à la forme active, on observe, tant qu'existe cette nouvelle forme, que l'aiguille, précédemment déviée par le courant, revient vers le zéro et oscille au delà et en deçà de lui (Du Bois-Reymond). L'état électro-moteur du muscle a donc changé; c'est ce qu'on a appelé la *variation négative* du courant du muscle contracté. Mais de même que nous avons vu qu'on ne pouvait rien conclure du pouvoir électro-moteur du muscle en repos, de même on ne peut rien affirmer de positif sur sa *variation négative* à l'état actif, car on ne peut encore dire si elle est due à ce que le courant primitif est supprimé, ou simplement diminué, ou même remplacé par un courant inverse.

Du Bois-Reymond, qui découvrit la *variation négative*, considéra ce phénomène comme résultant de l'*affaiblissement* du courant normal (électro-moteur) du muscle à l'état de repos, affaiblissement qui permettait alors la manifestation d'un courant de sens contraire, dû uniquement aux polarités secondaires du fil du galvanomètre (polarisation des électrodes. — Voy. la *Physique* de Wundt, trad. de Ferd. Monoyer) : Matteucci au contraire crut à une *complète*

inversion du courant normal de repos. L'expérience a donné raison à Du Bois-Reymond, car, étant parvenu à construire des électrodes qui ne présentent pas de polarisation (zinc amalgamé plongeant dans une solution de sulfate de zinc, Régnault), on a pu prouver que quand le muscle passe à la forme active il n'y a que suppression ou même seulement diminution, mais jamais renversement du courant normal du muscle sous la forme de repos.

C. Rôle du muscle dans l'économie : son fonctionnement. — Connaissant les deux formes du muscle et les propriétés dont il jouit sous chacune d'elles, nous pouvons déjà nous faire une idée de la manière dont l'élément musculaire fonctionne dans l'organisme. — Des diverses propriétés du muscle, on peut dire que celles qui sont les plus utiles à l'économie sont :

1° — *L'Élasticité.* Nous verrons en effet plus tard que nombre de cavités à parois musculaires mettent plus particulièrement à profit l'élasticité si parfaite, et la facilité vraiment merveilleuse du muscle à se laisser distendre : nous verrons notamment à propos de l'*estomac* et des *oreillettes du cœur*, que le muscle placé dans les parois de ces sacs membraneux est surtout utile par la grande facilité qu'il prête à ces cavités de se laisser dilater, et nous n'aurons aucune répugnance à admettre des muscles (pour les alvéoles pulmonaires par exemple, ou tout au moins pour les bronches), qui agissent par leur élasticité, bien plus peut-être que par leur contractilité.

2° — *La propriété de passer de la forme de repos à la forme active* constitue pour l'élément musculaire la véritable *activité vitale*, la propriété physiologique essentielle : c'est là la forme essentielle de son *irritabilité*. Il nous reste donc à étudier cette irritabilité; à voir si elle est bien une propriété du muscle, analogue à celle que nous avons signalée pour les globules; à voir quels sont les agents qui la modifient; les irritants qui la mettent en jeu; comment le muscle répond à ces irritants, et enfin comment on a essayé

d'expliquer les phénomènes intimes qui se passent alors en lui.

Irritabilité du muscle. D'après la marche que nous avons suivie, faisant dériver du globule, forme première de tous les tissus, la forme anatomique et les propriétés physiologiques de l'élément musculaire, puisque nous savons que le globule possède la propriété de changer de forme, et que c'est là l'un des modes de son irritabilité, nous concevons facilement que le muscle ait conservé essentiellement ce mode d'irritabilité du globule, et que la propriété de réagir ainsi sous l'action des excitants lui soit absolument propre. Malheureusement il n'en a pas été ainsi aux yeux de tous les physiologistes et quoique Halter eût déjà fait de l'*irritabilité* une propriété inhérente au muscle lui-même, bien des auteurs depuis ont prétendu et prétendent encore que le muscle n'est pas directement irritable (Funke, Eckhard, Jaccoud), et que tous les excitants appliqués au muscle n'agissent sur lui que par l'intermédiaire des terminaisons des nerfs moteurs qu'il contient. Parmi les nombreux faits qui réfutent cette manière de voir et démontrent l'irritabilité directe du muscle, nous ne citerons que les deux suivants :

Certains poisons (Curare) rendent les nerfs moteurs complètement incapables d'action, par suite incapables de transmettre une irritation aux muscles; cependant, dans ce cas, les muscles excités directement peuvent passer de la forme de repos à la forme active (Cl. Bernard, Kölliker); les dernières et fines ramifications nerveuses qu'ils contiennent ne prennent aucune part à cette irritabilité, puisque les poisons en question tuent surtout les terminaisons intra-musculaires des nerfs (Vulpian).

Un nerf moteur séparé de l'axe cérébro-spinal perd après quatre jours toute excitabilité : le muscle au contraire, innervé précédemment par ce nerf, demeure encore directement excitable plus de trois mois après (si toutefois il a gardé ses rapports avec les nerfs sensitifs et vaso-moteurs qui président à sa nutrition (Longet).

Variations de l'irritabilité. L'*irritabilité* appartient donc bien au muscle lui-même; mais elle peut être modifiée par

diverses circonstances, qui toutes peuvent être considérées comme modifiant la nutrition du muscle, ou sa constitution chimique. C'est ainsi qu'agit le repos trop prolongé, car un exercice modéré, amenant un plus grand échange entre le muscle et le sang, entretient la nutrition du muscle; c'est ainsi qu'en sens inverse agit la fatigue ou la contraction permanente, qui accumulent des acides dans le muscle et lui font perdre l'alcalinité nécessaire au maintien de ses propriétés; c'est ainsi que peu de temps après la mort, la circulation ne lui fournissant plus les matériaux nécessaires à son entretien, le muscle n'est plus irritable, et le temps après lequel disparaît son irritabilité varie selon les animaux, et paraît être d'autant plus court que ceux-ci ont une nutrition plus active, c'est-à-dire que le muscle brûle plus vite les matériaux que lui a laissés la circulation : aussi ce temps est-il assez long pour les animaux à sang froid. Cependant il varie chez un même animal selon les muscles, et même selon les parties d'un même organe musculéux : ainsi le ventricule gauche du cœur est un des premiers muscles qui meurent, tandis que l'oreille droite, qui conserve son irritabilité plus longtemps que tous les autres muscles du corps, a mérité ainsi le nom d'*ultimum moriens*.

Rigidité cadavérique. Dans ce cas le muscle, après avoir perdu son irritabilité, passe à l'état que nous avons déjà indiqué sous le nom de *rigidité cadavérique*, rigidité qui est due à la coagulation de la substance albumineuse du muscle (myosine) par les acides qu'il a formés : aussi le muscle peut-il passer à la *rigidité spontanée*, après une activité persistante qui produit un énorme excès d'acide; les acides minéraux, la chaleur (50°), enfin tout ce qui coagule la myosine, produisent ou hâtent cette rigidité; nous avons déjà vu qu'une injection de sérum ou de liquide alcalin l'empêche ou la retarde (pag. 84). L'espèce de rétraction que présentent les muscles pendant cette rigidité est due à ce que la myosine coagulée se contracte et se solidifie; aussi le muscle est-il alors très-fragile, et cet état ne cesse-t-il que lorsque la putréfaction vient liquéfier ce coagulum; il va sans dire qu'alors le muscle est de nouveau

alcalin, vu la présence de l'ammoniaque résultant de sa décomposition.

D'après ces quelques données théoriques il est facile de comprendre les résultats précis que l'observation a constatés relativement à la rigidité cadavérique, et qui peuvent se résumer ainsi : la rigidité cadavérique se manifeste au plus tôt dix minutes et au plus tard sept heures après la mort; elle envahit les muscles du corps dans l'ordre invariable suivant : d'abord les muscles de la mâchoire inférieure, puis les muscles du cou et des membres inférieurs; enfin les muscles des membres thoraciques. Cette rigidité dure plusieurs heures, et, d'une manière générale, d'autant plus longtemps qu'elle commence plus tard. Pour chaque muscle en particulier on observe que ceux qui se sont raidis les premiers (ceux de la mâchoire inférieure) demeurent les derniers en rigidité : plutôt un muscle perd son excitabilité, plutôt arrive la rigidité cadavérique. C'est pourquoi elle vient plutôt chez les oiseaux que chez les mammifères, plutôt chez les mammifères que chez les vertébrés à sang froid. Les muscles qui ont été fatigués fortement avant la mort, perdent plus rapidement leur excitabilité et deviennent plus vite rigides. Il est d'expérience vulgaire que les animaux tués après avoir été longtemps chassés ou surmenés, sont pris de roideur cadavérique presque aussitôt après la mort, et qu'alors la rigidité dure peu. On a constaté le même phénomène sur les soldats tués à la fin d'une longue bataille, et c'est ainsi qu'on a pu observer des cadavres immobilisés par la rigidité dans l'attitude même de la lutte.

Poisons musculaires. Les poisons, ou, d'une manière plus générale, les divers agents qui portent spécialement leur action sur les muscles, agissent les uns en augmentant, les autres en diminuant leur irritabilité. Les premiers ou agents *excito-musculaires* sont peu nombreux : on ne peut guère citer que la *vératrine*, l'*acide carbonique* et le *seigle ergoté*. Les expériences de Prévost (de Genève) ont en effet démontré que la *vératrine*, injectée dans le sang d'un animal, augmente à tel point l'irritabilité musculaire que toute excitation, quelque faible qu'elle soit, place aussitôt

les muscles dans un état de contraction analogue à celui du tétanos. L'acide carbonique paraît également augmenter l'irritabilité des muscles striés, et même produire directement leur contraction : les convulsions ultimes qui surviennent à l'instant de la mort par hémorrhagie seraient dues, en effet, d'après Brown-Séguard, à l'accumulation de l'acide carbonique dans les tissus qui ne peuvent plus s'en débarrasser, la circulation se trouvant détruite; mais l'acide carbonique exerce cette action surtout sur les muscles lisses (Voy. plus loin). Quant à l'ergot de seigle, il agit uniquement sur ce dernier ordre de muscles. — Les agents *paralyso-musculaires* sont plus nombreux : on a d'abord reconnu cette propriété au sulfo-cyanuré de potassium (Cl. Bernard, Pélikan, Ollivier et Bergeron) (1); aussi une injection de ce sel amène-t-elle rapidement la mort de l'animal par arrêt du cœur. On a reconnu depuis que tous les sels de potassium, et même tous les sels métalliques autres que ceux de sodium, produisent le même effet, c'est-à-dire une mort foudroyante par paralysie et arrêt du muscle cœur, lorsqu'ils ont été introduits dans la circulation à des doses suffisantes (ces doses doivent être d'autant moins fortes que le poids atomique du métal est plus élevé, ou que sa chaleur spécifique est plus faible; Rabuteau). Les autres poisons qui agissent de la même manière sont encore l'*upas-antiar* (Kölliker, Pélikan); le *corroval*, l'*inée* ou poison du Gabon (Pélikan, Carville et Polaillon) (2). On peut encore citer la digitaline, l'opium et le chloroforme; mais pour ces deux derniers agents, l'action principale porte sur le système nerveux.

Irritants. Les agents qui peuvent solliciter l'irritabilité du muscle sont très-nombreux : ne sachant pas exactement le mode d'action de ces excitants, on les a divisés et classés simplement en chimiques, physiques et physiologiques.

Les *excitants chimiques* sont très-nombreux; presque tous les agents chimiques peuvent faire passer un muscle

(1) Ollivier et Bergeron, *Journal de physiologie*, t. VI. 1863

(2) Carville et Polaillon, *Archives de physiologie*. 1872.

de la forme de repos à la forme active : notons seulement que ces agents doivent être très-dilués en général, et quelques-uns, par exemple l'ammoniaque, n'ont, à cet état de dilution, aucune action sur les nerfs moteurs, nouvelle preuve que l'irritabilité musculaire appartient bien aux muscles et non aux nerfs.

Parmi les *excitants physiques* il faut placer en première ligne l'électricité, et surtout les courants, quelle qu'en soit la source (voyez p. 31); un autre excitant physique souvent employé dans les expériences, c'est le pincement, le choc (Heidenhain), la piqûre; enfin sous l'influence d'un courant d'air, d'un souffle du vent, il a été donné à tout le monde de voir la viande fraîche palpiter sur l'étal d'un boucher. Il faut encore citer les changements de température et surtout le froid : le froid est souvent employé en chirurgie pour amener la contraction des éléments musculaires lisses des artères. (Voy. CIRCULATION : *physiologie des parois artérielles*.) La lumière elle-même est un excitant du muscle, ainsi que l'ont montré les expériences de Brown-Séquard sur la pupille.

Enfin l'*excitant physiologique* nous est représenté par l'action des nerfs moteurs.

Analyse de la contraction. Le muscle, après avoir obéi à ces irritants, après avoir passé de la forme de repos à la forme active, revient à la première forme; c'est cet ensemble de changements qu'on a appelé la *contraction* du muscle. La contraction se compose donc de plusieurs temps : celui pendant lequel le muscle passe à la deuxième forme, celui pendant lequel il s'y maintient, et enfin celui pendant lequel il revient à la première. De plus on a reconnu que lorsqu'un excitant agit sur un muscle, celui-ci reste un très-court espace de temps avant d'obéir à cette excitation (Helmholtz); c'est donc là un premier temps qui précède les trois autres et qu'on a appelé l'*excitation latente*. — Si un muscle, suspendu verticalement par une extrémité, porte à l'autre un crayon qui puisse imprimer sa pointe sur un cylindre vertical tournant avec régularité, tant que le muscle sera sous la forme de repos, il tracera une ligne

horizontale sur le cylindre; lorsqu'une excitation brusque (un choc) agira sur lui, il continuera encore un certain temps à tracer cette ligne droite, et la longueur tracée alors représentera graphiquement l'*excitation latente* (fig. 21, 1, 2 et 3; AB); puis le muscle passant à la forme active, son extrémité inférieure tracera une ligne ascendante

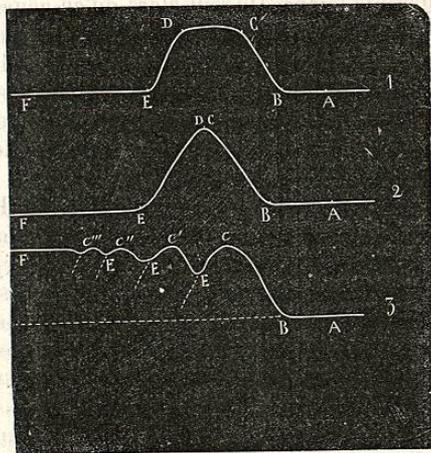


FIG. 21. — Tracés graphiques de la contraction musculaire *.

(fig. 21, BC), qui représente le passage d'une forme à l'autre; ensuite, au niveau qu'atteint cette ligne, nous

* 1. Analyse d'un tracé de la contraction musculaire. AB, excitation latente; — BC, ligne d'ascension; — CD, ligne tracée pendant que dure la forme dite active; — DE, ligne de descente et retour à la forme de repos (EF).

2. Forme ordinaire d'une secousse; — AB, excitation latente. De B en CD, ascension ou passage de la forme de repos à la forme active; — celle-ci ne se maintient qu'un instant en CD, et aussitôt se produit la ligne de descente DE ou retour à la forme de repos (EF).

3. Tétanos physiologique. — AB, excitation latente; — BC, ascension; — EC, descente interrompue par une nouvelle ascension; les secousses ainsi produites successivement (c, c', c'', c''') se succèdent ensuite assez rapidement pour se fusionner, de sorte que le muscle se maintient sous la forme active et trace la ligne F. — Les lignes ponctuées indiquent les descentes ou retours à la forme de repos qui se seraient produites si de nouvelles excitations n'avaient forcé le muscle à tracer une nouvelle ligne d'ascension, avant même d'avoir achevé la ligne de descente de la secousse précédente.