

El calórico, ó mejor, la elevacion de temperatura á más de 40° puede hacer que entren en contraccion los músculos de la vida orgánica, y como no se produce el mismo efecto en los de la vida de relacion, se llama á los primeros músculos *termo-sistálticos*, y *atermo-sistálticos* á los segundos. Las fibras musculares del iris tienen la particularidad de que lo mismo se contraen por el frio que por el calor cuando se hallan relajadas, y de que se relajan por igual motivo cuando están en contraccion. En el feto todos los músculos son *termo-sistálticos*, ya pertenezcan á la vida orgánica ó á la de relacion. Liebermeister sostiene que el aumento de temperatura ocasiona modificaciones importantes en la nutricion de los músculos, y á esta causa atribuye la disminucion de la contractilidad y las atrofiás musculares agudas que se observan en algunas enfermedades febriles. La degeneracion grasosa que se encuentra en el corazon cuando la fiebre produce una temperatura elevada durante mucho tiempo, la hace depender tambien de la misma causa. El frio contribuye igualmente á la contraccion de los músculos de fibra lisa, razon por la cual se emplea con frecuencia en cirugía para provocar la contraccion de los elementos musculares de las arteriolas en los casos de hemorragia ó en otras circunstancias parecidas.

La luz es otro de los excitantes de la contractilidad, al menos para las fibras lisas del iris que se contraen por su influencia, segun resulta de las observaciones de Brown-Séquard. Este fisiólogo ha demostrado que la pupila de gran número de reptiles y de peces disminuye de diámetro al poco rato de estar expuesta á los rayos solares, mientras que conserva sus dimensiones ordinarias si se la cubre con una pantalla ó se la coloca en un vaso que no permita el paso á la luz. Para evitar la duda de si este efecto era debido á la influencia de los rayos caloríficos y no á la de los luminosos, detuvo los primeros haciéndoles

atravesar cuerpos que los absorben, sin que por esto dejara de contraerse la pupila. Tambien ha demostrado que no es necesaria la presencia de la retina para que este fenómeno se produzca, pues el iris se contrae aunque la parte anterior del ojo esté completamente separada de la posterior. En los mamíferos y las aves, los efectos son más lentos y menos perceptibles.

Los *excitantes químicos* son todos aquellos que producen cambios rápidos en la composicion química del contenido muscular, ocasionando ademas su contraccion. Entre los más comunes se hallan los ácidos minerales debilitados, las disoluciones de las sales metálicas, los cloruros alcalinos, el ácido láctico, la glicerina, el amoniaco, y, segun Witlihc, el agua destilada, si se la inyecta en los vasos del músculo. El amoniaco diluido, que obra como excitante de la contraccion muscular, no ejerce ninguna accion sobre los nervios motores, lo que prueba tambien que la excitabilidad nerviosa no es indispensable para que los músculos entren en contraccion.

Uno de los aparatos más cómodos que poseemos para estudiar las contracciones de los músculos, sea cual fuere el excitante de que echemos mano, es indudablemente el *telégrafo muscular de du Bois-Reimond*. Este aparato es, á la contraccion muscular, lo que el microscopio á los objetos diminutos, pues amplifica enormemente el más insignificante acortamiento sobrevenido en el músculo : continuando la comparacion, podríamos decir que se asemeja al microscopio solar, en el sentido de que las contracciones de un determinado músculo, pueden ser vistas *á la vez* por un número considerable de personas. Compónese este aparato de un cilindro provisto de una aguja de gran longitud, cuya extremidad sustenta un disco colorado; un gancho, al cual se fija una extremidad de un determinado músculo, está enlazado al cilindro por medio de un hilo arrollado en él ; la otra extremidad del músculo está

sostenida por medio de una pinza. Desde el momento en que el músculo se contrae, gira el cilindro y el disco *se eleva*; cuando deja de contraerse y entra en relajación, el disco *desciende*. Alrededor del cilindro existe otro hilo que sostiene un platillo metálico destinado á contener una can-

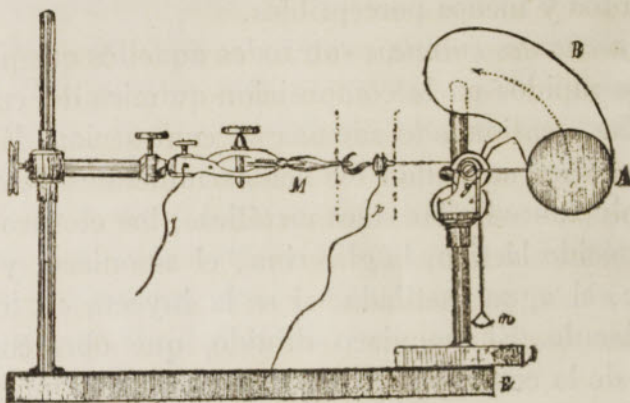


Fig. 60. — Telégrafo muscular de Dubois Reymond. — *M*, músculo gastro nemiano de la rana; *A*, disco colorado; *B*, placa sobre la cual se mueve el disco; *g*, polea; *m*, platillos para sostener los pesos; *y*, *x*, hilos que conducen al músculo una corriente eléctrica; *D*, sustentáculo; *E*, mesa donde descansa dicho sustentáculo.

tividad mayor ó menor de perdigones, según se quiera *cargar* al músculo más ó menos, para estudiar las relaciones existentes entre la *carga* del músculo, el *trabajo* efectuado y el *acortamiento* sobrevenido. Al músculo dispuesto de la manera referida se le puede tratar por los diferentes excitantes químicos, mecánicos, térmicos, eléctricos.

Entre los *agentes tóxicos* que dirigen principalmente su acción sobre los músculos los hay que obran de una manera diferente, pues mientras que unos aumentan las contracciones musculares, los otros las paralizan.

La veratrina introducida debajo de la piel aumenta de tal modo la contractilidad del tejido muscular, que basta el más ligero estímulo para que entre en contracción semitétánica, aunque se haya destruido la médula espinal ó aunque se haya anulado anteriormente la acción del sis-

tema nervioso periférico por medio del curare. El centeno de cornezuelo provoca tambien contracciones musculares, pero sólo obra sobre los músculos de fibra lisa.

El sulfo-cianuro de potasio y la mayor parte de las sales de potasa introducidas en el torrente circulatorio ó aplicadas directamente sobre los músculos disminuyen considerablemente su contractilidad.

El upas antiar, el corroval, el vao y el tanghin, puestos en contacto con el tejido celular, paralizan al poco tiempo los latidos del corazon y algo despues la contractilidad de los músculos voluntarios, que al fin llegan á extinguir por completo. Estos venenos ejercen una accion más enérgica sobre los puntos en que se aplican que sobre aquellos á que son conducidos por la circulacion, lo que demuestra que obran con independendencia de los centros nerviosos.

La digitalina paraliza tambien las contracciones del corazon, y en el mismo caso se hallan el opio y el cloroformo, pues aunque indudablemente obran sobre el sistema nervioso y sus efectos sobre el muscular son casi siempre secundarios, no puede negarse que ejercen tambien en este último una influencia directa, puesto que disminuyen la contractilidad aun en los animales á quienes se ha destruido anteriormente el eje cerebro-espinal.

Los gases no influyen todos de una manera igual. Sumergiendo el corazon de una rana en una atmósfera de oxígeno, sus latidos duran doce horas ; en el hidrógeno y en el ázoe, una ; en el ácido sulfhídrico gaseoso, doce minutos ; en el ácido carbónico, seis, y dos en el gas ácido clorhídrico.

Hay, por último, segun Liégeois, de quien hemos tomado algunos de los datos anteriores, ciertos venenos que, si bien obran sobre la contractilidad, ocasionan antes en los músculos alteraciones materiales perceptibles, como la atrofia y la degeneracion granulo-grasosa. Entre estos ve-

nenos se citan la ciclamina, el plomo, el alcohol, el sulfuro de carbono, el fósforo, el arsénico y el sulfo-cianuro de potasio.

Es preciso tener en cuenta, sin embargo, que la accion de los diferentes excitantes que acabamos de citar, cualesquiera que ellos sean, depende en gran parte de condiciones especiales que pueden por sí solas aumentarla, disminuirla ó alterarla. Así, la especie á que pertenece el animal, la mayor ó menor temperatura á que los músculos están sujetos, su estado de reposo ó de fatiga, los cambios ó modificaciones que por cualquiera causa puede haber experimentado el contenido muscular, etc., son otras tantas circunstancias que influyen en la manera de obrar de los excitantes.

CAPÍTULO VI.

Fenómenos que se observan en el músculo durante su contraccion.

§ 84.

Conocidas ya las condiciones orgánicas que los músculos necesitan para que se manifieste su contractilidad y los excitantes que la provocan, daremos á conocer el conjunto de fenómenos que tienen lugar durante su contraccion. Estos fenómenos pueden ser de tres clases: físicos, químicos y fisiológicos.

Entre los fenómenos físicos, figura, en primer lugar, la aproximacion de las dos extremidades musculares y de consiguiente el acortamiento de su eje longitudinal. Generalmente se admite que los músculos sólo pueden acortarse una tercera parte de su longitud, pero hay casos en que el encogimiento alcanza hasta la mitad. Por lo demas, la retraccion ó el acortamiento de la fibra depende en parte del estado de su nutricion, de la posicion en que se en-

cuentra el músculo con respecto á las palancas óseas en que se inserta, y, en general, de todas las circunstancias que pueden ejercer mayor ó menor influencia en su contractilidad.

El profesor Rouget, que, segun hemos dicho, considera al músculo como un *resorte en espiral*, sostiene que este resorte se halla *activamente* distendido durante el estado de reposo del músculo, á consecuencia de una fuerza que se desenvuelve en el acto de la nutricion ; y que en el momento de contraerse no hace más que volver pasivamente á su primera posicion. Así es, que la tendencia hácia un estado de contraccion extrema es una propiedad inherente á la fibra muscular viva, como consecuencia necesaria de su estructura y de su elasticidad.

El acortamiento de los hacecillos no se efectúa de una manera simultánea en todo el músculo, sino que empieza en el punto donde se aplica el estímulo, y lo recorre en forma de ondas en toda su extension. La velocidad de esta propagacion es, en los músculos de la rana, de unos 800 milímetros por segundo, y mirando con el microscopio se ve que la onda recorre una superficie del contenido líquido de la fibra muscular, al mismo tiempo que las estriás transversales se aproximan las unas á las otras. Esto no sucede, sin embargo, cuando la corriente eléctrica atraviesa el músculo en toda su extension, ó cuando se excita directamente el nervio motor, porque en este caso el estímulo obra á la vez sobre toda la masa muscular, y el acortamiento es simultáneo en todos los puntos.

El acortamiento de la fibra muscular no se verifica en el momento mismo en que obra el excitante, sino que transcurre antes un pequeño instante de reposo de $\frac{1}{200}$ de segundo, poco más ó menos, llamado por Helmholtz tiempo de *excitacion latente*. La retraccion es rápida al principio, pero va disminuyendo despues hasta llegar á su máximum. A partir de este momento, el músculo tiende

tambien á recuperar su longitud primitiva, rápidamente la principio y con más lentitud despues. El tiempo que transcurre hasta que la retraccion llega á su máximum es siempre mayor que el que se necesita para que el músculo recupere sus primeras dimensiones.

Entre dos músculos, de los que el uno tiene una longitud doble que el otro, el primero experimenta una retraccion doble que el segundo, y no porque las fibras largas se encojan más que las cortas, sino porque la retraccion es proporcional á la longitud ; así, cuando ésta es de 3 centímetros, por ejemplo, si el músculo se encoge uno, siendo la longitud de 6, el músculo se encogerá 2, etc. Por eso, en las amputaciones, el plano superficial, compuesto de músculos largos, se contrae más que el profundo, y por eso los músculos antagonistas, como los flexores y los extensores tienen, con corta diferencia, la misma longitud.

Cuando la contraccion es provocada por una excitacion brusca, el músculo experimenta una sola sacudida y recupera inmediatamente despues su longitud normal ; cuando es provocada por una serie de excitaciones, experimenta tambien una serie de sacudidas que se suceden las unas á las otras, sin que recobre su longitud normal sino cuando éstas cesan. Esto parece indicar que las contracciones musculares voluntarias se deben tambien á una serie de sacudidas dependientes de excitaciones nerviosas que parten de los centros motores.

Con el objeto de observar más fácilmente todos los fenómenos que se refieren al acortamiento de la fibra muscular, aun aquellos que por la rapidez con que se suceden escapan á la accion de los sentidos, ocurrió á Helmholtz la idea de suspender un músculo por una de sus extremidades, fijando un lapiz en la otra para que su punta señalase en una superficie plana ó cilíndrica, cubierta de negro de humo y movida con regularidad, los cambios de

longitud que experimentaba en cada uno de los momentos de su contracción. A este sencillo aparato se le ha llamado *miógrafo*, y con él se obtiene una curva, parecida á la siguiente :

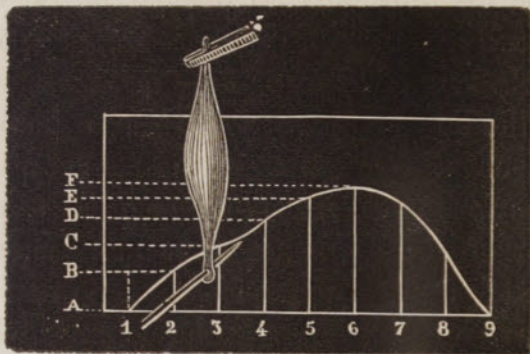


FIGURA 61.

El examen de esta curva demuestra que, en el primer instante de la contracción, ó sea el comprendido entre la primera y la segunda unidad de tiempo, el encogimiento del músculo, representado por la distancia *AB* es mayor que el que experimenta en cada una de las unidades siguientes, representado por las distancias *BC* *CD*, etc., observándose á la vez que, cuando la retractación llega á su máximo, el músculo recobra sus primitivas dimensiones, rápidamente al principio y con más lentitud después. Para conocer el instante preciso en que se verifica la excitación muscular, es indispensable hacer uso de una *señal eléctrica*, tal como la descrita en la pág. 357, fig. 41.

El miógrafo de Helmholtz ha sufrido después numerosas modificaciones, habiendo merecido mayor aceptación las introducidas por M. Marey, porque las indicaciones que con él se obtienen son las más exactas.

Está reducido este aparato, diseñado en la fig. 33 del tomo I, á una palanca muy ligera, á la que se sujeta una de las extremidades del músculo que ha de entrar en contracción, para que al encogerse mueva la referida, pa-

lanca y señale este movimiento en la superficie de un cilindro que gira con regularidad. El experimento se hace con una rana viva, sujetándola con alfileres á una plancha de corcho, despues de haberla cortado la médula espinal, á fin de que los músculos no puedan entrar en contraccion sino en el instante en que se les excita por medio de una corriente galvánica.

Con auxilio de este aparato, M. Marey ha obtenido resultados de grande importancia, que se consignan en su obra *Del movimiento en las funciones de la vida*, y de ella extractamos algunos de los que nos han parecido de mayor interes.

La contraccion muscular, dibujada por el miógrafo, presenta una forma muy sencilla: consiste siempre en una ascension, en un vértice y en un descenso, que es el más largo. La sacudida muscular se diferencia en cuanto á su duracion, siendo menos rápida en los animales de sangre fria.

No todos los músculos, aunque pertenezcan al mismo animal y aunque sean de los de fibra estriada, producen iguales movimientos. Las diferencias de su amplitud dependen en gran parte de la longitud de las fibras musculares.

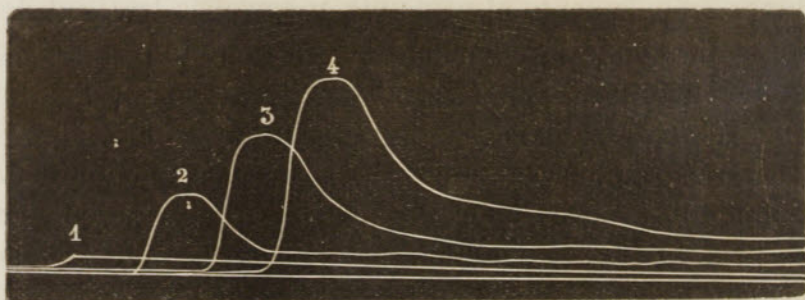


FIGURA 62.

Esta figura representa gráficamente la contraccion del músculo hiogloso de una rana. La sacudida indicada por la curva núm. 1 se obtiene con un excitador eléctrico,

cuando entre sus polos sólo media una distancia de 2 milímetros. Separándolos de manera que entre uno y otro haya un centímetro de distancia, la corriente atraviesa el músculo en una longitud mayor y se obtiene la sacudida núm. 2, mucho más fuerte que la precedente. Cuando la separación es de 2 centímetros, tiene lugar la sacudida núm. 3. Por último, si la corriente atraviesa el músculo en toda su longitud, se obtiene la sacudida núm. 4, que es la más elevada de todas.

La energía de la contracción es proporcional á la energía del excitante; pero llega á un máximo, á partir del cual, aunque aumente la energía de la excitación, las contracciones no aumentan de amplitud, según se deduce de la representación gráfica indicada en la figura inmediata.

Las cifras 0, 500, 1.000, etc., indican la intensidad de los excitantes eléctricos empleados. La amplitud de la sacudida bajo la influencia de estos excitantes aumenta al principio, pero llega á un punto del que no puede pasar aunque la excitación aumente de intensidad.

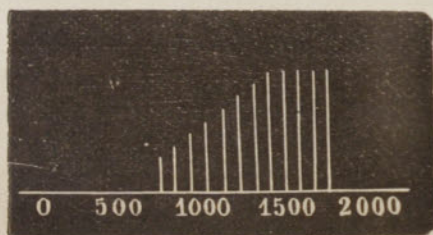


FIGURA 63.

La fatiga muscular modifica la sacudida aumentando su duración y disminuyendo su amplitud; así es, que la línea que la indica es más larga, lo mismo en los períodos de ascensión que en los de descenso. Existe la fatiga muscular cuando el estado químico del músculo, alterado por el trabajo, no ha sido reparado por la nutrición. El frío y la ligadura de las arterias trastornan también el movimiento nutritivo de los músculos, y por lo mismo ocasio-

nan fenómenos análogos. El calor produce un efecto contrario, y de consiguiente aumenta la amplitud y disminuye la duracion de la sacudida muscular, excepto cuando la temperatura se eleva á más de 40° , en cuyo caso hasta puede llegar á desaparecer la contractilidad.

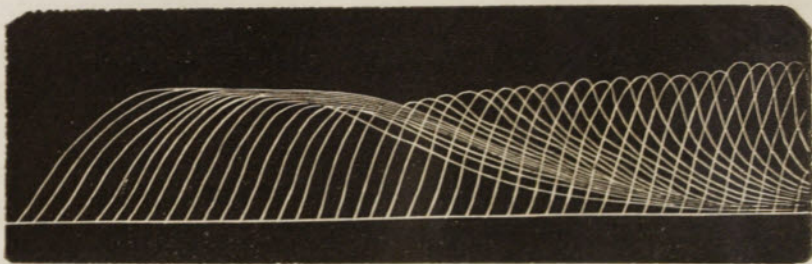


FIGURA 64.

Cuando las sacudidas musculares se suceden con rapidez, llegando á confundirse las unas con las otras, se produce un estado de contraccion *tetánica*. Sirviéndose de la máquina de Atwoot para obtener un movimiento uniformemente acelerado, se consiguen, por medio de una disposicion particular, corrientes eléctricas que se suceden más rápidamente cada vez, y en este caso la contraccion da lugar á la curva siguiente :

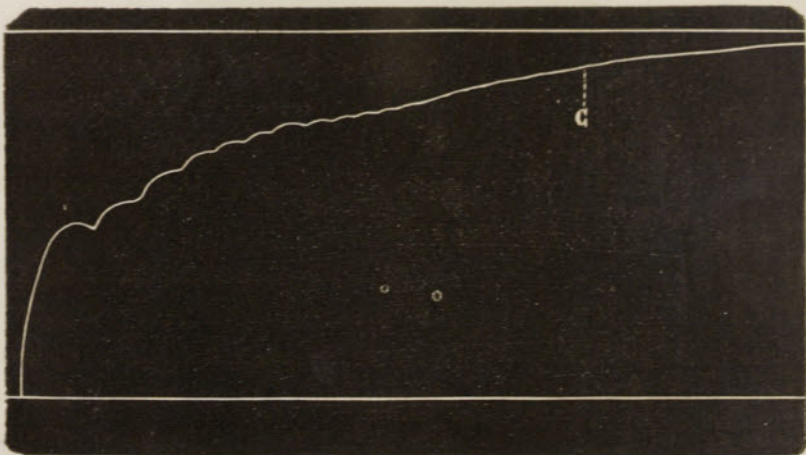


FIGURA 65.

Las sacudidas son al principio distintas y separadas las unas de las otras ; pero como se suceden con rapidez gra-

dualmente mayor, se confunden al fin por completo en el punto *C*, y el tétanos se presenta; pero conviene observar que, aunque las ondulaciones desaparecen, la curva continúa elevándose, lo que indica que las sacudidas invisibles siguen todavía uniéndose las unas á las otras.

Los músculos, al tiempo de contraerse, no sólo se encojen, sino que aumentan de grueso, lo que se observa fácilmente aplicando la mano sobre el biceps ó sobre cualquiera otro músculo voluminoso si se le hace entrar en contraccion. Hay quien sostiene que tambien aumenta su densidad, y de consiguiente que disminuyen de volumen; pero aunque se ponen duros y resistentes, lo único que sucede es que ganan en grueso lo que pierden en longitud. Se demuestra que el volumen de los músculos no aumenta ni disminuye, tomando un frasco en cuyo tapon haya tres orificios: en el del centro se coloca un tubo de cristal, graduado y de poco diámetro, y en los de los lados dos varillas metálicas, cubiertas de seda, excepto en sus extremidades inferiores, que terminan en forma de gancho para sujetar por la region lumbar los miembros abdominales de una rana. Colocados estos dentro del frasco, se le llena de agua y se le tapa, añadiendo por el tubo central el líquido necesario para que su nivel llegue á una altura determinada. Si cuando todo se halla dispuesto de este modo, se ponen en relacion con los reóforos de una pila las varillas que sostienen la rana, los músculos se contraen cada vez que se establece ó que se interrumpe la corriente, sin que aumente ni disminuya en el tubo el nivel del líquido, lo que prueba que el volumen de los indicados músculos no experimenta alteracion. Bueno es tener presente, sin embargo, que hay quien sostiene lo contrario, fundándose en resultados, completamente distintos, obtenidos con el mismo procedimiento.

Así como el miógrafo ordinario describe curvas que

marcan la retraccion muscular, hay otros miógrafos especiales que señalan el grado de abultamiento de los músculos durante su contraccion. Con este objeto el mismo M. Marey ha construido unas pinzas llamadas *miográficas*, con las que pueden practicarse ensayos hasta en el hombre vivo.

Como consecuencia de la retraccion y del aumento de grueso, los músculos adquieren mayor extensibilidad y resistencia, siendo esta la causa de que cuando se hallan contraídos puedan sufrir tracciones violentas sin romperse, lo que no sucede cuando se hallan en reposo.

Los músculos producen, al contraerse, un ruido particular, llamado ruido muscular ó *miofonía*, perceptible por medio del estetoscopio. Si se introduce un dedo en el conducto auditivo externo, se percibe tambien un ruido sordo, continuo, interrumpido de cuando en cuando por débiles chasquidos, que al parecer dependen de la contraccion de los músculos correspondientes á la extremidad que está en comunicacion con el oido, ya que ningun otro cuerpo lo produce, aunque se introduzca en el conducto auditivo, como no esté sostenido por la mano.

Entre los fenómenos físicos que se observan en el músculo durante su contraccion, deben incluirse tambien las modificaciones que experimentan su temperatura y su electricidad.

En cuanto á la *temperatura*, ya dijimos, al hablar de la calorificacion, que una de las circunstancias que más la favorecen es el ejercicio muscular, porque no hay casi ningun tejido que desprenda tanto ácido carbónico, y, de consiguiente, que esté sujeto á una combustion tan activa, como el de los músculos cuando están en contraccion. Ya indicamos entonces que Becquerel y Breschet habían demostrado con el aparato termo-eléctrico que los músculos aumentaban de temperatura al tiempo de contraerse, y que Valentin, Vierordt y Lassaigne habían hecho evidente que

la producción de calor en estos casos coincidía con el mayor desprendimiento de ácido carbónico.

Bueno es recordar también que, haciendo referencia á las ideas de Beclard, manifestamos que si los músculos se contraen sin levantar las palancas óseas en que se insertan ó sin producir ningun trabajo útil, que es á lo que ese fisiólogo llama contracción estática, desarrollan más calor que cuando la contracción es dinámica. Con respecto á este punto, sólo añadiremos que Charcot y Bouchard sostienen, apoyando las ideas de Beclard, que en los casos de convulsiones tónicas, como las del tétanos espontáneo ó traumático, de los accesos epileptiformes, de la meningitis cerebro-espinal, de los calambres coléricos, y en general, siempre que las contracciones musculares determinan la rigidez sin ir acompañada de trabajo mecánico, aumenta de una manera perceptible la temperatura de las partes interiores del organismo, porque los músculos desarrollan en este caso mayor cantidad de calor que en el estado normal, y la sangre que los atraviesa se calienta. Lo contrario sucede cuando las convulsiones son clónicas, porque lo mismo si dependen de un estado patológico, que si se provocan por la estricnina ó por cualquiera otro excitante muscular, con tal que produzcan movimientos alternados, más ó menos extensos, no experimenta cambio alguno la temperatura normal.

Para formarse una idea exacta de los *fenómenos eléctricos* que tienen lugar en los músculos durante su contracción, conviene conocer antes los que se observan cuando se hallan en reposo.

Cortando un músculo en dirección perpendicular á sus fibras longitudinales, cada una de las porciones en que queda dividido presenta, además de la superficie *externa* ó *natural*, la que se obtiene por medio de la incisión, que puede llamarse, para distinguirla de la primera, *interna* ó *artificial*. Pues bien, si estas dos superficies se ponen en

comunicacion con un galvanómetro muy sensible, colocando uno de los extremos del conductor en la natural, y el otro en la artificial, la aguja del galvanómetro se desvía de su posicion, lo que indica que se ha establecido una corriente. Este fenómeno se observa lo mismo en los músculos del animal vivo que en los del cadaver fresco, y la corriente así desarrollada, á la que se da el nombre de *corriente muscular*, se dirige, al atravesar el conductor, desde la superficie externa á la interna, y, de consiguiente, al atravesar el músculo, desde la interna á la externa.



FIG. 66. — Direccion de la corriente muscular en el arco conductor que pone en comunicacion la superficie externa del músculo con la interna.

Como los tendones de los músculos están adheridos á las extremidades de los tubos musculares, y como estas extremidades son las que constituyen la superficie interna, los indicados tendones se conducen, con respecto á la corriente muscular, como si fueran verdaderas superficies artificiales. Así es que, uniendo por medio de un conductor la superficie roja del músculo intacto y la de su tendon, la corriente se dirige, lo mismo que en el caso anterior, desde la superficie natural á la artificial, representada por el tendon, al atravesar el conductor del galvanómetro, y al atravesar el interior del músculo, desde el tendon á la superficie externa ó natural.

Es preciso no olvidar que cuando se ponen en contacto las extremidades metálicas de un multiplicador con sustancias animales, hacen éstas los efectos de un conductor húmedo, y se forma, como es sabido, una cadena galvánica en la que se desarrollan corrientes secundarias que desvían la aguja del galvanómetro, y como esto puede ser una causa de error, dando lugar á que se atribuya á las corrientes musculares lo que sólo es efecto de la que se desarrolla en el aparato, es necesario tomar algunas precauciones para evitar este grave inconveniente.

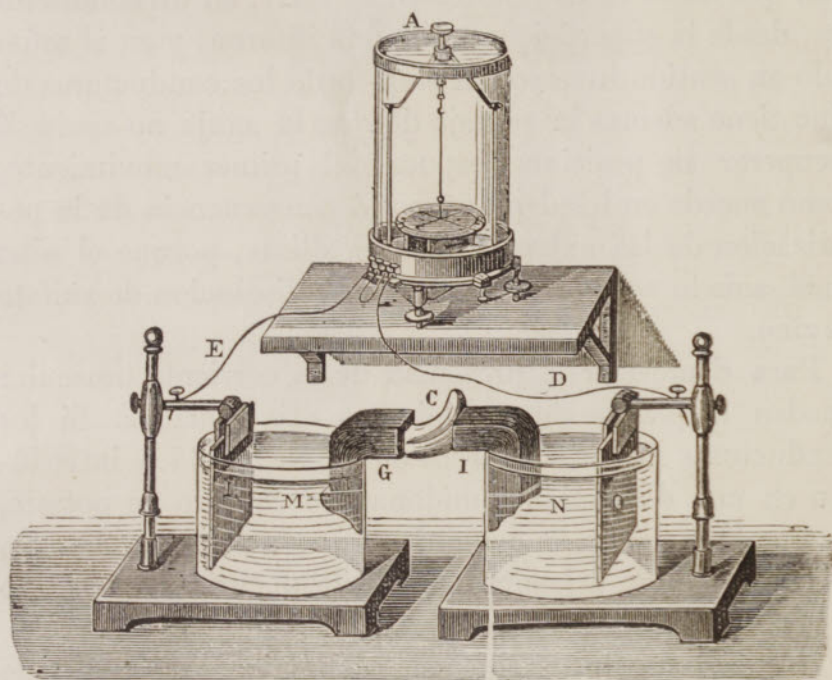


FIG. 67. — Aparato de M. Regnaud.

Con este objeto M. Regnaud emplea un galvanómetro, *A*, cada uno de cuyos conductores metálicos, *E D*, termina en una lámina de zinc amalgamado, *L O*, sumergida en una disolución de sulfato de zinc, con cuyo procedimiento se evitan las corrientes secundarias. Cada uno de los vasos *M N*, que contienen la disolución, sostiene

en su borde una almohadilla de papel, *G I*, de manera que sus extremidades inferiores estén bañadas por el líquido y que las superiores correspondan al exterior inclinándose la una hácia la otra, pero sin tocarse. Si, dispuesto de este modo el aparato, se pone sobre las almohadillas un músculo fresco, *C*, teniendo cuidado de que una de ellas esté en contacto con la superficie natural y la otra con la artificial, la aguja del galvanómetro se desvía á consecuencia de la corriente muscular que pasa por el papel mojado al líquido y á los conductores, siguiendo la direccion que antes hemos indicado, es decir, en los conductores, desde la superficie externa á la interna, y en el músculo en sentido inverso. El empleo de los conductores de zinc tiene ademas la ventaja de que la aguja no tiende á recuperar su posicion despues del primer movimiento, como sucede en los demas casos á consecuencia de la polarizacion de las extremidades metálicas, porque el zinc amalgamado es *impolarizable* en una disolucion de sulfato de zinc.

Para demostrar la presencia de la corriente muscular pueden emplearse procedimientos más sencillos. Si los conductores *E D* del aparato de M. Regnaud se introducen en una disolucion almidonada de ioduro de potasio, en vez de ponerlos en comunicacion con el galvanómetro, el iodo separado del potasio se dirige al electrodo positivo y tiñe de color azul el almidon.

Hay otro medio mucho más económico para poner de manifiesto la corriente muscular, aunque lo mismo que el anterior, no sirve para medir su intensidad. Despellejando una pata de rana, despues de haberla separado del cuerpo del animal y de haber disecado el nervio ciático en la mayor extension posible, se obtiene lo que se llama una preparacion *galvanoscópica*. Si se coloca la extremidad del nervio ciático de esta pata sobre la superficie natural del músculo sometido al experimento, y se aplica á la superfi-

cie artificial otro punto cualquiera del mismo nervio, la corriente muscular que se establece desde la superficie externa á la interna, transmitida á la pata galvanoscópica por el nervio ciático, que obra como conductor, la hace entrar inmediatamente en contraccion.



FIG. 68. — A, pata galvanoscópica; B, nervio ciático que toca en C y en D, para que sirva de conductor á la corriente muscular que se establece en el músculo E al ponerse en comunicacion la superficie externa con la interna.

El descubrimiento de estos hechos ha inducido á M. Matteucci á construir con fragmentos de músculo un pequeño aparato al que ha llamado *pila muscular*. Para esto desarticula ocho ó diez patas de rana, las corta transversalmente, y las pone unas sobre otras, de manera que la superficie natural de la primera se fije en la superficie de seccion ó artificial de la segunda, y así sucesivamente las demas. Dispuesto de este modo el aparato representa una verdadera pila y basta poner en comunicacion por

medio de un conductor metálico la superficie interna del fragmento que ocupa uno de sus extremos, con la externa del que se halla en el otro, para que, como sus electricidades son de distinto nombre, se establezca una corriente en la direccion que ya hemos indicado. Esta corriente, aunque débil, tiene las mismas propiedades que las obtenidas con las pilas ordinarias, pero su fuerza disminuye poco á poco hasta que desaparece por completo al presentarse el estado de rigidez muscular.

Las corrientes de que acabamos de hablar, no sólo se obtienen cuando la superficie natural y la artificial comunican por medio de un conductor, sino tambien por el contacto de las extremidades del galvanómetro con dos porciones distintas de *una misma superficie*. Para que estas corrientes, algo más débiles que las anteriores, se hagan perceptibles, es preciso tomar algunas precauciones. Así, refiriéndonos á la superficie natural del músculo, si la suponemos rodeada de un círculo que la divida transversalmente en dos mitades iguales, y á este círculo le llamamos *ecuador*, podemos sentar en principio: primero, que cuando las extremidades del hilo del galvanómetro se ponen en contacto con dos puntos *igualmente separados* del ecuador, no se desarrolla ninguna corriente; segundo, que cuando los hilos de galvanómetro se ponen en relacion con dos puntos *desigualmente separados* del ecuador, se establece una corriente, y que en este caso, el punto más próximo al referido ecuador es *positivo*, con respecto al que está más separado. Relativamente á la superficie artificial, puede establecerse tambien, que cuando el galvanómetro se aplica á dos parte *igualmente separadas* del eje de esta superficie, no hay corriente, pero que se desarrolla si las extremidades del conductor se ponen en contacto con puntos *cuya distancia al indicado eje sea diferente*, observándose en este caso que el más cercano es *negativo* con relacion al que está más lejos.

Segun Hermann, si se corta un músculo oblicuamente, las relaciones indicadas experimentan alguna variacion; el punto más negativo de la superficie interna no se encuentra en el medio ó en el eje, sino muy acerca del ángulo agudo : del mismo modo, los puntos más positivos de la superficie externa no se encuentran en el ecuador, sino mucho más cerca del ángulo obtuso. En un *rombo muscular* de este género, un punto situado cerca del ángulo obtuso es *positivo* con respecto á otro situado cerca del ángulo agudo. Las corrientes que en este rombo se dirigen del ángulo agudo al obtuso, deben de consiguiente, añadirse á la corriente ordinaria, y se las llama *corrientes de inclinacion*.

Las diferentes clases de corrientes eléctricas de que hemos hecho mencion no se observan exclusivamente en los músculos : el hígado, los pulmones, el encéfalo, los riñones, etc., las presentan tambien cuando se reunen las superficies externa é interna por medio de un conductor metálico, y esto induce á creer que las causas de que dependen han de ser las mismas en unos órganos y en otros. Probablemente estas corrientes no existen en ningun tejido en circunstancias ordinarias, porque como todos ellos están rodeados de conductores húmedos, se combinan y destruyen, á no ser que se haga uso de arcos metálicos como conductores.

La corriente muscular varía de intensidad segun sea la potencia contráctil del músculo : por eso es mayor en el corazon que en los intestinos ; en los animales superiores que en los de organizacion imperfecta ; en los músculos frescos que en los que están ya próximos á que se presente la rigidez. Por regla general, puede decirse que su intensidad está subordinada á la actividad del movimiento nutritivo, ó, lo que es igual, á la energía de las reacciones químicas que tienen lugar en el seno de los órganos á consecuencia de su doble movimiento de composicion y

descomposicion. Tal vez por esto es mayor en los músculos que en los demas tejidos de la economía ; y si la direccion de la corriente es distinta en las dos superficies musculares, depende sin duda de que los fenómenos químicos son menos activos en la superficie que en el interior mismo de la masa muscular. Los experimentos de M. Pickford confirman esta opinion : tomando la extremidad abdominal de una rana, y sumergiéndola durante algunos minutos en agua á 37° del termómetro centígrado, la corriente muscular cambia de direccion, y en vez de ir del interior al exterior en el músculo, y de la superficie natural á la artificial en el conductor metálico toma una direccion contraria.

Al parecer, la temperatura del agua contribuye en este caso á que las reacciones químicas dependientes de la nutricion sean algo más activas en las partes superficiales, y de ahí el cambio en la direccion de la corriente, y el que al cabo de poco tiempo recobre de nuevo la que le es natural.

Para explicar Du Bois-Reymond el estado eléctrico en que los músculos se encuentran, admite la existencia de moléculas esféricas, llamadas *peripolares*, dispuestas regularmente y tocándose las unas á las otras, de manera que forman una especie de cilindros paralelos que á su vez constituyen los hacecillos musculares. Cada molécula tiene una zona ecuatorial positiva, y dos zonas polares negativas, y éstas son las que se ponen en contacto con las zonas negativas de las moléculas inmediatas. De esta disposicion resulta que la zona ecuatorial, cargada de electricidad positiva, viene á constituir la superficie de los músculos, y las zonas polares, cargadas de electricidad negativa, las secciones transversales y las extremidades de los mismos. Reuniendo, pues, por medio de un conductor metálico la superficie natural y la artificial que corresponde á las secciones transversales, se combinan las

electricidades opuestas, dando lugar á la produccion de una corriente en la direccion antes indicada.

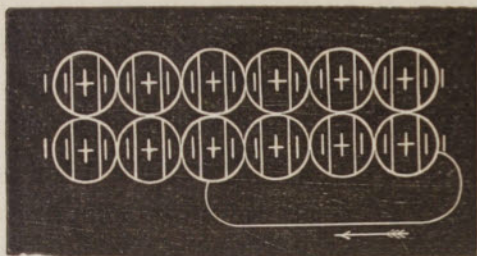


Fig. 69. — Disposicion de las moléculas peripolares segun la teoria de Du Bois-Reymond.

Conocidos los fenómenos eléctricos que tienen lugar en los músculos cuando se hallan en reposo, conviene averiguar los cambios ó variaciones que experimentan cuando están en contraccion.

Ya hemos dicho que la corriente eléctrica desvía en el primer caso la aguja del galvanómetro; pues bien, si en este estado se excita el músculo repetidas veces para que entre en actividad, la aguja recupera su posición natural, volviendo poco á poco al cero del cuadrante, y hasta pasándolo á veces para tomar una dirección contraria á la que anteriormente tenía. Este hecho, en el que están de acuerdo los fisiólogos, no se interpreta por todos de una manera igual. Matteucci lo atribuye á que al entrar el músculo en contraccion se desarrolla una corriente opuesta á la primera, y de ahí la nueva dirección que la aguja toma. Du Bois-Reymond cree que, lejos de establecerse una nueva corriente, cesa la que antes existía, y de consiguiente que la aguja recupera su primitiva posición porque desaparece la causa que la había desviado, no debiendo sorprender que á veces se incline en sentido contrario, porque esto depende, segun dice, de la velocidad que adquiere en su movimiento de retroceso, como lo prueba su vuelta al cero á los pocos instantes, aunque el músculo continúe en contraccion.

A pesar de la incertidumbre que en este punto se ob-

serva todavía, hay ciertos hechos que hacen más verosímil la opinion de M. Matteucci y que casi demuestran de una manera indudable la existencia en los músculos contraidos, de corrientes contrarias á las que se desenvuelven cuando se hallan en reposo.

En primer lugar, en el experimento citado anteriormente, el movimiento de retroceso es tan lento, que no puede comunicar á la aguja velocidad bastante para rebasar el cero del cuadrante, y si toma una nueva direccion, como sucede en realidad, es porque se desarrolla una fuerza opuesta á la primera; en segundo, basta sumergir las dos manos en los vasos conductores del aparato de M. Regnaud, ya descrito, para que la aguja del galvanómetro se desvíe hácia uno ú otro lado, segun que se contrae el brazo izquierdo ó el derecho, y en tercero, si se excitan contracciones en los músculos de una pata de rana y se pone en contacto con ellos el nervio de una pierna galvanoscópica, ésta entra inmediatamente en contraccion, produciéndose lo que se llaman contracciones *inducidas ó secundarias*. Lo mismo sucede si poco tiempo despues de haber separado de su sitio el corazon de un animal vivo, y cuando todavía continúan sus latidos, se le pone en contacto con el nervio de una pata galvanoscópica, pues tambien sus músculos se contraen.

En todos estos casos la contraccion muscular desenvuelve fenómenos eléctricos, y como la aguja del galvanómetro se desvíe en direccion contraria á la que toma cuando los músculos están en reposo, indica que las corrientes que en este último caso se producen son opuestas á las que se desarrollan en el primero.

§ 85.

Fenómenos químicos que se observan durante la contraccion muscular. — Los fenómenos químicos bien comproba-

dos, que tienen lugar en los músculos durante su contraccion, pueden reducirse á los siguientes: desprendimiento de ácido carbónico en mayor cantidad que cuando están en reposo; consumo más considerable de oxígeno, y formacion de un ácido, probablemente el sarcoláctico, que comunica sus propiedades al contenido muscular.

Se demuestra la absorcion de oxígeno y el desprendimiento de ácido carbónico haciendo contraer músculos de rana debajo de una campana de cristal, colocada en la cuba hidrargiro-pneumática. Despues de cierto número de sacudidas, provocadas por una corriente eléctrica, el aire contenido en la campana pierde parte de su oxígeno y adquiere en cambio ácido carbónico. El mismo fenómeno tiene lugar cuando las contracciones musculares se verifican en condiciones fisiológicas, sin más diferencia que la de ser la sangre y no el aire atmosférico la que suministra el oxígeno que los músculos consumen y la que se apodera del ácido carbónico que desprenden. Bernard, Ludwig y Sczelkow han hecho ver que la sangre venosa procedente de los músculos está tanto más cargada de ácido carbónico y es tanto más negra, cuanto más repetidas han sido las contracciones, dependiendo de esto el que se exhale mayor cantidad de ácido carbónico por la transpiracion cutánea y la pulmonar, cuando los sujetos se entregan á trabajos corporales, que cuando tienen una vida sedentaria, y el que en los atacados de parálisis muscular sea la sangre venosa algo más rojiza que en los demas. La absorcion de oxígeno no es, sin embargo, inmediatamente indispensable para la actividad del músculo, pues ya hemos dicho que puede seguir contrayéndose durante algun tiempo en el vacío ó en una atmósfera de hidrógeno ó de ázoe.

Para explicar el conjunto de fenómenos químicos que tienen lugar en los músculos, Hermann supone que existe

disuelta en el plasma de los mismos una sustancia azoada muy compleja : el *inógeno*. Esta sustancia, que no ha podido aislarse todavía por la extraordinaria facilidad con que las manipulaciones químicas la descomponen, se desdobra naturalmente con mucha lentitud en el estado de reposo, y con rapidez durante los períodos de actividad, dando lugar, como consecuencia de este desdoblamiento, á la formacion de algunos productos, entre los que los más esenciales son : el ácido carbónico, el sarcoláctico y un cuerpo albuminoso, de aspecto gelatiniforme al principio, pero que se contrae y se solidifica algun tiempo despues, llamado miosina.

Puesto que la sustancia inógena se gasta ó se consume con el trabajo muscular, y puesto que una vez agotada desaparece la contractilidad de los músculos, es indispensable, para que estos conserven su aptitud al trabajo, que la indicada sustancia se regenere sin cesar, reconstituyéndose con los elementos que la sangre proporciona, para lo cual se necesita tambien la eliminacion de los productos que, como consecuencia de su descomposicion y de las demas combustiones que el oxígeno efectúa, se forman en la masa muscular.

Aceptando esta teoría, es preciso, para que el músculo conserve sus propiedades fisiológicas, por una parte, que la sangre que le riega se apodere de los ácidos carbónico y sarcoláctico, resultado de la descomposicion de la sustancia inógena al mismo tiempo que de la creatina, creatinina y ácido inósico producidos por la oxidacion de otras sustancias azoadas, que son ya todos compuestos inservibles. Por otra parte, se necesita que la misma sangre suministre, ademas del oxígeno, materias orgánicas terciarias y cuaternarias para reemplazar las que se consumen, y sobre todo para que pueda efectuarse la síntesis ó reconstitucion de la sustancia inógena. En esta reconstitucion debería intervenir, si fuera cierta, la miosina y el oxí-

geno, tomando parte al mismo tiempo otra sustancia desconocida todavía.

Como consecuencia de esta doctrina, podría sentarse en principio que todo lo que contribuye á que los músculos no reciban de la sangre los materiales de reparacion que necesitan, ó á que no eliminen los productos de descomposicion que ya no sirven, trastorna su integridad anatómica y de consiguiente el mecanismo regular de sus funciones. Entre los productos que conviene eliminar, figura en primera línea el ácido sarcoláctico, que da al jugo muscular, ordinariamente alcalino, una reacción ácida, y que coagula lentamente la miosina, produciendo la sensacion de fatiga y el aumento del volumen y de la dureza de los músculos si han estado sometidos á un trabajo prolongado. A la misma coagulacion de la miosina se deben los fenómenos de la rigidez cadavérica de que nos ocuparemos más adelante.

Esta teoría del inógeno ha perdido gran parte de su importancia, y hoy día, en vista de los trabajos de la química biológica, se admite que el músculo en su contraccion gasta principalmente hidratos de carbono, representados sobre todo por la sustancia glucogénica que el hígado fabrica, y que se convierte en glucosa, por una sencilla hidratacion. (Véase tomo I, págs. 678 y 717). De manera que la energía desplegada por el músculo se debe principalmente á la combustion de los hidratos de carbono que este músculo contiene. Esta combustion no se limita á producir *color*, sino que además produce un *trabajo* muy notable.

Es fácil demostrar que la energía desplegada no depende exclusivamente de la oxidacion de los protéicos que el músculo contiene, analizando las excreciones de un individuo sujeto á grandes esfuerzos musculares, y comparándolas con las que se verifican cuando el individuo está en reposo. Si el trabajo muscular se ejecutara á expensas de las sustancias protéicas que constituyen sus músculos, el

ázoe, durante la contraccion, se eliminaría en cantidad mucho mayor, y como este ázoe se puede calcular por la cantidad de urea excretada, resultará que si esta sustancia aumenta en las orinas despues de un trabajo muscular, puede deducirse que se ha formado durante este trabajo ; y viceversa si no se halla aumentada, podremos deducir lógicamente que no intervienen los protéicos musculares— originarios de la urea — en la citada contraccion. Ahora bien : segun resulta de los trabajos de Fick y Wislicenus en la ascension que verificaron en el Faculhorn, la *urea no aumenta durante el trabajo muscular*. De consiguiente, no se debe el trabajo ejecutado por los músculos á la combustion de las sustancias protéicas.

Al contrario, cuando el músculo se contrae, aumenta de una manera muy notable la cantidad de ácido carbónico eliminado por los pulmones y la absorcion del oxígeno durante el acto inspiratorio.

Ahora bien ; teniendo en cuenta esta superabundante formacion de ácido carbónico, la desaparicion de la glucosa muscular y la produccion de ácido láctico ; atendiendo á que dicho ácido láctico no representa la totalidad de la glucosa desaparecida ; considerando que el excedente de esta última sustancia por su combinacion con el oxígeno debe engendrar agua y ácido carbónico ; recordando que la glucosa se debe á la hidratacion de la sustancia glucogénica, etc., etc., llegaremos á la conclusion evidente de que la combustion de los elementos hidro-carbonados origina el trabajo muscular.

Ya hemos visto en otra parte que el hígado es quien fabrica la sustancia glucogénica, verdadero combustible de los músculos, de donde resulta que si éstos permanecen en reposo, no tan sólo se encontrarán en ellos mayores cantidades de sustancias hidro-carbonadas, sino tambien que en la referida víscera se aumentará la sustancia glucogénica. Al contrario, la contraccion de los músculos

gastará estos combustibles que los capilares les aportan y el glucógeno de las células hepáticas, pudiendo darse el caso, si el trabajo muscular es muy graduado, de que el hígado gaste enteramente toda su reserva de sustancia glucogénica.

§ 86.

Fenómenos fisiológicos que acompañan la contraccion muscular. — Las modificaciones fisiológicas más notables que tienen lugar en los músculos durante su contraccion, se refieren al movimiento circulatorio y á la nutricion.

Mientras los músculos se contraen, la sangre circula por ellos con mayor celeridad que cuando se hallan en reposo, siendo ésta la causa de la rapidez con que sale de las venas en los casos de sangría, si se ejecutan movimientos con la extremidad en que se ha hecho la cisura. Podría sospecharse que esto depende de la presion á que se sujetan las venas intramusculares ; pero una vez arrojada la sangre que contienen, el chorro sanguíneo debería hacerse más pequeño, y no es lo que sucede. La mayor actividad del movimiento circulatorio está, por otra parte, demostrada por los ensayos de Ludwig y Sczelkow, probándola tambien el que, en los animales que acaban de ejecutar grandes esfuerzos ó que han corrido mucho, el sistema arterial está casi vacío y la tension sanguínea es menor que en el estado de reposo.

Con respecto á las variaciones que experimenta el movimiento nutritivo durante el trabajo muscular, debe llamar la atencion el aumento de volumen y la dureza que adquieren los músculos, así como la sensacion de fatiga que se advierte cuando las contracciones son muy repetidas. Hemos dicho que estos fenómenos dependen de que el ácido sarcoláctico se va acumulando poco á poco y coagula en parte la miosina, hasta que el reposo y la influen-

cia del riego circulatorio contribuyen á que se recupere la situacion normal ; pero la acumulacion del ácido sarcoláctico es una prueba de que el movimiento reparador se efectúa con más lentitud que el de desasimilacion, y que está como debilitado por la influencia de los principios inservibles que no se eliminan del músculo con la rapidez que se producen. De todos modos, aunque esto suceda en el momento de la contraccion, es indudable que poco tiempo despues la actividad nutritiva aumenta, siendo ésta la causa del desarrollo que adquieren los músculos sujetos á un ejercicio regular, así como su inmovilidad más ó menos completa los atrofia y debilita.

§ 87.

Diferencia entre la contraccion de los músculos estriados y la de los lisos. — Las propiedades de estas dos clases de músculos son casi idénticas, y sólo se observan entre ellos algunas diferencias que pueden llamarse secundarias.

Los unos y los otros entran en contraccion por los mismos excitantes ; pero puede decirse, de una manera general, que los de fibra lisa son algo menos sensibles y no responden tan enérgicamente á su accion como los de fibra estriada. Los que están situados en el dermis cutáneo, en los conductos excretorios de las glándulas, en los bronquios, etc., necesitan fuertes corrientes galvánicas para despertar sus contracciones.

La actividad mecánica de los músculos lisos se efectúa bajo la forma de retraccion como la de los estriados, y con arreglo á las mismas leyes, pero con mucha más lentitud ; de manera que los diversos períodos de excitacion latente, acrecentamiento sucesivo y disminucion de la retraccion, son mucho más perceptibles. Por esto, así como en los músculos estriados la contraccion se manifiesta casi en el instante de obrar el excitador, en los lisos pasan algunos

minutos ; y así como en los primeros cesa la contraccion cuando deja de obrar la causa que la produce, en los segundos persiste más ó menos tiempo, aunque el excitante haya dejado de ejercer su accion, irradiándose á veces de una manera sucesiva y como *vermicular*, más allá del punto excitado, como sucede en los intestinos y en los vasos. Hay, sin embargo, una excepcion, pues las fibras del iris se contraen y se relajan tan rápidamente como las de los músculos estriados.

Por lo demas, en las fibras lisas tienen lugar, durante su contraccion, los mismos fenómenos físicos, químicos y fisiológicos que hemos observado en las estriadas, con la sola diferencia de ser algo menos intensos que en estas últimas.

CAPÍTULO VII.

Tonicidad y elasticidad muscular. — Sensibilidad muscular.

§ 88.

Tonicidad muscular. — Aun cuando los músculos no estén en contraccion, y, de consiguiente, aun cuando se hallen, al parecer, en estado de completo reposo, experimentan una tension permanente que tiende á aproximar sus dos extremidades, y á esta propiedad se le ha dado el nombre de *tonicidad muscular*.

La tonicidad muscular no es tan perceptible en los músculos cuyas dos extremidades se insertan en los huesos, como en los que están en medio de partes blandas, pero en los unos y en los otros puede quedar demostrada por medio de experimentos sencillísimos. Si se cortan á un animal vivo los troncos nerviosos que animan uno de sus miembros abdominales, se nota desde luego que los músculos paralizados presentan una relajacion y flacidez que no existe en los del lado opuesto, aun cuando se hallen

en reposo. Los músculos orbiculares ó los *esfínteres* que cierran los orificios de algunas aberturas naturales no están ni pueden estar en estado de contraccion permanente, porque ya hemos visto que necesitan reconstituir con el reposo la sustancia de que depende su propiedad contráctil; y si á pesar de todo cierran exactamente y de una manera continua los orificios que circunscriben, como el ano ó la vejiga, etc., se debe á la tonicidad de que están dotados, de modo que cuando ésta falta, se evacúan involuntariamente las heces y la orina.

La retraccion que experimentan los músculos de un animal vivo cuando se cortan al traves, depende tambien de su tonicidad, y á esta misma propiedad debe atribuirse la coaptacion exacta de las superficies articulares; la precision y la regularidad de los movimientos voluntarios, debida á la resistencia moderadora que á los músculos que entran en contraccion oponen sus antagonistas; la torcedura de la cara y de la lengua en la hemiplegia facial, ó las desviaciones análogas de ciertas partes de los miembros, siempre que á consecuencia de parálisis parciales falta el equilibrio necesario entre los músculos paralizados y los que están sanos se debe tambien á que los primeros han perdido su tonicidad, mientras que los segundos todavía la conservan, por cuya causa se retraen sin encontrar oposicion.

Algunos fisiólogos sostienen que la tonicidad muscular no existe, y que todos los fenómenos que á ella se atribuyen dependen exclusivamente de la elasticidad; pero es fácil demostrar la inexactitud de esta opinion con sólo tener en cuenta que la elasticidad de la fibra muscular no desaparece por el solo hecho de cortar el nervio que la anima, y sin embargo, todos los fenómenos de tonicidad se extinguen desde que el músculo pierde sus conexiones con los centros nerviosos. Esto parece indicar que la tonicidad es un fenómeno reflejo cuya manifestacion exige el

concurso de nervios sensitivos que transmitan la impresion; de centro nervioso, probablemente sustancia gris de la médula, que la reciba, y de nervios motores que transmitan al músculo el estímulo necesario para que conserve ese estado particular de retraccion.

Tambien hay autores que consideran la tonicidad como una de las variadas manifestaciones á que la contractilidad muscular puede prestarse, y, de consiguiente, la hacen depender de las mismas causas que esta última; pero como, segun hemos demostrado anteriormente, los músculos siguen contrayéndose durante semanas y aun meses, despues de haber perdido sus relaciones con los centros de inervacion, y, sin embargo, desaparece su tonicidad en cuanto les falta la influencia nerviosa, no es posible desconocer la diferencia radical que existe entre estas dos propiedades. El carácter distintivo de esta última es el de estar subordinada á la influencia directa de los centros nerviosos.

El estudio de los *reflejos tendinosos* arroja mucha luz sobre este punto. Obsérvase frecuentemente en los individuos afectos de una enfermedad medular, que, si cuando tienen la pierna en semi-flexion, reciben un golpe en el tendon rotuliano, dicha pierna entra rápidamente en extension. Este fenómeno, que tambien se puede observar en los sujetos sanos, fué notado por Erb, Eulemberg y otros fisiólogos. Teniendo en cuenta que la contraccion del músculo es total, debe admitirse la existencia de una *contraccion refleja* originada en el tendon referido.

Existen, indudablemente, filetes sensitivos, músculo-tendinosos, y la corriente originada en su terminacion periférica pasa por el interior de estos filetes del tendon, va al músculo, del músculo al nervio crural, de éste á las raíces posteriores de la médula, y en este *centro* nervioso se refleja, y va á los nervios motores, obligando al músculo á contraer sus fibras.

§ 89.

Elasticidad muscular.—Los músculos son cuerpos elásticos, puesto que se alargan sujetando una de sus extremidades y haciéndoles sostener un peso más ó menos considerable con la otra, y puesto que recuperan su primitiva posición desde el momento que cesa de obrar la causa que los distendía. Lo que ganan en longitud lo pierden en espesor, de manera que su volumen no experimenta ningún cambio. La distension que sufren no es proporcional á los pesos extensores, de modo que un mismo peso produce un alargamiento tanto menor cuanto el músculo está ya más distendido.

Así como las arterias, al distenderse por la fuerza impulsiva que el corazón les comunica, recogen, por decirlo así, parte de esta fuerza, y la restituyen á la sangre cuando recuperan sus dimensiones primitivas, contribuyendo de este modo á que la circulación sea continua, y á que el líquido sanguíneo no se paralice durante el tiempo que media entre uno y otro sístole, la elasticidad de la fibra muscular conserva también una parte de la fuerza que se produce durante la contracción y la restituye en seguida, prolongando de este modo la duración del movimiento y haciéndolo más regular y menos brusco.

La elasticidad muscular, transformando la fuerza instantánea que se produce en el acto de la contracción en fuerza continua, contribuye también á favorecer su efecto útil, porque si el músculo no fuera elástico, y si su fuerza se empleara instantáneamente contra la resistencia que se debe mover, se perdería en gran parte, sin resultado en el choque que ocasiona. Por eso en mecánica se admite en principio que una fuerza de corta duración, aplicada á remover una resistencia, produce mayor efecto útil si obra por medio de un cuerpo elástico que si se aplica directamente.

§ 90.

Sentido muscular. — Hemos dicho al hablar de las sensaciones internas que si el cerebro no percibiera por medio de los nervios de sensibilidad los grados de tension, de presion y aun de contraccion de los músculos voluntarios, y si no pudiera apreciar los resultados de la actividad muscular ó de la impulsión comunicada por los nervios motores, ni los movimientos serían coordinados y regulares, ni podríamos sostenernos en la posición vertical, ni sería fácil adquirir la noción del peso, de la presión y de otras condiciones físicas de los cuerpos. Pues á esta sensibilidad de los músculos, idéntica en su esencia á la de los demas tejidos, es á la que se llama impropriamente *sentido muscular* por unos, y *sentimiento de actividad muscular*, *conciencia muscular*, *instinto locomotor* y *sensibilidad electro-muscular* por otros.

La sensibilidad muscular desempeña un papel tan importante en el ejercicio de los movimientos voluntarios, que no es de extrañar que haya llamado muy particularmente la atención de los fisiólogos, y que le hayan dado los diferentes nombres que acabamos de indicar. Ya dijimos que, cuando se cortan las raíces posteriores de los nervios de la médula espinal, ó cuando se hallan alteradas las fibras que desde la médula se dirigen al cerebro, desaparece la regularidad de los movimientos, reemplazándola la ataxia locomotriz. La falta de esta sensibilidad es la causa de que algunas mujeres atacadas de parálisis histéricas estén completamente privadas de la facultad de apreciar el estado de contracción ó de reposo de sus músculos, de manera que, cerrando los ojos, no pueden conocer la posición en que se hallan sus extremidades, ni los movimientos que ejecutan, ni el peso, ni la resistencia de los cuerpos.

De los numerosos experimentos efectuados por Cl. Bernard se deduce tambien que los músculos privados de la inervacion sensitiva conservan su contractilidad, pero que los movimientos pierden el órden y la armonía, sin que los animales puedan graduar el esfuerzo que debe efectuarse para que esté en relacion con el movimiento que desean conseguir.

Es preciso tener en cuenta, sin embargo, que los efectos que se atribuyen al sentido muscular no sólo dependen de la sensibilidad de los músculos, sino de la que tienen los tejidos que les rodean. Por esto dice Trousseau que si se pregunta á una persona extraña á los conocimientos anatómicos cuál es el sitio donde se efectúan las contracciones musculares necesarias para el movimiento de los dedos, no lo coloca en el antebrazo, sino en la mano, que es donde *siente* resbalar unas sobre otras las superficies articulares; y tal vez, por la misma causa, al separar los dedos, no localizamos este movimiento en los músculos que se contraen, sino en el punto correspondiente á las comisuras, que es donde se *percibe* la distension de la piel.

CAPÍTULO VIII.

Contractilidad de los músculos despues de la muerte. — Rigidez cadavérica.

§ 91.

Contractilidad de los músculos despues de la muerte. — Los músculos no sólo conservan su contractilidad algun tiempo despues de la muerte de los animales, sino que, segun los experimentos de M. Faivre, se acrecenta durante las primeras horas que siguen al fallecimiento, debilitándose luego poco á poco hasta desaparecer por completo cuando sobreviene la rigidez cadavérica. En todo caso, la

existencia de esa contractilidad es tan evidente, que Bennett Dowler ha conseguido efectuar movimientos bastante enérgicos en los músculos del cuerpo humano algunas horas despues de la muerte, y Brown-Séquard asegura que la mano de un cadaver levanta un kilogramo de peso si se hacen entrar en contraccion los músculos del antebrazo golpeándolos con un cuerpo duro.

La contractilidad muscular persiste muchos dias despues de la muerte en los animales de sangre fria; en los mamíferos y en las aves dura menos tiempo, y en el hombre desaparece por lo regular á las diez ó doce horas.

Segun Nysten, la contractilidad no se extingue á la vez en todas las regiones del sistema muscular. Refiriéndose al hombre, asegura que el ventrículo izquierdo la pierde á los veinticinco ó treinta minutos, el tubo digestivo á los sesenta, algo despues el ventrículo derecho; los músculos del tronco á las tres horas, poco más ó menos; luego los de las extremidades, más tarde el diafragma, y á las catorce ó diez y seis horas las aurículas. Hay algunos casos en que la contractilidad dura más tiempo, pero no es esto lo comun. Vulpian asegura haberla observado en un perro á las noventa y tres horas de su muerte; pero ya cita este hecho como excepcional.

El corazon no sólo conserva su contractilidad, sino que sigue latiendo *espontáneamente*, algun tiempo despues de la muerte del individuo. Las contracciones espontáneas, peculiares casi de la aurícula derecha, son muy débiles y se extinguen al poco rato, pues aunque Clark, Panum y Vulpian, citan algunos casos en que todavía eran perceptibles despues de haber pasado algunas horas, no es esto lo regular.

Créese generalmente que la elevacion de la temperatura contribuye á que la contractilidad se conserve por más tiempo, y M. Calliburcés ha visto que cuando el cadaver se sostiene artificialmente á 20° ó 25°, son más enérgicos

los movimientos peristálticos del intestino que cuando se le abandona á su temperatura natural. Tambien Panum asegura que los músculos responden mejor á la accion de los excitantes si se les mantiene á un calor graduado, que si se les deja enfriar. A pesar de todo, Brown-Séquard sostiene, apoyado en numerosos experimentos, que sometiendo una de las extremidades del cadaver á la temperatura de 0, y la otra á la de 25° ó 30°, la primera conserva su excitabilidad motriz mucho más tiempo que la segunda. Añade asimismo que la contractilidad dura mucho más en las aves si se las enfría antes de morir. Probablemente esta diversidad de opiniones depende de la distinta naturaleza de los músculos sometidos á la observacion. Los de fibra lisa, como los del intestino, de los uréteres, de la vejiga, etc., que son á los que se refiere Calliburcés, conservan mejor su contractilidad á una temperatura próximamente igual á la del animal vivo : los de fibra estriada, por el contrario, la conservan mejor á una temperatura baja, y tanto los unos como los otros, la pierden rápidamente si el calor pasa de ciertos límites, porque se aceleran los fenómenos de rigidez cadavérica y de putrefaccion. A igualdad de temperatura, la persistencia de la contractilidad es mayor en los animales adultos que en los recién nacidos : tambien es mayor en el aire ó en el oxígeno que en el vacío ó en una atmósfera de hidrógeno ó de ázoe, y en estos últimos gases, que en los que son irrespirables. Con respecto á la influencia de las disoluciones ácidas, de las alcalinas y de cierta clase de venenos, lo mismo que de todos los demas agentes exteriores, lo único que puede decirse es, que favorecen la persistencia de la contractilidad cuando retardan la rigidez cadavérica y la putrefaccion ; y, al contrario, que la perjudican, si por su influencia se aceleran los movimientos y reacciones químicas que preceden á la descomposicion de la masa muscular.