

tivos (compuestos, como ya expusimos más atrás, de la superposición de discos birefringentes y monorefringentes) yace un plasma transparente en un todo comparable con el jugo que llena las mallas del protoplasma de las células comunes. Este jugo corresponde al sarcoplasma de Rollet, y en él residen las fibrillas longitudinales y transversales demostradas por los ácidos y cloruro de oro. En los insectos, como hemos descrito en otro trabajo (1), semejante líquido interfibrilar aloja infinidad de ramillas de tráqueas, las cuales no penetran jamás en los cilindros primitivos. Semejante detalle estructural, manifiesta que el sarcoplasma es la atmósfera nutritiva y respiratoria de tales cilindros; en él se disuelve el oxígeno aportado al músculo, y á él vienen á parar el ácido carbónico y demás productos de la combustión y nutrición. En cuanto á las redes transversales, que, como es sabido, se adhieren íntimamente al contorno de las líneas de Krause de los cilindros primitivos, pueden considerarse como un medio de sujeción transversal de estos, á fin quizás de hacerlos completamente solidarios en el fenómeno de la contracción. Además, dado que las redes transversales comunican con la materia granulosa de la placa motriz, es muy probable que mediante ellas sea transmitida la corriente nerviosa á la totalidad de los cilindros primitivos, con lo cual todo el vasto sistema de fibrillas revelado por el cloruro de oro, viene á representar un conjunto de líneas de descarga de la energía nerviosa. En la figura 124 damos un esquema de esta concepción de la textura de la materia estriada; en él aparecen reunidas cuantas revelaciones positivas se deben á los métodos utilizados en el análisis de la fibra muscular.

La opinión que acabamos de exponer no tiene la pretensión de ser definitiva, ni completa; fúndase en los hechos positivos arrojados por las investigaciones de Brucke, Ranvier, Krause, Kölliker, Rollett, Melland, Retzius, van Gehuchten, Carnoy, Cajal, Macallum, Marshall, Schäffer, etcétera, hechos de los cuales hemos elegido aquellos que, á más de estar perfectamente probados, podían fácilmente conciliarse y fundirse en

(1) Cajal: Coloration par la méthode de Golgi des trachées et des nerfs dans les muscles des ailes des insectes. *Zeitschrift. f. wissenschaftl. Mikroskopie*, etc., Bd. VII, 1890.

una noción total. Por otra parte, recientes estudios sobre la textura de la fibra muscular de los insectos nos han convencido de que, en las doctrinas corrientes acerca de este difícil problema, existen exclusivismos de secta inconciliables con lo que se desprende de la observación fría y serena de los hechos. A nuestros ojos, tan exclusivo y parcial es Rollett, cuando niega la preexistencia de las fibrillas y redes reveladas por los ácidos, tomándolas como engrosamientos del sarcoplasma, como Melland y van Gehuchten, al estimar los cilindros primitivos de los autores como mero enquilema ó jugo intra-protoplásmico del retículo, solamente reductible á fibras por la acción coagulante de los reactivos.

No obstante, y en prueba de imparcialidad, exponemos aquí las opiniones que han aparecido en estos últimos años sobre el difícil y controvertido asunto de la estructura de la materia estriada.

1.º La materia estriada es una reunión de cilindros ó columnas primitivas, compuestos á su vez por la sucesión alternativa de discos mono y birefringentes. Al nivel de las rayas de Krause, tales cilindros se unirían transversalmente entre sí, y á la misma altura quedaría sujeto el sarcolema al material estriado. Entre los cilindros ó fibras primitivas, existiría una masa de protoplasma ó *sarcoplasma*, dispuesto en tabiques anastomosados á la manera de panal, y continuados con el acúmulo granuloso perinuclear. Las hebras violadas que en tales tabiques descubre el cloruro de oro, representarían la sección óptica de dichos tabiques, y los granos y redes transversales serían meros espesamientos de protoplasma. A este dictamen se adhieren, con más ó menos distingos, Ranvier, Rollet, Kölliker y Retzius.

2.º El haz muscular posee, como toda célula, un retículo filamentososo, nacido de los núcleos é inserto en el sarcolema. Este armazón fibrilar es colorable por el cloruro de oro, y está formado de hilos longitudinales y paralelos unidos, de trecho en trecho y en sentido transversal, por redes protoplásmicas yacentes al nivel de la línea de Krause. La substancia matriz líquida donde tales fibrillas se contienen, corresponde á los cilindros primitivos de los autores y es reductible á fibras gruesas, verdaderos productos artificiales, por la acción del alcohol. Las estrias claras del fascículo muscular representarían meros efectos ópticos, no correspondiendo á discos especiales. En el centro de estos cilindros obtenidos por coagulación, residirían las fibrillas colorables por el oro. Finalmente, el retículo representa la parte activa del haz muscular; mientras que los cilindros primitivos corresponderían á una materia inerte, líquida durante la vida, y destinada á la nutrición del retículo. Con leves variantes, profesan esta opinión, Melland, Carnoy, van Gehuchten, Marshall, Haswell, Macallum, etc.

3.º La fibra muscular está construída de columnas huecas, unidas entre sí por el sarcoplasma de Rollet. Estas columnas son paralelas, corresponden á los cilindros primitivos de los autores y aparecen segmen-

tadas en cajas discoideas superpuestas (*sarcomeras* de Schäffer). Dentro de las cajas, cuyas paredes superior é inferior no son otra cosa que las membranas de Krause, flota un disco birefringente que desempeña un papel activo en la contracción muscular. Según Krause, el líquido en que se baña el disco birefringente (elemento sarcódico de varios autores) se acumularía en el momento de la contracción en los lados de la caja, con lo cual el diámetro vertical de la cavidad disminuiría; y al contrario, en estado de relajación, el líquido se reuniría encima y debajo del elemento sarcódico, alargándose la caja muscular.

En sentir de Schäffer, que defiende modernamente algo modificada la hipótesis de las cajas que acabamos de indicar, el elemento sarcódico ó masa birefringente de la sarcomera hállase unida á las paredes laterales de aquéllas á favor de un tabique medio, correspondiente á la línea de Hensen, y en su espesor contendría dos series de conductitos, en los cuales podría penetrar el líquido de la caja. En estado de relajación, el líquido no distiende los citados conductos, acumulándose especialmente en las dos caras de la línea de Krause, y engendrando la llamada banda clara ó monorefringente de los cilindros primitivos; mas en estado de relajación, el licor monorefringente dilata los mencionados tubitos, la banda clara disminuye, y el elemento sarcódico ó cuerpo birefringente de la caja adquiere gran espesor.

Unión de las fibras musculares y tendinosas. — Los haces musculares terminan por cabos redondeados y adelgazados cubiertos por el sarcolema é implantados en los extremos de fascículos tendinosos; á veces el cabo muscular se muestra ramificado é inserto en el tejido conectivo dermóideo (músculos de la lengua).

Cada haz tendinoso recibe la inserción de una fibra muscular, uniéndose (á beneficio de un cemento sólido soluble en la potasa) la superficie del sarcolema con los cabos terminales de las fibras conjuntivas. Pero más á menudo los manojos tendinosos reciben haces musculares, no sólo por sus extremos, sino por sus lados, de manera que un sólo fascículo conectivo secundario transmite la energía de muchas fibras contráctiles.

Asociación de las fibras musculares. — El haz muscular primitivo ó fibra muscular, se asocia con otros á favor de un tejido conectivo laxo poco abundante (fig. 125), que alberga una red capilar muy tupida y dispuesta en mallas cuadrilongas. Los capilares son tortuosos, á veces helicoides, para adaptarse fácilmente á los estados de retracción y relajación del músculo. Los manojos resultantes de la asociación de las fibras musculares,

están individualizados por tabiques conjuntivos espesos, y toman el nombre de *fascículos secundarios*. De la integración de los fascículos secundarios en otras unidades mayores, limitadas por septos conectivos todavía más espesos, y no pocas veces infiltrados por tejido adiposo, resultan unos manojos voluminosos, visibles á la simple vista, y calificados de *haces terciarios*. Y finalmente, el músculo entero está revestido por una fuerte membrana aponeurótica (*perimisiso externo*).

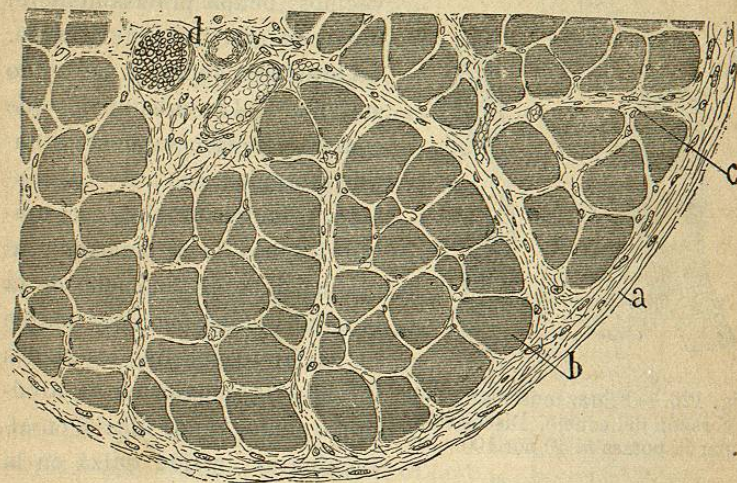


Fig. 125. — Corte transversal de un músculo de mamífero. — *a*, cubierta conjuntiva ó perimisiso externo; *b*, fibra muscular; *c*, tabiques que separan los fascículos secundarios; *d*, corte de un nervio y de los vasos nutricios del músculo.

Variedad estriada del corazón. — Pertenece el tejido muscular de esta víscera al tipo estriado y de contracción brusca, pero ofrece algunas particularidades que conviene hacer notar.

En primer lugar, las fibras musculares cardíacas son ramificadas y anastomosadas, y cada haz primitivo, en vez de estar representado por un sólo elemento, consta en realidad de varias células musculares superpuestas. La superficie de contacto de los corpúsculos constitutivos de un haz, es plana y se halla á menudo cortada en escalones; la unión de estas superficies tiene lugar á favor de un cemento sólido, ennegrecible por el nitrato de plata y soluble en la potasa (fig. 127, *c*).

Consta la fibra cardíaca de sarcolema, núcleo y materia estriada. El *sarcolema* es finísimo y no se interrumpe, como creemos haber demostrado (1), al nivel de las suturas ó contactos intercelulares; el *núcleo* es único, ovóideo, voluminoso, y está alojado en el centro de la fibra; y finalmente el *material estriado* exhibe las mismas bandas que el fascículo muscular ordinario, sin otra diferencia que el ser éstas más finas y difíciles de discernir. El cemento que enlaza dos corpúsculos musculares vecinos, ocupa precisamente el lugar de una línea de Krause.

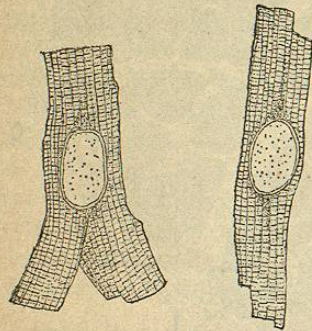


Fig. 126. — Fibras musculares del corazón del conejo. Disociación por la potasa al 40 por 100.

substancia birefringente de las fibras, aunque no debe constituir un factor exclusivo, pues si la miosina es extraída del músculo, la propiedad de la *anisotropía* permanece. 2.º La *musculina* ó albúmina muscular, que coagula á 45º ó 47º. 3.º El *armazón* (*Bundelgerüst* de Danilewsky), que es el material que resta en las fibras, una vez extraídas la miosina y demás albuminoides. 4.º La *materia glicógena* que se gasta con el trabajo muscular y reside quizá, como quiere Ehrlich, en el sarcoplasma. 5.º El *ácido sarcoláctico*, engendrado por la fatiga muscular y que desaparece con el reposo, etc.

(1) Cajal: Textura de la fibra muscular del corazón. *Revista trimestral de Histología normal y patológica*, núm. 1, 1888. Véase también nuestro trabajo: Observations sur la texture des fibres musculaires des pattes et des ailes des insectes (avec 4 planches). *Intern. Monatschrift. f. Anat. u. Physiol.*, 1888, Bd. v.

vecinos, ocupa precisamente el lugar de una línea de Krause.

Caracteres químicos del tejido muscular.—Las sustancias que constituyen esencialmente el tejido muscular, son: 1.º La *miosina*, principio protéico coagulable después de la muerte, y al que se debe el fenómeno de la *rigidez cadavérica*; es soluble en sal al 10 por 100, los ácidos diluidos la convierten en albúmina ácida, y los álcalis en albuminatos; reside quizá en la

Propiedades fisiológicas del tejido muscular.—La actividad fisiológica para la que el corpúsculo muscular está especialmente diferenciado es la contracción, que se efectúa, bien por estímulo de los nervios motores, bien mediante excitación directa, eléctrica, química ó mecánica, del material estriado. El encogimiento de la fibra tiene lugar solamente en la dirección de su eje, acortando su longitud y aumentando su grueso. Desde los trabajos de Aeby, confirmados por diversos histólogos y fisiólogos, se sabe que la retracción del haz muscular se determina por espesamientos locales y sucesivos, llamados ondas de contracción, que comienzan al nivel del punto estimulado y se extienden en dirección opuesta hasta las extremidades. Tal es la contracción que se observa en los fascículos musculares aislados y examinados al microscopio; mas cuando se estimula el nervio que se distribuye por el músculo, en vez de una se producen infinidad de ondas de contracción, tan próximas y rápidas, que cada fibra muscular parece contraerse simultáneamente en todas sus partes.

Los cambios que el microscopio permite reconocer en la materia estriada durante el paso de la onda, se han estudiado atentamente en las fibras musculares de las patas de los insectos; por desgracia, la observación de estas mutaciones es tan difícil, tan árdua su interpretación racional, que apenas hay dos autores que describan los mismos hechos, ó que describiéndolos les otor-

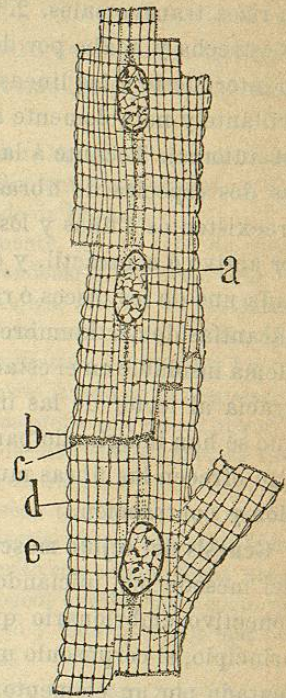


Fig. 127. — Dos fibras musculares del corazón de la vaca teñidas por el cloruro de oro.—a, núcleo; b, sarcolema que pasa de una fibra á otra; c, cemento de unión; d, línea de Krause; e, fibrilla primitiva.

guen igual valor. En general, cada autor ha visto en la materia estriada en contracción, el mecanismo fisiológico á que le obligaba su concepción *a priori* de la textura de la fibra muscular.

Dos hechos, sin embargo, aparecen en las descripciones de casi todos los histólogos : 1.º Al paso de la onda, las líneas de Krause se aproximan y adelgazan, y el sarcolemma se presenta plegado en rizos transversales. 2.º El disco claro ó substancia isótropa, se estrecha y acaba por desaparecer, presentándose todo el hueco interpuesto á las líneas de Krause como un disco homogéneo, brillante y notablemente adelgazado (*estado homogéneo* de ciertos autores). Tocante á la importante cuestión de saber cuál de las dos especies de fibras que figuran en el haz muscular (las preexistentes ó finas y los cilindros primitivos) representa el factor activo ó contráctil, y de qué modo colaboran en el fenómeno cada uno de los discos ó rayas antes estudiadas, nada que tenga garantías de certidumbre puede decirse. Acaso sea este un problema insoluble en el estado actual de la técnica. Hacemos, pues, gracia al lector de las innumerables y contradictorias teorías que se han imaginado para explicar mecánicamente los cambios que ofrecen las fibras musculares en sus dos estados de relajación y contracción.

Génesis del tejido muscular.—Proceden las fibras musculares del mesodermo, iniciándose su evolución en las masas de tejido conectivo embrionario que rodean las protovértebras. En un principio, el corpúsculo muscular carece de estrías, y está representado por un elemento cilíndrico, granuloso, provisto de núcleo ovóideo y central. Más adelante, el núcleo se multiplica, y la periferia de la célula exhibe una corteza estriada, que va sucesivamente engrosándose : en el eje reside una sarta de núcleos, así como un cordón protoplásmico indiferenciado. Finalmente, conforme avanza la evolución, la célula se alarga notablemente, el eje protoplásmico se adelgaza hasta desaparecer, y los núcleos, oprimidos en cierto modo por la invasión creciente del material estriado, salen por ciertas discontinuidades ó ventanas de que éste se halla sembrado, para colocarse definitivamente debajo del sarcolemma.

El desarrollo del material estriado puede concebirse como un

fenómeno de regularización y diferenciación ocurrido en el seno del retículo protoplásmico embrionario ; á expensas del líquido de las mallas protoplásmicas, fórmanse quizá los cilindros primitivos, y mediante el crecimiento y regularización del armazón protoplásmico axial, se crean los hilos finos longitudinales y redes de las membranas de Krause. El mecanismo íntimo de estas metamorfosis, se desconoce en absoluto. Una vez llegada al estado adulto, la fibra muscular representará un elemento fijo, insusceptible de multiplicarse (Bizzozero) como las células nerviosas.

Preparación del tejido muscular.—*a) Fibras lisas.*— Para estudiar las fibras lisas pueden utilizarse cuatro procedimientos principales : la disociación, los cortes, la distensión y el método de Ehrlich.

La *disociación* debe efectuarse químicamente. En un tubo de ensayo que contenga ácido nítrico al cuarto, se abandonarán por dos ó más días pedazos de tejido muscular del intestino, vejiga, etc., de un vertebrado. Al cabo de este tiempo, el cemento de unión es destruido y las fibrocélulas se desprenden y aislan por simple agitación del líquido. La conservación podrá efectuarse en glicerina, previo lavado de la preparación, á fin de purgarla del ácido que contiene. Las preparaciones así obtenidas son muy bellas desde el punto de vista de la disociación ; pero se tiñen mal por los reactivos y el núcleo apenas se distingue.

Para obtener elementos cuyos núcleos sean tingibles por el carmín, hematoxilina, etc., convendrá obtener la disociación por el alcohol al tercio, siguiendo el manual operatorio ya descrito con ocasión de la preparación de los epitelios. También la potasa puede aprovecharse como aislador ; pero este reactivo es de difícil manejo y todavía altera más profundamente los núcleos que el ácido nítrico.

Los cortes se ejecutarán en trozos de esófago, estómago, intestino, etc., previa induración en el alcohol y englobamiento en celoidina ó parafina. La coloración se efectuará en hematoxilina ó carmín. La hematoxilina con eosina es un buen reactivo, pues colora en rosa el protoplasma contráctil y en violado los núcleos. También es aplicable el método de Gieson y el de la triple coloración.

La *distensión* es particularmente aplicable á membranas transparentes que contienen fibrocélulas. Supongamos que se trata de la vejiga de la rana : un trozo de este reservorio se extenderá por semidesección sobre un porta-objetos ; luego se lubricará, durante algunos minutos, por el alcohol absoluto, á fin de fijar sus elementos ; en seguida se hará actuar sobre él por breves instantes una solución colorante.

El *Método de Ehrlich* es también útil al estudio de las fibras lisas, suministrando espléndidas preparaciones, que tienen la ventaja de