

# REVISTA DE LA FACULTAD DE MEDICINA

Director, Profesor JORGE E. CAVELIER

VOL. VI

Bogotá, marzo de 1938.

N.º 9

## SOBRE LA EXCITABILIDAD DIRECTA DEL MUSCULO ESTRIADO POR DESCARGAS RITMICAS DE CONDENSADORES

*Doctor J. Hernando Ordóñez.*

Asistente Extranjero de la Facultad de Medicina de París. Profesor de Fisiología en el Instituto Nacional de Educación Física.

*(Trabajo verificado en el Laboratorio de Fisiología General de la Sorbona) (1).*

En publicaciones anteriores he estudiado una variedad de contracción del músculo estriado de la rana consistente en una contracción rítmica producida por una excitación tetanizante que, para comodidad de las descripciones, he venido llamando contracción prosténica.

Durante mi reciente estadía en París, a donde fui enviado por el Gobierno Nacional a hacer estudios de especialización en Fisiología, tuve oportunidad de profundizar el estudio del problema, pues en mi tesis de grado hice un estudio tan profundo como me lo permitieron los medios de que dispuse en el Laboratorio de Fisiología de la Facultad de Medicina de Bogotá, con una bibliografía tan completa como fue posible con las obras y revistas que posee la Biblioteca de nuestra Facultad.

Consultando bibliografía en la Biblioteca de la Facultad de Medicina de París encontré que el primero que observó sacudidas musculares durante el tétanos fue Charles Richet (1879) en el músculo de las pinzas del cangrejo, quien por lo demás declaraba en aquella época que estas sacudidas no se presentaban en ningún otro animal. Este fenómeno

---

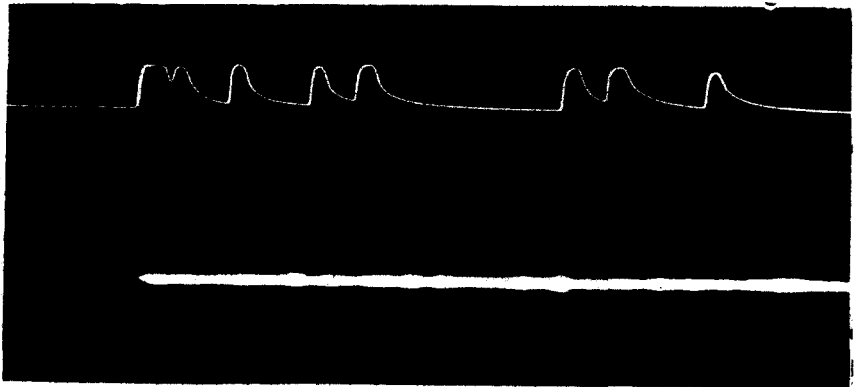
(1) Gracias a la gran gentileza con que me recibió el profesor Lapique, cuyos sabios consejos no olvidaré, pude llevar a cabo el presente trabajo. Aprovecho la oportunidad para presentar a M. Lapique mi profundo agradecimiento, lo mismo que a M. y Mme. Chauchard por sus valiosas enseñanzas.

no lo llamó tétanos rítmico. Más tarde Romanes (1880) encontró el mismo fenómeno en algunas medusas, De Varigny (1886) en algunos crustáceos (*Pagurus ambulatus*, *P. callidus* y *Portunus puber*), moluscos (*Eledone moschata* y *Sepia officinalis*) y en la medusa *Rhizostoma cuvieri*. Después de esta época algunos autores se volvieron a ocupar del asunto y encontraron los mismos resultados, es decir, el tétanos rítmico de Richet. Es de observar que todos los trabajos se refieren a invertebrados y que todos hablan de tétanos; en efecto, ninguno describe la variedad rítmica pura que señalé en la segunda de mis publicaciones (1934) sobre el particular.

A fines del siglo pasado el fenómeno fue bastante conocido, llegando hasta ser estudiado en los compendios de Fisiología de la época, como el de De Varigny, aunque no en todos. Después se fue olvidando poco a poco a tal punto que en los libros y revistas modernos no se le menciona por ninguna parte.

Los trabajos citados, lejos de restarle importancia a mis publicaciones, las refuerzan, y lamento no haberlos conocido antes. En efecto, estos hechos prueban que hay un fenómeno general, común tanto a los músculos lisos como a los estriados, consistente en su actividad rítmica, hipótesis que sostuve en mi tesis de grado.

En la Sorbona continué el estudio del problema con los aparatos necesarios que amablemente puso a mi disposición el profesor Lapique. Primeramente verifiqué los experimentos verificados en Bogotá en la *Hyla wilsoni* para ver si en *Rana esculenta* aparecía el mismo fenómeno. Empleando como excitación tetanizante la corriente farádica producida por carrete de Du Bois Reymond obtuve exactamente los mismos resultados (figura adjunta).



Músculo gastronemio de "Rana esculenta" excitado por corriente farádica (carrete de Du Bois Reymond) de una frecuencia muy superior a la que produce tétanos imperfecto.

Sin embargo, como este carrito no produce excitaciones exactamente iguales, para evitar la irregularidad de ellas, y por insinuación de M. Lapique, empleé como excitación tetanizante la descarga rítmica de condensadores según el dispositivo de M. Lapique (*C. R. Soc. Biol.* 71: 727-730, 1911).

En este dispositivo una fuente de corriente continua carga una serie de capacidades a través de dos resistencias. El circuito es cerrado y abierto por la vibración de un diapasón, cuya frecuencia es constante. Al vibrar el diapasón se cierra el circuito y se cargan los condensadores; esta corriente de carga llega igualmente al músculo. Al terminar el período de vibración el brazo del diapasón se aleja del contacto, se abre el circuito y los condensadores se descargan a través de las mismas resistencias, enviando esta corriente de descarga al nervio o músculo de la preparación. Sigue el diapasón vibrando, vuelve a cerrarse el circuito, a cargarse los condensadores, y así sucesivamente.

Las corrientes de carga y de descarga son de sentido contrario y de desigual intensidad y duración según que las dos resistencias sean o no iguales. Cuando son iguales, como es el caso del presente trabajo, la corriente de descarga dura el doble y tiene la mitad de la intensidad de la corriente de carga. Por consiguiente esta excitación es en cierto modo semejante a la corriente farádica empleada en mis experimentos anteriores; se diferencia de ella, entre otras cosas, en que la corriente más activa es la de cierre de circuito y la única que entra en juego en las vecindades del umbral.

*Condiciones experimentales.* *Rana esculenta*, medula destruida, electrodos de plata colocados uno en la región lumbar y otro directamente sobre el músculo, dispositivo de M. Lapique para excitación rítmica por descargas de condensadores. Se emplearon como condensadores los mismos usados para medida de la cronaxia; las dos resistencias iguales, sin self, de 4.000 ohmios; fuente de energía 2, 4, 8 y hasta 12 voltios obtenidos por el acoplamiento de acumuladores. La frecuencia del diapasón es constante a 100 V. D.

*Resultados.* Al aplicar esta excitación tetanizante la respuesta del músculo varía según la intensidad. Cuando ésta es muy débil el músculo no se contrae; cuando la intensidad es ligeramente más fuerte aparece una serie de sacudidas rítmicas; si se hace más fuerte aparece, acompañando a estas sacudidas, un ligero grado de tétanos; si la intensidad es aún más fuerte aparece tétanos perfecto. La duración de las sacudidas rítmicas es muy variable; de algunos segundos, varios minutos, hasta dos horas y media, y más.

Como puede verse, con esta excitación se obtienen los mismos resultados que con la corriente farádica, con la diferencia de que con la descarga rítmica de condensadores es más fácil obtener la contracción

rítmica y de mayor duración, pues con corriente farádica lo más que he obtenido son algunos minutos.

Por considerarlo de gran interés describo a continuación el experimento donde obtuve la mayor duración.

Medula destruída. Acumulador de 2 voltios. Con 0.035 de microfaradio no hay respuesta; con 0.036 de microfaradio contracción rítmica que desaparece muy pronto; con 0.037, 0.038 y 0.039 de microfaradio, lo mismo. Después de algunas excitaciones entre 0.040 y 0.070 de microfaradio a las cuales responde con tétanos rítmico, se excita con 0.080 de microfaradio y entra en tétanos perfecto.

Después de numerosas excitaciones se tiene: con 0.070 de microfaradio no responde; con 0.094 contracción prosténica de muy débil amplitud; con 0.110 de microfaradio aparece tétanos y fibrilación.

Después de otra serie numerosa de excitaciones, durante las cuales es necesario ir aumentando la intensidad para obtener la misma respuesta, se tiene que con 0.150 de microfaradio no se contrae; con 0.29 y 0.30 de microfaradio contracciones rítmicas amplias con un ligero grado de tétanos; con 0.20 una sacudida al iniciar la excitación, seguida de reposo por todo el tiempo que ésta dura.

En estas condiciones, siendo las 7 y 30 p. m. se inicia una excitación tetanizante con 0.50 de microfaradio y el músculo entra en contracción prosténica, de sacudidas amplias, por series unas más rápidas que otras, de un ritmo variable, así:

A los 12 minutos	12	sacudidas	por	minuto;			
" "	20	"	25	"	"	"	
" "	25	"	19	"	"	"	(con una contrac-

ción fuerte seguida de una débil, semejando extrasístoles).

A los 30 minutos	17	sacudidas	por	minuto			
" "	85	"	50	"	"	"	(aproximadamente,

pues tiene períodos en que entra en tétanos con fibrilación, que son por lo demás pasajeros, después de los cuales se relaja y continúa el ritmo anterior.

A los 110 minutos	50	sacudidas	por	minuto	(como	el	anterior).
" "	115	"	13	"	"	"	(normal).
" "	120	"	6	"	"	"	(el músculo per-

manece en reposo completo entre una sacudida y otra).

A los 125 minutos	7	sacudidas	por	minuto			
" "	130	"	15	"	"	"	
" "	135	"	23	"	"	"	
" "	140	"	23	"	"	"	
" "	145	"	40	"	"	"	
" "	150	"	34	"	"	"	

A las 10 p. m. se suspende la excitación por ser ya muy tarde. El músculo, después de estas dos horas y media de excitación no daba señales de fatiga.

Merecen llamar la atención varios hechos en este experimento:

1. La infatigabilidad del músculo;
2. La existencia de una contracción rítmica pura, sin mezcla de tétanos imperfecto, que no había sido señalada por ningún otro autor;
3. La marcha tan particular del ritmo, con sus períodos de aceleración y de retardo.

Por demás está decir que éste es el único caso observado entre los centenares de ensayos hechos. En los demás casos la duración varía entre algunos segundos, dos y hasta ocho minutos. Por otra parte he observado que en esta serie de experimentos, empleando una excitación más regular, es mucho más fácil obtener la aparición de la contracción prosténica, cuantas veces se quiera, en cambio, cuando se emplea corriente farádica es mucho más difícil.

#### *Excitación tetanizante con corriente reobásica y doble reobásica.*

Establecida la existencia de la contracción prosténica quise averiguar la relación que hubiera entre la intensidad necesaria y los valores de la cronaxia.

Para ello hay que distinguir si la reobase se trata de la corriente de carga o de la de descarga. Respecto de esta última, los valores obtenidos están sujetos a una pequeña modificación, pues esta excitación estaba precedida necesariamente de la corriente de carga, lo cual modifica ligeramente la excitabilidad del músculo.

Para llevar a cabo este estudio hice una modificación al dispositivo de M. Lapique intercalando entre el acumulador y el circuito en general un reductor de potencial con el fin de fraccionar el voltaje y agregando una llave de Morse, en derivación al contacto del diapason, de tal modo que al comprimir la llave se excitara con la corriente de carga, y al soltarla, con la corriente de descarga de los condensadores, y agregando por último 2 microfaradios a las capacidades pequeñas para la medida de la reobase.

Las cifras obtenidas sirven para ser comparadas entre sí, para conocer el efecto que produce una sola excitación aislada, de la misma intensidad empleada para la excitación tetanizante.

En estas condiciones obtuve los siguientes resultados:

Conecté dos microfaradios y busqué con el reductor de potencial la intensidad correspondiente a la reobase, para excitar con la corriente de carga. Al aplicar una excitación tetanizante con esta intensidad el músculo responde con una sola sacudida y entra en reposo aunque la

excitación continúe por más tiempo. Para obtener sacudidas rítmicas es necesario aumentar la intensidad, aumentando el voltaje.

Si se duplica la reobase y se busca la capacidad necesaria, como para medir la cronaxia, y se aplica una excitación tetanizante con esta intensidad, el músculo responde con tétanos perfecto o tétanos y fibrilación; para obtener sacudidas rítmicas es necesario disminuir considerablemente la capacidad.

Estos resultados demuestran por otra parte que la contracción prosténica no es producida por las irregularidades de excitación, pues si tal fuera, debería presentarse con la intensidad igual a la reobase o menor que ella.

El hecho de que se presente con una intensidad inferior a la cronaxia prueba suficientemente que hay allí un fenómeno de adición latente.

Esto en lo que se refiere a la excitación tetanizante con la corriente de carga. Con la corriente de descarga, como es menos activa, es necesario aumentar el voltaje y la capacidad para que produzca respuesta, con lo cual se aumenta naturalmente la corriente de carga. En estas condiciones, fácil es prever lo que sucede: la respuesta es tétanos perfecto o tétanos y fibrilación.

Hé aquí otra analogía con la corriente farádica: la contracción rítmica aparece únicamente cuando se excita con la corriente de apertura o inferior a ella; cuando la corriente de cierre es activa también, aparece tétanos perfecto.

### Resumen

1º el músculo gastronemio de *Rana esculenta* ha sido excitado con descargas rítmicas de condensadores, a 100 por segundo, según el dispositivo de M. Lapique.

2º Por el presente trabajo queda establecido que cuando un músculo estriado es excitado por una serie de estímulos, los cuales pueden ser choques de inducción o corrientes de carga o descarga de condensadores y cuando la frecuencia de dichas excitaciones pasa del límite que produce tétanos imperfecto, el músculo responde de dos maneras: por tétanos perfecto, o por una contracción rítmica.

3º En varias publicaciones he llamado la atención sobre esta actividad rítmica del músculo estriado y he propuesto, para esta variedad de contracción músculos estriados, el nombre convencional de contracción prosténica.

4º La causa para que el músculo responda con tétanos perfecto o contracción prosténica está en la intensidad de la excitación.

5º Cuando la intensidad de la excitación es débil aparece contracción prosténica pura; cuando es fuerte, tétanos perfecto; con una in-

tensidad intermedia aparece una mezcla de las dos, que es lo que Richet llamó tétanos rítmico.

6º La variedad rítmica pura, sin mezcla de tétanos, tal como se ve en la figura 1 no había sido descrita anteriormente por otros autores.

## BIBLIOGRAFIA

- Richet Ch.* Contribution a la Physiologie de centres nerveux et des muscles l'écrevisse. *Arch Phys. Norm. Path.* 6: 262, 294, 1879.
- Richet Ch.* De l'excitabilité rythmique des muscles et de leur comparaison avec le coeur. *C. R. Ac. Sc.* 89: 792, 1879.
- Romunes M.* *Phyl. Trans. Royal Soc.*, 1 parte, p. 161, 1880 (Cit. por De Varigny).
- H. De Varigny.* Sur le tétanos rythmique chez les muscles d'invertébrés *Arch. Phys. Norm. et Pathol* 7: 151-171, 1886.
- Samojloff A.* Ueber den untermaximalen Tetanus der quergestreifter Muskeln. *Arch. f. Physiol.* 1898, 512-526.
- Basler A.* Ueber den Einfluss der Reizstärke auf die Tetanuscurve des Froschsartorius. *Arch. ges Physiol.* 105: 334-364, 1904.
- Samojloff A.* Ueber die rythmische Tätigkeit des quergestreiften Muskels. Nach Versuchen von Herrn P. M. Pheophilaktoff *Arch. f. Physiol.* 1907, 145-161.
- Lapicque L.* Dispositif pour les excitations rythmiques par décharges de condensateurs. *C. R. Soc. Biol.* 71: 727, 1911.
- Ordóñez J. H.* Sobre una contracción rítmica hallada en el músculo gastronemio de la rana durante un tétanos perfecto. Contracción Prosténica *Rev. Fac. Med.* 2: 331-354, 1933.
- Ordóñez J. H.* Contracción prosténica II. Su causa. *Rev. Fac. Med.* 3: 91-118; 1934.
- Ordóñez J. H.* Contracción prosténica III. Influencia de la intensidad de la excitación tetanizante. *Rev. Fac. Med.* 3: 277-287, 1934.
- Ordóñez J. H.* Fisiología general de la contracción prosténica. Tesis de grado. Bogotá, 1935.

