

DEL INSTITUTO DE FISIOLOGIA
de la
Universidad de Concepción (Chile)
Director: Prof. Dr. H. Kallas

Estimulación con corriente de ascenso exponencial

(Con 3 figuras)

por

B. Günther

(Recibido por la Redacción el 10-XII-1941)

En los métodos habituales de excitación eléctrica el cambio de intensidad se realiza bruscamente, ascendiendo el voltaje en forma vertical hasta su valor máximo. Este modo de estimulación es particularmente eficaz si se quiere excitar un tejido de gran velocidad de reacción (Wyss, 1934). Es el procedimiento de elección cuando se determina la reobase (umbral galvánico) y la cronaxia (tiempo mínimo de estimulación con un voltaje doble del umbral). Para los tejidos de velocidad de reacción menor, (músculatura lisa, músculo cardíaco) la velocidad del ascenso de la corriente estimulante puede ser relativamente menor, sin que el estímulo deje de ser eficaz. Con una corriente de ascenso progresivo, (lineal o exponencial) nos será posible excitar electivamente los elementos más lentos de un tejido; por el contrario, la reobase y la cronaxia son los índices de los elementos más rápidos. El estudio en conjunto de estos tres factores nos permitirá un juicio más acertado acerca de la excitabilidad de un tejido, que el análisis de uno de ellos exclusivamente.

Los métodos de determinación de la reobase y la cronaxia están ya perfectamente estandarizados después de los trabajos clásicos de Lapique, (1926) y de otros autores; en cambio para la excitación con corriente de ascenso exponencial o logarítmico, existen opiniones divergentes y muchas veces contradictorias.

Gildemeister (1904) incluyó una solenoide en el circuito de excitación, con el objeto de conseguir que la corriente no ascienda verticalmente, sino que lo haga siguiendo una curva exponencial, cuya forma dependería tanto de la resistencia del circuito como también de su self-inducción.

Lapique (1937, a, b, c) colocó un condensador en paralelo con el sistema de resistencias por él descrito. La capacidad mi-

nima del condensador en paralelo capaz de suprimir la excitación con el voltaje reobásico sirve de base para calcular lo que Lapicque llama "seuil de climalyse".

Por otra parte Duhem (1938) utiliza un sistema basado en el mismo principio, (2,000 ohmios en serie y una capacidad en paralelo con el paciente). Dicha capacidad corresponde a la "capacité eliminatrice". Tiene este método el inconveniente de la influencia de la variación de resistencia del objeto, lo que impide naturalmente una medición exacta.

Bourgignon (1936) propuso subsanar este inconveniente con el empleo de un sistema de resistencias, que evita alteraciones provenientes del objeto.

Los métodos anteriormente indicados adolecen de cierta imprecisión, debido en primer lugar a la variabilidad espontánea del umbral (reobase), que según Erlanger y Gasser (1937) puede llegar hasta un 10% del voltaje umbral. Por otra parte es difícil definir el momento en que se ha llegado a la "capacidad de eliminación", ya que en esta zona la curva de "voltaje-capacidad en paralelo" se separa insensiblemente de la horizontal correspondiente a la reobase (fig. 1).

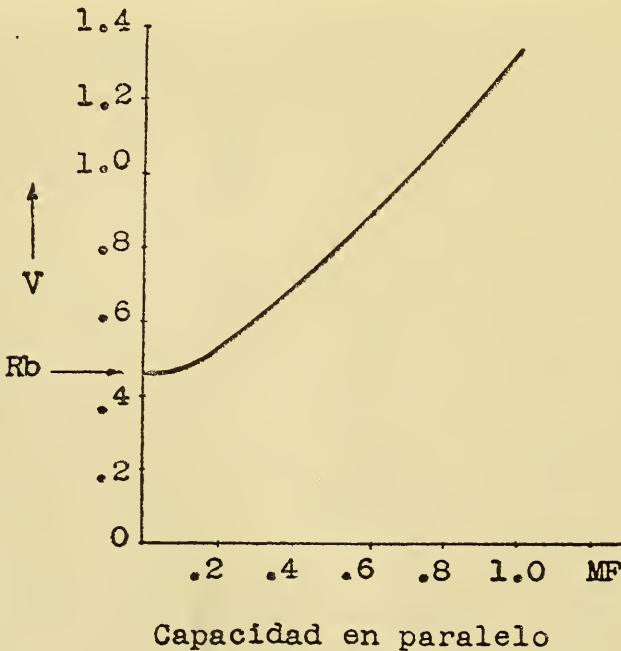


FIGURA 1.

Curva "voltaje-capacidad en paralelo". Rb corresponde a la reobase, con una capacidad en paralelo de cero. A medida que aumenta dicha capacidad, la curva se separa de la horizontal para ascender en seguida en forma lineal.

Schriever (1932), Liesse (1938), Schriever y Cebulla (1939) utilizan por este motivo el doble de la reobase (tal como para la determinación de la cronaxia) y con este voltaje se busca la capacidad en paralelo capaz de anular la excitación producida por dicho voltaje. A esta capacidad se la designa con el nombre de "Einschleichkapazität", para calcular a base de ella el tiempo característico "Einschleichzeit".

Hill (1936) y Solandt (1936) utilizan un método semejante al de Lapicque y determinan con él la constante de tiempo de la "acomodación". Este término fué creado por Nernst (1908) para describir con él el aumento del umbral a consecuencia de una estimulación con corriente de larga duración.

Para la medición en el hombre se emplea un circuito ligeramente modificado (Solandt, 1935) o bien el circuito original de Lapicque, como lo ha hecho Liberson (1934).

A continuación se describirá un método simplificado que permite el estudio comparativo de la excitabilidad con corriente de ascenso vertical y exponencial.

METODO

Se utiliza un cronaxímetro a base de descarga de condensadores, de escala de voltaje múltiple (0.3 - 3.0 - 30.0 - 300.0 voltios), duplicador automático, conmutador de la corriente (para evitar la polarización) y sistema de resistencias según Bour-gignon. La modificación esencial es la inclusión de un condensador fijo de 2MF, en la forma indicada en la fig. 2. La reobase y la cronaxia se determinan previamente estando abierta la llave I. Al bajar la llave Morse M, se carga el condensador C a un voltaje determinado V, que se regula con un potenciómetro y que se controla por medio de un voltmetro de precisión; al soltar la llave M se descarga C a través del sistema de resistencias R₁, R₂, R₃ y del objeto O. La corriente asciende en este caso verticalmente hasta su valor máximo y en seguida disminuye en forma exponencial.

Ahora si se cierra la llave I, con lo que queda intercalado el condensador fijo de 2MF, la corriente asciende en forma exponencial. Esto trae como consecuencia una elevación del umbral (V_c) superior al valor de la reobase (V_r). El cociente $Q = V_c/V_r$ será el índice de la velocidad con que se realiza la "acomodación". En el mismo principio se basan los llamados "divisores de la excitación" de von Kries. En realidad se trata de un sistema de doble condensador (Lapicque, 1926), en que un condensador de gran capacidad (10MF) se descarga en otro de menor capacidad (2MF) a través de un sistema de resistencias. De este modo la corriente de estimulación, después de un ascenso logarítmico llega a su máximo, para descender en seguida lentamente. La resultante es una corriente cuya forma es muy semejante a la corriente de acción de nervio y músculo. Al mismo tiempo se evita la excitación de apertura, como también una alteración del tejido por una estimulación de muy larga duración.

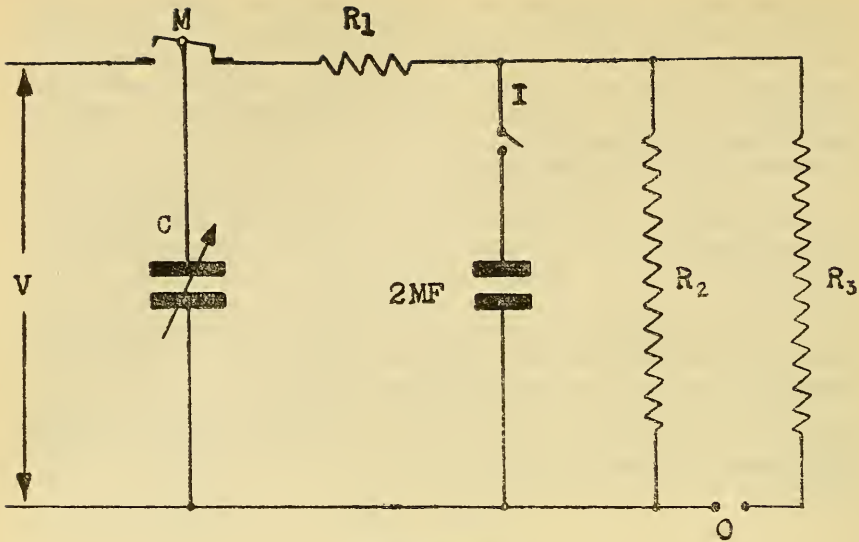


FIGURA 2.

Diagrama que muestra los detalles del circuito de estimulación con corriente de ascenso vertical y exponencial. V = voltaje aplicado. M = llave Morse. C = condensador variable que se utiliza para la determinación de la capacidad cronáxica; para la medición con corriente exponencial y para la reobase tiene un valor de 10MF.

R_1 = resistencia de 4,000 ohmios. R_2 = resistencia de 10,000 ohmios. R_3 = resistencia de 11,000 ohmios. I = interruptor que intercala el condensador de 2MF. O = objeto.

Las determinaciones deben hacerse intercalando entre cada medición un cierto tiempo. Se ha llegado al umbral cuando hay una respuesta positiva por lo menos en un 50% de las estimulaciones. Se mide en primer lugar el voltaje umbral en forma aproximada y en seguida se desciende a un valor menor en que no haya respuesta, para ascender paulatinamente hasta alcanzar el valor preciso. El índice de la excitación es la contracción muscular mínima.

a) Mediciones en la preparación neuromuscular. Se coloca la preparación neuromuscular (ciático-gastrocnemio), ya sea del sapo (*Bufo chilensis*) o bien de la rana (*Calyptocephalus Gayi*) en una cámara húmeda hecha en un bloc de parafina sólida y que consta de dos compartimentos, uno para el nervio y otro para el músculo, separados por un tabique con una ranura que permite el paso del nervio. Este se tiende sobre dos electrodos impolarizables Ag-AgCl de un milímetro de diámetro, separados entre sí por una distancia de 20 milímetros. En cada compartimento de la cámara se colocan algodones impregnados con solución de Ringer para conservar la humedad. Una vez colocada vaselina en los bordes de la cámara, se cubre ésta con una placa de vidrio.

Delville (1934) utiliza también electrodos de plata clorurados para sus determinaciones, pero la linealidad de la curva

“voltaje-capacidad en paralelo”, es mejor si se suprime el shunt en el sistema de resistencias y se utilizan electrodos impolarizables de calomelano, tal como lo propone Solandt (1936).

b) Medición en el corazón de rana. Puede utilizarse tanto el método bipolar o unipolar para hacer las determinaciones. En el bipolar, el corazón aislado (previa separación del seno venoso para suprimir el automatismo) es fijado sobre una lámina de corcho por medio de un alambre de plata clorurado, y otro alambre del mismo tipo se clava en la punta del corazón. La técnica del método unipolar es igual a la descrita por Cicardo y Marenzi (1938). Se introduce una lámina de plata clorurada en la boca del animal y el otro polo está constituido por un pequeño alambre de medio milímetro de diámetro (Ag-AgCl) clavado en la punta del corazón. La detención del corazón se consigue con la primera ligadura de Stannius.

c) Mediciones en el hombre. El electrodo indiferente está constituido por una lámina de plomo de 10 x 15 cms. recubierta de algodón y envuelta en una tela. El electrodo diferente (activo), es un disco de plata de 1 cm. de diámetro, igualmente recubierto. Ambos están impregnados con una solución fisiológica. Se aplica el electrodo indiferente por medio de una venda a uno de los brazos y el diferente se localiza, ya sea en el punto motor cuando se trata de un músculo con inervación normal o bien se hace la excitación longitudinal cuando el músculo está degenerado.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Existe una relación estrecha entre la constante de tiempo (cronaxia) y la velocidad con que se realiza la acomodación (que corresponde al valor del cociente Q). Cuando la cronaxia es corta Q es de un valor elevado, como sucede por ejemplo con el nervio aislado de una preparación neuromuscular, en que Q oscila entre 2,3 y 2,7 y la cronaxia tiene un valor medio de 0.27 sigmas (milésimos de segundo). En cambio el corazón, que tiene una cronaxia larga (término medio 3.37 a 3.85 sigmas, según si el método de estimulación es bipolar o monopolar), tiene un cociente Q sumamente bajo (1.06). (Véase la tabla).

La capacidad es paralelo de 2MF casi no influye sobre el umbral de excitación del corazón, ya que es completamente indiferente si el voltaje de excitación asciende verticalmente o lo hace en forma progresiva exponencial. Lo esencial parece ser la cantidad de electricidad del estímulo, que es aprovechable casi en su totalidad por el músculo cardíaco. Esto explicaría la gran tendencia que tiene el corazón al automatismo, puesto que un pequeño aporte energético (ya sea éste químico o eléctrico) es capaz de acumularse hasta que se haya alcanzado el umbral de excitación.

Sucede algo muy distinto en el nervio. Aquí vemos por lo menos una duplicación del umbral, cuando se intercala el con-

Preparación	Número de casos	Cronaxia en sigmas		Cociente $Q = V_c/V_r$	
		Término medio	Valores límites	Término medio	Valores límites
Neuromuscular de rana	11	0.270	0.17-0.40	2.7	1.76-3.75
Neuromusculas de sapo	22	0.277	0.18-0.39	2.3	1.90-2.70
Corazón de rana (Estim. bipolar)	16	3.85	1.37-7.0	1.06	1.03-1.10
Corazón de rana (Estim. monopolar).	8	3.37	2.16-4.5	1.04	1.01-1.07

densador de 2MF en paralelo. A medida que asciende el voltaje de excitación el umbral también se eleva progresivamente y puede suceder que el ascenso del voltaje sea menos rápido que el aumento del umbral y la excitación no se realiza jamás. Debe en este caso aumentarse el voltaje para que el ascenso se haga más rápidamente y la curva del voltaje de estimulación consiga tocar en algún punto la curva del umbral, como lo ha analizado en detalle Hill (1936).

De las observaciones hasta ahora realizadas se deduce la importancia de este método de exploración para el enfermo, puesto que en los casos de degeneración nerviosa periférica hay una tendencia hacia la disminución de Q por debajo de su valor mínimo normal de 1.3, siendo frecuente encontrar en estos casos un $Q = 1.05$ y hasta de 1.0. Coincide esta disminución de Q con un aumento considerable de la cronaxia y con una contracción muscular extremadamente lenta.

La figura 3 nos muestra el ángulo de inclinación de las preparaciones neuromusculares de sapo y rana, de los nervios humanos y finalmente del músculo cardíaco, en el cual la acomodación es insignificante. La relación entre Q de la preparación neuromuscular (2.7) y del nervio humano (1.7) es de 1.60, relación que coincide con las observaciones de Solandt (1936), que con un método distinto encontró los valores siguientes para el "declive de la acomodación" (recíproco de la "constante de tiempo de la acomodación" de Hill)

nervio cubital del hombre = 17
preparación neuromuscular de sapo = 28.6

lo que daría una relación de 1.69. Esta concordancia justifica el empleo del método de doble condensador, en la forma antes seña-

lada, contrastando con sus ventajas prácticas la mayor dificultad de su estudio teórico, como ha sido puntualizado por Hill (1936).

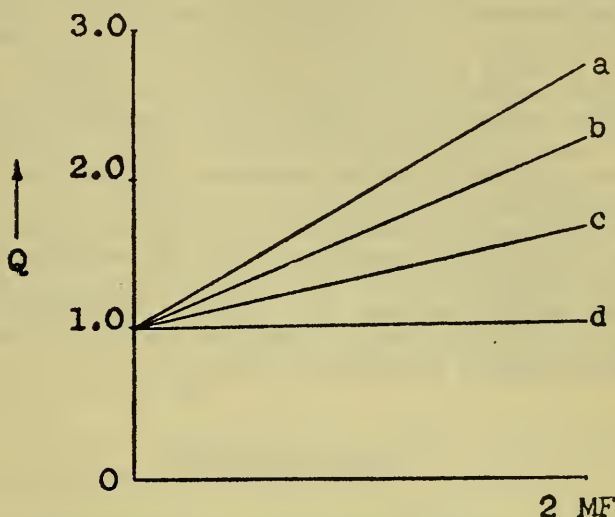


FIGURA 3.

Al intercalar el condensador fijo de 2MF se produce una elevación del umbral (V_c), valor que se divide por la reobase (V_r) que se toma como unidad, con lo que resulta el cociente Q .

- a) nervio aislado de rana.
- b) nervio de sapo.
- c) nervio humano.
- d) corazón de rana.

RESUMEN

La estimulación con corriente de ascenso exponencial se consigue con un sistema de doble condensador, según el principio descrito por Lapique. La descarga del condensador de excitación (10MF), que al mismo tiempo sirve para determinar la reobase y la cronaxia, se hace a través de un sistema de resistencia en que está incluido el objeto. Cuando se conecta en paralelo un condensador de 2MF, el umbral con corriente de ascenso exponencial se eleva y este valor se divide por la reobase. El cociente resultante es un índice de la velocidad con que se realiza la acomodación.

El cociente es por término medio de 2.3 a 2.7 para la preparación neuromuscular del sapo y de la rana; de 1.04 a 1.06 para el corazón aislado de rana y 1.7 para los nervios humanos.

Se discute la relación de este cociente con la cronaxia y con los resultados obtenidos utilizando los demás métodos de estimulación con corrientes exponenciales.

SUMMARY

Exponentially increasing currents were produced through the use of a double-condenser system, according to Lapicque. The discharge of the excitation condenser (10MF), which at the same time serves to determine the rheobase and chronaxie, is fulfilled through a system of appropriate resistances, in which the object is included. When a condenser of 2MF is connected in parallel, as was shown in fig. 2, the threshold of the exponentially rising current is increased; this value is divided by the rheobase and the resulting quotient indicates the degree of accommodation.

For frogs and toads sciatic nerves, the average of the quotient is 2.3 and 2.7 respectively; for the toads heart 1.04-1.06 and for the human nerves 1.7.

The relation between this quotient and chronaxie is discussed, as also the results of the other methods of stimulation with exponentially increasing currents.

BIBLIOGRAFIA

Bourgignon, G.—Quelques recherches sur l'électrodiagnostic par les courants progressifs. *Ber. ges. Physiol.*, 1936, 93 : 290.

Cicardo, V. H. y Marenzi, A. D.—Variaciones de excitabilidad y permeabilidad de los corazones de los sapos a los iones potasio, sodio y calcio. *Rev. Soc. Argent. Biol.*, 1938, 14 : 59-73.

Delville, P.—L'hétérochronisme neuro-musculaire. *Arch. int. Physiol.*, 1934, 40 : 83-128.

Duhem, P.—Précis de Physiothérapie Clinique. Gautier-Villars, Paris, 1938, p. 133-140.

Erlanger, J. and Gasser, H. S.—Electrical signs of nervous activity. Philadelphia, University of Pennsylvania Press. 1937, (véase pág. 88).

Gildemeister, M.—Untersuchungen über indirekte Muskelerregung und Bemerkungen zur Theorie derselben. *Pflüg. Arch. ges. Physiol.*, 1904, 101 : 203-225.

Hill, A. V.—Excitation and accommodation in nerve. *Proc. Roy. Soc., London*, 1936, B 119 : 305-355.

Lapicque, L.—L'excitabilité en fonction du temps. La chronaxie, sa signification et sa mesure. Paris, Presses Univ. de France, 1926, 371 pp.

Lapicque, L.—Courants progressifs et chronaxie; considérations générales. *C. R. Soc. Biol., Paris*, 1937 a, 125 : 256-259.

- Lapicque, L.**—Recherches expérimentales sur le seuil d'inefficacité des courants progressifs et ses rapports avec la chronaxie. C. R. Soc. Biol., Paris, 1937 b, 125 : 260-264.
- Lapicque, (L. et M.)**—Données expérimentales sur l'excitation par courants progressifs exponentiels. C. R. Soc. Biol., Paris, 1937 c, 125 : 588-592.
- Lapicque, L.**—Chronaxie, accommodation, climalyse; discussion théorique et expérimentale. C. R. Soc. Biol., Paris, 1938, 127 : 875-878.
- Liberson, W.**—Quelques observations sur l'excitation des nerfs et des muscles de l'homme par les courants lentement croissants. C. R. Soc. Biol.: Paris, 1934, 116 : 1319-1322.
- Liesse, A.**—Chronaxie et accommodation. C. R. Soc. Biol., Paris, 1938, 127 : 831-834.
- Nernst, W.**—Zur Theorie des elektrischen Reizes. Pflüg. Arch ges. Physiol., 1908, 122 : 280.
- Schriever, H.**—Ueber Einschleichen vom Strom. II Mit. Quantitative Verschiedenheiten. Z. Biologie, 1932, 93 : 123-148.
- Schriever, H. und Cebulla, R.**—Ueber Erregbarkeitsänderungen des Nerven beim Uebergang von nicht-rhythmischer zu rhythmischer Reizbeantwortung. Pflüg. Arch. ges. Physiol., 1939, 241 : 1-38.
- Solandt, D. Y.**—Measurement of human nerve "accommodation". J. Physiol., 1935, 85 : 5P-6P.
- Solandt, D. Y.**—The measurement of "accommodation" in nerve. Proc. Roy. Soc., London, 1936, B 119 : 355-379.
- Wyss, O. A. M.**—Elektrische Reizung mit regulierbaren Impulsformen. Die Zeitkonstante-Spannungs-Kurve. Pflüg. Arch ges. Physiol., 1934, 233 : 754-776.

