

Instituto Español de Fisiología y Bioquímica
Departamento de Bioquímica
Madrid

Efectos del potasio y del sodio en el potencial del nervio

por J. Lucas Gallego, A. Rodríguez Ortea y A. Santos Ruiz

(Recibido para publicar el día 12 de febrero de 1952)

En el nervio existe una fuerza electromotriz que mantiene una diferencia de potencial entre los conductores longitudinales externo e interno a la que se llama potencial de reposo.

Si un nervio se lesiona y se coloca un electrodo en el punto lesionado y otro en la porción sana por un aparato de medida galvanómetro u oscilógrafo, se puede comprobar la existencia de una diferencia de potencial, que recibe el nombre de potencial de lesión o de demarcación. Matteuci (9) en 1841, descubrió la presencia de diferencias de potencial en los tejidos; Du Bois Reymond (2) en 1843, comprobó que la parte sana era electropositiva y la lesionada electronegativa; asimismo Bernstein (1) en 1902 emitió la hipótesis de que la fuerza electromotriz en el nervio está producida por una membrana con un potencial negativo en el interior de la fibra y positivo en el exterior.

Para Bernstein la concentración de K en el interior de la fibra nerviosa es mucho mayor que en el exterior y supone que la membrana del nervio es permeable electivamente para el potasio e impermeable a los aniones y otros cationes. Esta permeabilidad selectiva para el potasio explicaría el potencial de reposo del nervio por la diferencia entre la concentración interna y externa del potasio. Para Hober y Strohe (6) y Shanes (5) el aumento en la concentración externa de iones potasio produce una depolarización del nervio.

Lorente de No (8), deduce que el potencial de membrana del nervio no depende de las concentraciones externa e interna del potasio, ya que cuando en un nervio depolarizado por una concen-

tración alta de potasio se agrega una solución sin este catión, la concentración interna del potasio es elevada y la externa se ha reducido a cero. Para este autor la suposición de que la membrana del nervio sea semipermeable selectivamente para el potasio debe ser abandonada, toda vez que por diferentes experiencias de Gallego y Lorente de No (3) se comprueba que la depolarización del rubidio es en absoluto superponible a la del potasio y que si los nervios depolarizados por el rubidio se colocan en una solución de sodio u otra, el nervio se repolariza hasta alcanzar el valor primitivo.

Overton (10) demostró que el nervio privado de sodio deja de conducir y que recupera su excitabilidad si se agrega líquido Ringer o una solución isotónica de cloruro de sodio.

Lorente de No, de los experimentos de depolarización axónica y repolarización oxidativa llega a la conclusión de que el metabolismo oxidativo es el mecanismo directo que mantiene el potencial de membrana y que al metabolismo oxidativo puede contrarrestar el efecto de un gran exceso de iones potasio en el medio exterior.

En la actualidad se concede mucha importancia a las reacciones del sistema acetilcolina-colinesterasa en el metabolismo del nervio. El nervio sufre durante el paso del impulso una depolarización brusca en cada uno de sus puntos representada por la parte ascendente del pico, que se recupera en dos fases, la primera rápida y la segunda lenta.

De las experiencias realizadas por Hodgkin (7) se deduce que cambios pequeños en la concentración del K externo ocasionan cambios manifiestos y rápidos en la conducción, que ésta es aumentada cuando la concentración del K disminuye y que cambios en la concentración del ClK externo tienen pequeños efectos sobre la capacidad de la membrana.

Graham y Blair (4) comprueban que la concentración alta del K produce disminución de la altura de la punta con estado normal de la duración de la postpotencialidad y de la excitabilidad, en tanto que en el caso de concentración baja del K tiene lugar aumento de la punta y de la excitabilidad postpotencial. En otras experiencias demuestran disminución de la duración de la excitabilidad, su eventual desaparición con incremento y prolongación de la depresión postcatódica y postanódica. El calcio se comporta como el K a baja concentración.

En las experiencias de Hertz se confirma que soluciones isotónicas, sin K, no alteran las corrientes de acción y que si tienen mucho K se produce una disminución en la amplitud y una inmediata y reversible reducción de las corrientes de acción sin que varíe su forma.

- | | |
|-----------------------------------|----------------------|
| (a los electrodos impolarizables) | α) apertura. |
| | β) cierre. |
| b) ánodo distal | |
| (a los electrodos impolarizables) | α) cierre. |
| | β) apertura. |

Resultados

En la gráfica n.º 1 se registran los potenciales medios obtenidos, en el oscilógrafo, por la excitación del nervio. Los puntos indicados en la línea de ordenadas representan los potenciales medios obtenidos antes de agregar las soluciones de cloruro de potasio en las distintas concentraciones que se marcan en la línea de abscisas. Con cada concentración de cloruro de potasio se obtiene un potencial antes de agregar la solución y otro cinco minutos después.

Por la excitación con cátodo proximal en cierre, el potencial registrado es mayor que por la excitación con ánodo proximal en cierre. Este, mayor que por la excitación con ánodo proximal en apertura; éste, mayor que por la excitación con cátodo proximal en apertura; éste, mayor que por la excitación con ánodo distal en cierre; éste, mayor que con la excitación con cátodo distal en cierre; éste, mayor que por la excitación con ánodo distal en apertura y, éste, más elevado que por la excitación con cátodo distal en apertura.

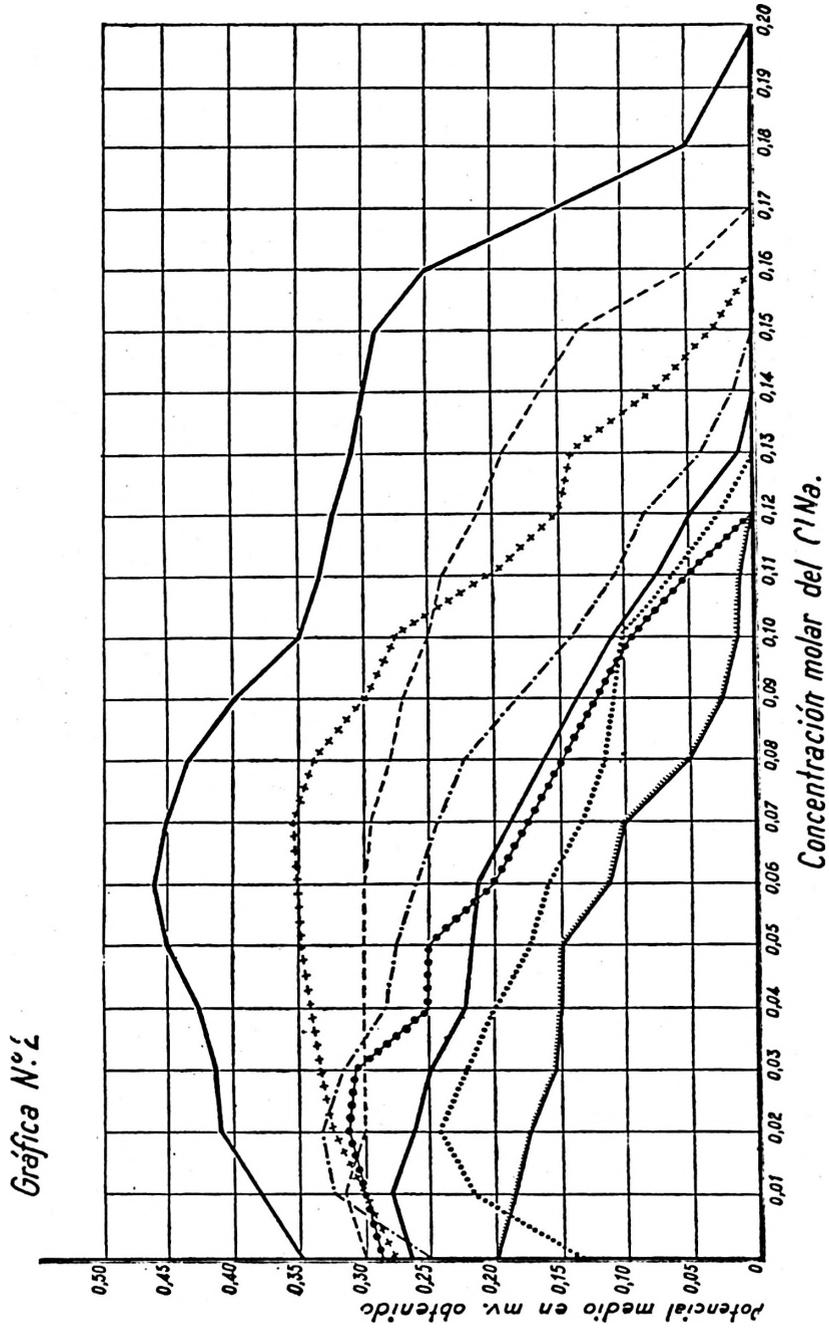
En los nervios colocados en soluciones de cloruro de potasio 0,07 M., se obtienen potenciales mayores, que guardan entre sí la misma relación que en las pruebas sin adición de cloruro potásico.

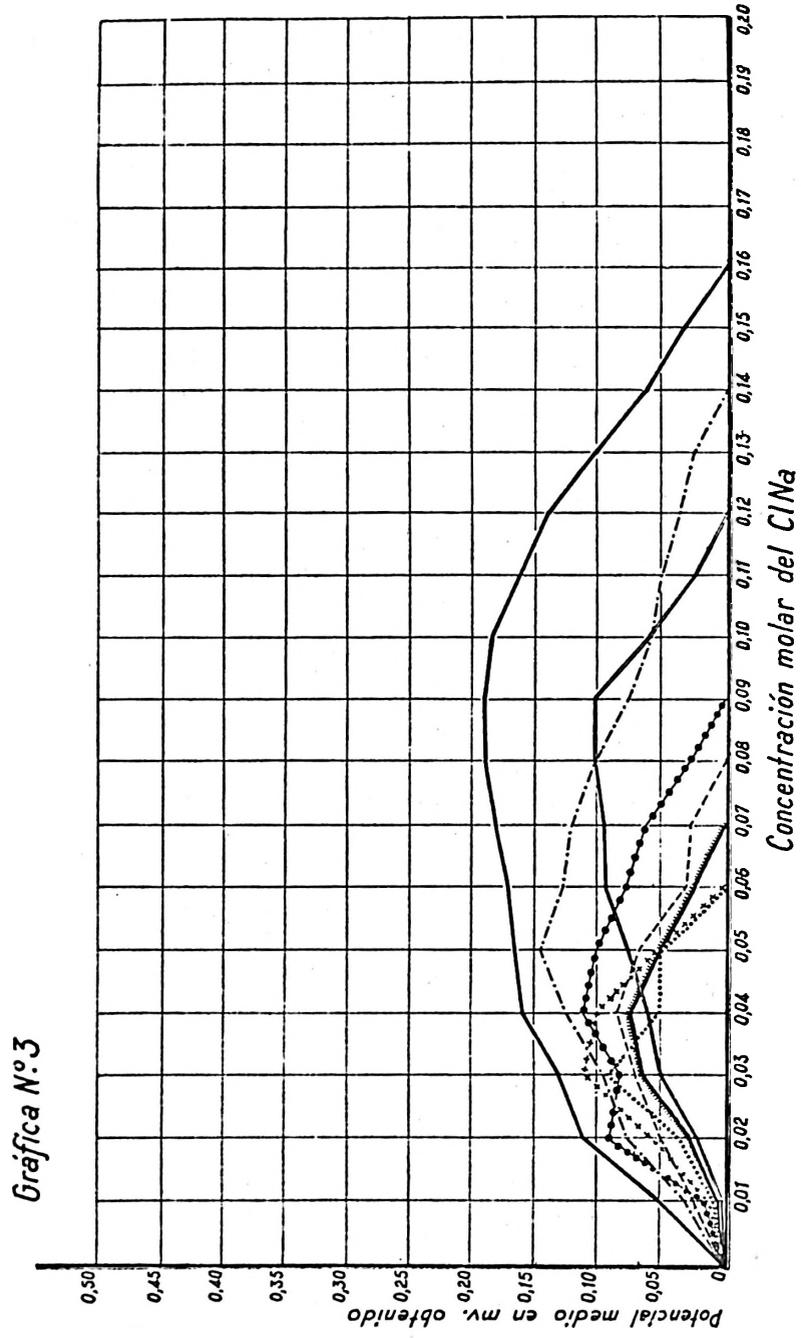
A partir de soluciones de 0,07 M. de cloruro potásico, los potenciales disminuyen sin guardar la relación antes obtenida.

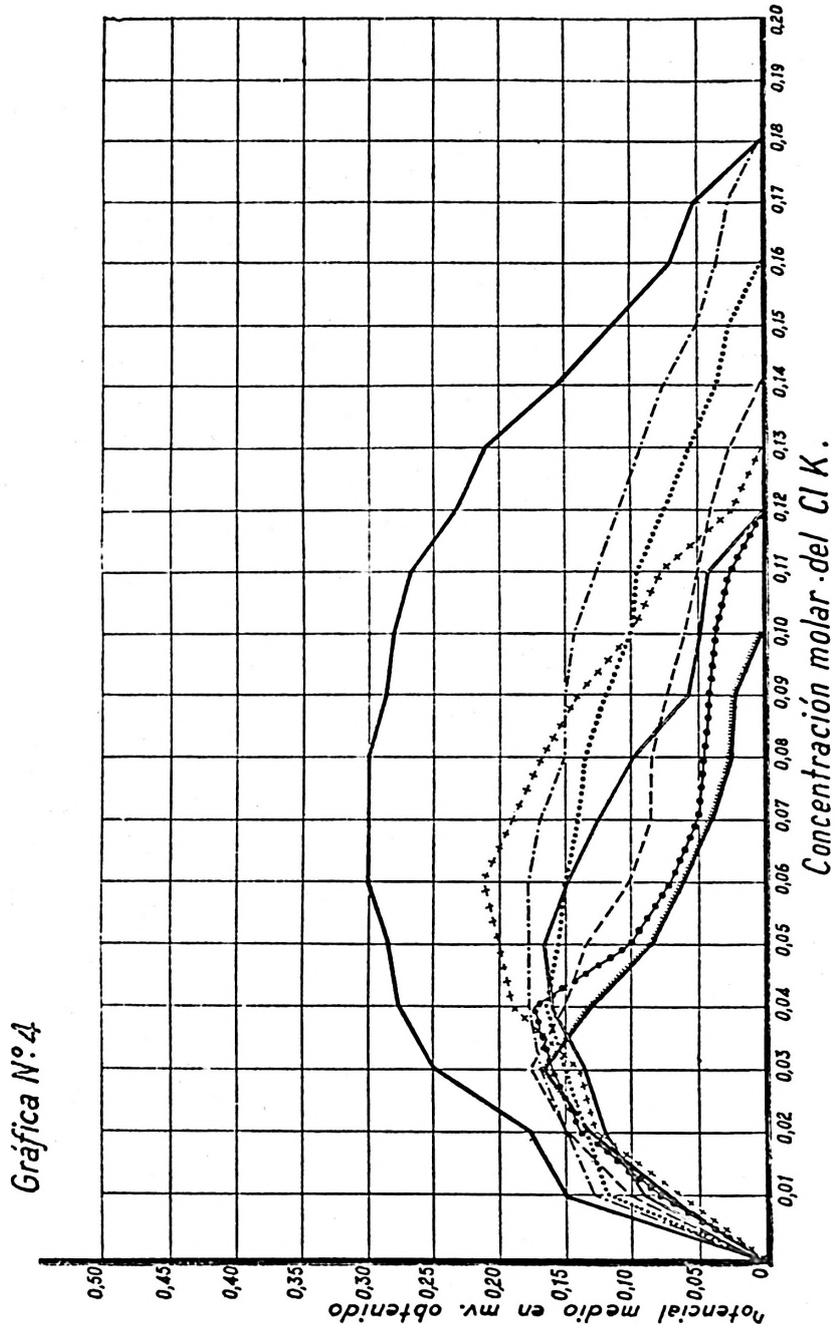
En la gráfica n.º 1 se puede ver la forma en que tiene lugar la disminución del potencial, que queda reducido a cero para cada variedad de excitación a distintas concentraciones.

A 0,12 M. de cloruro de potasio no existe potencial por la excitación del nervio con ánodo distal en apertura; a 0,13 M., para la excitación con ánodo proximal en apertura; a 0,14 M., con cátodo distal en cierre; a 0,15 M., con cátodo proximal en cierre; a 0,17 M., con cátodo distal en cierre y apertura, y, a 0,19 M., con cátodo proximal en cierre y apertura.

En la gráfica n.º 2, que corresponde a los efectos obtenidos por la excitación del nervio colocado en distintas soluciones de cloruro de sodio, se observa que los potenciales obtenidos para concentraciones distintas no guardan relación con los obtenidos por el nervio en solución de Cl K.







En soluciones débiles de Cl Na aumenta el potencial con la excitación por cierre y apertura con cátodo proximal, por cierre y apertura con cátodo distal; las excitaciones con ánodo provocan escasas variaciones y se aprecia en la gráfica que la disminución del potencial se presenta con concentraciones bajas de Cl Na.

La anulación del potencial tiene lugar, también, en soluciones diferentes que para el Cl K y en el orden siguiente, de mayor a menor: excitación por cierre con cátodo proximal, excitación por cierre con ánodo proximal, excitación por apertura con cátodo proximal, excitación por cierre con cátodo distal, excitación por cierre con ánodo distal, excitación por apertura con cátodo distal y, por último, excitación por apertura con ánodo proximal y distal.

La gráfica n.º 3 corresponde a los resultados obtenidos por la excitación de nervios a los que hemos agregado soluciones diferentes de Cl Na, después de que en ellos se ha anulado el potencial por la acción de soluciones concentradas de Cl K.

En esta gráfica observamos que la excitación eléctrica del nervio en las nuevas condiciones provoca de nuevo aumento del potencial. Cualesquiera que sean las características de la excitación elevan este potencial del nervio, siendo la mayor excitación por cierre con cátodo proximal y, a continuación, por cierre con cátodo distal, en solución de Cl Na, 0,05 M., para éste, y de 0,09 M. para aquél. A medida que se aumenta la concentración del Cl Na desaparecen los potenciales del nervio. El orden de anulación de los potenciales tiene lugar a las soluciones de Cl Na siguientes, de mayor a menor: para la excitación por cierre con cátodo proximal a 0,16 M.; para la excitación por cierre con cátodo distal a 0,14 M.; para la excitación por apertura con ánodo proximal a 0,09 M.; para la excitación por cierre con ánodo proximal a 0,08 y, por último, para la excitación por apertura con cátodo proximal y distal a 0,06 M.

En la gráfica n.º 4, que representa los resultados obtenidos por la excitación de los nervios colocados en soluciones diferentes de Cl K, después de ser anulado su potencial por concentraciones altas de Cl Na, se observa que el potencial máximo alcanzado por la excitación por cierre con cátodo proximal es de 0,30 m. v. en 0,06 a 0,08 M. A estas concentraciones le sigue en altura de potencial la excitación por apertura con cátodo proximal, la excitación por cierre con cátodo distal, la excitación por cierre con ánodo distal, la excitación por apertura con cátodo distal, la excitación por cierre con ánodo proximal, a continuación, por apertura con ánodo proximal y, por último, por apertura con ánodo distal. La anulación del potencial de los nervios para las distintas características de excitación, tiene lugar de mayor a menor con-

centración, en el orden siguiente: excitación por cierre con cátodo proximal y distal, excitación por apertura con cátodo distal, excitación por cierre con ánodo proximal, excitación por apertura con cátodo proximal, excitación por cierre con ánodo distal y por apertura con ánodo proximal, y, por último, excitación por apertura con ánodo distal.

Por estudio comparativo de las gráficas núms. 1 y 2, se observa: 1.º Que en soluciones de Cl K, hasta 0,07 M., aumentan los potenciales proporcionalmente para cada característica de la excitación, en tanto que en Cl Na no existe paralelismo en el aumento de los potenciales con la concentración y según los caracteres de la excitación eléctrica; 2.º Que en ambas soluciones, y para iguales concentraciones, el potencial es mayor con la excitación por cierre con cátodo proximal; 3.º Que el máximo potencial se obtiene con la solución a 0,06 M. de Cl Na; y 4.º Que el estado electrotónico del nervio es variable para las distintas soluciones del Cl Na y para el Cl K a partir de 0,07 M.

Por comparación de las gráficas núms. 3 y 4, se deduce: 1.º Que la repolarización del nervio es mayor con la acción del Cl K que por la acción del Cl Na; 2.º Que se restablece el estado electrotónico del nervio por la acción de ambas soluciones en pequeña concentración; 3.º Que con soluciones desde 0,08 M. y 0,09 M. se produce disminución del potencial hasta llegar a su anulación, y 4.º Que existen variaciones en el potencial, tanto por la calidad del catión como por su concentración y por las características de la corriente aplicada.

Discusión

Las corrientes directas con electrodos bipolares, al actuar sobre el nervio producen potenciales electrónicos que, según Nernst, se deben al traslado de iones y a alteraciones en la concentración provocadas por la distinta difusión de la membrana del nervio para los iones.

El desequilibrio iónico del nervio es distinto en las zonas del ánodo y cátodo, ya que los cationes se polarizan en el cátodo y los aniones en el ánodo. Esto conduce a que el estímulo eléctrico produzca efectos propios para cada polo. Si bien ambos han de manifestarse por la excitación del nervio, ésta aparece a diferente potencial para cada polo, puesto que la reducción en el cátodo y la oxidación en el ánodo no tienen lugar a igual voltaje.

Según los resultados de estas experiencias, si se aumentan los aniones o cationes en el medio externo del nervio, como sucede empleando una solución débil de Cl Na o de Cl K, el efecto del

estímulo aumenta, toda vez que el desequilibrio iónico del nervio por la polarización, en uno y otro polo para igual voltaje, sería más rápida; pero, si la solución sobrepasa cierto nivel, la reducción u oxidación para igual voltaje sería tan intensa que no permitiría el desequilibrio iónico del nervio y con ello la excitación.

Si cuando un nervio, colocado en una solución concentrada de Cl K, por ejemplo, no responde al estímulo eléctrico y se agrega Cl Na con soluciones débiles, el desequilibrio iónico del nervio aparecería de nuevo, y con ello la excitación del nervio. El mismo fenómeno tendría lugar por la adición de una solución débil de Cl K cuando el nervio está en un medio de Cl Na concentrado.

Asimismo, la pérdida de equilibrio iónico en el nervio tendría lugar a diferente potencial según se opere con corrientes de cierre o de apertura en uno u otro polo, ya que el efecto de reducción u oxidación se produciría a distinto voltaje.

El potencial alcanzado en la zona del ánodo por desequilibrio de los iones del nervio, con o sin adición de soluciones salinas, impediría la conducción de la excitación, ya que el efecto obtenido por el estímulo eléctrico con cátodo distal es menor.

Resumen

1.º El potencial electrónico del nervio aumenta en soluciones débiles del Cl Na y del Cl K y con concentraciones altas se disminuye progresivamente hasta anularse.

2.º El potencial electrónico más elevado se consigue con el Cl Na cuando se actúa sobre nervios sin adición de soluciones salinas y con Cl K cuando se opera sobre nervios tratados previamente por soluciones concentradas de Cl Na.

3.º El potencial electrónico varía en altura según que se actúe con corrientes catódicas o anódicas y se anula a distintas concentraciones para unas y otras variedades de la corriente continua.

4.º Estos fenómenos se explicarían por los efectos del desequilibrio iónico en el nervio en las zonas del cátodo y del ánodo y por la polarización de los cationes y aniones difundidos a través de la membrana del nervio.

Summary

1. The electronic potential of the nerve increases in weak solutions of Na Cl and K Cl and decreases progressively in high concentrations until becomes non-existent.

2. The highest electronic potential is obtained with Na Cl, acting on nerves without addition of saline solutions, and with K Cl, acting on nerves previously treated by concentrated solutions of Na Cl.

3. The electronic potential varies in height according to the cathodic or anodic current employed and becomes null at different concentrations for both varieties of the direct current.

4. These phenomena could be explained by the effects of the ionic unstable equilibrium in the nerve in the cathode and anode zones and by the polarization of cations and anions diffused through the membrane of the nerve.

Bibliografía

- (1) BERNSTEIN, J. : *Arch. Ges. Physiol.*, 92, 521, 1902.
- (2) DU BOIS REYMOND : citado por Bernstein en *Elektrobiologia*, Blounschwieg, 1912.
- (3) GALLEG0, A. y LORENTE DE NO : *J. Cell. and Comp. Physiol.*, 29, 189, 1947.
- (4) GRAHAM, H. T. y BLAIR, H. A. : *J. Gen. Physiol.*, 30, 493, 577, 1947.
- (5) HERTZ, H. : *Acta Phys. Scand.*, 13, suppl. 43, 1, 91, 1947.
- (6) HOBER, R. y STROHE, H. : *Arch. Ses. Physiol.*, 222, 71, 1929.
- (7) HODGKIN, A. L. : *J. Physiol.*, 106, 319, 340, 1947.
- (8) LORENTE DE NO : *A Study of Nerve Physiology*. — The Studies of the Rockefeller Institute for Medical Research, 1947.
- (9) MATTEUCCI, M. C. : *Compt. Rend. Acad. Sc.*, 13, 540, 1841.
- (10) OVERTON, E. : *Arch. Ges. Physiol.*, 92, 346, 1902.
- (11) SHANES : *J. Cell. and Comp. Physiol.*, 23, 193, 1944.