

ENSEÑANZA DE LA BIOFÍSICA, UNA MIRADA SOBRE LA MEMBRANA CELULAR, ASPECTOS TEÓRICOS TENIDOS EN CUENTA Y NIVELES DE REPRESENTACIÓN POR MEDIO DEL CIRCUITO RC

Andrés Arturo Venegas Segura, *Jorge Ruiz, Hernán Alvarado

Universidad Distrital Francisco José De Caldas.

Grupo de Instrumentación Científica & Didáctica.

(Recibido 29 de Sep.2005; Aceptado 27 de Feb.2006; Publicado 28 de Abr. 2006)

RESUMEN.

La membrana celular debido a su estructura y a los procesos de difusión que se dan entre el interior y el exterior de la célula, genera unos gradientes electroquímicos, como unos determinados flujos, en ciertas regiones conocidas como los canales iónicos, muchas de estas partículas son iones, es decir, partículas con carga eléctrica. Estos canales se pueden interpretar como conductores eléctricos con propiedades electromagnéticas específicas. Esta estructura de canales iónicos y la doble capa fosfolípida, nos permite representar la membrana celular como un circuito RC, la resistencia estaría referida a los canales iónicos, y el condensador a la doble capa fosfolípida. Se muestra además los problemas de interpretación y análisis que se dan al mirar este sistema particular desde la óptica del electromagnetismo y de los procesos históricos en el desarrollo de la teoría de membranas, como un elemento que trae en sí una nueva representación y un cambio en el lenguaje empleado, lo cual genera problemas en su entendimiento e interpretación.

Palabras Claves: teoría de membranas, enseñanza, didáctica de las ciencias.

ABSTRACT

The cell membrane, due to its structure and the diffusion processes between the interior and the exterior of the cell, generates some electrochemical gradients, as certain flows, in certain well-known regions as the ionic channels; many of these particles are ions, that is to say, particles with electric charge. These channels can be interpreted as electric conductors with specific electromagnetic properties. This structure of ionic channels and the two-layered phospholipids, allows us to represent the cell membrane as an RC circuit, the resistance would be referred to the ionic channels, and the condenser to the two-layered phospholipids. We also show the problems of interpretation and analysis that arise when looking at this particular system from the optics of electromagnetism and of the historical processes in the development of the theory of membranes, as an element that brings in itself a new representation and a change in the language used, which generates problems in its understanding and interpretation.

Key Words: theory of membranes, education, Didactics of sciences.

INTRODUCCIÓN

En las membranas de las células motoras y cardiacas, entre otras, existe una diferencia entre la concentración exterior e interior de diversos iones. En efecto, para las células motoras

* email: aavenegass@hotmail.com

encontramos, que el ion K^+ se encuentra en mayor concentración en el interior que en el exterior, caso contrario de los iones de Cl^- y Na^+ .

Esta diferencias de concentraciones genera un desplazamiento de iones, dándose un flujo, y con ello un gradiente de concentración para cada ión. El desplazamiento de los iones genera un flujo eléctrico, dándose en todo momento una diferencia de potencial entre el exterior y el interior de la membrana celular, permitiendo obtener información de los procesos que se dan al interior de la célula.

Este proceso de transporte de iones a través de la membrana es conocido como difusión electroquímica. El flujo (J) de difusión se explica con base en las leyes de Fick, donde se establece que el gradiente de concentración es una función de la posición (r) y además, de una constante de proporcionalidad conocida como la constante de difusión (D) que depende de la temperatura (T) y la movilidad (μ) de la sustancia que se difunde. (Véase ecuación 1)

$$J = -D(T, \mu)\nabla C(r) \tag{1}$$

Estos iones, al poseer carga crean una corriente eléctrica en un determinado sentido, este movimiento de cargas se realiza en los canales iónicos, que dan la posibilidad del transporte iónico. Esto quiere decir, que los canales iónicos los podemos representar como un conductor eléctrico con una resistencia determinada por la cantidad de iones que pasan por la membrana, siendo esta una función del tiempo. Además, se puede representar una fuente de voltaje dada por los gradientes de concentración, ya que ellos generan el trabajo para el movimiento de los iones.

En este sentido podemos ver una fuente de voltaje, una resistencia eléctrica y adicionalmente un condensador, este tiene la posibilidad de almacenar energía en forma de carga, y por la distancia entre sus placas o sea por la espesor de la membrana se puede suponer como un condensador de placas paralelas, en la membrana celular este corresponde a la doble capa fosfolípida.

La doble capa fosfolípida esta constituida por una doble capa de lípidos y proteínas, disponiéndose de una forma irregular y asimétrica entre ellas, además se alinean como en la figura 1, dándose unas áreas no-polares que forman una región hidrofóbica y unas áreas polares que forman la región hidrofílicas en las superficies internas y externas de la membrana. La región hidrofóbica corresponde a la doble capa fosfolípida, siendo impermeable a iones y a moléculas polares, o sea que no se permite la conducción de iones, debido a sus propiedades estructurales, es un material no conductor, en este sentido la capa fosfolípida trae algunos efectos mecánicos y eléctricos interesantes como, el aumento en la capacitancia y así una disminución en el voltaje de la célula en ciertos momentos, como un soporte de tipo mecánico elástico para la célula, adicionalmente es impermeable al agua (molécula de tipo polar).

En este momento se ha resaltado la posibilidad de ver la membrana como un circuito de tipo RC con resistencias, fuentes de voltaje y un condensador, con dos flujos, uno de difusión (J_D) y uno eléctrico (J_e), que son función de la posición (r), la concentración $C(r)$, el potencial eléctrico (ψ) y la temperatura (T), esta conceptualización la podemos representar de la siguiente forma:

$$\vec{J}_T = \vec{J}_D + \vec{J}_e \tag{2}$$

$$\vec{J}_T = -D(T, \mu)\frac{dC(r)}{dr} + \mu C(r)\frac{d\psi}{dr} \tag{3}$$

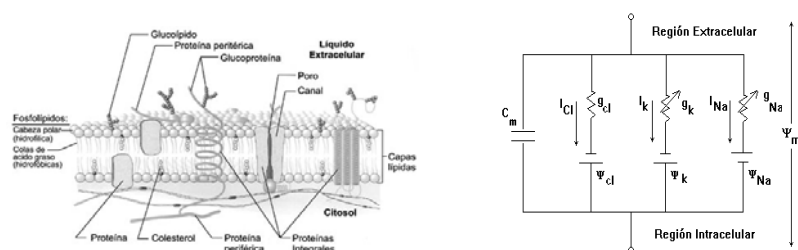


Figura 1. (a) Membrana celular, (b) Representación de la membrana celular

Integrando y teniendo en cuenta un equilibrio dinámico se obtiene la ecuación de Nernst, la cual nos informa sobre el voltaje dependiente de la concentración y la temperatura, como también de ciertas condiciones celulares, como la concentración, el potencial de reposo para un determinado ion y la dirección del movimiento de los iones, véase ecuación (4),

$$\Delta\psi = \frac{RT}{zF} \ln \frac{C_{ext}}{C_{int}} \tag{4}$$

Donde: Z, es la valencia del ion; F, es la constante de Faraday; T, es la temperatura en grados Kelvin; R, es la constante universal de los gases;

Tomando en cuenta la ecuación de Nernst, la diversidad de iones en la célula, como algunos trabajos experimentales sobre el axón del calamar gigante y en los trabajos de Hodgkin, Katz y Huxley, se propone la siguiente relación,

$$\Delta\psi = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K [K]_{EXT} + P_{Na} [Na]_{EXT} + P_{Cl} [Cl]_{INT}}{P_K [K]_{INT} + P_{Na} [Na]_{INT} + P_{Cl} [Cl]_{EXT}} \tag{5}$$

Siendo, P es la permeabilidad, y se le coloca el subíndice dependiendo de cada ion, En los paréntesis cuadrados se hace referencia a la concentración de cada ion por ejemplo, el potasio [K], el sodio [Na], y el cloro [Cl] como si es interior o exterior.

Con base en estos trabajos se llegó a representar eléctricamente la membrana celular de la siguiente manera, figura 1b. Debido a este tipo de trabajo sobre potenciales de acción en células motoras se les otorga a Huxley y Hodgkin en 1963 el premio Nóbel en Medicina, ya que sentaron las bases físicas del potencial de acción en un calamar gigante, como una explicación sobre las corrientes debidas a los diferentes iones y el desarrollo de estas.

Con respecto a las corrientes dadas en la membrana celular se postula, la ecuación 6, ello conlleva una interpretación de las corrientes celulares, el desplazamiento de los iones.

$$I = C_m \frac{d\psi_m}{dt} + g_k (\psi_m - \psi_K) + g_{Na} (\psi_m - \psi_{Na}) + g_{Cl} (\psi_m - \psi_{Cl}) \tag{6}$$

ANÁLISIS Y RESULTADOS

Las nociones y los conceptos para llegar a explicar la membrana celular como un circuito de tipo RC, se dan a principios del siglo pasado, teniendo un avance sustancial en el entendimiento de las dinámicas asociadas a los potenciales de acción y una explicación satisfactoria a los procesos de intercambio de información en los organismos.

Esta representación de la célula como un circuito, que tiene unas determinadas resistencias, condensadores, y que por ella fluye una corriente, y aparte de ello que tiene un determinado voltaje que depende del tiempo, hace que el estudiante tenga que ver nuevas formas de interpretar ciertas situaciones del campo biológico y genere un interés por el conocimiento de estos conceptos que pueden ser aplicados al campo de la fisiología, creando una nueva visión de los fenómenos asociados al mismo, ya que cambian los términos, y sabiendo que si el estudiante empieza a comprender el lenguaje, puede comprender las ciencias, este es un aporte a la comprensión de las ciencias, aparte él ve una aplicación directa de la biología mediada por la fisiología y la física.

Estos conceptos básicos ya se encuentran asociados a la llamada teoría de membranas, en la cual se amplía la explicación de los conceptos anteriores sobre el potencial de Nernst, potencial de difusión y la ecuación de Hodgkin, Huxley y Katz, como los nuevos trabajos sobre los canales dependientes de Voltaje.

El lenguaje visto desde el punto de vista matemático hace difícil asociar algunos elementos de la membrana celular como la capa fosfolípida, los ácidos grasos, los canales proteínicos, pero permiten asociarles nuevos significados posibilitando la construcción del conocimiento como de algunos esquemas de tipo mental, y experimental.

Al mirar esta asociación en el campo educativo se puede llegar a entender la membrana como un circuito RC, como algunos elementos históricamente que se dieron en el siglo pasado y que son retomados en el presente para la explicación de los fenómenos de transporte iónico, asociado a un gradiente de concentración y a uno eléctrico.

Otro punto importante a nivel conceptual es la asociación de la diferencia de potencial con una información de un sistema, y como esta diferencia de potencial de reposo y de acción, en algún momento puede decirle al sistema nervioso central o periférico, sobre las posibles respuestas que este puede tener a algún estímulo.

REFERENCIAS

- Hodgkin, Huxley. Action potential recorded inside from inside a nerve fibre. *Nature* 1939; 144 710-1
- Hodgkin, Huxley. Component of membrane conductance in the giant axon of Loligo. *J Physiology* 1952; 116; 473
- Palacios A., J., Malanco C., F.L. Análisis del Proceso de Separación con Membranas como un Fenómeno de Transporte, *Educ. Quim., UNAM*, 1993.