



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Centro Universitario de Ciencias de la Salud



Departamento
de **NEUROCIENCIAS**

**MANUAL DE PRÁCTICAS
DE LABORATORIO DE LA
MATERIA DE BASES
FUNCIONALES DEL
PSIQUISMO HUMANO**

DISEÑADO POR:
CARLOS RENÉ GONZÁLEZ NOVOA

GUADALAJARA, JALISCO. FEBRERO 2014

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCCIÓN..... | 3 |
| El Potencial de Membrana en Reposo:..... | 4 |
| Permeabilidades relativas de los distintos iones: Ecuación de Goldman-Hodking-Katz:..... | 4 |
| El Potencial de Acción Celular:..... | 6 |
| OBJETIVO GENERAL..... | 6 |
| OBJETIVO TERMINAL | 6 |
| MATERIALES Y EQUIPOS NECESARIOS PARA LA PRACTICA: 7 | |
| INSTRUCCIONES PARA EL USO DEL SIMULADOR | |
| “NERNST/GOLDMAN”..... | 7 |
| Concentraciones Iónicas. | 7 |
| Permeabilidad de Membrana..... | 8 |
| Temperatura | 8 |
| Ejercicios prácticos con el simulador de Potencial de Reposo Celular | 9 |
| Aplicación de la ecuación de Nernst F..... | 10 |
| Ejercicio 1 - Usando el simulador..... | 10 |
| Ejercicio 2 - Efecto de la temperatura – Hipertermia..... | 10 |
| Ejercicio 3 - Efecto de la temperatura – Hipotermia..... | 10 |
| Ejercicio 4 - Cambios en la concentración iónica extracelular..... | 10 |
| Ejercicio 5 - Cambio de la concentración iónica intracelular..... | 11 |
| Aplicación de la ecuación de Goldman..... | 11 |
| Ejercicio 6 - Usando la ecuación de Goldman..... | 11 |
| Ejercicio 7 - Efecto de la temperatura sobre el potencial de reposo celular..... | 12 |
| Ejercicio 8 - Efecto de la permeabilidad de un ión a la membrana celular..... | 12 |
| Bibliografía | 13 |

PRÁCTICA 1:

NEUROFISIOLOGÍA

POTENCIAL DE REPOSO Y DEL POTENCIAL DE ACCIÓN¹

El presente manual constituye la primera actividad práctica de la asignatura Bases Funcionales de Psiquismo Humano de la Licenciatura en Psicología de la Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias de la Salud. Por medio de esta actividad se pretende que el estudiante comprenda en un sentido amplio e integral, la aplicabilidad de los conceptos neurofisiológicos relacionados con la generación del potencial de membrana en reposo, y los mecanismos involucrados en el desencadenamiento del potencial de acción celular.

INTRODUCCIÓN

La Neurofisiología es el estudio de las funciones y actividades del sistema nervioso; se estudia a través de la Biofísica la cual es una rama de las ciencias básicas que integra los principios de la biología y los principios de la física, a modo tal de profundizar en la comprensión de la función de la fisiología celular y la fisiología de sistemas. Es por esta razón que la biofísica se ha convertido en una herramienta fundamental para el estudiante de neurociencias, dado que a través de la aplicación de los principios que ella genera es posible predecir y comprender la función del sistema nervioso en términos matemáticos, físicos, químicos y biológicos. Para posteriormente comprender el funcionamiento integral del ser humano y sus funciones cerebrales.

Esta práctica permitirá al estudiante de neurociencias visualizar de manera práctica los principios biofísicos que rigen la naturaleza del potencial de reposo celular y el potencial de acción de células excitables del cuerpo humano, tales como neuronas y células musculares, a través del empleo de simuladores fisiológicos.

A comienzos del siglo XXI absolutamente nadie puede negar que los organismos vivientes que habitan este planeta Tierra, funcionamos con base a fenómenos electromagnéticos, y que el mismo es, la causa de una gran diversidad de notables fenómenos naturales visibles o no al ojo humano. La electricidad generada dentro de nuestro organismo sirve para el control y operatividad de nervios, músculos y órganos. Esencialmente, todas las funciones y actividades del cuerpo humano involucran el uso de la electricidad de alguna u otra manera. La actividad cerebral y cardíaca por ejemplo, es esencialmente eléctrica; todas las señales nerviosas desde y hacia el cerebro se basan en flujo de corrientes eléctricas. El cerebro, considerado un “centro computacional integrador y procesador de señales” recibe señales externas e internas y elabora posteriormente una respuesta adecuada. La contracción muscular como respuesta de salida por ejemplo, también está basada en señales eléctricas. Toda la información es transmitida como señales eléctricas a lo largo de las fibras nerviosas. Y qué decir del

¹ Práctica diseñada por Prof. Carlos René González Novoa, basada en el Manual de prácticas de laboratorio de fisiología I (Skirzewski, 2010). Creado para fines exclusivamente educativos por lo que todo el contenido de este trabajo, NO VIOLA el derecho de autor, ya que están de conformidad con lo estipulado en la Ley Federal del Derecho de Autor Artículos 147, 148, 149 y 151.

pensamiento humano: probablemente en pocas décadas los científicos tendrán que admitir que su esencia es electricidad pura, al igual que el universo en el cual estamos sumergidos.

Para llevar a cabo y en forma integral sus funciones, el cuerpo humano genera muchas señales eléctricas, las cuales son el resultado de la acción electroquímica de diversos tipos celulares, y lo más importante, estas señales eléctricas pueden ser apropiadamente detectadas y registradas. Midiendo estas señales en forma selectiva, se convierten en información clínica de primera mano acerca de la función de un órgano en particular. Hoy día, con el avance de la física, de la bioingeniería, de la informática, la cibernetica y de los sistemas de información, podemos registrar con mucha precisión, señales eléctricas provenientes del cerebro, registrados en un electroencefalograma (EEG).

El Potencial de Membrana en Reposo:

En células excitables (células nerviosas y musculares) la diferencia de potencial mantenida a través de la membrana celular, en ausencia de cualquier estímulo, se denomina potencial de reposo, y se dice que la célula se halla en reposo.

Las membranas celulares están sometidas a una diferencia de potencial eléctrico existente entre las superficies interna y externa de las mismas. Esta diferencia de potencial es debida a la presencia de iones (+) y (-) distribuidos entre ambos compartimientos, intra- y extracelular. Se ha calculado que el valor del potencial de membrana en reposo de una célula tipo neurona promedia los -70 mV, o llegar a ser -90 mV en una célula de Purkinje cardíaca. Esta diferencia de potencial crea sin duda, un campo eléctrico importante entre ambas caras de la membrana celular. Esto significa que, el potencial en el interior de la célula es -70 mV más negativo que el potencial del espacio extracelular.

Pero, ¿Por qué ese valor de potencial de membrana en reposo en la célula?... ¿Qué lo origina?... ¿Qué factores están involucrados?...

El potencial de reposo de la membrana es generado en virtud de que la membrana celular presenta permeabilidades diferenciales a los distintos iones (básicamente Na^+ , K^+ y Cl^-), así como a la distribución asimétrica de estos iones entre los dos compartimientos intra- y extracelular. Hoy día se admite que la principal fuente del potencial de reposo es la distribución desigual de iones inorgánicos como el Na^+ y el K^+ , y más aún, dependiente de la distribución del ion K^+ a ambos lados de la membrana. De igual forma, se ha descrito que la bomba o ATPasa de $\text{Na}-\text{K}$, al ser de carácter electrogénica, contribuye mínimamente al establecimiento del potencial de membrana en reposo celular.

Permeabilidades relativas de los distintos iones: Ecuación de Goldman-Hodking-Katz:

Como se ha mencionado, los principales iones sometidos a gradiente químico, capaces de difundir a través de la membrana plasmática son el Na^+ , K^+ y Cl^- los cuales se hallan distribuidos asimétricamente entre el interior y exterior de la membrana. Bajo condiciones de equilibrio cada ion va a tender a llevar el potencial de membrana a su

propio potencial de difusión o de equilibrio. De la misma forma, la diferencia de concentración es el factor preponderante en la determinación de la magnitud del potencial de equilibrio de un ion; viene determinado por la **ecuación de Nernst**:

$$V_m = 61,5 \text{ Log} \frac{[C_e]}{[C_i]} \quad \text{a } 37^\circ\text{C}$$

Ce: concentración extracelular del ión
Ci: concentración intracelular del ión

Como se ha determinado electro-fisiológicamente, en células excitables de mamíferos la situación es más compleja a causa de la presencia de estos iones, con 3 distintos coeficientes de permeabilidad. Sin embargo, como la membrana plasmática no es permeable igualmente a todos los iones (la permeabilidad del K⁺ en reposo, es 50 veces la del Cl⁻, y cerca de 100 veces la del Na⁺) no todos participarán de igual manera en el establecimiento del potencial de membrana en reposo; los iones más difusibles serán los que más participen.

La ecuación que se desarrolló para calcular el potencial de membrana en reposo, considerando las permeabilidades relativas de los 3 iones mencionados, y las concentraciones relativas de cada uno de ellos en los compartimientos extra- e intracelular, fue deducida por David Goldman, Alan Hodgkin y Bernard Katz, y se la conoce como la **ecuación de Goldman- Hodgkin-Katz**:

$$E_m = 61,5 \text{ Log} \frac{P_{K^+}[K_e] + P_{Na^+}[Nae] + P_{Cl^-}[Cl_e]}{P_{K^+}[K_i] + P_{Na^+}[Na_i] + P_{Cl^-}[Cl_i]} \quad \text{a } 37^\circ\text{C}$$

Ya que la permeabilidad al Na⁺ (P_{Na⁺}) es relativamente baja en situación de reposo con relación a la permeabilidad al K⁺ (P_{K⁺}), el Na⁺ contribuye poco al establecimiento del valor del potencial en reposo (V_m). Se puede predecir a partir de la ecuación de Goldman que, cambios en la concentración externa de Na⁺ producirán muy ligeros cambios en el potencial de membrana en reposo, y ya que la (P_{K⁺}) es mayoritaria en esas condiciones, al modificarse las concentraciones de K⁺ extracelular, en el sentido de un aumento de su concentración, el potencial de membrana en reposo (E_m) aumentará, o sea, tenderá más hacia la electro- positividad en el interior celular.

La contribución de los iones Cl⁻ al potencial de membrana en reposo, puede ser prácticamente despreciable, ya que este ion tiene una permeabilidad muy baja en relación al K⁺, y por el contrario, el Cl⁻ ajusta sus concentraciones en los medios extra- e intracelular, de acuerdo con el nivel de potencial existente en la membrana celular, mostrando una tendencia hacia la no movilidad. Además se debe tener en cuenta que, para la generación del potencial de membrana en reposo se requiere de un número muy pequeño de cargas eléctricas, y que las concentraciones totales de iones (+) y (-) es similar en todos los sitios de la célula (tendencia a la electro-neutralidad), a excepción de las superficies interna y externa de la membrana plasmática.

El Potencial de Acción Celular:

Los tejidos excitables propagan, transmiten su información a través de señales eléctricas que en lo sucesivo denominaremos el potencial de acción. La comprensión de los mecanismos iónicos y biofísicos involucrados, son esenciales para entender los mecanismos neurobiológicos del funcionamiento normal del tejido muscular (cardíaco, estriado esquelético y liso). Un potencial de acción o también llamado impulso eléctrico, es una onda de descarga eléctrica que viaja a lo largo de la membrana celular. Los potenciales de acción se utilizan en el cuerpo para llevar información entre unas células y otras.

El potencial de acción una vez generado, no se mantiene en un punto de la membrana plasmática, sino que viaja a lo largo de la membrana de manera unidireccional. Puede desplazarse a lo largo de un axón a mucha distancia, por ejemplo transportando señales desde el cerebro hasta el extremo de la médula espinal.

Los potenciales de acción se desencadenan cuando una despolarización inicial alcanza un umbral. Este potencial umbral varía, pero normalmente está en torno a -55 a -30 milivoltios sobre el potencial de reposo de la célula, lo que implica que la corriente de entrada de iones sodio supera la corriente de salida de iones potasio. El flujo neto de carga positiva que acompaña los iones sodio despolariza el potencial de membrana, desembocando en una apertura de los canales de sodio dependientes de voltaje. Estos canales aportan un flujo mayor de corrientes iónicas hacia el interior, aumentando la despolarización en una retroalimentación positiva que hace que la membrana llegue a niveles de despolarización elevados (1)

El umbral del potencial de acción puede variar cambiando el equilibrio entre las corrientes de sodio y potasio. Por ejemplo, si algunos de los canales de sodio están inactivos, determinado nivel de despolarización abrirá menos canales de sodio, y aumenta así el umbral de despolarización necesario para iniciar el potencial de acción. Esta es el principio del funcionamiento del periodo refractario (que puede ser relativo o absoluto) (1).

Los potenciales de acción son muy dependientes de los equilibrios entre iones sodio y potasio (aunque hay otros iones que contribuyen minoritariamente a los potenciales, como calcio y/o cloro), y por ello los modelos se hacen utilizando sólo dos canales iónicos trans- membrana: un canal de sodio dependiente de voltaje y un canal de potasio pasivo. En la presente actividad práctica se trabajará con 3 iones; Na^+ , K^+ y Cl^- .

OBJETIVO GENERAL

Identificar la naturaleza iónica y eléctrica del potencial de reposo celular y del potencial de acción a través del empleo de dos simuladores fisiológicos de acceso libre.

OBJETIVO TERMINAL

Al finalizar la actividad práctica el estudiante estará en capacidad de identificar los factores fisicoquímicos que afectan el potencial de reposo celular de una célula excitible, así como también la naturaleza iónica y eléctrica del potencial de acción.

MATERIALES Y EQUIPOS NECESARIOS PARA LA PRACTICA:

- Programa Simulador en Software Libre “The Nernst/Goldman equation simulator² (University of Arizona)”.
- PC portátil.
- Proyector.

INSTRUCCIONES PARA EL USO DEL SIMULADOR “NERNST/GOLDMAN”

Para cada ión (p. ej. K+, Na+ y Cl-) usted encontrará tres pasadores (ver figura 1). Cada uno de ellos permite activar la posibilidad de modificar varias condiciones físico-químicas que cambiarán el potencial de equilibrio para un ión o el potencial de reposo celular mediante la aplicación de la ecuación de Nernst o la ecuación de Goldman respectivamente (Revise su bibliografía para más detalles respecto al principio de estas ecuaciones). Si emplea la ecuación de Nernst, solo podrá tener uno de los pasadores activos a la vez (para el ión K+, Na+ ó Cl-), sin embargo, si emplea la ecuación de Goldman, el simulador le permitirá manipular todas las variables de los tres iones de manera simultánea. (Razone por qué razón el simulador permite realizar esta acción de esta manera).

Concentraciones Iónicas.

Al activar cualquiera de los tres pasadores, este le permitirá controlar las concentraciones intra- y extracelulares del ión que usted esté manipulando, las cuales pueden ser modificadas en un rango que oscila entre 1 y 600 mM respectivamente (ver figura 1). Para modificar estas concentraciones iónicas, lo único que usted tendrá que hacer es arrastrar con el ratón de la computadora el indicador de concentración iónica hasta la nueva concentración que usted desee ajustar. Adicionalmente, en el lado derecho de la pantalla del simulador usted encontrará una casilla que indicará en tiempo real el valor de potencial de equilibrio iónico o de reposo celular en función del caso que esté analizando.

Este simulador le permitirá iniciar su experiencia práctica con valores de concentraciones iónicas que simularán de manera parcial las características del axón del calamar gigante.

² Enlace electrónico para descargar o manipular el software de instrucción: software libre <http://www.nernstgoldman.physiology.arizona.edu/>

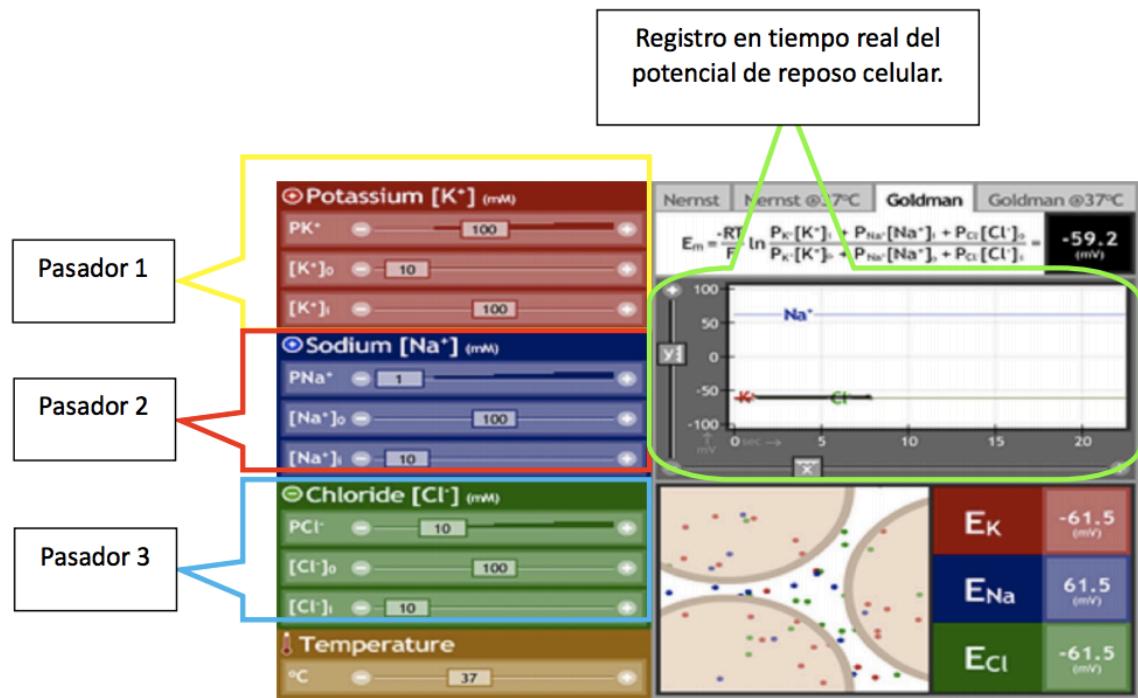


Figura 1 Aspecto general de la pantalla inicial del simulador para registro del potencial de membrana celular, aplicando la ecuación de **Nernst** o la ecuación de **Goldman**. Nótese que el “Pasador 1” permite controlar las concentraciones intracelulares de potasio “[K+]i” así como también las concentraciones extracelulares para potasio “[K+]o”. De la misma manera, el “Pasador 2” permitirá controlar las concentraciones del ión sodio y el “Pasador 3” para el ión cloro.

Permeabilidad de Membrana

Un tercer control que usted encontrará en cada pasador es el que ajusta la permeabilidad del ión a la membrana celular (P_x). Este valor puede ser ajustado de manera arbitraria en un rango que oscila entre 1 y 10.000, sin embargo, este control sólo estará funcional cuando usted active la ecuación de Goldman. (¿Podría explicar porqué no se puede controlar esta variable cuando trabaja en el modo de ecuación de Nernst?) (ver figura 1). Formalmente, las unidades de permeabilidad de la membrana a un ión son en cm/seg, y en el caso nuestro, este valor reflejará el flujo de conductancia neta de las especies iónicas en cuestión.

Temperatura

Adicionalmente, en el simulador usted encontrará un control que le permitirá modificar la temperatura. El valor indicado está expresado en °C, sin embargo en la ecuación de Nernst o Goldman el simulador automáticamente re-expresará la temperatura en grados Kelvin. (¿Podría usted indicar a que se debe esto?). El simulador también le permitirá forzar las condiciones a una temperatura constante de 37 °C. Para modificar la temperatura a la cual va a ocurrir el experimento simulado, usted deberá utilizar su ratón y desplazar el indicador de temperatura hasta una nueva posición de temperatura que usted desee. En la parte inferior del programa, usted también podrá observar una ventana que le representará el movimiento cinético del ión o los iones presentes en la célula hipotética, el cual se modificará de manera directamente proporcional en función de la temperatura que usted le asigne al mismo. (Ver figura No. 2) Constantes R y F

R es la constante para los gases, cuyo valor es de 8,314 J.^oK-1.mol-1

F es la constante de Faraday (la cantidad de cargas eléctricas elementales que hay en un mol de electrones) y esta tiene el valor de 96.485 coulombios.mol-1

Manejando todas estas variables, usted podrá observar que el simulador de manera instantánea calculará en potencial de equilibrio para cada uno de los iones si usted tiene activa la función de ecuación de Nernst, o le presentará el potencial de reposo celular teórico si usted tiene activa la función de ecuación de Goldman en su simulador. Este cálculo usted lo encontrará del lado derecho superior de su simulador. (ver figura No. 2)

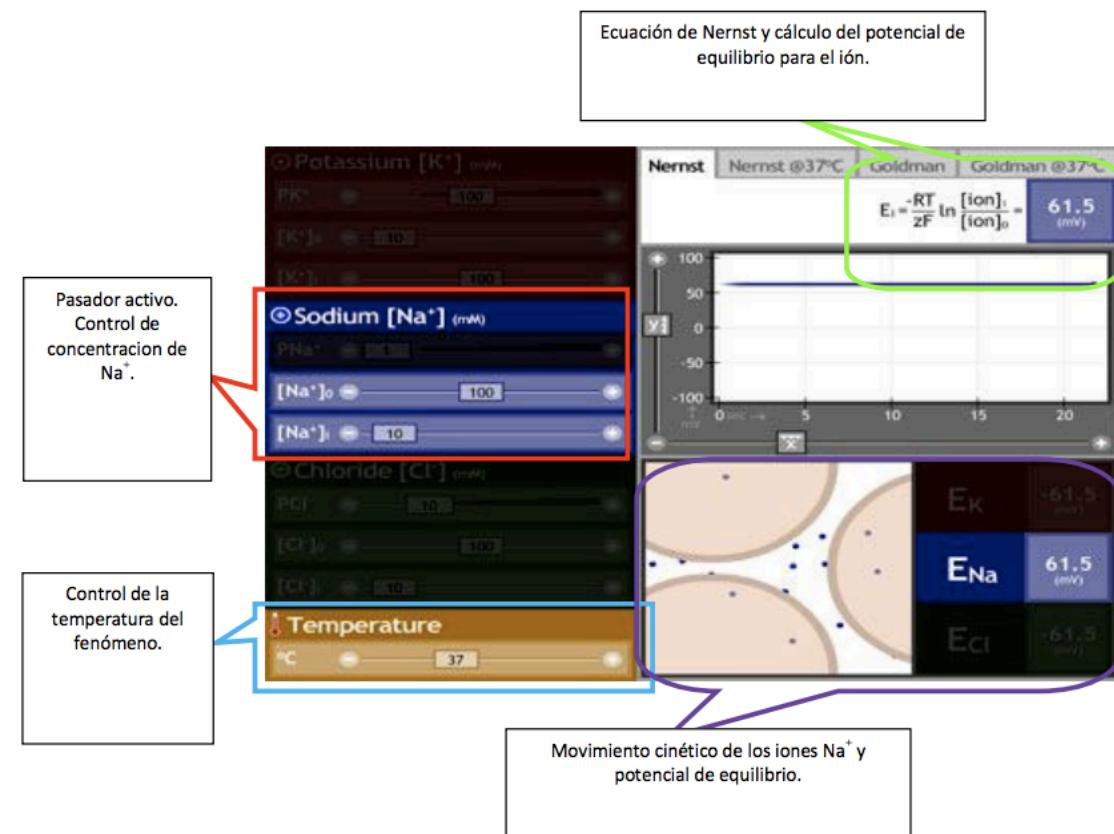


Figura 2 Simulador activo en el modo de “Ecuación de Nernst”. Nótese que solo está activo un pasador (el que controla al ión sodio en este caso) y en él no está habilitada la función de control del coeficiente de permeabilidad para este ión (PNa⁺). El simulador de manera automática activa la ecuación de Nernst y presenta su potencial de equilibrio, en función de las concentraciones iónicas del sodio intra y extracelular y la temperatura.

Ejercicios prácticos con el simulador de Potencial de Reposo Celular

Luego que se ha familiarizado con el uso de este simple pero práctico simulador para el cálculo del potencial de equilibrio para cada ión, y para el cálculo del potencial de reposo celular teórico mediante el uso de la Ecuación de Nernst y la Ecuación de Goldman respectivamente, usted deberá seguir los siguientes ejercicios en su laboratorio, y posteriormente, analizar cada uno de los fenómenos observados.

Aplicación de la ecuación de Nernst F

Ejercicio 1 - Usando el simulador.

Una vez iniciada la ejecución del simulador, observe cual es el potencial de equilibrio para cada uno de los iones (K^+ , Na^+ y Cl^-) (debe estar la temperatura ajustada a 37 °C y activa la ecuación de Nernst en el simulador). Para observar el potencial de equilibrio de cada ión, usted deberá ir activando cada uno de los tres pasadores. Anote sus observaciones y discuta las diferencias encontradas para cada uno de ellos.

Ejercicio 2 - Efecto de la temperatura – Hipertermia.

Activando nuevamente el pasador para el ión K^+ , ajuste la temperatura del simulador a 40 °C (imagine usted un estado febril en un paciente). ¿Qué observa en la cinética y el potencial de equilibrio para el ión? Explique la razón de este cambio comparándolo con el estado inicial.

Repita la misma experiencia para los otros iones.

Vuelva a realizar este mismo experimento para cada ión incrementando la temperatura en esta ocasión a 100 °C y observe las diferencias encontradas en relación al caso previo. Este último experimento es irreal en términos fisiológicos, ¿podría decir la razón del porqué de esta afirmación?

Ejercicio 3 - Efecto de la temperatura – Hipotermia.

Active el pasador para el ión K^+ y en esta ocasión descienda la temperatura a 15 °C (imagine usted un estado de hipotermia en el paciente). Anote sus observaciones. Repita la misma experiencia para los otros dos iones. (Si usted desea puede realizar el mismo experimento descendiendo la temperatura a 0 °C. Discuta las diferencias encontradas).

Ejercicio 4 - Cambios en la concentración iónica extracelular.

Colocando nuevamente el pasador para el ión K^+ , habilite ahora el simulador en la función de ecuación de Nernst a 37 °C. Observe que el simulador cambia la expresión matemática empleada. ¿Podría discutir a que se debe esta diferencia?

Ahora reduzca la concentración extracelular del ión K^+ a 2 mM (Hipopotasemia). ¿Qué sucede con el potencial de equilibrio para este ión? Discuta su observación.

Seguidamente, incremente la concentración extracelular del ión a 20 mM (Hiperpotasemia). ¿Qué sucede en el experimento? Compare sus resultados con respecto a la experiencia previa. Analice las consecuencias fisiológicas de cambios en la concentración extracelular de este ión para el potencial de reposo celular de una célula excitable.

Ahora active el pasador para el ión sodio y descienda la concentración extracelular a 50 mM (Hiponatremia). Anote sus resultados. Seguidamente incremente la concentración

extracelular de sodio a 130 mM (Hipernatremia). Anote sus resultados. ¿Podría discutir cuáles podrían ser las consecuencias fisiológicas de alterar las concentraciones iónicas extracelulares del sodio considerando los casos analizados?

Repita esta experiencia para el ión cloro. ¿Qué observa en este caso respecto al potencial de equilibrio del ión?

Ejercicio 5 - Cambio de la concentración iónica intracelular.

Manteniendo el simulador a 37 °C, active nuevamente el pasador al ión K+ y reajuste la concentración extracelular a 10 mM (observe como cambia nuevamente el potencial de equilibrio para este ión)

Ahora usted incrementará la concentración intracelular del K+ a 150 mM. Anote sus observaciones.

Active el pasador para el ión sodio y ajuste la concentración extracelular al estado inicial (100 mM). Aumente la concentración de Na+ a 30 mM. Anote lo observado en la experiencia.

Repita el mismo procedimiento para el ión Cl-. Anote sus observaciones.

Active nuevamente el pasador para el ión potasio. Ajuste ahora la concentración intracelular a 40 mM y analice el potencial de equilibrio para este ión.

A continuación active el pasador para el ión sodio, reduzca la concentración de Na+ a 2 mM y observe lo que ocurre con el potencial de equilibrio. Analice y discuta lo observado. Repita la misma experiencia para el ión cloro ajustando previamente la concentración extracelular a 100 mM.

Activando el pasador para el ión K+ iguale las concentraciones intra y extracelulares. ¿Qué sucede con el potencial de equilibrio para el ión? ¿De qué depende el potencial electroquímico de un ión?

Aplicación de la ecuación de Goldman

Ejercicio 6 - Usando la ecuación de Goldman.

Ha llegado el momento de ver qué sucede cuando analizamos el potencial electroquímico de una célula cuando se encuentra una población heterogénea de partículas cargadas eléctricamente a ambos lados de la membrana celular. Para realizar esto, lo primero que deberá hacer es activar la aplicación de ecuación de Goldman en su simulador. Esto lo podrá realizar activando la segunda pestaña que se encuentra en la esquina superior derecha (contando de derecha a izquierda).

Podrá notar que ha activado correctamente la ecuación de Goldman porque se han activado todos los pasadores para los iones potasio, sodio y cloro, así como el coeficiente de permeabilidad (Px) de cada uno de ellos. También podrá notar que ha cambiado la ecuación presentada y en la ventana cinética ahora se observan en

constante movimiento tres clases de partículas (correspondiente a los tres iones). Finalmente notará que al lado de la ecuación de Goldman habrá un valor en milivoltios (mV) correspondiente al potencial teórico de reposo celular (E_m) el cual es distinto del potencial de equilibrio iónico para cada uno de los iones analizados (E_x). ¿Podría decir a que se debe esta diferencia? ¿Qué significa un potencial de reposo celular con valor negativo para la célula? ¿Cómo es la polarización de la membrana celular?

Ahora deberá asegurarse que las concentraciones iónicas para el potasio sean de 100 mM para el espacio intracelular y de 10 mM para el espacio extracelular. También ajuste las concentraciones iónicas del sodio y el cloro en 100 mM para el espacio extracelular y de 10 mM para el espacio intracelular.

Ejercicio 7 - Efecto de la temperatura sobre el potencial de reposo celular.

Inicialmente usted ajustará la temperatura a 37 °C y anotará el valor de potencial de reposo celular teórico.

Incremente la temperatura del simulador a 42 °C y anote el nuevo valor de potencial de reposo celular. Compare este nuevo valor con el de 37 °C y discuta las diferencias encontradas. ¿Discuta si la célula se despolariza o hiperpolariza? ¿Cómo estará la excitabilidad celular en un paciente que presente esta temperatura?

Ahora descienda la temperatura a 15 °C y observe cómo se altera el potencial de reposo celular. ¿En esta situación cómo será la excitabilidad celular?

¿Considera que los cambios observados para las dos temperaturas estudiadas (15 oC y 42°C) son suficientes para generar cambios significativos en la función nerviosa del cuerpo humano?

Ejercicio 8 - Efecto de la permeabilidad de un ión a la membrana celular.

Antes de iniciar los experimentos de este ejercicio ajuste nuevamente la temperatura a 37 °C. Si coloca en simulador en función de ecuación de Goldman a 37 °C notará que la ecuación presentada cambia. ¿A qué se parece el cambio observado?

Habrá notado que su simulador presenta diferentes valores de coeficientes de permeabilidad para cada uno de los iones. ¿Podría decir en función de los valores indicados cuál de ellos presenta mayor permeabilidad a la membrana en estado de reposo? ¿De qué manera influye la permeabilidad de un ión en una célula en el establecimiento del potencial de membrana celular?

Ajuste el PK_+ a un valor de 10. Observe que ocurre con el potencial de membrana de la célula. ¿Cómo será la excitabilidad celular bajo estas nuevas condiciones? Si observa el potencial de equilibrio (E_K) en esta situación notará que no ha cambiado respecto a la condición experimental previa. ¿Podría explicar por qué razón no cambia el potencial de equilibrio para el potasio a pesar de que si cambia el potencial de membrana de la célula cuando se reduce el coeficiente de permeabilidad?

Incremente ahora del P_{Na^+} a un valor de 100 (sin alterar el P_{K^+} anteriormente modificado). Anote lo observado y discuta. ¿Cómo será la excitabilidad celular? ¿Diga cómo será la polaridad de la membrana celular en esta circunstancia? Compare este resultado con el fenómeno de potencial de acción y diga que analogía hay entre ambos.

Bibliografía

Skirzewski, M. (Enero de 2010). *Manual de prácticas de laboratorio de fisiología I*. Recuperado el 15 de Enero de 2014, de Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado: <http://www.ucla.edu.ve/dmedicin/DEPARTAMENTOS/fisiologia/WEB FISIO/GUION PRACTICO FISIOLOGIA I.pdf>