

Aspectos generales

| | |
|--|---|
| Título: | Fundamentos de Neurofisiología Celular |
| Programas de posgrado o planes de estudio en donde se ofertará adicionalmente: | Posgrado en Ciencias Biológicas Posgrado en Ciencias Bioquímicas |
| Área del conocimiento: | Neurociencias y neurobiología |
| Semestre: | 2025-2 |
| Modalidad: | Tópico selecto |
| Horario: | martes y viernes 10-12 |
| No. sesiones: | 20 |
| Horas por sesión: | 2.0 |
| Total alumnos PDCB: | 8 |
| Total alumnos: | 12 |
| Videoconferencia: | Si |
| Lugar donde se imparte: | Instituto de Fisiología Celular |
| Informes: | Investigadora Titular A, Instituto de Fisiología Celular |

Métodos de evaluación

| MÉTODO | PORCENTAJE | NOTAS |
|---------------|------------|------------|
| Exámenes | 50% | 2 exámenes |
| Participación | 20% | |
| Tareas | 30% | |

Contribución de este curso/tópico en la formación del alumnado del PDCB:

El curso de Fundamentos de Neurofisiología Celular contribuye de manera significativa al Doctorado en Ciencias Biomédicas al proporcionar a los estudiantes una comprensión profunda de los mecanismos celulares y moleculares que gobiernan el funcionamiento neuronal. A través de un enfoque interdisciplinario, este curso capacita a los estudiantes en conceptos clave como la excitabilidad neuronal, la transmisión y la plasticidad sináptica, permitiéndoles establecer conexiones directas entre estos principios biofísicos y los fenómenos fisiológicos observados en el cerebro.

Este curso no solo enriquece la formación teórica de los doctorandos, sino que también les ofrece herramientas experimentales esenciales para investigar y abordar preguntas en neurociencia. Al conocer técnicas avanzadas como la electrofisiología, el análisis de redes neuronales y la imagenología de calcio, los estudiantes estarán mejor preparados para diseñar y ejecutar proyectos de investigación que exploren las bases neurobiológicas de diversas funciones y patologías del sistema nervioso, contribuyendo así al avance del conocimiento en áreas de alta relevancia biomédica.

Profesor (a) responsable

| | |
|-----------|-------------------------------|
| Nombre: | López Huerta Violeta Gisselle |
| Teléfono: | (55) 56 22 56 76 |
| Email: | violeta@ifc.unam.mx |

Profesores (as) participantes

| PARTICIPANTE | ENTIDAD O ADSCRIPCIÓN | SESIONES |
|--------------|-----------------------|----------|
|--------------|-----------------------|----------|

| | | |
|---|---------------------------------|--|
| LÓPEZ HUERTA VIOLETA GISSELLE Responsable | Instituto de Fisiología Celular | Microcircuitos I: Registros Multiunitarios in vivo - Dr. Fatuel Tecuapetla Microcircuitos II: Imagenología de Calcio - Dr. Luis Carrillo Reid Movimiento iónico en células excitables I Movimiento iónico en células excitables II Plasticidad sináptica - Dra. Yazmin Ramiro Propiedades eléctricas de la membrana excitable I Propiedades eléctricas de la membrana excitable II Transmisión sináptica I: mecanismos presinápticos I Transmisión sináptica I: mecanismos presinápticos II Transmisión sináptica II: mecanismos postsinápticos - Dr. Uri Ramírez Jarquín |
| ARIAS GARCÍA MARIO ALBERTO Integrante | Instituto de Fisiología Celular | Diversidad funcional de las conductancias iónicas activadas por voltaje I Diversidad funcional de las conductancias iónicas activadas por voltaje II Electroencefalograma |
| HERNÁNDEZ CRUZ ARTURO Integrante | Instituto de Fisiología Celular | Análisis de Hodgkin y Huxley del Axón gigante de calamar |
| LAVILLE CONDE JUAN ANTONIO Integrante | Instituto de Fisiología Celular | Electricidad básica y circuitos eléctricos Microcircuitos I: Registros multiunitarios in vitro MEAs - Ing. Aidán Ortega Propiedades no lineales de las membranas excitables Repaso de funciones matemáticas muy utilizadas en las neurociencias |
| MORALES LAZARO SARA LUZ Integrante | Instituto de Fisiología Celular | Estructura molecular y corrientes unitarias de canales iónicos Estructura molecular y corrientes unitarias de canales iónicos II |

Introducción

La función principal del cerebro es gobernar el comportamiento, y el objetivo de este curso es establecer un vínculo causal entre los mecanismos biofísicos y la función neuronal. El cerebro procesa la información mediante la actividad coordinada de neuronas, las cuales se comunican entre sí a través de sinapsis organizadas en redes altamente dinámicas. El propósito del curso es lograr una comprensión detallada de la estructura y función de los componentes fundamentales del cerebro de los mamíferos: sus sinapsis y neuronas. El curso tiene como objetivo revisar los mecanismos que subyacen al procesamiento de información y comunicación de señales en circuitos neuronales. El curso toma una aproximación bottom-up abordando desde los principios que gobiernan el movimiento iónico hasta el estudio de microcircuitos neuronales asociados a la conducta. Durante las clases trataremos de enfatizar las aproximaciones matemáticas y herramientas analíticas que permiten el estudio de la neurofisiología en sus diferentes niveles.

Temario

Fundamentos de Neurofisiología Celular semestre 2025-2

Temario Desglosado

1.- Repaso de funciones matemáticas muy utilizadas en las neurociencias (Antonio Laville 2h) Semana 1 28/1/25

La recta

- Pendiente
- Ordenada al origen
- Ejemplos de la recta en la neurofisiología

La hipérbola

- Grafica en escala semilogarítmica.
- Ejemplos de la hipérbola en la neurofisiología

Polinomios

- Orden del polinomio.
 - Primer orden, de nuevo la recta
 - Segundo orden, la parábola
 - Enésimo orden
- Ceros del polinomio
- Ejemplos de polinomios en las Neurociencias.

La Exponencial

- Crecente
- Decreciente
- Ejemplos de la exponencial en las neurociencias.

Funciones Sigmoides

- Función logística
- Función logística generalizada
- La integral de distribuciones de probabilidad en general son sigmoides
- Ejemplos de funciones sigmoides en las neurociencias

2.- Electricidad básica y circuitos eléctricos (Antonio Laville 2h) Semana 1 31/1/25

Definiciones relacionadas con los sistemas de medición

Definiciones y unidades para circuitos eléctricos

Amplificadores y circuitos de fijación de voltaje

- a. Amplificador ideal
 - b. Circuitos prácticos
 - b.1 Inversor
 - b.2 No inversor
 - b.3 Seguidor
 - c. Circuito de fijación de voltaje
 - d. Circuito de patch-clamp (convertidor de corriente a voltaje)
- 3.- Movimiento iónico en células excitables (Violeta López 4h) semana 2 4/2/25 y 7/2/25
- Leyes físicas que dictan el movimiento de iones
- a. Ley de Fick para la difusión
 - b. Ley de Ohm para la deriva
 - c. La relación de Einstein entre difusión y movilidad
 - d. Neutralidad de la carga espacial
- La ecuación de Nernst-Planck (NPE)
- La ecuación de Nernst
- Distribución de iones y mantenimiento del gradiente
- a. Transporte activo de iones
 - b. Distribución pasiva de iones y equilibrio de Donnan
- Efectos del Cl^- y el K^+ en el potencial de membrana
- Movimiento de iones a través de membranas biológicas
- Permeabilidad de membrana 24
- a. El modelo de Goldman-Hodgkin-Katz (GHK)
 - b. Aplicaciones de las ecuaciones de GHK
 - b.1 Potencial de reposo
 - b.2 Efectos de las bombas electrogénicas en el potencial de membrana.
- 4.- Propiedades eléctricas de la membrana excitable (Violeta López 2h) semana 3 11/2/25
- Representación del circuito equivalente
- Conductancia de membrana
- a. Membrana lineal
 - b. Membrana no lineal
- Conductancias iónicas
- El modelo de conductancia paralela
- Relaciones corriente-voltaje
- a. Resistencias y conductancias
 - b. Modelo y cálculo de la resistencia de entrada de una célula excitable
- Importancia de las propiedades electrofisiológicas de las neuronas
- Célula isopotencial (esfera)
- a. La curva de carga y descarga: el modelo RC
 - b. Cálculo de la constante de tiempo a partir de datos experimentales
 - c. Cálculo de la capacitancia de la célula a partir de datos experimentales
- Célula no isopotencial (cilindro)
- a. Unidades y definiciones
 - b. La constante de espacio
 - c. Soluciones de ecuaciones de cable
- 5.-Propiedades no lineales de las membranas excitables (Antonio Laville 2h) semana3 14/2/25
- Rectificación de membrana
- Modelos para rectificación de membrana
- a. Modelo de campo constante (GHK)
 - b. Modelo de barrera de potencial (teoría de la tasa de Eyring)
 - c. El modelo de compuerta (modelo de Hodgkin y Huxley)
 - c.1 Dependencia de tensión
 - c.2 Dependencia del tiempo
- 6.-Análisis de Hodgkin y Huxley del Axón gigante de calamar (Arturo Hernández 2h) semana 4 18/2/25
- Experimentos de fijación de voltaje en el axón del calamar
- a. Sistemas de fijación de voltaje y razones para la fijación de voltaje
 - b. Registros de fijación de voltaje
 - c. Relación corriente-voltaje instantánea
 - d. g_{Na} y g_{K} del axón del calamar
- Modelo de Hodgkin y Huxley
- Propagación y no propagación de potenciales de acción
- a. Ecuaciones de Hodgkin y Huxley para la propagación y no propagación de potenciales de acción
 - b. Variaciones en voltaje y en las corrientes durante la propagación y no propagación de potenciales de acción
- Relaciones I-V simplificadas
- Corriente de activación de compuerta
- 7.-Diversidad funcional de las conductancias iónicas activadas por voltaje (Mario Arias 4h) semana 5 21/2/25 y 25/2/25
- Distribución celular de canales iónicos
- Propagación del potencial de acción en axones mielinizados

Propiedades de diferentes corrientes en la membrana

- a. Corrientes de Na: rápida y lenta
 - b. Corrientes de Ca
 - b.1 Corriente de Ca de alto umbral Ica (L)
 - b.2 Corriente de Ca de bajo umbral Ica (T)
 - b.3 Corriente de Ca de alto umbral Ica (N)
 - b.4 Corriente de calcio tipo P Ica (P)
 - c. Corrientes de potasio
 - c.1 Corrientes de K activadas por voltaje
 - c.2 Corrientes de K activadas por calcio
 - c.3 Otras corrientes de K
 - d. 7.4.4 Corrientes catiónicas no selectivas
- Función de las diferentes corrientes sobre el potencial de membrana

EXAMEN PARCIAL I 28/2/2025

8.-Estructura molecular y corrientes unitarias de canales iónicos (Sara Luz Morales 4h) semana 6 4/3/25 y 7/3/25

- Estructura molecular de los canales iónicos
Registros de fijación de voltaje en parches de membrana de corrientes de canales unitarios
Propiedades descriptivas básicas de datos aleatorios
- a. 9.2.1 Valores cuadrados medios
 - b. 9.2.2 Funciones de probabilidad
 - c. 9.2.3 Función de covarianza $\gamma(t)$ y función de correlación $R(t)$
 - d. 9.2.4 Función de potencia de densidad espectral $S(f)$
- d.1 Enfoque experimental
 - d.2 Enfoque teórico
- Análisis estadístico de la compuerta del canal
Función de densidad de probabilidad del canal

9.-Transmisión sináptica I: mecanismos presinápticos (Violeta López 4h) semana 7 11/3/25 y 14/3/25

- ¿Por qué la transmisión sináptica química?
Transmisión química
Experimentos en la unión neuromuscular
Tratamiento estadístico de la hipótesis cuántica
- a. Liberación espontánea
 - b. Versión evocada
 - b.1 Modelo de Poisson
 - b.2 Modelo binomial
 - b.3 Ejemplos
 - b.4 Requisitos para el análisis cuántico
- Plasticidades sinápticas dependientes del uso
- a. Facilitación, potenciación post-tetánica y depresión
 - b. Potenciación a largo plazo
- Transmisión sináptica entre neuronas centrales
Hipótesis del Ca residual
Acción cooperativa de iones Ca en la liberación del transmisor
Análisis biofísico de Ca y liberación del transmisor
- a. Fijación de voltaje de la sinapsis gigante del calamar
 - b. Corrientes presinápticas de Ca
 - c. Relación entre Ica y la liberación del transmisor
 - d. Acción cooperativa de Ca en la sinapsis del calamar
 - e. Modelo para la liberación del transmisor en la sinapsis del calamar
 - f. Retraso sináptico
- Ca y plasticidad sináptica
- a. Depresión sináptica
 - b. Facilitación
 - c. Modulación presináptica de la emisión del transmisor
- Mecanismos moleculares de liberación
- a. Hipótesis de la excitotoxicidad temprana dependiente de Ca
 - b. Poros de fusión
 - c. Proteínas asociadas a vesículas: posibilidades para el receptor de Ca
 - d. Dominios de calcio, zonas activas y amortiguamiento de calcio
- 10.-Transmisión sináptica II: mecanismos postsinápticos (Violeta López 2h) semana 8 18/3/25
- Esquema general para canales activados por ligando
Conductancias sinápticas y potenciales de inversión
- a. Definición de respuesta excitatoria e inhibitoria
 - b. Análisis de fijación de voltaje de parámetros sinápticos (Curvas I-V)
 - c. Conductancia y potenciales de inversión de entradas sinápticas no isotenciales

c.1 Potenciales de inversión y tasas de conductancia: General
c.2 Potenciales de inversión y tasas de conductancia: Entradas sinápticas no isotopotenciales
c.3 Cambio de conductancia sináptica de entradas sinápticas no isotopotenciales
Cinética sináptica
a. Teoría de la cinética del canal y el curso temporal de corrientes sinápticas
b. Cinética de entradas sinápticas no isotopotenciales
Receptores de aminoácidos excitadores
Propiedades funcionales de las sinapsis
a. Suma espacial
b. Suma temporal
Respuestas sinápticas lentas: disminución de la conductancia de potenciales postsinápticos
Diversidad de neurotransmisores en el sistema nervioso central
Modelos compartamentales para una neurona
Espinas dendríticas y sus efectos sobre las entradas sinápticas
a. Atenuación de potencial entre el cuello y la cabeza de la espina
b. Sinapsis en la cabeza de la espina
c. La atenuación de las entradas sinápticas por las espinas
d.1 Atenuación de la corriente sináptica por una espina: Transferencia de carga sináptica
d.2 Ejemplos de aumento de voltaje, atenuación de voltaje, y transferencia de carga para una espina típica.
11.- Plasticidad sináptica (Yazmín Ramiro 2h) semana 8 21/3/25
El cambio en la forma de la espina como sustrato de la plasticidad sináptica
a. Ejemplos de cambios en la forma de la espina y plasticidad sináptica
Resumen de los posibles efectos de las espinas dendríticas
Plasticidad sináptica a largo plazo
a. Potenciación a largo plazo
a.1 Definiciones
a.2 Paradigmas de inducción
a.3 Potencial post sináptico excitatorios (EPSP) vs. potenciación de EPSP a espiga (EPSP-S)
a.4 La regla de Hebb para plasticidad sináptica
a.5 Mecanismos celulares de la potenciación a largo plazo
b. Depresión a largo plazo
12.- Microcircuitos I (Fatuel Tecuapetla 2h y Aidán Ortega 2h) semana 9 25/3/25 y 28/3/25
MEAs (in vitro Aidan)
Registros multiunitarios in vivo (Fatuel)

13.- Microcircuitos II: Imagenología de calcio (Luis Carrillo 2h) semana 10 1/4/25
Generalidades microscopía
Indicadores de calcio químicos y genéticamente codificados
Análisis de ensamblajes neuronales
14.- EEG (Mario Arias 2h) Semana 10 4/4/25
Ritmos cerebrales
Bases del EEG
Aplicaciones

EXAMEN PARCIAL II 8/4/2025

Bibliografía

- Bibliografía básica
1. Johnston, D., & Wu, S. M. (1995). *Foundations of Cellular Neurophysiology*. MIT Press.
 2. Sakmann, B., & Neher, E. (1995). *Single-Channel Recording* (2nd ed.). Springer.
 3. Nicholls, J. G., Martin, A. R., Fuchs, P. A., Brown, D. A., Diamond, M. E., & Weisblat, D. A. (2012). *From Neuron to Brain* (5th ed.). Sinauer Associates.
 4. Hodgkin, A. L., & Huxley, A. F. (1952). A Quantitative Description of Membrane Current and its Application to Conduction and Excitation in Nerve. *The Journal of Physiology*, 117(4), 500–544.
 5. Goldman, D. E. (1943). Potential, Impedance, and Rectification in Membranes. *The Journal of General Physiology*, 27(1), 37–60.
 6. Neher, E., & Sakmann, B. (1976). Single-Channel Currents Recorded from Membrane of Denervated Frog Muscle Fibres. *Nature*, 260, 799–802.

Observaciones

Se requieren conocimientos básicos de Python y cuenta de correo de Gmail.
Los alumnos tendrán que contactar a la encargada del curso violeta@ifc.unam.mx antes de inscribirlo para corroborar disponibilidad.

Invitados

Dra. Yazmín Ramiro Cortés
Instituto de Fisiología Celular, UNAM
Dr. Fatuel Tecuapetla Aguilar
Instituto de Fisiología Celular, UNAM

Dr. Luis Carrillo Reid
Instituto de Neurobiología, UNAM
Ing. Aidan Alejandro Ortega García
Instituto de Fisiología Celular, UNAM