



Інститут фізіології ім. О.О. Богомольця
Національної академії наук України
Силабус навчальної дисципліни

«ЕЛЕКТРОФІЗІОЛОГІЧНІ МЕТОДИ В ДОСЛІДЖЕННІ
ПАТОЛОГІЙ ЗБУДЛИВИХ СИСТЕМ»

МВК4

Галузь знань І Охорона здоров'я та соціальне
забезпечення (22 Охорона здоров'я)

Спеціальність І2 (222) «Медицина»

Ступінь освіти Доктор філософії

Освітньо-наукова
програма Медицина (Патологічна фізіологія)

Статус Навчальна дисципліна вибіркового
компонента з фахового переліку

Форма навчання Денна / заочна

Семестровий контроль Диференційований залік

Курс	1
Семестр	1

ECTS	3
Годин	90

Розподіл годин

Аудиторні години		Самостійна робота
Лекції	Практичні/Семінари	
20	6	64

	Лекція	Практичні/семінарські
ПІБ	Яворський Володимир Антонович	Яворський Володимир Антонович
Посада	Старший науковий співробітник відділу Біофізики іонних каналів	Старший науковий співробітник відділу Біофізики іонних каналів
Вчене звання	-	-
Науковий ступінь	кандидат біологічних наук	кандидат біологічних наук
Профіль викладача	https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602097988	https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602097988
Тел.	066 0678005, 044 2562425	066 0678005, 044 2562425
e-mail	jva@biph.kiev.ua	jva@biph.kiev.ua

Розроблено к.б.н. Яворським В.А.

Гарант ОНП
д.м.н. Моїсеєнко Є.В.

Поточна редакція від «11» вересня 2025 р.

Зав. відділу
«Випускова кафедра»  К.В. Розова



Мета та завдання освітньої компоненти

Метою викладання навчальної дисципліни є підготовка конкурентоспроможних фахівців-дослідників по напряму електрофізіології, здатних організовувати і проводити експерименти на електрофізіологічних установках, аналізувати дані та створювати сучасні наукові знання, продукувати нові теоретичні моделі на основі практичних дослідів, розв'язувати складні спеціалізовані завдання науково-дослідної діяльності на основі сучасних знань в електрофізіології, методів реєстрації струмів та потенціалу на кшталт patch-clamp, фізіології та суміжних наукових дисциплін в умовах науково-технічного прогресу та сталого розвитку суспільства, інтернаціоналізації освіти та науки, сталого професійного, інтелектуального і творчого розвитку особистості в сучасному освітньо-науковому середовищі.

Основними завданнями вивчення дисципліни «Електрофізіологічні методи в дослідженні патологій збудливих систем» є висвітлення теоретичних принципів постановки електрофізіологічного експерименту, планування і реєстрації наукових даних, теоретичних принципів електрохімічних явищ, зокрема взаємодії металів та скла із рідинами та клітинною мембраною; методів реєстрації електричної активності клітин і аналізу даних, організації електрофізіологічних експериментів та вибір протоколів дослідження, зовнішньої суперфузії розчином та діалізу клітин для контролю умов експерименту, поліпшення якості наукових результатів досліджень із дотриманням академічної доброчесності; забезпечення навичок використання інформаційних технологій на всіх експериментальних етапах.

Анотація навчальної дисципліни

Навчальна дисципліна «Електрофізіологічні методи в дослідженні патологій збудливих систем» присвячена ознайомленню аспірантів щодо роботи з електрофізіологічними установками, конструктивними особливостями їх частин, електродними приладами, підсилювальною апаратурою.

Аспіранти отримують теоретичні та практичні основи електрофізіології. Розглядаються історія розвитку електрофізіології у світі та Україні, теорія та методики дослідження електропровідності біологічних мембран, підходи до аналізу струмів та потенціалу на клітинах. Приділяється увага теоретичному ознайомленню спеціалістів-фізіологів із моделями функціонування мембрани з каналами. Передбачається ознайомлення із спеціальними методами електрофізіологічної реєстрації, такими, як реєстрація струмів через поодинокі канали, перфорований петч, карбонові електроди.

Місце навчальної дисципліни в програмі навчання

Навчальна дисципліна «Електрофізіологічні методи в дослідженні патологій збудливих систем» є курсом по вибору для аспірантів 1-го року навчання. Мета даного курсу полягає в набутті аспірантами професійних знань при виконанні електрофізіологічних досліджень, оволодінні процесами розробки, планування, проведення, аналізу та інтерпретації наукових експериментів в рамках тем досліджень Інституту фізіології ім. О.О. Богомольця НАНУ, набуття спеціалізованих компетенцій методичного планування та опису результатів експерименту.

Необхідні навички

1. Аспірант повинен знати основні терміни та визначення теорії біологічних мембран; можливості методів електрофізіології, вимоги до проведення електрофізіологічного дослідження та розуміти відповідні якісні показники; правила техніки безпеки, охорони праці, професійної безпеки.

Рівень набуття знань

В результаті вивчення теоретичного курсу та виконання практичних завдань за обраною тематикою аспірант повинен **знати**: основи роботи з скляними і металевими електродами, та рН-метром, методологічні основи планування і проведення електрофізіологічного експерименту, прийоми та методи відведення сигналів від клітин; принципи використання протоколів стимуляції в дослідженнях; сучасні напрями моделювання біофізичних явищ; **вміти**: працювати з підсилювальною апаратурою та програмними додатками з аналізу в електрофізіології; визначати протоколи дослідження та контролювати якісні показники в ході експерименту; реєструвати електрофізіологічні показники клітин; підготувати і виконати проект експерименту по своєму напрямку досліджень.

Соціальні/загальні компетентності (ЗК)

СК6 Самонавчання, самоорганізація, професійний розвиток

Фахові/дослідницькі компетентності (ФК):

ФК3 Дизайн досліджень і сучасні методи експериментальної медицини (електрофізіологія, клітинні/молекулярні, морфологія, флуоресценція)

ФК4 Аналіз даних, статистика, біоінформатика

Програмні результати навчання (РН)

РН2 Інтерпретувати основні механізми розвитку патологічних процесів на організмовому, органному, клітинному та молекулярному рівнях.

РН4 Планувати, організовувати та проводити наукові дослідження у галузі патофізіології з використанням сучасних методів експериментальної медицини, клітинних моделей, молекулярних технологій, електрофізіологічних і морфологічних підходів.

РН5 Вибирати, застосовувати та оптимізувати методи дослідження патологічних процесів на різних рівнях біологічної організації, оцінювати їх ефективність і обмеження.

РН6 Обробляти, аналізувати та інтерпретувати експериментальні й клінічні дані із застосуванням статистичних методів та біоінформатичних інструментів.

РН7 Формулювати наукові гіпотези, розробляти дизайн досліджень і планувати експерименти відповідно до принципів наукової доброчесності та біоетики.

СТРУКТУРА ОСВІТНЬОЇ КОМПОНЕНТИ (ДИСЦИПЛІНИ)

Назви змістових тем/лекцій	Кіл-ть годин	Назви семінарських занять	Кіл-ть годин	Назви завдань для самостійного опрацювання	Кіл-ть годин с.р.	Кіл-ть годин за темою усього
Модуль 1. Металеві і скляні електроди, їх застосування в електрофізіологічних експериментах.						
Тема 1. Розвиток електрофізіології у світі та в Україні. Історія дослідження біопровідності та розвиток електрофізіології на базі ІФБ. Сучасна теорія клітинних мембран.	2			Опрацювати статтю «Дослідження біологічних мембран. Історичний екскурс». Повторення важливих знань із курсу «Біофізика», аналіз відео двох експериментів Гальвані. Складання тесту по темі.	6	8
Тема 2. Металеві електроди.	2			Опрацювання інформації щодо фізико-хімічні властивості металів в електролітах; електрохімічні явища в розчинах; типи електродів і їх будова; оборотні та необоротні електроди. Складання тесту по темі.	6	8
Тема 3. Скляні електроди в методах вимірювання біоелектричних сигналів.	2			Опрацювання інформації щодо фізико-хімічні властивостей скла та типів скла для електрофізіології; мікроелектроди та мікропіпетки; електричних властивостей скляних мікроелектродів; приладів і апаратури в сучасних електрофізіологічних дослідках. Складання тесту по темі.	6	8
Тема 4. Методи фіксації струму та потенціалу.	2			Опрацювання інформації щодо підсилення електро-фізіологічних сигналів, якості роботи операційних підсилювачів; одно- та двоелектродних методів відведення; методів фіксації струму та фіксації потенціалу; схем компенсації. Складання тесту по темі.	6	8
Тема 5. Аналіз струмів та	2	Семінар по	2	Опрацювання інформації	6	10

ЕЛЕКТРОФІЗІОЛОГІЧНІ МЕТОДИ В ДОСЛІДЖЕННІ ПАТОЛОГІЙ ЗБУДЛИВИХ СИСТЕМ

потенціалу на цілій клітині. Метод «patch-clamp».		модулю 1. Контроль знань.		щодо контролю якості реєстрації від клітини; аналізу вольт-амперної характеристики; активаційні властивості струмів; явищ активації, інактивації і деактивації каналів; залежності доза- ефект; виділення компонент струму. Складання тесту по темі.		
Разом за модулем 1	10		2		30	42
Модуль 2. Спеціальні методи електрофізіологічної реєстрації. Принципи постановки та аналізу експерименту.						
Тема 6. Струми через поодинокі канали.	2			Опрацювання інформації щодо конфігурацій метода петч-клемп із реєстрацією струмів через поодинокі канали; вимоги до піпеткового розчину; біофізичні властивості пори; аналіз станів каналу; кластерна і пачкова активність; оцінки якості реєстрації струмів через поодинокі канали. Аналіз відеопротоколів. Ознайомлення із розділами книги Сакмана, Неєра "Реєстрація поодиноких каналів". Складання тесту по темі.	6	8
Тема 7. Моделі функціонування мембрани з каналами.	2			Опрацювання інформації щодо розрахункових комп'ютерних моделей нейронної активності: моделі Ходжкіна-Хакслі, експоненційної моделі із витоком, моделі Leak Integrate&Fire (LIF), адаптаційні моделі, моделі Іжкіевича, Spike Response (SRM) моделі активності нейронів. Стохастичні моделі активності. Родина моделей із дендритними деревами. Робота із репозиторієм комп'ютер- них моделей ModelDB. Складання тесту по темі.	6	8
Тема 8. ШІ для науковця.	2			Опрацювання інформації щодо застосування моделей штучного інтелекту на етапах	6	8

ЕЛЕКТРОФІЗІОЛОГІЧНІ МЕТОДИ В ДОСЛІДЖЕННІ ПАТОЛОГІЙ ЗБУДЛИВИХ СИСТЕМ

				наукового дослідження. Підготовка завдання по темі.		
Тема 9. Контроль якості електрофізіологічної реєстрації. Методи поліпшення електрофізіологічного відведення від нейронів. Карбонові електроди. Перфорований петч. Діаліз клітин та методи зовнішньої перфузії.	2			Опрацювання інформації щодо конфігурації перфорований петч, протоколу використання амфотерицину-В; методу внутрішньоклітинної перфузії, систем регулювання тиску, поліпшення якості реєстрації patch-clamp, поліпшення властивостей мікропіпеток; експрес-тести якості об'єкта дослідження (на прикладі спайкової активності нейрона) та вибіркового контролю. Карбонові електроди та технологія Neuralink (аналіз відео). Підготовка завдання по темі.	6	8
Тема 10. Принципи постановки експерименту.	2	Семінар по модулю 2. Контроль знань. Диференційований залік по темам лекційного курсу.	4	Опрацювання відеозапису лекції щодо принципів постановки наукового експерименту в фізіології; схеми експериментів та визначення кореляцій і причинності; графічних інструментів контролю якості. Підготовка завдання по темі із обґрунтуванням експерименту, описом моделі об'єкта і експериментальної гіпотези; складенням програми дій, обґрунтування вибору експериментальної схеми та типів контрольних об'єктів, організації стеження та збору наукових даних. Підготовка залікового завдання.	10	16
Разом за модулем 3	10		4		34	48
Усього годин	20		6		64	90

Методи навчання: При викладанні навчальної дисципліни використовуються словесні, наочні та практичні методи навчання у формі лекцій, семінарів, самостійної роботи.

ПИТАННЯ ДЛЯ ПОТОЧНОГО І ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ

1. Два експерименти Гальвані із тваринною електрикою.
2. Дослідження Дюбуа-Реймона.
3. Розвиток електрофізіологічних досліджень в Україні та Інституті фізіології. Українська фізіологічна школа.
4. Вимірювання біопотенціалів на аксоні кальмара.
5. Мозаїчна теорія біологічної мембрани. Підтримка іонного гомеостазу клітини – канали і транспортери. Іонна проникність біомембран. Селективність іонних каналів, ряди Ейзенмана.
6. Потенціал спокою, формула Нернста. Наближення постійного поля. Рівняння Голдмана-Ходжкіна-Катца.
7. Фізико-хімічні властивості металів в електролітах. Виникнення скачку потенціалу на межі «метал-електроліт».
8. Гальванічний елемент. Електрохімічна корозія металів в електроліті. Електроліз.
9. Типи металевих електродів. Стандартний водневий електрод. Електрохімічні явища.
10. Оборотні електроди. Поляризація та перенапруга електродів. Хлор-срібний електрод. Скляні електроди для рН- метрії.
11. Рухливість іонів в електролітах. Соляні містки і дифузійні потенціали.
12. Типи скла, їх фізико-хімічні властивості. Боросилікатне скло. Утворення плівки на поверхні скло/електроліт.
13. Мікроелектродний метод дослідження. Характеристики скляних МЕ. Заточка (механічна, термічна) та заповнення скляних МЕ. Основні схеми вимірювання біоелектричних сигналів.
14. Загальна схема електрофізіологічної установки, прилади і апаратура.
15. Попереднє підсилення в схемі підсилювача, призначення та вимоги. Ідеальний операційний підсилювач. Зворотний зв'язок на схемах із операційними підсилювачами. Схеми включення операційних підсилювачів та їх аналіз. Стійкість схем, їх шумові властивості.
16. Методи ін'єкції фіксованого струму у клітину. Компенсація послідовного опору електрода. Схема фіксації на аксоні кальмара в експерименті Ходжкіна-Хакслі. Типи експериментів із використанням методу фіксації струму та їх інтерпретація.
17. Адекватність фіксації потенціалу. Просторова та часова фіксація. Послідовний опір при фіксації потенціалу. Одно- та двохелектродна фіксація. Електронні схеми фіксації потенціалу. Застосування фіксації потенціалу.
18. Основні схеми вимірювання. Оцінка частоти реєстрації. Компенсація струмів витоку та смісних артефактів.
19. Вольт-амперні характеристики іонних струмів та методи їх вимірювання. Аналітичний опис ВАХ, аналіз відкритого і закритого стану каналу. Миттєві ВАХ. Активация, деактивация, інактивация струмів та відповідних іонних каналів.
20. Ефекти вхідного та вихідного випрямлення калієвого струму. Струми витоку. Воротні струми. Струми тимчасові та стаціонарні, «віконний» струм, «хвостовий» струм.
21. Протоколи вимірювання та опис різних характеристик струмів. Концентраційний аналіз та побудова залежності доза-ефект. Методи розділення трансмембранних струмів на компоненти: на основі кінетичних характеристик, віднімання струмів у різних протоколах стимуляції, заміна іонів провідності каналів. Фармакологічне виділення для отримання компонент струму.
22. Конфігурації метода петч-клемп. Оцінка ефективності внутрішньоклітинного діалізу. Вимоги до зовнішнього та піпеткового розчинів.
23. Джерела шуму і способи оцінки шуму. Реєстрація струму через окремий канал, часові та амплітудні показники. Біофізичні властивості пори каналу. Кінетика струму через канал, провідність каналів.

ЕЛЕКТРОФІЗІОЛОГІЧНІ МЕТОДИ В ДОСЛІДЖЕННІ ПАТОЛОГІЙ ЗБУДЛИВИХ СИСТЕМ

24. Аналіз станів поодинокого каналу. Ймовірність відкритого стану. ВАХ поодиноких каналів. Взаємодія іонів в каналі із ефектом насичення. Концентраційна залежність провідності. Стани з різною провідністю.
25. Скринінг провідності каналів. Марковські моделі дискретних станів. Оцінка часу життя закритого стану. Кількість каналів на петчі. Порогова детекція подій, кластерна і пачкова активність.
26. Модель Ходжкіна-Хакслі, калієва та натрієва провідності. Експоненційна модель із витоком. Модель Leak Integrate&Fire (LIF).
27. Адаптаційні моделі імпульсної активності нейронів. Динамічний поріг генерації як додатковий тип адаптації. Типи нейронної активності. Модель Іжикевича.
28. Spike Response (SRM) моделі активності нейронів. Ненадійність генерації та стохастичні моделі активності. Опис популяційної генерації.
29. Стохастична L&F модель. Визначення швидкості та надійності генерації ПД.
30. Застосування моделей штучного інтелекту на етапах наукового дослідження.
31. Конфігурація перфорованих петч-клемп. Перфорація мембрани при додаванні каналоутворюючих антибіотиків. Взаємодія Амфотерицина-В з ліпідною мембраною. Зміни струмів під час перфорації. Переваги та недоліки перфорованого петч-клемп, протокол використання.
32. Методика діалізу клітин за допомогою пластикових піпеток. Петч-клемп діаліз та оцінка його швидкості.
33. Перфузійні конфігурації в умовах експерименту, методи зміни розчинів. Поворотний стілець. Ручний та автоматизований контроль тиску.
34. Шляхи зменшення шумів і підвищення роздільної здатності метода петч-клемп. Поліпшення характеристик мікропіпетки: оплавлення піпеток, покриття силгардом, розчин для хлорування електродів.
35. Перевірка якості реєстрації. Відповідність струмів поодиноких каналів і макроскопічних струмів. Гігаомний контакт між кінчиком мікропіпетки та мембраною: важливість щільного контакту, контроль контакту, заростання контакту та протидія цьому, додавання хелаторів кальцію в піпетковий розчин.
36. Карбонові електроди. Мікроелектродний масив на основі карбонових волокон.
37. Методи дослідження в фізіології. Ідеал об'єктивності науки. Завдання методу наукового експерименту. Етапи наукового експерименту.
38. Методика контрольної та експериментальної об'єктів. Схема «До-Після». Функціональна проба. Схема «Екс-Пост-Факто».
39. Інструменти графічного контролю якості: Check sheet, контрольні карти Шухарта, стратифікована проба, діаграма Парето, гістограма, діаграма Ішікави, діаграма розсіювання. Методи Meta-аналізу.
40. Оптимальна кількість спостережень у вибіркового дослідженні. Інтерпретація результатів, рівні статистичної значимості: рівень ймовірності та рівень істотності.
41. Перевірка причинності. Критичний аналіз коректності застосування методів. Облік експериментальних даних, складання докладних протоколів. Програмні засоби звітування.



**Інститут фізіології ім. О.О. Богомольця
Національної академії наук України
Силабус навчальної дисципліни**

Система оцінювання

Усне опитування на семінарських/практичних заняттях (1-10 балів), обов'язкові модульні опитування за тестовою системою (0-30 балів за модуль), виконання тестів та письмових завдань. Заохочуючі бали (1-5 балів за курс) можуть застосовуватись при експрес-опитуванні в процесі лекції (на розуміння її суті), за активну присутність на лекції 1 бал. Підсумковий тест (залік) – 40 балів. Сумарна оцінка за курс формується, виходячи з максимальної кількості балів - 100. Отримана в такий спосіб оцінка є підсумковою заліковою.

Розподіл балів, які отримують аспіранти

Поточний контроль та самостійна робота										Підсумковий тест (залік)	Сума
Змістовий модуль 1					Змістовий модуль 2						100
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T1÷T10	
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	40	100

Семестрова атестація аспірантів

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
		для заліку
90 – 100	A	зараховано
85-89	B	
75-84	C	
70-74	D	
60-69	E	
35-59	FX	не зараховано з можливістю повторного складання
0-34	F	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

Засвоєння аспірантом програмного матеріалу змістового модуля вважається успішним, якщо рейтингова оцінка його становить не менше, ніж 60 балів за 100-бальною шкалою.

Додаткові умови допуску до заліку:

У разі виникнення спірних питань щодо не допуску аспірантів до семестрової атестації, вони вирішуються лектором дисципліни спільно із завідувачем кафедри.

Політика навчальної дисципліни

Відвідування занять є обов'язковим для всіх аспірантів.

Пропущені контрольні заходи можна перескласти у визначений викладачем час з дозволу завідувача кафедри. Аспіранти, які в поточному семестрі мали пропуски занять і до початку екзаменаційної сесії не засвоїли матеріал пропущених тем і розділів змістових модулів навчальної дисципліни та не подали обґрунтоване письмове пояснення причин пропущених занять, до семестрової атестації з відповідної дисципліни не допускаються.

Академічна доброчесність. Норми етичної поведінки

Політика та принципи академічної доброчесності визначені Законами України.

Норми етичної поведінки аспірантів і працівників визначені Статутом, відповідними законами, підзаконними актами України та відповідними положеннями Інституту.

Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Аспіранти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА ТА ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

Основна література:

1. Шуба Я.М. Основи молекулярної фізіології іонних каналів. Навч. посібник – К.: Наук. думка, 2010. – 448 с.
2. Wulfram Gerstner, Werner M. Kistler. Spiking neuron models. Single Neurons, Populations, Plasticity. Cambridge University Press 2002.
3. Важинський С. Е., Щербак Т. І. Методика та організація наукових досліджень. Навчальний посібник. Суми 2016.
4. Шуба Я.М. П.Г. Костюк – учений, який виявив нові грані «живого» кальцію Фізіол. журн., 2014, Т. 60, № 4, С. 112-9.
5. Hans Reiner Polder, Martin Weskamp, Klaus Linz, Rainer Meyer. Voltage Clamp and Patch Clamp Techniques.
6. Kostyuk P.G., Krishtal O.A. Separation of sodium and calcium currents in the somatic membrane of mollusc neurons. J. Physiol. (1977), 270, pp. 545-568
7. Patch-Clamp Analysis. Advanced techniques. (Second Edition) Edited by Wolfgang Waltz, Alan A. Boulton, Glen B. Baker. Humana Press, New Jersey, 2007

Додаткова література:

1. Verkhratsky A., Párpura V. History of electrophysiology and patch-clamp. Methods in molecular biology (Clifton, N.J.) · July 2014
2. M. Karmažínová, I. Lacínová. Measurement of Cellular Excitability by Whole Cell Patch Clamp Technique. Physiol. Res. 59 (Suppl. 1): S1-S7, 2010

Інтернет-ресурси, електронні бібліотеки:

1. Сервіс Google Class <https://classroom.google.com/c/MzM1NzkwNjI3NDk5?cjc=gvgzxxvv>
2. Відеолекції з електрофізіології у списку відтворення на Youtube: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLtXDgIJrEj4bBEaf677P4rw7Atsw94ml9>