



БІОФІЗИКА МЕМБРАННИХ СТРУКТУР

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

| | |
|---|--|
| Рівень вищої освіти | <i>Другий (магістерський)</i> |
| Галузь знань | <i>10 Природничі науки</i> |
| Спеціальність | <i>105 Прикладна фізика та наноматеріали</i> |
| Освітня програма | <i>Прикладна фізика</i> |
| Статус дисципліни | <i>Вибіркова</i> |
| Форма навчання | <i>очна(денна)</i> |
| Рік підготовки, семестр | <i>V курс, весняний семестр</i> |
| Обсяг дисципліни | <i>135 годин (36 лекційних, 36 практичних, 63 СРС)</i> |
| Семестровий контроль/ контрольні заходи | <i>Екзамен, курсова робота</i> |
| Розклад занять | <i>2 год. лекційні та 2 год. Практичних занять на тиждень</i> |
| Мова викладання | <i>Українська</i> |
| Інформація про керівника курсу / викладачів | Лектор/Практичні: <i>к.б.н. Маслов Віталій Юрійович</i> <i>ст.н.с. Інституту фізіології ім. О.О.Богомольця НАН України</i> <i>masl@biph.kiev.ua Skype: vitality_maslov</i> |
| Розміщення курсу | <i>https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=4086 (Moodle)</i> |

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Основна мета курсу «Біофізика мембранних структур» - розуміння студентами фундаментального значення клітинної мембрани та ролі окремих мембранних структур у функціонуванні збудливих тканин. Студенти отримають знання про теоретичні основи біоелектричних процесів та найважливіші сучасні біофізичні та електрофізіологічні методи дослідження збудливих клітин. Вивчаються механізми, які визначають генерування та передачу імпульсації нервовою клітиною, міжнейронну взаємодію. Також студенти знайомляться з основними принципами моделювання електричної активності нервових клітин. Важливе освітнє значення модуля «Біофізика мембранних структур» полягає у його міждисциплінарності: поєднанні біофізичних підходів з фізіологічними (електрофізіологічними), біохімічними, фізико-хімічними, математичного моделювання. При вивченні курсу велика увага приділяється розв'язуванню задач оціночного характеру. Навички, отримані при розв'язуванні оціночних задач, можуть бути корисними як у подальших наукових дослідженнях студентів, так і у їх діяльності у інших галузях. Індивідуальні домашні завдання побудовані таким чином, щоб закріпити теоретичний матеріал та засвоїти навички роботи з науковою періодикою з біофізики та електрофізіології.

Під час навчання у якості ілюстративного матеріалу використовуються реальні дані, отримані під час електрофізіологічних експериментів автором курсу та його колегами. На основі таких реєстрацій формуються більшість питань для опитувань та задач.

Навчання здійснюється на основі студентоцентрованого підходу та взаємодії викладача та студента, а також колективної роботи студентів при розв'язуванні задач та інтерпретації електрофізіологічних даних, що сприятиме кращому засвоєнню теоретичного матеріалу та розвитку практичних навичок.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання:

знання:

- будови мембран збудливих клітин,
- функцій окремих мембранних структур,

- сучасних методів дослідження мембран,
- механізмів клітинної збудливості та її пластичності,
- основних властивостей різних типів іонних каналів та рецепторів,
- основних методологічних підходів до моделювання мембранних процесів,
- принципів передачі сигналів з мембрани в середину клітини;

вміння:

- орієнтуватись в сучасних напрямках біофізичних та електрофізіологічних досліджень клітинних мембран,
- оперувати характерними біофізичними параметрами збудливих клітин при виконанні модельних та оціночних розрахунків,
- користуватись сучасною науковою періодикою з біофізики мембран та електрофізіології;

досвід:

- знайомства з міждисциплінарним підходом,
- застосування знань, отриманих при вивченні фундаментальних курсів, при аналізі біологічних систем,
- доповідання та представлення результатів індивідуальної роботи.

Набуті знання та практичні навички сформують у студентів наступні компетентності.

Загальні компетентності.

ЗК 1 Здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу

ЗК 2 Здатність до навчання та самоаналізу (пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел)

ЗК 8 Здатність вести дослідницьку діяльність, включаючи аналіз проблем, постановку цілей і завдань, вибір способу й методів дослідження, а також оцінку їх якості

ЗК 10 Здатність генерувати нові ідеї й нестандартні підходи до їх реалізації (креативність)

Фахові компетентності.

ФК 1 Здатність виконувати аналіз спеціальної літератури, формулювати постановку наукової або науково-технічної задачі, обирати методи та методики, складати програми наукових досліджень та науково-технічних розробок у галузі прикладної фізики та наноматеріалів.

ФК 2 Здатність до безперервного поглиблення фундаментальних знань та систематичного вивчення та аналізу нової науково-технічної інформації, світового досвіду в галузі прикладної фізики

ФК 3 Здатність відповідно до поставленої задачі проводити наукові дослідження фізичних систем, явищ і процесів (експериментальні, теоретичні, комп'ютерне моделювання) в галузі прикладної фізики та наноматеріалів

ФК 5 Здатність розробити схему фізичного експерименту та обрати необхідне лабораторне обладнання для проведення експерименту, проводити експериментальне дослідження властивостей фізичної системи, явищ і процесів у фізичній системі та обробити результати експерименту із використанням сучасного прикладного програмного забезпечення

ФК 6 Здатність аналізувати отримані результати, презентувати їх фахівцям у даній галузі, оформлювати наукові статті та науково-технічні звіти

ФК 9 Здатність використовувати методи і засоби математичного моделювання для опису фізичних об'єктів та процесів

ФК 11 Здатність до аналізу фізичних принципів функціонування інформаційних процесів у фізичних системах, в т.ч. в енергетиці та біофізиці

ФК 13 Здатність готувати об'єкти дослідження та вибирати необхідне лабораторне устаткування для досліджень властивостей явищ і процесів у фізичній, біофізичній системі, в області високих фізичних технологій, фізики живих систем та новітніх джерел енергії

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Для засвоєння матеріалу курсу студенти повинні мати знання та навички розв'язування задач в рамках базових курсів загальної фізики та вищої математики, а також знати основні положення клітинної біології.

Міждисциплінарні зв'язки:

навчальна дисципліна «Біофізика мембранних структур» (ПВБ 2.5) входить до циклу професійної підготовки (вибірковий блок 2 «Фізика живих систем»);

дисципліни, що передують: фізика інформаційних процесів і систем (ПВБ 2.1), синергетика (ПВБ 2.2), основи анатомії і фізіології людини (ПВБ 2.3), методи дослідження збудливих мембран (ПВБ 2.4);

дисципліни, що забезпечуються: біохімія клітинних процесів (ПВБ 2.6), молекулярна фізіологія (ПВБ 2.9), біофізика синаптичної передачі (ПВБ 2.11).

3. Зміст навчальної дисципліни

Структура кредитного модуля

| Назви розділів і тем | Кількість годин | | | | |
|---|-----------------|--------------|----------------------------|--|-----|
| | Всього | у тому числі | | | |
| | | Лекції | Практичні (семінарські) | Лабораторні (комп'ютерний практикум) | СРС |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Розділ 1. Мембранний транспорт | | | | | |
| Тема 1. Вступ. Мета та побудова курсу. Загальні відомості про фізіологію збудливих тканин. Методи та апаратура дослідження мембран. Будова клітинних мембран, структури, що забезпечують збудливість. | 10 | 4 | 2 | - | 4 |
| Тема 2. Біопотенціали. Транспорт іонів та іонна проникність мембран. Потенціал спокою. Потенціал дії. Еквівалентна електрична схема клітинної мембрани. | 20 | 6 | 6 | - | 8 |
| Тема 3. Молекулярні механізми клітинної збудливості. АТФ-ази клітинної мембрани. Ліганд- та потенціал-керовані іонні канали. | 20 | 6 | 6 | - | 8 |
| Тема 4. Реєстрація біопотенціалів. Спонтанні та викликані потенціали. Поза- та внутрішньоклітинна реєстрація. Мікроелектродна техніка. | 14 | 4 | 4 | - | 6 |
| Тема 5. Фіксація мембранного потенціалу. | 24 | 6 | 8 | - | 10 |

| | | | | | |
|---|-----|----|----|---|----|
| Метод фіксації потенціалу та його модифікації. Модель Ходжкіна-Хакслі. | | | | | |
| Разом за розділом 1 | 88 | 26 | 26 | - | 36 |
| Розділ 2. Клітинна сигналізація | | | | | |
| Тема 6. Міжклітинні зв'язки. Розповсюдження потенціалу дії. Синаптична передача. | 14 | 4 | 4 | - | 6 |
| Тема 7. Механізми взаємодії мембранних та внутрішньоклітинних процесів. Іонотропні та метаботропні рецептори. Кальцієва сигналізація. | 20 | 6 | 6 | | 8 |
| Тема 8. Застосування електрофізіологічних методів у медицині. | 7 | | | | 7 |
| Домашня контрольна робота | | | | | 6 |
| Разом за розділом 2 | 37 | 10 | 10 | | 27 |
| Всього годин | 135 | 36 | 36 | | 63 |

4. Навчальні матеріали та ресурси

Рекомендована література

Базова

1. B. Alberts, A. D. Johnson, J. Lewis, D. Morgan, M. Raff, K. Roberts and P. Walter. *Molecular biology of the cell*/6th ed. W.W.Norton&Co, NY, 2014.
2. П.Г. Костюк, В.Л. Зима, І.С. Магура, М.С. Мірошніченко, М.Ф. Шуба. *Біофізика*/ К. «Київський університет», 2008.
3. *The Axon Guide/ Molecular devices*, 2012.
4. Я.М. Шуба. *Основи молекулярної фізіології іонних каналів*/ К. «Наукова думка», 2010.

Додаткова

5. B.Hille *Ionic Channels of Excitable Membranes*, 3th ed./ Sinauer, Sunderland, MA, 2001.
6. A.C. Guyton, J.E. Hall. *Textbook of medical physiology*/ Elsevier, 13th ed, 2016.
7. J.D. Bronzion (Ed.). *The Biomedical Engineering Handbook, Second Edition*/ Boca Raton: CRC Press LLC, 2000

Інтернет ресурси

Для знайомства з сучасним станом біофізики мембран та електрофізіології, поглибленого розгляду окремих питань та при виконанні курсової роботи рекомендується ресурс PubMed <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/> - база даних, що включає резюме та повні тексти наукових робіт за медико-біологічною тематикою.

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

| № з/п | Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС) |
|-------|--|
| 1. | Вступ. Мета і завдання курсу. Будова клітини та функції її компартментів [1, розд. 1-3]. Загальні відомості про фізіологію збудливих тканин [1, розд. 10,11]. Будова та фізичні характеристики клітинної мембрани, мембранні білки та їх функції [1, розд. 3] [2, розд. 7]. |
| 2. | Огляд електрофізіологічних та біофізичних методів дослідження збудливих тканин та основних об'єктів досліджень [7, розд. 8]. Знайомство з відповідною апаратурою та програмним забезпеченням [3, розд. 2-3]. |
| 3. | Іони в водному розчині. Доннанівська рівновага, модель Гуи-Чепмена, модель Дебая-Хюккеля. Рівняння Нернста-Планка [2, розд. 3]. |
| 4. | Мембранний транспорт. Пасивний та полегшений транспорт. Активний транспорт (первинний та вторинний). АТФ-ази клітинної мембрани. [2, розд. 7] |
| 5. | Природа біопотенціалів. Рівняння Нернста. Потенціал спокою. [2, розд. 8.1-2] |
| 6. | Рівняння Гольдмана-Ходжкіна-Катца. Деполяризація та гіперполяризація. Потенціал дії. [2, розд. 8.3, 9.1] |
| 7. | Моделювання іонної проникності клітинної мембрани. Еквівалентна схема. [2, розд. 8.4] |
| 8. | Потенціал-керовані іонні канали. Електрична активність нейрона [2, розд. 9.7]. |
| 9. | Ліганд-керовані іонні канали, їх роль у функціонуванні нейрона. [2, розд. 10.4; 4, розд. 2]. |
| 10. | Реєстрація біопотенціалів. Позаклітинна та внутрішньоклітинна реєстрація. Спонтанні та викликані потенціали. Мікроелектродна техніка. [3, розд. 3, 4; 7, розд. 8, 17] |
| 11. | Метод фіксації мембранного потенціалу: основні типи та конфігурації, значення методу в сучасній біофізиці та електрофізіології [2, розд. 9.4] [3, розд. 1.4, 5]. |
| 12. | Модель Ходжкіна-Хакслі. [2, розд. 9.5] |
| 13. | Моделювання електричної активності нейрона. Модифікації моделі Ходжкіна-Хакслі для нейронів різних типів [7, розд. 11.4]. |
| 14. | Розповсюдження потенціалу дії. Кабельне рівняння. Швидкість передачі збудження та фактори, що на неї впливають. [2, розд. 9.2] |
| 15. | Взаємодія між збудливими клітинами. Синаптична передача. Інтеграція пресинаптичних входів на нейроні. [2, розд. 10.3-4]. |
| 16. | Іонотропні та метаботропні рецептори, їх фармакологія. Агоністи та антагоністи іонних каналів та рецепторів [2, розд. 9] [4, розд. 2, 3]. |
| 17. | Кінетичні моделі взаємодії ліганд-рецептор. Рівняння Міхаеліса-Ментен. Типи блокторів та кінетичні моделі їх взаємодії з рецепторами [2, 4.11-13] [4, розд. 3]. |
| 18. | Роль іонів кальцію в регуляції клітинних функцій. Кальцієва сигналізація [2, розд. 7.9, 7.10, 9.10, 10.5]. |

Практичні заняття

| № з/п | Назва теми практичного заняття та перелік основних питань. |
|-------|--|
| 1. | Основні характеристики збудливих тканин, клітин та мембрани. [1, розд. 3] [2, розд. 7] Обладнання для електрофізіологічних дослідів. [3, розд. 2-3] [7, розд. 8] |

| | |
|-----|--|
| 2. | Іони в водному розчині. Константа дисоціації. Дифузія. Електродифузія. [2, розд. 3] [2, розд. 7]. |
| 3. | Пасивна дифузія через мембрану. Полегшений транспорт. Активний транспорт. [2, розд. 7] |
| 4. | Рівняння Нернста. Потенціал спокою. [2, розд. 8.1-2] |
| 5. | Рівняння Гольдмана-Ходжкіна-Катца. Селективні провідності мембрани, їх роль у розвитку потенціалу дії. [2, розд. 8.3, 9.1] |
| 6. | Еквівалентна схема клітинної мембрани. [2, розд. 8.4] |
| 7. | Потенціал-керовані іонні канали, їх вольт-амперна характеристика та електрична активність нейрона [2, розд. 9.7]. |
| 8. | Ліганд-керовані іонні канали, їх характеристики та роль у функціонуванні нейрона. [2, розд. 10.4; 4, розд. 2]. |
| 9. | Мікроелектродна техніка у електрофізіології та біофізиці мембран. [3, розд. 3, 4; 7, розд. 8, 17] |
| 10. | Метод фіксації мембранного потенціалу, використання його різних модифікацій в дослідженнях [2, розд. 9.4] [3, розд. 1.4, 5]. |
| 11. | Модель Ходжкіна-Хакслі: експериментальна частина. [2, розд. 9.5] |
| 12. | Параметри моделі Ходжкіна-Хакслі та електрична активність нейрона. Стаціонарна інактивація. [2, розд. 9.5] |
| 13. | Моделювання електричної активності нейрона. Модифікації моделі Ходжкіна-Хакслі для нейронів різних типів [7, розд. 11.4]. |
| 14. | Розповсюдження потенціалу дії. Кабельне рівняння. Швидкість передачі збудження та фактори, що на неї впливають. [2, розд. 9.2] |
| 15. | Синаптична передача. Інтеграція пресинаптичних входів на нейроні. Над- та підпорогові, активуючі та гальмівні синаптичні входи на нейронах різних типів [2, розд. 10.3-4]. |
| 16. | Кінетичні моделі. Пряма та зворотна реакції. Константа дисоціації. [2, розд. 9] [4, розд. 2, 3]. |
| 17. | Застосування кінетичних моделей у електрофізіології та біофізиці мембран. [2, 4.11-13] [4, розд. 3]. |
| 18. | Визначення параметрів кальцієвих сигналів у експерименті. [2, розд. 7.9, 7.10, 9.10, 10.5]. |

Самостійна робота

| № з/п | Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання | Кількість годин СРС |
|-------|---|---------------------|
| 1 | Застосування електрофізіологічних методів у медицині [7]. | 7 |

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота студентів включає підготовку до аудиторних занять, розв'язок задач, підготовка міні-доповідей за темами практичних занять, знайомство з науковою періодикою, виконання домашньої контрольної роботи, підготовка курсової роботи.

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Зазначається система вимог, які викладач ставить перед студентом/аспірантом.

- Відвідування лекцій (та відсутність на них) не оцінюється. Однак, студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання контрольних робіт та успішного захисту курсової роботи.
- У системі оцінювання значною є питома вага балів за активність студента на заняттях.
- Під час занять необхідно дотримуватись звичних правил поведінки. На заняттях не передбачається пошук інформації в мережі Інтернет, відповідно, мобільні телефони рекомендується відключати.
- Індивідуальні завдання (міні-довіді, задачі) доповідаються під час практичних занять, після доповіді виділяється час на питання та обговорення. Відповіді на запитання впливають на сумарну оцінку доповіді.
- Заохочувальні та штрафні бали не передбачені.
- Терміни виконання контрольних робіт оголошуються перед їх початком, робота, не представлена вчасно, не зараховується.
- Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (<https://kpi.ua/code>).

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль.

Активність на заняттях (сумарно максимум 30 балів): експрес-опитування на заняттях (1-2 бали), міні-довіді на практичних заняттях (1-3), МКР (10), домашня контрольна робота (5)

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: екзамен (40), захист курсової роботи (15)

Умови допуску до семестрового контролю: виконані МКР та домашня контрольна робота, семестровий рейтинг більше 50 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

| Кількість балів | Оцінка |
|---------------------------|--------------|
| 100-95 | Відмінно |
| 94-85 | Дуже добре |
| 84-75 | Добре |
| 74-65 | Задовільно |
| 64-60 | Достатньо |
| Менше 60 | Незадовільно |
| Не виконані умови допуску | Не допущено |

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- *Теми модульної контрольної роботи*

1. Збудливі тканини (клітини), їх загальні характеристики. Будова клітинної мембрани та функції її структур.
2. Основні електрофізіологічні та біофізичні методи дослідження збудливих тканин (клітин).
3. Пасивний та активний транспорт.

4. Характеристика мембранних АТФ-аз.
5. Потенціал спокою та потенціал дії.
6. Рівняння Нернста та рівняння Гольдмана-Ходджкіна-Катца.
7. Потенціал- та ліганд-керовані іонні канали, їх роль у функціонуванні збудливої клітини.
8. Еквівалентна електрична схема мембрани.
9. Внутрішньоклітинне відведення: методи та їх застосування.
10. Модель Ходжкіна-Хакслі.

- *Теми домашньої контрольної роботи (приклад).*

1. Роль окремих селективних провідностей у формуванні тонічної та фазної імпульсації нейронів.
2. Експериментальне визначення параметрів моделі Ходжкіна-Хакслі.
3. Фармакологія окремого типу мембранного каналу (рецептора).
4. Вплив геометрії нейрона на імпульсну активність.
5. Залежність параметрів кальцієвого сигналу від внутрішньоклітинних та мембранних процесів.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено ст. викл., к.б.н. Маслов Віталій Юрійович

Ухвалено кафедрою _____ (протокол № ____ від _____)

Погоджено Методичною комісією факультету¹ (протокол № ____ від _____)

¹ Методичною радою університету – для загальноуніверситетських дисциплін.