

Міністерство охорони здоров'я України  
Українська медична стоматологічна академія

«Затверджено»  
на засіданні кафедри  
медичної інформатики,  
медичної і біологічної фізики  
«27» серпня 2020 р.  
протокол №1 від «27» серпня 2020 р.  
Зав. кафедри \_\_\_\_\_ доцент Сілкова О.В.



**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ  
ПІД ЧАС ПІДГОТОВКИ ДО ПРАКТИЧНОГО (СЕМІНАРСЬКОГО) ЗАНЯТТЯ

<i>Навчальна дисципліна</i>	Медична і біологічна фізика
<i>Модуль №1</i>	Основи вищої математики та біологічної фізики
<i>Змістовний модуль</i>	Біологічна фізика
<i>Тема заняття</i>	Структура і функції біологічних мембран. Активний і пасивний транспорт. Дослідження проникності біологічних мембран.
<i>Курс</i>	I, II
<i>Факультет</i>	Медичний № 1, 2, стоматологічний

## 1. Актуальність теми.

Біофізика мембран – це найважливіший розділ біофізики клітини. Жива клітина – елементарна відкрита система, умовою існування якої є автономність по відношенню до навколишнього середовища і зв'язок з ним через біомембрану. Велика кількість життєво важливих процесів протікає на біологічних мембранах, які виконують різноманітні функції в життєдіяльності організму в цілому. Лікування в більшості випадків зв'язане з дією на функціонування мембран. Наприклад, проникливістю біологічних мембран визначається швидкість проникнення в живу тканину лікарських препаратів, від чого залежить їх ефективність. Крім того, дія багатьох ліків направлена на зміну проникливості мембран для деяких речовин або зміну інших властивостей мембран. Порушення мембранних процесів є причиною багатьох паталогій, з іншого боку паталогічні процеси, дія фізичних і хімічних факторів впливають на мембрани. Саме тому вивченню їх властивостей приділяється велика увага.

## 2. Конкретні цілі.

- вивчити структуру та функції біологічних мембран.
- оволодіти технікою дослідження проникності мембран;
- провести експеримент з транспорту речовин через мембрану;
- набути навичок знаходження потенціалів спокою;
- вміти застосовувати отримані знання в нестандартних ситуаціях.

## 3. Базові знання, вміння, навички, необхідні для вивчення теми (міждисциплінарна інтеграція)

Назви попередніх дисциплін	Отримані навички
1. Фізика 2. Біологія 3. Хімія	Володіти знаннями про дифузію, фагоцитоз, поділ клітини, будову ліпідів, білків, вуглеводів, біологічних мембран, властивості мембран

## 4. Завдання для самостійної роботи під час підготовки до заняття..

### 4.1. Перелік основних термінів, параметрів, характеристик, які повинен засвоїти студент при підготовці до заняття:

Термін	Визначення
1. Мембрани 2. Фільтрація 3. Дифузія 4. Осмос	Високопровідні структури клітини. Масовий потік рідини через мембрану, що здійснюється внаслідок різниці гідростатичних тисків. Рух молекул розчиненої речовини з області з більшою в область з меншою її концентрацією. Рух розчинника із області з меншою концентрацією в область з

	більшою концентрацією.
--	------------------------

#### 4.2. Теоретичні питання до заняття.

1. Вкажіть основні структурні компоненти мембран.
2. Чим забезпечується механічна міцність мембран?
3. Які компоненти входять до складу мембранних фосфоліпідів?
4. Назвіть динамічні характеристики мембрани як рідкого кристалу.
5. Чому дорівнює товщина клітинної мембрани?
6. Що таке «кінки»?

#### 4.3. Практичні роботи (завдання), які виконуються на занятті:

##### Інструкція.

№	Завдання	Послідовність виконання	Зауваження
	Обладнання	Торсіонні терези, пінцет, дротяні гачки необхідні для виконання досліду. Розчини різних концентрацій: гіпотонічні та гіпертонічні. Шматки живої тканини, наприклад, невеликі скибочки картоплі.	
1	Підготуйте торсіонний баланс для роботи.	1. Перемкнути аретир у положення «Відкрито». 2. Встановіть рукоятку на нуль шкали. 4. Встановіть рівновагу індикатор рівноваги.	Не стукайте і трясіть терези!
2	Проведіть експерименти.	1. Для зручності ми використовуємо дротяні гачки, на кожен з яких необхідно прикріпити скибочку картоплі. 2. Перед проведенням експерименту кожен шматочок картоплі зважується разом з гачком на торсіонних терезах. 3. Перед кожним зважуванням перевіряється нульовий показчик торсіонних терезах. 4. Потім один шматочок ми кладемо в гіпертонічний розчин, другий шматочок ми кладемо в гіпотонічний розчин. 5. Повторюйте зважування кожні 5 хвилин протягом однієї півгодини (або до зупинки зміни маси).	Перед кожним зважуванням необхідно звільнити шматочки від надлишкової рідини. Обережно використовуйте абсорбуючий папір, не натискайте шматочки, а лише торкайтеся паперу, щоб

		(Кожний шматочок перед зважуванням промокати фільтрувальним папером, щоби прибрати розчин з поверхні шматочоків.) 6. Зверніть увагу на результати, та занесіть їх у таблицю.	зрізати з усіх боків.
3	Результати вимірювання процесу	1. Обчисліть відносну зміну маси (у відсотках до початкової маси). 2. Складіть графік зміни маси (у%) від часу. 3. Аналіз і пояснення отриманих результатів. Висновки: а) Який вид транспорту спостерігався під час експерименту? б) Яка причина спостережуваного зміни напрямку?	Зверніть увагу на результати у% у таблицю. Написати висновки.

### Таблиця для результатів

Час, хв.	Масова частка картоплі			
	У гіпотонічному розчині		У гіпертонічному розчині	
	мг.	%	мг.	%
0		100		100
5				
10				
15				
...				

Графік залежності зміна ваги, %  
часу від зміни маси  
за зразком:

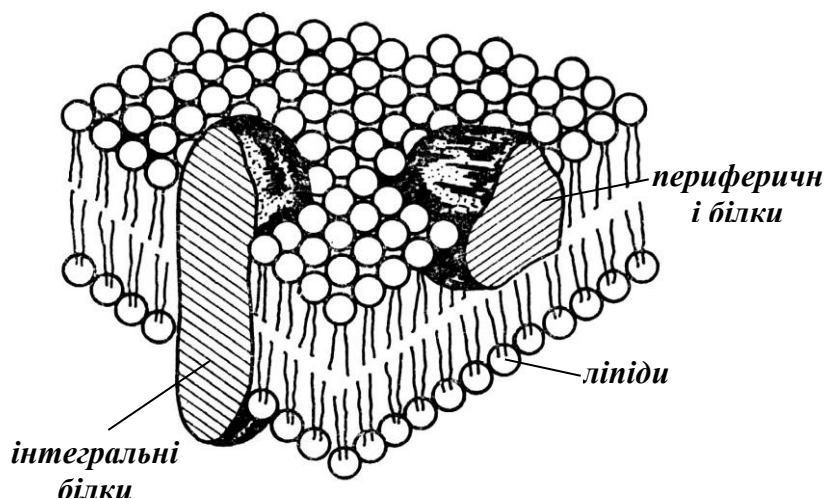
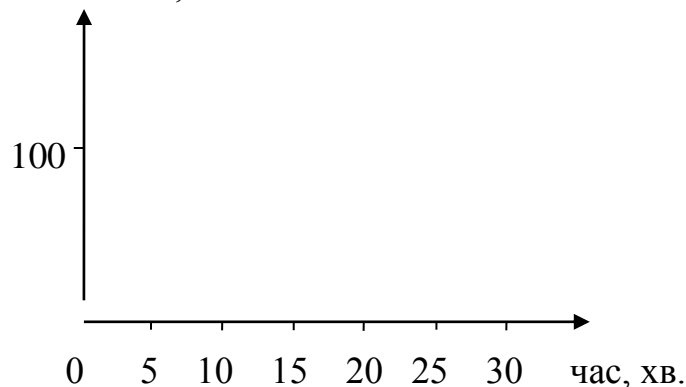


Рис. 1

### Зміст теми.

Основні групи речовин, з яких складаються мембрани – це фосфоліпіди й білки. Крім них, у різних кількостях можуть бути присутні вуглеводи, неорганічні іони й вода, ліпіди інших груп, а згідно деяких даних – і нуклеїнові кислоти.

Фосфоліпіди мембран в основному є фосфогліцеридами. Це складні ефіри трьохатомного спирту гліцерину, що містять у своєму складі 2 довгих вуглеводних радикала жирних кислот (неполярна гідрофобна частина молекули) і залишок фосфорної кислоти (полярна гідрофільна «головка» молекули). Крім фосфоліпідів, важливим компонентом мембран є гліколіпіди й холестерин, роль якого особливо велика в плазматичних мембранах. Гліколіпіди нарівні з білками входять до складу іонних каналів, вони є рецепторами деяких класів речовин, що зумовлюють імунологічні властивості клітин, приймають участь у взаємодіях клітин.

Білки мембран, як правило, нерозчинні у воді, їх поділяють на 3 групи: *структурні, ферментні й рецепторні* (що специфічно зв'язують певні речовини). Білково-ліпідні комплекси є основою структури мембран та їх функціональної організації.

Вуглеводи присутні в основному у вигляді гліколіпідів, глікопротеїдів і мукополісахаридів. Їх доля складає 2-10% сухої маси плазматичних мембран. У клітинах організмів їх може бути значно більше.

Доля води в мембранах може складати 20-35% маси. Мембрани, товщина яких становить 7-8 нм, можна побачити на електронно-мікроскопічних знімках, де вони виглядають трьохшаровими структурами. Мембрани різних клітин і різних організмів розрізняються між собою і структурою, і функціонально.

Згідно рідинно-мозаїчної моделі (рис. 1), основу мембрани складає бішар ліпідів, в якому неполярні "хвости" молекул обох шарів звернені один до одного, а гідрофільні "головки" – до оточуючого водяного середовища. Білки, у залежності від їх будови й функцій, розміщуються в мембрані по-різному. Деякі є *периферичними*, вони адсорбовані на поверхні мембран за рахунок електростатичних сил взаємодії з білками, що занурені в бішар повністю або частково (гідрофільними частинами), і називаються *інтегральними*. Інші інтегральні білки можуть пронизувати бішар повністю, зберігаючи виступаючі частини, які здатні взаємодіяти з молекулами або іонами оточуючого середовища. До числа інтегральних білків належать *білки-переносники*, що забезпечують транспорт речовин через мембрану, *білки, що вистилають пори й формують іонні канали*, деякі *ферментні білки*, тощо. Форма білкових молекул також може бути різною – від глобулярної до фібрилярної. До складу окремих білкових глобул може входити декілька поліпептидних ланцюжків.

Вуглеводні речовини розміщуються як на поверхні мембран (наприклад, мукополісахариди клітинної стінки), так і входять до складу мембран.

І білки, і ліпіди мембран не є жорстко закріпленими в певних позиціях. Зміна температури, електричного поля, хімічного оточення приводять до змін у структурі білків – конформаційних змін. Крім цього, відбувається обмін молекул як у середині кожного шару мембрани, так і між її шарами. Швидкість цього обміну також не змінюється. Усе це зумовлює велику чутливість мембрани до умов, в яких вона знаходиться.

Така схема будови мембрани добре узгоджується з більшістю експериментальних даних.

В окремих випадках експериментальні дані й рентгеноструктурний аналіз підтверджують справедливість глобулярної моделі. Один з її варіантів – ліпідні глобули, оточені білками, які забезпечують структурну стабільність мембрани – нині спростовується експериментальними даними. Другий варіант – білкові глобули, розміщені двома шарами, а порожнини між ними заповнені

фосфоліпідами, полярні «головки» яких звернені в бік оточуючого середовища. Така структура, можливо, реалізована в мітохондріальних мембранах.

Біологічні мембрани виконують цілий ряд функцій.

1. *Структурна функція.* Зовнішня мембрана клітини відділяє її вміст від оточуючого середовища, визначає її форму. Оболонки органоїдів розділяють вміст різних зон клітини, забезпечують їх різний склад і, відповідно, різні біохімічні реакції в них.

2. *Захисна функція.* Якщо цитоплазматична мембрана захищає вміст клітин від небажаних впливів оточуючого середовища, то мембрани органоїдів виконують аналогічну функцію у відношенні до власного вмісту. Наприклад, мембрани лізосом захищають клітину від її ж літичних ферментів, яких достатньо, щоб викликати повний аутоліз (саморозпадання) клітин.

3. *Транспортна функція.* Здійснюється вона за рахунок наявності пор, каналів і білків-переносників. Транспорт речовин по цих структурах здійснюється вибірково й залежить від виду та складу речовин. Пори й канали мають малий діаметр (менше 1 нм), вислані білками, полярні групування яких взаємодіють з проникаючими в пори речовинами, сприяють або, навпаки, перешкоджають їх перенесенню. Гідрофобні групи взаємодіють з ліпідами мембрани. Проникливість мембрани може змінюватися в залежності від стану клітини.

4. На мембранах зосереджена більша частина ферментів клітини. Цим мембрани *організують біохімічні реакції*, у тому числі й багатетапні. Вони забезпечують суворо визначену направленість реакцій за рахунок визначеної послідовності в розміщенні ферментів. Яскравим прикладом є дихальні ланцюжки мітохондрій.

5. *Електрогенна функція.* Полягає в тому, що зовнішня мембрана клітин завдяки наявності АТФ-аз – переносників іонів створює різницю концентрацій  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^+$  і  $Cl^-$  між цитоплазмою та міжклітинним середовищем. Різна проникливість мембрани для цих та інших іонів призводить до появи надлишкового від'ємного заряду в середині клітини за рахунок дифузії іонів  $K^+$  в оточуюче середовище (і, відповідно, різниці потенціалів між внутрішньою та зовнішньою сторонами мембрани). АТФ-аза (аденозинтрифосфатаза) – загальна назва білків, що розкладають АТФ на АДФ і фосфат. Внаслідок цього виділяється енергія, яка використовується для здійснення ендотермічних реакцій.

6. Мембрани створюють *адгезію* – зчеплення клітин. Ця властивість зумовлює існування багатоклітинних організмів. Адгезія відбувається, незважаючи на наявність одноіменного заряду клітин.

Основні механізми адгезії:

- а) механічна взаємодія – зчеплення виступаючих ділянок мембран;
- б) "склеювання" мембран з участю органічних солей кальцію, які взаємодіють з карбоксильними групами білків і фосфатними групами ліпідів;
- в) взаємодія білків, що покривають мембрану, утворення пептидних зв'язків.

7. Мембрани виконують *рецепторну функцію*. На мембранах знаходяться рецепторні білки чи комплекси, які сприймають вплив оточуючого середовища (наприклад, взаємодіють з гормонами чи медіаторами) і, відповідно, міняють метаболізм клітини.

8. *Антигенна функція.* Полягає в тому, що на клітинній мембрані знаходяться білкові структури, що характерні для клітин даної тканини організму. Ці структури

призначені для взаємного «пізнання» клітин. Завдяки їх наявності можливе здійснення імунного захисту організму.

### **Матеріали для самоконтролю.**

#### **А. Завдання для самоконтролю (Тестові завдання)**

##### **1. Товщина біологічної мембрани:**

- 1) 10 А
- 2) 10 нм
- 3) 0,1 мкм
- 4) 10 мкм

##### **2. Рідко-мозаїчна модель біологічної мембрани включає в себе:**

- 1) білковий шар, полісахариди і поверхневі ліпіди;
- 2) ліпідний моно шар і холестерин;
- 3) ліпідний біошар, білки, мікрофіламенти;
- 4) ліпідний біошар.

##### **3. Товщина біологічної мембрани складає порядку:**

- 1) 0,01 нм;
- 2) 0,1 нм;
- 3) 10 нм;
- 4) 100 нм;
- 5) 1 мкм.

##### **4. Згідно рідко-мозаїчної моделі, біологічна мембрана складається:**

- 1) з ліпідного шару;
- 2) двох шарів ліпідів з білковим шаром між ними;
- 3) двох шарів ліпідів, оточених зверху і знизу двома суцільними білковими шарами;
- 4) біліпідного шару, білків і мікроелементів;
- 5) шару ліпідів із вкрапленнями білків і вуглеводів.

##### **5. Латеральною дифузією називається дифузія:**

- 1) молекул з одного ліпідного шару в інший;
- 2) молекул через біологічну мембрану;
- 3) молекул у мембрані у межах одного шару;
- 4) білкових молекул із одного ліпідного шару в інший;
- 5) іонів через двошарову мембрану.

##### **6. Перехід молекули з одного ліпідного шару в інший називається:**

- 1) «фліп-флоп»-переходом;
- 2) полегшеною дифузією;
- 3) активним транспортом;
- 4) латеральною дифузією;
- 5) пасивним транспортом.

##### **7. Ліпосомами називаються:**

- 1) мономолекулярні шари на межі розділу гідрофобної і гідрофільної фази;
- 2) плоскі бішарові ліпідні мембрани;
- 3) біліпідні замкнуті структури;
- 4) шари ліпідів і білків, нанесені на поверхню води;
- 5) те ж саме, що і міцели.

##### **8. Ліпіди в складі біологічних мембран знаходяться:**

- 1) у твердому аморфному стані;

- 2) *твердокристалічному стані;*
- 3) *рідкому аморфному стані;*
- 4) *рідкокристалічному стані;*
- 5) *правильної відповіді немає.*

**9. При фазовому переході мембран із рідкокристалічного в гель-стан площа мембрани, що приходить на одну молекулу ліпиду:**

- 1) *зменшується;*
- 2) *збільшується;*
- 3) *не змінюється.*

**10. При фазовому переході мембран із рідкокристалічного в гель-стан товщина мембрани:**

- 1) *зменшується;*
- 2) *збільшується;*
- 3) *не змінюється.*

### **Б. Задачі для самоконтролю**

1. Знайти коефіцієнт дифузії молекули сечовини якщо за 1 год вона продифундувала у воді на 3,1 мм.
2. Визначте рівноважний потенціал для іонів хлору в еритроцитах людини при температурі 23°C. Концентрація іонів хлору всередині клітини 80 ммоль/л, а ззовні – 3 ммоль/л.
3. Мембрана мітохондрії товщиною до 6 нм підтримує різницю потенціалів  $\Delta\varphi = 180\text{ мВ}$ . Знайти напруженість електричного поля в мембрані.
4. Коефіцієнт дифузії глюкози  $D = 5,34 \cdot 10^{-10} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ . За який час молекула глюкози продифундує на: а) 2 мкм; б) 0,4 м?

### **Література**

#### **Основна література:**

1. Медична і біологічна фізика/ За ред. О. В. Чалого, 2-ге видання.- К.: Книга-плюс, 2005.
2. Медична і біологічна фізика / За ред. О. В. Чалого. Т. 1 – К.: Віпол,1999; Т. 2- К.: Віпол, 2001.
3. Медична і біологічна фізика (практикум) за ред. О. В. Чалого. - К.: Книга-плюс, 2003.
4. Свердан П. Л. Вища математика: Аналіз інформації у математиці та медицині. -Львів: Світ, 1998.
5. Чалий О. В., Стучинська Н. В., Меленевська А. В. Вища математика. - К.: Техніка, 2001.
6. Костюк П. Г., Зима В. Л., Магура І. С., Мірошниченко М. С., Шуба М.Ф. Біофізика. – К.: Обереги, 2001.
7. Тиманюк В. А., Животова Е. Н. Биофизика. – Харьков, Изд-во НФАУ, 2003.
8. Зима В. Л. Біофізика. Збірник задач. - К.: В. шк.,2001.
9. Русяев В. Ф., Мищенко С. В., Пронина Н. В. Медицинская физика (сборник вопросов и задач). – Полтава, АСМИ 2001.
10. Іщейкіна Ю.О., Макаренко В.І., Тронь Н.В. Медична і біологічна фізика [Навчальний посібник] – Полтава: Шевченко Р.В., 2012. – 352 с., іл.



### *Додаткова література:*

1. Ремизов А. Н. Медицинская и биологическая физика. – М.: Высш. шк., 1992.
2. Антонов В. Ф. и др. Биофизика. – М.: Владос, 2000.
3. Эссаулова И. Л., Блохина М. Е., Гонцов Л. Д. Руководство к лабораторным работам по медицинской и биологической физике. – М: Высш. шк., 1987.
4. Ремизов А. Н., Исакова Н. Х., Максина Л. Г. Сборник задач по медицинской и биологической физике. – М: Высш. шк., 1978.
5. Владимиров Ю. А., Рощупкин Д. И., Потапенко А. Я., Деев А. И. Биофизика. - М.: Медицина, 1983.
6. Рубин А. Б. Биофизика. – М.: Высш. шк., 1987.
7. Волькенштейн М. В. Биофизика. – Высш. шк., 1987.
8. Самойлов О. В. Медицинская биофизика. – Л.: Изд-во ВМА, 1986.
9. Губанов Н. И., Утенбергов А. А. Медицинская биофизика. – М.: Медицина, 1981.
10. Лабораторный и лекционный эксперимент по медицинской и биологической физике / Под ред. Кройтора Д. С., Ремизова А. Н., Самойлова В. О. – Кишинев: Лумина, 1983.
11. Агапов Б. Т., Максютин Г. В., Островерхов П. И. Лабораторный практикум по физике. – М.: Высш. шк., 1982.
12. Хакен Г. Синергетика. – М.: Мир, 1980.
13. Чернавский Д. С. Синергетика и информатика. – М.: УРСС, 2004.
14. Чалый А. В., Цехмистер Я. В. Флуктуационные модели процессов самоорганизации. К.: Випол, Випол, 19994.
15. Чалый А. В. Неравновесные процессы в физике биологии. – К.: Наук. думка, 1997.
16. Чалый О. В. Синергетичні принципи освіти та науки. – К.: Віпол, 2000.