

К. М. Задорожний  
О. М. Утевська  
Д. В. Леонтєв

---

# БІОЛОГІЯ і ЕКОЛОГІЯ

---

ПРОФІЛЬНИЙ РІВЕНЬ

Підручник для 11 класу  
закладів загальної середньої освіти

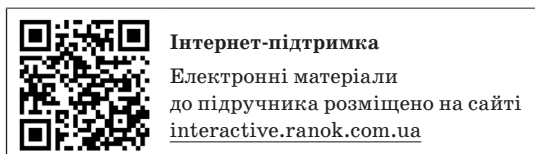
Харків  
Видавництво «Ранок»  
2019

УДК 57/502:37.016(075.3)

Біологія і екологія (профільний рівень) : підруч. для 11 кл. закл. загал. серед. освіти / К. М. Задорожний, Д. В. Леонтєв, О. М. Утевська. — Харків : Вид-во «Ранок», 2019. — с. : іл.

ISBN

УДК 57/502:37.016(075.3)



ISBN

© К. М. Задорожний, О. М. Утевська,  
Д. В. Леонтєв, 2019  
© Д. В. Леонтєв, ілюстрації, 2019  
© І. І. Нестеренко, обкладинка, 2019  
© ТОВ Видавництво «Ранок», 2019

Знайомство з підручником..... 5

## Тема 6. Адаптації

§ 1. Подразливість біологічних об'єктів.....	6
§ 2. Подразливість одноклітинних організмів та грибів.....	8
§ 3. Подразливість у рослин.....	10
§ 4. Подразливість у тварин.....	12
§ 5. Види рецепторів. Сприйняття сигналів.....	14
§ 6. Сенсорні системи тварин.....	16
§ 7. Рефлекси.....	18
§ 8. Подразнення і вища нервова діяльність.....	20
§ 9. Слова і символи як подразники.....	22
§ 10. Друга сигнальна система та еволюція.....	24
§ 11. Подразливість і пристосування до умов середовища.....	26
§ 12. Подразливість у взаємодіях живих організмів.....	28
§ 13. Рух у живій природі.....	30
§ 14. Рухи клітин.....	32
§ 15. Рухи м'язів.....	34
§ 16. Рухи рослин.....	36
§ 17. Рухи тварин.....	38
§ 18. Поширення організмів унаслідок окультурення й одомашнення.....	40
§ 19. Міграції тварин.....	42
§ 20. Саморегуляція біологічних систем.....	44
§ 21. Саморегуляція на молекулярному рівні.....	46
§ 22. Саморегуляція на клітинному рівні.....	48
§ 23. Саморегуляція на тканинному рівні.....	50
§ 24. Нервова й гуморальна саморегуляція на рівні організму.....	52
§ 25. Терморегуляція. Водно-сольовий гомеостаз. Детоксикація.....	54
§ 26. Імунітет як засіб збереження гомеостазу.....	56
§ 27. Поведінкові механізми збереження гомеостазу.....	58
§ 28. Регуляція в рослин.....	60
§ 29. Вияви саморегуляції біологічних систем надорганізмових рівнів.....	
§ 30. Адаптації та їхнє значення.....	
§ 31. Механізми адаптацій.....	
§ 32. Адаптації в прокариотів.....	
§ 33. Адаптації в протистів.....	
§ 34. Адаптації в рослин.....	

§ 35. Пристосування рослин до розмноження і поширення.....	
§ 36. Захисні реакції в організмі рослин.....	
§ 37. Роль ендокринної та нервової систем для адаптації в людей і тварин.....	
§ 38. Адаптації людини й тварин до жары й холоду.....	
§ 39. Адаптації людини й тварин до гіпоксії, тиску, концентрації солей.....	
§ 40. Адаптації тварин до умов харчування.....	
§ 41. Добові та сезонні адаптації тварин.....	
§ 42. Імунні адаптаційні реакції. Фізіологічні механізми підтримання гомеостазу в умовах крововтрати. Реакції на вплив токсичних речовин.....	
§ 43. Регенерація.....	
§ 44. Адаптації до фізичного навантаження.....	
§ 45. Стрес та дистрес.....	
§ 46. Вікова динаміка адаптаційних можливостей.....	
§ 47. Компенсаторні можливості організму людини.....	
§ 48. Адаптація як результат еволюції.....	
§ 49. Формування коадаптацій у симбіотичних організмів.....	
Основні положення теми «Адаптації».....	

## Тема 7. Біологічні основи здорового способу життя

§ 50. Здоровий спосіб життя та його складові.....	
§ 51. Вплив зовнішніх факторів на здоров'я людини.....	
§ 52. Безпека і статеві культури.....	
§ 53. Неінфекційні захворювання опорно-рухової системи.....	
§ 54. Неінфекційні захворювання основних систем органів.....	
§ 55. Неінфекційні захворювання нервової системи.....	
§ 56. Імунна система та імунітет.....	
§ 57. Онкологічні захворювання.....	
§ 58. Спадкові захворювання.....	
§ 59. Інфекційні та інвазійні захворювання.....	
§ 60. Діагностика інфекційних та інвазійних захворювань.....	
§ 61. Паразитичні членистоногі.....	
§ 62. Вірусні захворювання.....	

- § 63. Боротьба з вірусними та пріонними захворюваннями.....
- § 64. Боротьба з бактеріальними захворюваннями.....
- § 65. Боротьба з мікологічними захворюваннями.....
- § 66. Боротьба з протозойними захворюваннями.....
- § 67. Боротьба з гельмінтозами.....
- Основні положення теми «Біологічні основи здорового способу життя» .....

## Тема 8. Селекція та біотехнологія

- § 68. Сучасна селекція
- § 69. Штучний добір.....
- § 70. Методи селекції.....
- § 71. Схрещування та розведення .....
- § 72. Селекція рослин.....
- § 73. Селекція тварин
- § 74. Селекція мікроорганізмів.....
- § 75. Генетична і клітинна інженерія.....
- § 76. Генетично модифіковані організми.....
- § 77. Біотехнологія.....
- Основні положення теми «Селекція та біотехнологія» .....

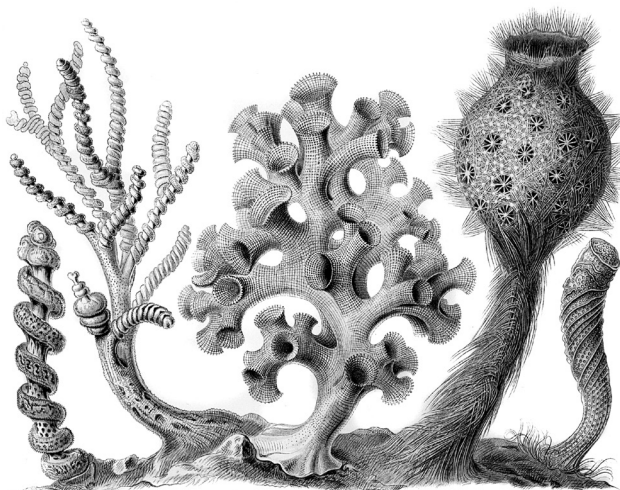
## Тема 9. Екологія

- § 78. Предмет і завдання екології.....
- § 79. Методи екологічних досліджень.....
- § 80. Екологічні фактори .....
- § 81. Основні закони факторіальної екології .....
- § 82. Адаптація до впливу екологічних факторів .....
- § 83. Екологічна ніша.....
- § 84. Заповнення екологічних ніш .....

- § 85. Популяції. Статичні параметри популяцій.....
- § 86. Динамічні параметри популяцій. Екологічні стратегії.....
- § 87. Екосистеми. Види екосистем .....
- § 88. Просторова структура біоценозів .....
- § 89. Видова структура біоценозів.....
- § 90. Тимчасові зміни в екосистемах.....
- § 91. Трансформація речовини й енергії в екосистемах.....
- § 92. Структура та складові біосфери .....
- § 93. Біогеохімічні цикли.....
- § 94. Еволюція біосфери.....
- § 95. Сучасний етап розвитку біосфери .....
- Основні положення теми «Екологія» .....

## Тема 10. Сталій розвиток та збалансоване природокористування

- § 96. Антропогенний вплив на біосферу .....
- § 97. Якість довкілля та його забруднення.....
- § 98. Порушення якості атмосфери .....
- § 99. Порушення якості води .....
- § 101. Проблеми біологічного різноманіття.....
- § 102. Охорона природи .....
- § 103. Природокористування та природні ресурси .....
- § 104. Закони природокористування.....
- § 105. Екологізація природокористування.....
- § 106. Шляхи реалізації збалансованого розвитку .....
- § 107. Шляхи вирішення екологічних проблем
- Основні положення теми «Сталій розвиток та збалансоване природокористування».....
- Селекція в Україні .....
- Предметний показчик .....



# Знайомство з підручником

Шановні одинадцятикласники! Цього року ви вивчатимете такі теми біології:

- Адаптації
- Біологічні основи здорового способу життя
- Селекція та біотехнологія
- Екологія
- Сталий розвиток та збалансоване природокористування

Весь необхідний матеріал ви знайдете в підручнику, який містить п'ять розділів відповідно до тем, що будете вивчати.

Підручник побудовано таким чином, щоб вам було зручно з ним працювати. Погортайте сторінки і ознайомтеся з його структурою.

1. Кожний параграф розташований на одному розвороті. Весь матеріал одного уроку — перед очима. Крім того, таке розташування полегшить пошук потрібного параграфа.

2. На початку кожного параграфа пропонується декілька тем, які необхідно пригадати, перш ніж вивчати новий матеріал.

3. Деякі параграфи, де це необхідно, містять практичні роботи.

4. Закінчується кожний параграф двома рубриками:

- «Ключова ідея» — це головна думка, висновок;
- «Запитання та завдання» — компетентнісні завдання.

5. Багато інформації наведено у вигляді схем, таблиць, ілюстрацій. Вони полегшать сприйняття й запам'ятовування нового матеріалу.

6. Кожний розділ закінчується узагальнюючим розворотом, у якому стисло подано інформацію, викладену в темі, що вивчалася.

7. У кінці підручника ви знайдете алфавітний покажчик, який полегшить пошук необхідної інформації.

Крім того, у підручнику є електронний додаток, розміщений на сайті. У ньому ви знайдете тестові завдання до тем.

## Умовні позначення у підручнику



— Поміркуйте



— Згадайте



— Дізнайтеся більше



— Ключова ідея



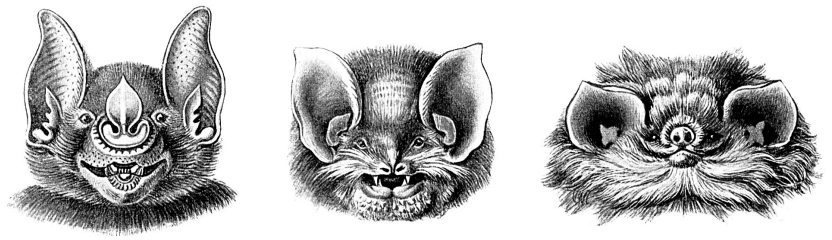
— Практична робота



— Запитання та завдання

*Сподіваємося, що вам буде зручно і легко працювати за нашим підручником.  
Бажаємо вам успіхів у навчанні!*

# Тема 6. Адаптації



## § 1. Подразливість біологічних об'єктів



Поміркуйте

Чи існують неживі системи, які б реагували на зовнішні впливи?



Згадайте

- Властивості живого
- Будову клітинної мембрани
- Механізм дії гормонів

### Подразливість як реакція на подразнення

Однією з базових властивостей живих організмів є подразливість. **Подразливістю** називають здатність організмів переходити в діяльний стан зі стану фізіологічного спокою у відповідь на дію певних факторів (подразників). Сам процес дії подразника на організм називають **подразненням**.

Здатність відповідати на вплив факторів властива не лише живим організмам. Так, рН буферних розчинів у відповідь на додавання невеликих кількостей кислот або лугів відновлюється самостійно. Але для живих організмів здатність до подразливості є обов'язковою для виживання. Без цієї властивості організми не спроможні підтримувати свій гомеостаз. Подразливість має місце на всіх рівнях організації живого.

### Види подразників

Подразники, які здатні діяти на живі організми, можна розділити на такі групи: за природою, за силою та за біологічним значенням.

*За природою* подразники поділяють на фізичні, хімічні та змішані. **Фізичні** подразники діють на організми за допомогою фізичних факторів і, відповідно, бувають механічними, тепловими, світловими та електричними. Та-

кими подразниками, наприклад, є тиск води на мешканців водойм, світло сонця, низька чи висока температура середовища тощо.

Деякі речовини — кислоти, луги, гормони, вітаміни, продукти обміну речовин тощо — є **хімічними** подразниками для живих організмів. Ці речовини перебувають в організмах у вигляді молекул або окремих йонів і діють на клітинному рівні.

**А змішані** подразники здійснюють на організми комбінований вплив, який складається і з фізичних, і з хімічних компонентів. До таких подразників належать, скажімо, осмотичний тиск і рН середовища.

*За силою* подразники бувають пороговими, підпороговими і надпороговими. **Порогові** подразники мають силу, мінімально необхідну для виникнення відповідної реакції організму. У **підпорогових** подразників сила впливу на організм менша за порогову і не може викликати реакцію організму. У **надпорогових** така сила, відповідно, є більшою за порогову. Для різних організмів величина порогового показника може бути різною. Так, сова здатна бачити предмети за умови рівня освітлення, що набагато менший, ніж той, за якого ці ж предмети буде бачити людина.

*За біологічним значенням* подразники поділяють на адекватні й неадекватні. **Адекватними** є подразники, для сприйняття яких в організмі пристосовані певні збудливі структури. Наприклад, рецептори сітківки сприймають світло. А **неадекватними** є подразники, до дії яких відповідні структури організму не пристосовані. Ті ж рецептори сітківки не призначені для сприйняття механічних подразнень. Але в разі натискання на них можуть виробляти сигнали і передавати їх у мозок.

### Подразливість на клітинному рівні. Клітинні рецептори

На рівні клітин подразливість здійснюється за допомогою спеціальних молекуляр-



них структур і різноманітних біохімічних механізмів. Основою для сприйняття дії подразників є клітинні рецептори.

Рецептори клітин є білковими молекулами, які розташовані на мембрані або всередині клітини і здатні реагувати шляхом зміни своєї конформації на дію певного фізичного фактора (світла, тепла тощо) або молекули певної речовини. Внутрішньоклітинні рецептори можуть розміщуватися на поверхні клітинних органел або в цитоплазмі клітини.

Молекули певних речовин, що спроможні оборотно зв'язуватися з рецепторами нековалентними зв'язками, називають **лігандами**. Після зміни своєї конформації рецептори активізують ланцюжок сигналів, і запускається механізм відповіді клітини на подразнення (мал. 1.1).

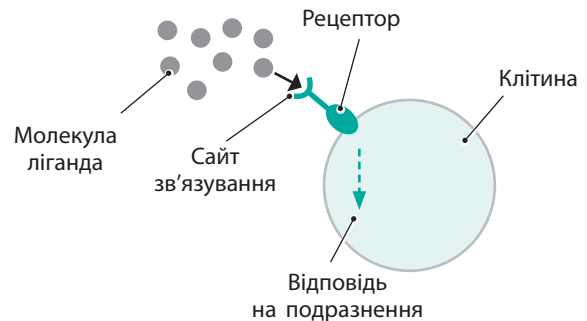
Для взаємодії з лігандами рецептори мають специфічні ділянки (сайти зв'язування), до яких ліганди приєднуються. Крім сайтів зв'язування, рецептори можуть мати й інші ділянки, до яких здатні приєднуватися речовини-модулятори. Ці речовини посилюють або послаблюють реакцію рецептора на дію ліганда. Така будова рецепторних молекул дозволяє ефективно регулювати їхню роботу.

### Трансмембранна передача сигналу

*За механізмом дії* найбільше рецепторів:

- 1) змінюють потенціал мембран;
- 2) запускають каскад метаболічних реакцій та ін.

Рецепторами, що змінюють потенціал мембран, є йонні канали. Через приєднання до них лігандів проникність каналу для йонів змінюється, як і, відповідно, мембранний потенціал. Такі рецептори забезпечують зв'язок між нейронами та клітинами, які отримують сигнали від нейронів.



Мал. 1.1. Механізм роботи рецептора

Рецептори, що запускають каскад метаболічних реакцій, після взаємодії з лігандами змінюють метаболічні процеси в клітині, стимулюючи дію вторинних посередників (невеликих сигнальних молекул). А вже ці посередники впливають на білки, що прямо задіяні в певних метаболічних процесах.

Рецептори, які запускають каскад метаболічних реакцій, поділяються на дві великі групи. Перша з них — це рецептори, що пов'язані з G-білками. Ці рецептори складаються із семи доменів, а їхній кінчик, який розташований у цитоплазмі, зв'язується зі спеціальним G-білком. G-білок має специфічну ферментну активність і може запускати каскад реакцій вторинних посередників для передачі сигналу. Такими рецепторами, наприклад, є рецептори, які взаємодіють із вазопресином.

Друга група — це рецептори, пов'язані безпосередньо з ферментами. Такі рецептори складаються з одного домену, внутрішньоклітинна частина якого сама діє на певний фермент без участі посередників. Така дія також запускає каскад реакцій вторинних посередників. До рецепторів цього типу належать рецептори, які взаємодіють з інсуліном.



#### Ключова ідея

Подразливість — це властивість живих організмів реагувати на дію певних факторів — подразників. Подразники можуть бути фізичними, хімічними або змішаними. На рівні клітини подразнення сприймають спеціальні молекулярні структури — рецептори. Найбільш поширеними рецепторами є такі, що змінюють потенціал мембран і запускають каскад метаболічних реакцій.



#### Запитання та завдання

**1.** У випадку цукрового діабету другого типу підшлункова залоза продовжує виробляти достатню кількість інсуліну. Але цукровий діабет продовжує розвиватися. Відомо, що ця проблема пов'язана з клітинними інсуліновими рецепторами. Запропонуйте можливий механізм цього явища та обґрунтуйте свою точку зору. **2.** Які клітинні рецептори еволюційно могли виникнути першими? Поясніть свою думку.

## § 2. Подразливість одноклітинних організмів та грибів



Поміркуйте

Деякі одноклітинні організми (амеби, інфузорії, хламідомонади) постійно рухаються.

Чим визначається напрямок цього руху?



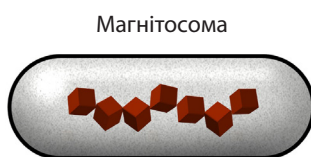
Згадайте

- Рецептор
- Сигнал
- Світлочутливе вічко

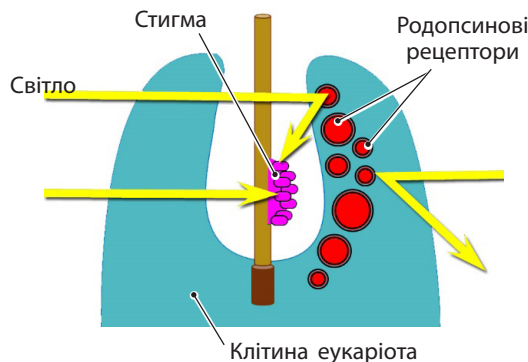
### Подразливість у прокариотів, протистів і грибів

Як і в будь-яких живих організмів, життєдіяльність одноклітинних про- та еукаріотів залежить від наявності харчових ресурсів, температури, кислотності, солоності, освітленості середовища тощо. Рецептори, відповідальні за сприйняття певних сигналів із навколишнього середовища, містяться на цитоплазматичній мембрані або всередині клітини одноклітинних організмів. Як правило, рецептори є окремими білковими молекулами. Таким чином, наприклад, влаштовані рецептори до цукрів у кишкової палички. Але іноді в одноклітинних розвиваються цілі органели, пов'язані з рецепторною функцією. Так, у деяких протеобактерій у цитоплазмі є *магнітосома* (мал. 2.1) – довгий ланцюжок, утворений кристалами  $Fe_3O_4$  або  $Fe_3S_4$ . Цей ланцюжок виконує функцію магнітної стрілки компаса, дозволяючи бактерії орієнтуватись у магнітному полі.

Важливу роль у житті організмів відіграє чутливість до світла. У цитоплазматичних мембранах бактерій містяться фоторецептори — *фітохром* та *криптохром* (докладні-



Мал. 2.1. За допомогою магнітосоми протеобактерії орієнтуються в магнітному полі



Мал. 2.2. Принцип роботи стигми в евглени

ше див. § 3). Археї та еукаріоти використовують для світлочутливості білок *родопсин*, до складу якого входить терпеноїдна сполука *ретиаль* (провітамін А). У багатьох одноклітинних та колоніальних еукаріотів у клітині є спеціальна органела – *стигма*, або *світлочутливе вічко*. Назва цієї структури може ввести в оману: сама стигма світла не відчуває. Натомість вона є скупченням гранул пігменту каротину. Залежно від положення джерела світла стигма або відбиває його проміні на родопсинові рецептори, або, навпаки, відкидає на них тінь (мал. 2.2). Це допомагає клітині визначитись із напрямком руху до світла.

Особливо складна будова характерна для світлочутливих органел деяких динофітових водоростей, наприклад варновії. В цього одноклітинного організму стигма має власну «роговицю», утворену видозміненою мітохондрією, «кришталік», утворений із цистерн ЕПС, та «сітківку», що є видозміненим хлоропластом.

Рухові реакції клітин у відповідь на подразник, що діє з одного боку, називають *таксисами*. До таксисів здатні усі рухливі одноклітинні (бактерій, археї, протисти), а також вільні клітини багатоклітинних організмів: сперматозоїди, фібробласти, лейкоцити (мал. 2.3) тощо. Пересування клітин під час таксису забезпечується органелами руху (докладніше див. § 14).

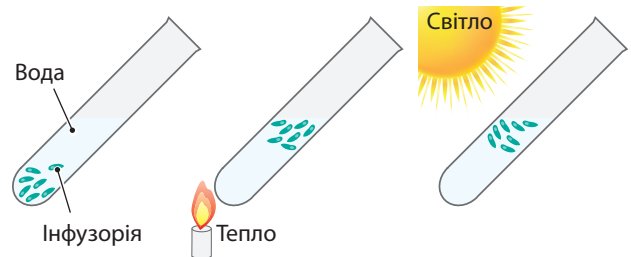
Залежно від напрямку руху, до джерела подразнення чи від нього, виокремлюють, відповідно, *позитивні* і *негативні* таксиси.





### Види таксисів за джерелом подразнення

Назва таксису	Напрямок руху
Фототаксис	У бік світла (водорості, гамети грибів) або від нього (молоді плазмодії слизовиків)
Термотаксис	До ділянки з оптимальною температурою (інфузорії, джгутиконосці)
Хемотаксис	У напрямку збільшення або зменшення концентрації певної речовини — глюкози, хлориду натрію, сигнальної молекули (властивий усім рухливим одноклітинним)
Гідротаксис	У напрямку збільшення вологості (ґрунтові амеби)
Аеротаксис	У бік збільшення концентрації кисню (аеробні організми) або її зменшення (анаеробні організми)
Магнітотаксис	У магнітному полі (протеобактерії, інфузорії)
Геотаксис (гравітаксис)	Перпендикулярно до напрямку дії сили тяжіння (донні мікроорганізми)
Тигмотаксис	Зумовлений механічним контактом із подразником, наприклад хижакком



**Мал. 2.3.** Рух одноклітинних організмів забезпечує їх переміщення в більш сприятливі умови середовища

### Міжорганізмova передача сигналів у прокариотів, протистів і грибів

Прокариоти та нижчі еукариоти здатні здійснювати *міжклітинну комунікацію* — обмін інформацією між окремими клітинами. Цей механізм дозволяє їм: 1) консолідовано реагувати на дію зовнішніх умов, наприклад, присутність поживних речовин або антибіотиків (бактерії); 2) обмінюватися генетичною інформацією (бактерії, гриби); 3) утворювати скупчення — біоплівки, псевдоплазмодії, плодові тіла (міксобактерії, деякі слизовики; мал. 2.4).



**Мал. 2.4.** Плодове тіло заввишки 1 мм, яке утворили міксобактерії, що зібрались разом завдяки міжклітинній комунікації



#### Ключова ідея

Прокариоти, протисти і гриби реагують на хімічні речовини, світло, дотик, магнітне поле, сигнали інших організмів. Чутливість до цих факторів забезпечується білковими рецепторами, подекуди зібраними у спеціальні органели — стигми, магнетосоми тощо. Рухові реакції одноклітинних організмів у відповідь на спрямовану дію певного фактора називають таксисами.



#### Запитання та завдання

1. Яку роль у житті бактерій може відігравати чутливість до магнітного поля?
2. Запропонуйте дослід із культурою хламідомонади, який довів би її здатність до фототаксису без використання мікроскопа.
3. Чи могла міжклітинна комунікація відіграти роль у виникненні багатоклітинних організмів?

### § 3. Подразливість у рослин



Поміркуйте

Чи здатні рослини відчувати дотик, світло, температуру? Як можна це довести?



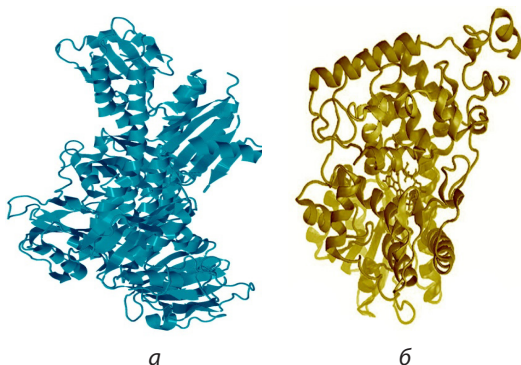
Згадайте

- Хлорофіл
- Фітогормони
- Комахоїдні рослини

#### Фізіологічні основи подразливості у рослин

Життєдіяльність вищих рослин залежить насамперед від наявності світла, води і мінеральних речовин. Здатність реагувати на дію цих чинників забезпечується білковими рецепторами, що зосереджені на мембранах та в цитоплазмі рослинних клітин.

Унаслідок збудження рецептора відбувається виділення сигнальних сполук або електричне збудження клітин. Коли хімічний або електричний сигнал досягає своєї мішені, рослина здійснює пристосувальну реакцію, спрямовану на досягнення оптимальних умов існування. Вона накопичує або виділяє певні речовини, відкриває або закриває продиhi, переходить до наступної стадії розвитку або у стан спокою, змінює напрямок росту. До особливо виразних реакцій рослин на зовнішній вплив належать швидкі рухи, помітні неозброєним оком (докладніше див. § 16).



Мал. 3.1. Молекули фітохрому (а) та криптохрому (б)

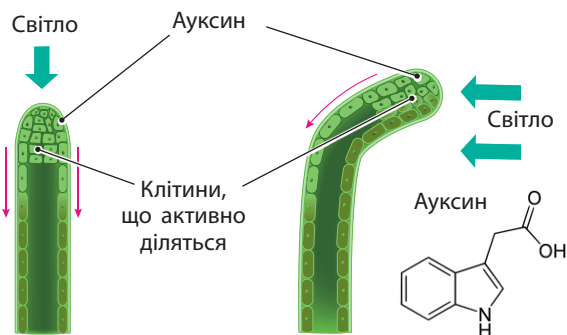
На відміну від багатьох тварин, рослини не мають специфічних органів чуття, але їхні рецепторні білки можуть бути зосереджені у складі спеціалізованих клітин та навіть тканин.

#### Реакція рослин на світло, гравітаційне поле, зміну температури і вологості

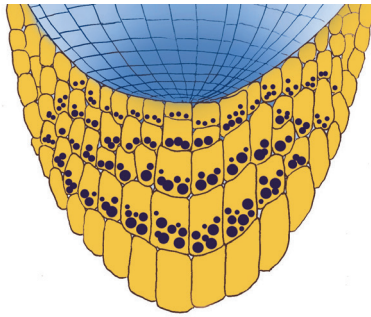
Рослини, за деякими винятками, критично залежать від світла, тож не викликає сумнівів, що вони здатні його розпізнавати. Однак, як не дивно, фоторецепція рослин ніяк не пов'язана з хлорофілом. Цю функцію забезпечують інші речовини, а саме фітохроми та криптохроми (мал. 3.1), присутні у цитоплазматичній мембрані та цитоплазмі.

*Фітохроми* – рецепторні білки, до складу яких входять жовчні пігменти (*біліни*). Фітохроми мають синьо-зелене забарвлення і реагують на червоне світло – саме цей тип світла поглинається хлорофілом, тож є найважливішим для рослин. Під впливом фітохрому рослини проростають із насіння, утворюють листки та починають квітнути. Саме завдяки фітохрому хлорофіл синтезується лише на світлі. Нещодавно було доведено, що фітохроми відіграють також роль основних терморекцепторів рослинного організму.

*Криптохроми* — рецепторні білки, до складу яких входить флавоноїдний пігмент *птерин*. Вони мають жовте забарвлення і поглинають синє та ультрафіолетове світло. Криптохроми відіграють важливу роль у відкриванні продиhiв, диференціюванні пластид у дозрілі хлоропласти, розкритті



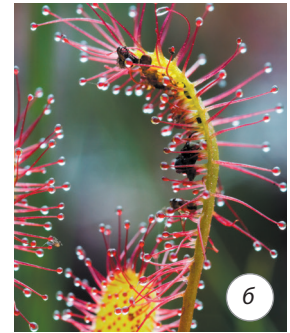
Мал. 3.2. Вигинання пагона в напрямку джерела світла



**Мал. 3.3.** Статоліти в рецепторних клітинах кореневого чохла



**Мал. 3.4.** Закриття листка в хижих рослин: венериної мухоловки (а) та росички (б)



сім'ядоль і розпрямленні верхівки молодого пагона. З дією цих пігментів пов'язане і вигинання стебла в бік джерела світла. Клітини верхівки молодого пагона виробляють фітогормон *ауксин*. Ця речовина збільшує приток поживних речовин у верхівку і сприяє прискоренню її зростання. Під дією криптохромів, збуджених світлом, вироблення ауксину зменшується. Тож частина рослини, яка освітлена гірше, починає рости швидше. У результаті пагін вигинається в бік джерела світла (мал. 3.2).

Орієнтація у просторі дозволяє корням рослин досягати ґрунту й одержувати звідти воду та поживні речовини. Здатність відчувати силу тяжіння (гравітаційне поле Землі) надають кореню *статоцити* — чутливі клітини, розташовані при основі кореневого чохла. У статоцитах є *статоліти* (мал. 3.3) — лейкопласти з великими крохмальними зернами. Відхилення від оптимального напрямку росту спонукає статоліти до зміни положення. Це, у свою чергу, реєструється механорецепторами, пов'язаними з актино-

вими мікрофіламентами. Дія цих рецепторів спричинює перерозподіл ауксину, в результаті чого корінь змінює напрямок росту.

У клітинах рослин є й багато інших типів рецепторів. Так, спеціалізовані хеморецептори, розташовані в цитоплазматичній мембрані, здатні реєструвати присутність важливих для рослини речовин, таких як вода, мінеральні йони, сигнали міжклітинної комунікації тощо.

### Особливості подразливості в комахоїдних рослин

Рослини, що розвиваються в умовах нестачі Нітрогену (на болотяних ґрунтах, у водоймах, на стовбурах інших рослин), компенсують дефіцит цього елемента, полюючи на комах та інших дрібних тварин. Деякі комахоїдні рослини використовують пасивне полювання: їхні листки влаштовані таким чином, що, потрапивши них, комахи просто не можуть вибратися назовні. Більш досконалий, активний спосіб використовують венерина мухоловка та росичка (мал. 3.4). Розташовані на поверхні ловчого листка цих рослин клітини містять куполоподібні виступи, що реагують на дотик. Це стимулює проникнення йонів Кальцію в цитоплазму, наслідком чого стає виникнення електричного імпульсу. Імпульс поширюється по клітинах листка і викликає майже миттєве закриття пастки.

#### ! Ключова ідея

Чутливість рослин до світла забезпечують білки фітохромів і криптохромів, чутливість до земного тяжіння — механорецептори, пов'язані зі статолітами (особливими пластидами), а чутливість до води і мінеральних речовин — різноманітні хеморецептори клітинної мембрани. Під дією цих рецепторів відбувається перерозподіл у тілі рослини фотогормонів, що спричиняє ріст у потрібному напрямку. У комахоїдних рослин поширені тигморецептори, активація яких запускає електричний сигнал, і ловчий листок закривається.

#### Запитання та завдання

1. Корені мангрових рослин, на відміну від інших типів коренів, здатні рости вгору. Чим це зумовлено?
2. Як зміниться напрямок росту пагонів та коренів, якщо на довгий час помістити рослину в карусель або центрифугу?

## § 4. Подразливість у тварин



Поміркуйте

Які переваги ссавцям надає наявність на аксонах деяких їхніх нейронів мієлінової оболонки під час проведення ними нервових імпульсів?



Згадайте

- Нейрон
- Нервовий імпульс
- Збудження
- Збудливі тканини

### Подразливість у тварин

Подразливість у тварин відбувається на основі внутрішньоклітинної та міжклітинної регуляції. Подразники можуть діяти як на рецептори на поверхні клітин, так і на внутрішньоклітинні структури (мембрани клітин, мітохондрії) або процеси (транскрипцію, трансляцію тощо).

Тварини мають специфічні сенсорні системи, до складу яких входять різноманітні органи чуття. У них є багато типів рецепторів, які різняться між собою за характером подразнень, що сприймаються (фоторецептори, хеморецептори, механорецептори тощо).

Більша частина подразників у тварин викликає зміну електричного потенціалу на клітинній мембрані, що запускає певний механізм їхньої відповіді. Прийняття сигналів від подразників та відповіді на них у тварин забезпечують спеціальні збудливі тканини.

### Збудливі тканини

До збудливих тканин у тварин відносять нервову, м'язову та секреторну тканини (мал. 4.1). Клітини цих тканин здатні збу-

джуватися, тобто певним чином реагувати на дію подразника — у них виникає процес збудження. Збудження може виникати тільки за умови певної сили дії подразника. Сила дії подразника, яка може викликати цей процес, визначає поріг збудження. На процес збудження впливає також швидкість виникнення подразнення та його тривалість.

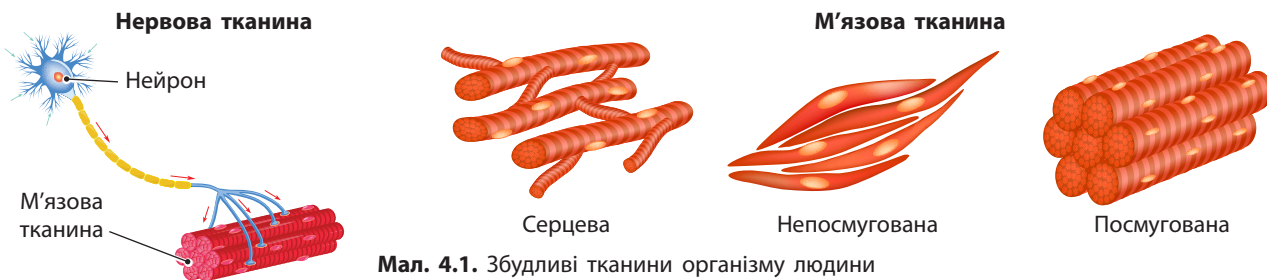
Характерною особливістю збудливих тканин є здатність до проведення збудження і його передачі на інші збудливі тканини. Так, сигнали від головного мозку передаються за допомогою клітини нервової тканини до м'язів, а потім поширюються по них, викликаючи відповідну реакцію.

### Мембранний потенціал

У всіх незбуджених клітинах збудливих тканин тварин існує різниця потенціалів між внутрішньою і зовнішньою боками мембрани. Цю різницю називають **мембранним потенціалом спокою**. Він виникає на поверхні будь-яких клітин, як тих, що входять до складу збудливих тканин, так і тих, що належать до незбудливих.

Під час формування мембранного потенціалу спокою внутрішньоклітинний бік мембрани заряджається більш негативно, ніж зовнішній. Значення різниці потенціалів у більшості випадків перебуває в межах від  $-200$  до  $-50$  мВ. Мембранний потенціал потрібен для здійснення процесу збудження у збудливих тканинах. Крім того, він відіграє важливу роль у деяких процесах транспорту речовин крізь клітинну мембрану.

Утворення мембранного потенціалу спокою в клітинах можливе завдяки тому, що клітинна мембрана є напівпроникною (крізь



Мал. 4.1. Збудливі тканини організму людини



неї можуть проникати не всі йони) і концентрація певних йонів по різні боки мембрани є різною (мал. 4.2).

Різниця в концентрації йонів створюється завдяки роботі спеціальних транспортних білків мембрани (так званих йонних насосів). Витрачаючи енергію АТФ, вони переміщують одні йони назовні клітини, а інші — всередину. Найбільшу роль у формуванні мембранного потенціалу спокою відіграють йони Калію, Натрію і Хлору.

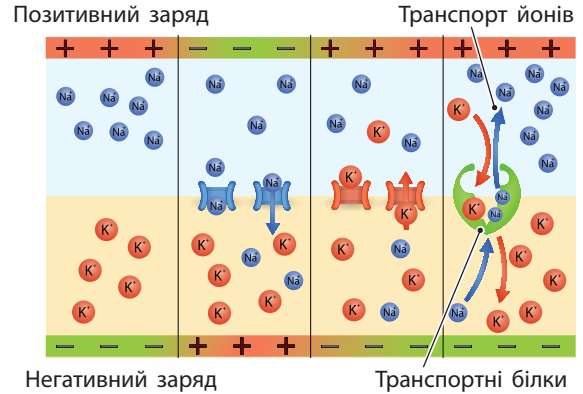
## Потенціал дії

Мембранний потенціал спокою формується у клітинах, які не перебувають у стані збудження. Під час збудження клітин у них виникає потенціал дії. **Потенціалом дії** називають короткочасні амплітудні зміни мембранного потенціалу спокою, які виникають у процесі збудження клітини.

Потенціал дії є електричним розрядом, який складає основу нервових імпульсів. У результаті виникнення потенціалу дії невелика ділянка зовнішнього боку мембрани тимчасово стає негативно зарядженою відносно сусідніх ділянок. Отже, і внутрішній бік мембрани змінює свій заряд на протилежний (у цьому випадку він стає позитивним) щодо своїх сусідніх ділянок.

Виникнення потенціалу дії пов'язано з різким збільшенням проникності мембрани для йонів Натрію і Калію і розвитку деполяризації мембрани. Йони Натрію починають дуже швидко надходити в клітину, а йони Калію — виходити з неї. Наслідком цього і є зміна полярності ділянки мембрани на протилежну.

Потенціал дії виникає тільки за умови перевищення певного рівня швидкості процесу деполяризації. Цей рівень є різним для різних клітин. Якщо рівень сигналу, який викликає цей процес, є нижчим за цей певний рівень, то потенціал дії не виникає,



Мал. 4.2. Утворення мембранного потенціалу

а якщо є вищим, то потенціал дії виникне обов'язково. Такий принцип роботи називають принципом «усе або нічого».

Зміна полярності мембрани триває дуже короткий час. Потім відбувається процес реполяризації, і мембранний потенціал спокою відновлюється. На певний час після завершення реполяризації ділянка мембрани клітини втрачає можливість відповідати на дію подразника. Цей проміжок часу називається **рефрактерним періодом**.

Після свого виникнення потенціал дії переміщується поверхнею клітини на нові ділянки мембрани, які зазнають деполяризації. Саме в такій формі нервові імпульси передаються по аксонах нервових клітин.

Для передачі потенціалу дії між різними клітинами у збудливих тканинах тварин використовуються спеціальні структури — **синапси**.

Синапси бувають двох типів — електричні й хімічні. В *електричних* синапсах мембрани сусідніх клітин розташовані дуже близько одна до одної, і потенціал дії просто переміщується з однієї на іншу так, як переміщується між сусідніми ділянками мембрани однієї клітини. У *хімічних* синапсах потенціал дії викликає викид спеціальних речовин — нейромедiatorів — у широку синаптичну щілину. Шляхом звичайної дифузії ці речовини досягають мембрани сусідньої клітини і викликають виникнення на ній потенціалу дії.



### Ключова ідея

Сприйняття подразнень та відповідь на них у тварин забезпечують збудливі тканини. Для клітин цих тканин є властивою наявність мембранного потенціалу спокою. Під впливом подразнень на поверхні клітинної мембрани тварин виникає потенціал дії, який може поширюватися по мембрані й передаватися на інші клітини.



### Запитання та завдання

**1.** Чому секреторні тканини тварин також відносять до групи збудливих тканин? **2.** Чому після проходження потенціалу дії для ділянки мембрани потрібен рефрактерний період?

## § 5. Види рецепторів. Сприйняття сигналів



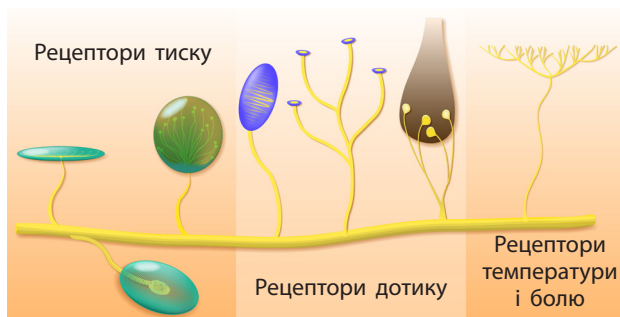
Поміркуйте

Чи правильно говорять: «Бачать не очі, бачить мозок»? Обґрунтуйте свою відповідь.



Згадайте

- Рецептор
- Подразник
- Подразливість
- Чутливий нейрон



Мал. 5.1. Різноманіття рецепторів шкіри

### Різноманіття рецепторів

Як ви вже знаєте, тварини сприймають різноманітні подразнення за допомогою рецепторів, які у відповідь на подразнення створюють потенціал дії та передають його нейронам нервової системи.

Рецептори тварин дуже різноманітні. Тому існує кілька варіантів класифікації рецепторів тварин. Так, *за розташуванням* в організмі рецептори поділяють на екстерорецептори (сприймають зовнішні подразнення) та інтерорецептори (сприймають внутрішні подразнення). Різняться вони і за кількістю типів подразнень, які можуть сприймати. Більшість рецепторів, як, наприклад, рецептори сітківки, сприймають тільки один тип подразника. Але є рецептори, наприклад, больові, які здатні сприймати кілька різних типів подразнень.

Найбільш поширеною є класифікація рецепторів, яка поділяє їх за типами подразників, дію яких вони сприймають.

Больові рецептори в цій класифікації виокремлюються від інших за дещо іншим принципом. Це спеціалізовані клітини, які сприймають дію факторів, що пошкоджують організм (механічних, термічних, хімічних). Дія цих факторів на больові рецептори стає причиною больових відчуттів.

У багатьох випадках рецептори певного типу зосереджені в одному органі, як, приміром, фоторецептори ока. Але існують органи, які містять велику кількість різних рецепторів. Прикладом таких органів є шкіра ссавців (у тому числі й людини) (мал. 5.1). У шкірі є рецептори дотику, тиску, температури, болю.

### Види рецепторів

Вид рецепторів	Які подразнення сприймає	Приклади
Фоторецептори	Світло	Рецептори сітківки
Хеморецептори	Молекули певних речовин	Нюхові та смакові рецептори
Механорецептори	Механічні стимули (тиск, коливання, дотик тощо)	Рецептори дотику, барорецептори
Терморецептори	Температура	Холодові та теплові рецептори шкіри
Осморецептори	Осмотичний тиск	Рецептори внутрішніх органів, які контролюють стан внутрішнього середовища організму
Електрорецептори	Електричне поле	Рецептори електричних органів риб
Магніторецептори	Магнітне поле	Рецептори перелітних птахів, які дозволяють їм орієнтуватися за допомогою магнітного поля
Больові рецептори	Комплекс факторів	Рецептори болю у ссавців



## Фоторецептори

Фоторецептори забезпечують тваринам зір. Вони можуть бути розподілені по всьому тілі або зосереджуватися в очах тварини. Існують різні типи фоторецепторів. Так, у ссавців у сітківці є рецептори — *колбочки*, які сприймають тільки певну частину спектру, вони забезпечують кольоровий зір. В очах тварин може бути кілька типів колбочок. Крім того, в очах ссавців є рецептори — *палички*, які сприймають увесь спектр видимого світла й забезпечують сутінковий зір.

Інші групи тварин можуть мати інші типи фоторецепторів. Так, у бджіл є рецептори, які сприймають поляризоване світло.

## Хеморецептори

Хеморецептори є найдавнішими з рецепторів тварин. Вони сформувалися ще в одноклітинних еукаріотів, від яких походять багатоклітинні тварини. Хеморецептори забезпечують такі відчуття, як нюх і смак. Принцип роботи цих рецепторів полягає у їх взаємодії з певними молекулами на поверхні клітин. У більшості тварин ці рецептори зосереджені у спеціальних органах (носі ссавців, вусиках комах і ракоподібних тощо). Хоча трапляються й інші варіанти. Наприклад, у мух рецептори смаку розташовані на ногах.

## Механорецептори

Механорецептори тварин сприймають механічні подразнення і забезпечують такі відчуття, як дотик, слух, рівновага тощо. Вони можуть розташовуватися як на поверхні тіла (дотикові рецептори), так і у внутрішніх органах (пропріорецептори або рецептори м'язового відчуття, слухові рецептори).

Рецептори, які розташовані на поверхні тіла, можуть сприймати подразнення без-

посередньо, а можуть використовувати для цього якісь структури. Так, механорецептори у ссавців приєднуються до основи чутливих волосків – вібрисів, які виконують роль органа дотику.

## Теплові рецептори

Теплові рецептори, як і механорецептори, можуть розташовуватися і на поверхні тіла, і у внутрішніх органах. Рецептори внутрішніх органів, які контролюють температуру, є дуже важливими для гомойотермних тварин, наприклад птахів або ссавців. З їхньою допомогою вони можуть підтримувати потрібний рівень температури тіла.

Рецептори на поверхні тіла «відстежують» температуру зовнішнього середовища. У ссавців таких рецепторів два типи: холодіві визначають температуру, яка є нижчою за температуру тіла, а теплові — температуру, яка є вищою за температуру тіла. У деяких тварин, скажімо ямкоголових змій, терморецептори використовуються для полювання на теплокровну здобич.

## Сприйняття сигналів та поріг збудливості

Сприйняття сигналів рецепторами у тварин може відбуватися за рахунок сигнальних структур на поверхні мембрани або спеціальних рецепторних білків. Такими білками є наприклад, опсини, які знаходяться в колбочках сітківки. Кожен тип колбочок містить свій власний опсин (у людей їх три), який сприймає властиву тільки йому частину спектру видимого світла.

Після сприйняття подразнення сигнал від рецептора передається до нервової системи і потім надходить у мозок, де й аналізується. Слід відзначити, що для кожного виду рецепторів існує власний **поріг подразнення** — найменша величина сили подразника, на яку реагує рецептор, виробляючи потенціал дії. Для одного типу рецепторів у різних видів тварин ця величина може суттєво різнитися.



### Ключова ідея

Рецепторами називають нервові закінчення або спеціалізовані клітини, які у відповідь на подразнення створюють потенціал дії та передають його нейронам нервової системи. Існує багато видів рецепторів: фоторецептори, хеморецептори, механорецептори тощо. Аби рецептор зміг генерувати сигнал, сила подразника повинна перевищувати певну величину — поріг подразнення.



### Запитання та завдання

1. Які переваги дає мухам розташування рецепторів смаку на їх ходильних ногах?
2. Навіщо тваринам потрібні барорецептори (рецептори тиску)?

## § 6. Сенсорні системи тварин



Поміркуйте

Досить часто можна почути, що в людини є п'ять органів чуття. Але вчені вважають, що їх більше. Як ж органи чуття є в людини?



Згадайте

- Сенсорна система
- Органи чуття
- Сенсорні зони кори мозку
- Обробка сигналів

### Сенсорні системи та їх компоненти

Сприйняття подразнень та передачу відповідних сигналів до нервової системи у тварин здійснюють сенсорні системи. Це складні структури, які не тільки сприймають сигнали, але й здійснюють їх обробку. Сенсорні системи людини та хребетних тварин, які мають складну будову, називають **аналізаторами** (зоровий аналізатор, слуховий аналізатор тощо). Цей термін запропонував учений-фізіолог І. П. Павлов.

Кожна із сенсорних систем організму складається з трьох основних частин. *Периферична* частина сенсорної системи забезпечує сприйняття подразнення і представлена рецепторами та допоміжними структурами органів чуття. Око, вухо, ніс ссавців — це периферичні частини сенсорних систем зору, слуху і нюху відповідно.

Наступною частиною сенсорної системи є *провідна*, або *середня*, частина. Вона представлена нервами, по яких сигнали від периферичної частини надходять до мозку. У системі зору ссавців цією частиною є зоровий нерв, а в системі нюху — нюховий. У деяких випадках сенсорна система може не мати окремого нерва. Тоді нейрони її провідної частини входять до складу якогось із нервів. Так, провідна частина системи смаку людини входить до складу трьох різних черепномозкових нервів.

*Центральна* частина сенсорної системи представлена ділянкою мозку, яка обробляє сигнали, що надходять від органів чуття.

У ссавців це відбувається в певних зонах кори головного мозку, тому цю частину їхньої сенсорної системи називають також *кірковою*.

Механізм роботи всіх сенсорних систем є схожим. Рецептори органів чуття сприймають подразнення. Допоміжні системи цих органів покращують сприйняття, але безпосередньої участі в цьому процесі не беруть. Так, вушні раковини ссавців спрямовують звукові хвилі у слуховий прохід, а слухові кісточки середнього вуха підсилюють звуки. Але сприймають звукові коливання тільки механорецептори завітки внутрішнього вуха.

Після сприйняття подразнення сигнали передаються провідною частиною сенсорної системи до центральної частини. Там вони обробляються, і мозок отримує вже інтерпретовану інформацію. Через те що на процес обробки можуть впливати різні фактори (у першу чергу попередній досвід організму), інтерпретація мозку не завжди може співпадати з реальною ситуацією. Саме тому є можливим існування ілюзій (оптичних, слухових тощо).

### Різноманіття сенсорних систем

У тварин для сприйняття різних подразників існує багато сенсорних систем. Більшість із них містить рецептори, які сприймають один тип подразнень (наприклад, фоторецептори зорової системи), але є системи, які сприймають різноманітні подразнення (наприклад, больова сенсорна система).

У різних тварин кількість та ступінь розвитку сенсорних систем можуть не співпадати. Це значною мірою залежить від способу життя будь-якого виду та його середовища існування. Так, у видів, які живуть під землею або в печерах, зорова сенсорна система розвинена слабо або взагалі відсутня, а системи дотику, навпаки, розвинені дуже добре.

Найбільш поширеними сенсорними системами є системи зору, слуху, нюху, смаку, дотику. Вони є в переважній більшості тварин. Одні й ті самі сенсорні системи в різних груп тварин можуть суттєво різнитися. Для





розв'язання однакових завдань вони використовують різні механізми. Наприклад, зорова сенсорна система може мати органи зору у вигляді двох або більшого числа простих очей, а може бути представлена складними очами (як у комах), які складаються з великої кількості простих оптичних елементів. Суттєвим є і різноманіття допоміжних апаратів органів чуття.

У багатьох груп тварин є спеціалізовані сенсорні системи, характерні тільки для них. Так, у акул, скатів та деяких кісткових риб електрична сенсорна система, у перелітних птахів — магнітна сенсорна система, яка допомагає їм орієнтуватися під час перельотів за магнітним полем Землі. Деякі види змій виробили інфрачервону сенсорну систему, яка сприймає невидиму частину спектра. У дельфінів та кажанів на основі слухової системи виникла система ехолокації.

### Еволюція сенсорних систем

Протягом усього часу існування тварин їхні сенсорні системи змінювалися, і схеми їхньої еволюції були схожими. Спочатку виникали окремі рецепторні клітини, що були здатні сприймати якийсь подразник. Зазви-

чай вони були рівномірно розподілені по тілу тварин. Потім ці рецептори концентрувалися в певній частині тіла, де їх розташування дозволяло найбільш ефективно виконувати свою функцію. Наступним кроком в еволюції було утворення спеціалізованого органа чуття з цими рецепторами.

Далі відбувалася еволюція цього органа з розвитком допоміжного апарата, який покращував сприйняття подразнень. Могла збільшуватися кількість типів рецепторів (як відбулося з фоторецепторами, тож виник кольоровий зір). Наступним етапом еволюції ставала адаптація сенсорних систем під конкретні умови існування певного виду тварин.

Еволюція сенсорних систем не була рівномірною і прямою. Це можна добре побачити на прикладі еволюції зорової сенсорної системи в кількох групах тварин. Так, орган зору головоногих молюсків і ссавців еволюціонували незалежно один від одного, але виявилися дуже схожими за будовою. Тільки механізми акомодатії використовуються різні. У молюсків форма кришталика залишається постійною, а для акомодатії змінюється відстань між кришталиком і сітківкою.

Сенсорні системи людини

Сенсорна система	Тип рецепторів	Місце розташування рецепторів
Зору	Фоторецептори	Сітківка ока
Слуху	Механорецептори	Завитка внутрішнього вуха
Рівноваги	Механорецептори	Півколові канали і мішечки органа рівноваги
Нюху	Хеморецептори	Нюховий епітелій носової порожнини
Смаку	Хеморецептори	Епітелій язика і ротової порожнини
Дотику	Механорецептори	Шкіра, ротова і носова порожнини
Руху	Механорецептори	М'язи і сухожилля
Температури	Терморецептори	Шкіра, ротова і носова порожнини, внутрішні органи
Болю	Механорецептори, терморецептори, хеморецептори	Шкіра, ротова і носова порожнини, низка внутрішніх органів

#### ! Ключова ідея

Сенсорні системи тварин дуже різноманітні. У більшості тварин є системи зору, слуху, нюху, смаку, дотику. Деякі тварини мають специфічні сенсорні системи (електричну, магнітну тощо). У процесі еволюції сенсорних систем їхня будова ускладнювалася та вдосконалювалася.

#### ≡ Запитання та завдання

1. У більшості ссавців однією з головних сенсорних систем є нюхова. У людини ця система має набагато менше значення і сильно редукована порівняно з іншими ссавцями. З чим це може бути пов'язано?
2. Які проблеми можуть виникати в сенсорних системах людини (наприклад, зорової, слухової, нюхової) і що треба робити, щоб попередити їх виникнення?

## § 7. Рефлекси



Поміркуйте

Для того, щоб жити, людина повинна дихати. І дихає вона навіть уві сні та у випадках утрати свідомості. Як їй вдається це робити?



Згадайте

- Нейрон
- Синапс
- Нервовий імпульс
- Рефлекс

### М'язова і нервова системи у відповідь на подразнення

Сенсорні системи тварин сприймають сигнали від різних подразників. А відповідь на них забезпечують м'язова і нервова системи. Значення цих систем дуже велике. Саме ефективна реакція на подразнення забезпечує організму тварини безпеку і дозволяє йому ефективно знаходити їжу та контактувати з особинами свого та інших видів.

Основним завданням нервової системи є швидка обробка інформації від сенсорних систем та вироблення рішення стосовно дій тварини в певній ситуації. М'язова система здійснює ці дії згідно із сигналами нервової системи.

Слід зазначити, що ефективність реагування нервової і м'язової систем на подразнення зростала в процесі еволюції. У тварин із більш складною будовою цих систем (наприклад, у хребетних) це наочно видно на прикладі їхньої здатності до регенерації. У земноводних здатність до регенерації в разі пошкодження кінцівок суттєво вища, ніж у ссавців такого ж розміру. І тритони, і пугловки жаб можуть успішно відрощувати втрачені кінцівки.

А у ссавців (миші, пацюки тощо) такої здатності немає. Вона їм просто не потрібна, тому що їхні нервова і м'язова системи відповідають на подразнення суттєво краще, ніж ці ж системи земноводних. Тому їм легше уникнути ситуації, яка стане причиною втрати кінцівки. І організм не має потреби у витраті ресурсів на систему регенерації.

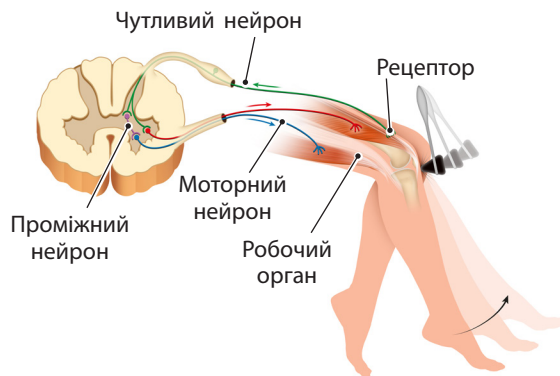
### Рефлекси та рефлекторні дуги

Найпростішою реакцією нервової системи на подразнення є рефлекс. У більш складному випадку мозок людини виконує складніший обсяг роботи для прийняття адекватного рішення. У такій ситуації активно працюють різні відділи мозку.

Як ви вже знаєте, рефлекс є несвідомою реакцією організму на подразнення, яка відбувається за участю центральної або вегетативної нервової системи. Головною перевагою рефлексів як відповіді на подразнення є швидкість. У разі виникнення рефлексу обробка інформації мінімальна і займає дуже мало часу. Тому реакція на подразнення може бути майже миттєвою.

Для здійснення рефлексу в організмі тварини утворюються функціональні структури — рефлекторні дуги (мал. 7.1). До складу рефлекторної дуги входять нейрони нервової тканини, які з'єднують між собою рецептори сенсорних систем і робочі органи, котрі й забезпечують відповідь на подразнення.

У більшості випадків рефлекторні дуги складаються з п'яти елементів: рецептора, трьох нейронів — чутливого, проміжного і моторного, та робочого органа. Чутливий нейрон сприймає сигнал від рецепторів сенсорної системи і передає його до центральної нервової системи. У ссавців це спинний (частіше) або головний мозок. У мозку сигнал від чутливого нейрона передається до проміжного нейрона. Проміжний нейрон передає



Мал. 7.1. Схема рефлекторної дуги



сигнал далі на моторний нейрон. Моторний нейрон пересилає сигнал на робочий орган — це зазвичай м'яз, а в деяких випадках секреторна тканина. Після отримання сигналу робочий орган виконує потрібну дію (наприклад, м'яз скорочується).

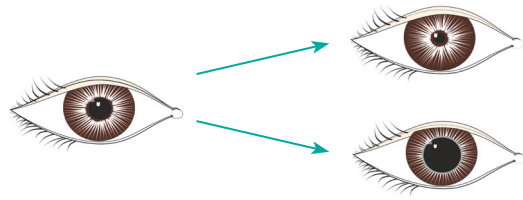
У деяких випадках у рефлекторній дузі проміжний нейрон може бути відсутнім, а сигнал передається безпосередньо з чутливого на моторний нейрон. Але контакт чутливого і моторного нейронів і в цьому випадку відбувається в межах центральної нервової системи або у вузлах вегетативної нервової системи. Кількість проміжних нейронів може бути більшою, ніж один. Для складних рефлексів це може бути досить велика група нейронів.

### Безумовні рефлекси

Вам уже відомо, що рефлекси поділяються на дві великі групи: безумовні та умовні. **Безумовні** рефлекси є спадковими і проявляються в усіх представників виду. Ці рефлекси є адаптацією до ситуацій, які постійно виникають упродовж життя організмів певного виду. І реагувати на такі ситуації організм повинен цілком визначеним чином.

Наприклад, у мавп (у тому числі й людини) важливу роль у функціонуванні ока відіграє кількість світла, яка потрапляє на сітківку. Надто велика кількість може пошкодити рецептори, а надто мала не дасть змогу бачити. Тому існує система регулювання потоку світла в око шляхом зміни діаметра зіниці, крізь яку світло проходить. Регулюється розмір зіниці за допомогою безумовного рефлексу. За умови збільшення освітленості розмір зіниці зменшується, а в разі зменшення — збільшується (мал. 7.2).

Безумовні рефлекси поділяють на кілька груп залежно від функцій, які вони виконують. Дихальні рефлекси (чхання, кашель) видаляють із дихальних шляхів сторонні предмети



**Мал. 7.2.** Безумовний рефлекс — зміна розміру зіниці в разі зміни освітлення

або слиз, захисні рефлекси (відсмикування кінцівки або відбігання при больових відчуттях) рятують у небезпечних ситуаціях, орієнтувальні (повертання голови на звук) полегшують оцінку ситуації для прийняття рішення тощо.

### Умовні рефлекси

**Умовні** рефлекси не є спадковими і поширені не в усіх представників виду. Вони виробляються у процесі життєдіяльності тварин. Ці рефлекси допомагають адаптуватися до конкретних умов існування, у яких живе ця особина. Вони дуже важливі в мінливих умовах, дають переваги в ситуаціях, які цьому виду раніше не траплялися. Ці рефлекси утворюються за участю вищих відділів центральної нервової системи.

Для вироблення умовного рефлексу необхідне поєднання двох подразників — умовного, або байдужого, який не впливає на життєдіяльність тварини, і безумовного, який вмикає один із безумовних рефлексів.

Так, у дослідах І. П. Павлова перед годівлею собак лунав дзвоник. Після цього тварини отримували їжу, і в них починала виділятися слина. У цьому випадку виділення слини є безумовним рефлексом, який вмикає вигляд їжі (безумовний подразник). А дзвінок перед початком годування є умовним подразником, бо на життєдіяльність собаки ніяк не впливає. Через деякий час після неодноразових повторень дзвінка перед годуванням у собак слина починала виділятися одразу після дзвінка ще до того, як вони бачили їжу. У них виробився умовний рефлекс на дзвоник.



#### Ключова ідея

Рефлекс — це реакція нервової і м'язової систем на подразнення, яка відбувається за участі центральної або вегетативної нервової системи. Рефлекси можуть бути безумовними і умовними. Безумовні рефлекси є спадковими і трапляються у всіх особин виду. В окремих особин умовні рефлекси виробляються протягом життя.



#### Запитання та завдання

**1.** Які недоліки при забезпеченні життєдіяльності тварин можуть бути в безумовних рефлексів? **2.** Які приклади безумовних та умовних рефлексів можна спостерігати в домашніх тварин?

## § 8. Подразнення і вища нервова діяльність



Поміркуйте

Біль є дуже сильним подразником. У деяких людей чуття болю відсутнє, що є спадковою ознакою і не стає причиною смерті людини. Чому ж тоді більшість людей відчувають біль?



Згадайте

- Рефлекс
- Інстинкт
- Поведінка
- Сенсорні системи

### Вища нервова діяльність

Для тварин з добре розвинутою нервовою системою, до складу якої входить головний мозок, вирізняють окрему сукупність різноманітних форм нервової діяльності, у якій беруть участь різні структури мозку, — **вищу нервову діяльність**. Вона найкраще проявляється у хребетних тварин, особливо таких, як ссавці та птахи. У них вища нервова діяльність виникає внаслідок взаємодії різних ділянок кори головного мозку та підкіркових нервових центрів.

Вища нервова діяльність, як і вся робота головного мозку, побудована на взаємодії двох основних процесів — збудження і гальмування. У процесі збудження окремі нейрони або групи нейронів виділяють енергію і генерують сигнали, які поширюються на сусідні клітини. А у випадку гальмування відбуваються протилежні процеси — генерація сигналів та виділення енергії нейронами припиняються.

Основними показниками нервових процесів, які відбуваються під час вищої нервової діяльності, є сила, рухливість і врівноваженість. *Сила процесів* характеризує здатність нейронів реагувати на сильні подразники. *Рухливість процесів* демонструє швидкість переходу клітин між станами збудження і гальмування, а *врівноваженість* указує на співвідношення за силою процесів збудження і гальмування.

### Інстинкти, свідомість та суб'єктивність сприйняття

Одним із важливих способів відповіді організму на подразнення є інстинкти. **Інстинкти** — це ланцюги послідовних безумовних рефлексів, які виникають у відповідь на певне подразнення і проявляються у формі автоматичної поведінки. Реалізація інстинктів здійснюється головним мозком.

Інстинкти можуть забезпечувати дуже складні форми відповіді на подразнення. Прикладами інстинктивної поведінки у тварин є побудова гнізд у птахів, шлюбна поведінка під час сезонів розмноження в риб, територіальна поведінка собак і котів тощо.

Інстинктивні програми поведінки є і в людини. Реакція матері на плач дитини, ефект «свого поля» у футбольних матчах та багато інших варіантів поведінки — це прояви інстинктивних програм.

Проблема інстинктів у тому, що вони є спадковими програмами і далеко не завжди можуть бути корисними у зміненому середовищі життя. Крім того, саме спадковість інстинктів не дозволяє легко їх позбутися навіть у випадках, коли вони втратили своє значення. Як, наприклад, здатність новонароджених хапатися за шерсть матері й міцно триматися, щоб не впасти під час руху. Шерсті на тілі людини давно немає, а інстинкт усе ще спрацьовує.

Вища нервова діяльність дозволяє вирішити цю проблему через залучення до прийняття рішень індивідуальної пам'яті та процесів аналізу і синтезу інформації. Ці процеси відбуваються переважно в корі та деяких інших структурах мозку. У людини такі процеси стали настільки складними, що зумовили появу свідомості, розуму та здатності до мислення.

Складні процеси вищої нервової діяльності ґрунтуються на індивідуальному досвіді та особливостях процесів у мозку конкретної особини, тому вони роблять сприйняття навколишнього світу суб'єктивним (індивідуалізованим).



## Взаємоузгодженість діяльності сенсорних систем

Сенсорні системи організму працюють як єдине ціле. Усі сигнали від органів чуття надходять до мозку й аналізуються у відповідних структурах. На рівні мозку відбувається і взаємодія сенсорних систем. Щоб сформувати об'єктивну картину навколишнього світу, мозок порівнює інформацію, що надходить від різних систем. Для прийняття рішення щодо дії одного подразника (наприклад, звукового) аналізується інформація і від інших систем (зорової, нюхової тощо).

Прикладом такої узгодженої взаємодії сенсорних систем організму є безумовний рефлекс орієнтування у просторі. Так, кішка повертає голову на сторонній звук (спрацювала слухова система) й оцінює ситуацію, роздивляючись незнайомий предмет (додається інформація від зорової системи). Якщо інформації для прийняття рішення недостатньо (боятися його чи ні), кішка може підійти й обнюхати цей предмет (інформація від нюхової системи) та торкнутися його вібрисами (додається відчуття дотику).

## Компенсаторне посилення сенсорних систем

У різних тварин, навіть тих, які походять від спільного предка, різні сенсорні системи можуть бути розвинені різною мірою. Це залежить від особливостей еволюційного розвитку та умов середовища, до якого адаптований певний вид організмів.

У тих ситуаціях, коли діяльність однієї із систем за якихось причин не дуже ефективна, її роль можуть брати на себе інші сенсорні системи. Посилення інтенсивності роботи цих систем відбувається задля того, щоб компенсувати недостатню ефективність певної сенсорної



**Мал. 8.1.** У предка китів індохіуса основною сенсорною системою була зорова, а в сучасних кашалотів вона втратила провідну роль, і відбулося компенсаторне посилення слухової системи

системи. Тому це явище називають **компенсаторним посиленням** сенсорних систем.

Наприклад, спільний предок плацентарних ссавців вів сутінковий образ життя, й основними органами чуттів у нього були нюх і слух, а зір виконував допоміжну роль. Коли предки кашалотів відокремилися в еволюційну гілку і стали активними хижаками, провідну роль у їхній життєдіяльності почав відігравати саме зір. Пізніше ці тварини перейшли до життя у воді, де зорова сенсорна система не дуже ефективна. А кашалоти адаптувалися до полювання на великих глибинах, де світла взагалі немає і використовувати зір немає сенсу. Тому очі в кашалотів змістилися на бокову частину голови і перестали відігравати важливу роль у житті, а основним органом чуттів стала слухова сенсорна система, яка використовує ефект ехолокації (мал. 8.1).

Компенсаторне посилення певних сенсорних систем відбувається і серед особин одного виду, якщо якась із сенсорних систем у процесі життя постраждала від травм чи захворювань. Тоді інші сенсорні системи беруть на себе її функції і стають основним джерелом інформації про навколишній світ для цієї особини.

Так, у людей через порушення або втрати зору функції орієнтації в просторі бере на себе слухова система. А деякі інші функції (наприклад, читання) виконує дотикова сенсорна система.

### Запитання та завдання

1. На прикладі поглядів окремих людей на одну подію поясніть, чому сприйняття світу різними особинами є суб'єктивним.
2. Яке компенсаторне посилення відбудеться в сенсорних системах людини у випадку порушення роботи її слухової сенсорної системи?



### Ключова ідея

Вища нервова діяльність є найбільш складним, але дуже ефективним способом відповіді організму тварин на зовнішні подразнення. Вона узгоджує діяльність усіх сенсорних систем та робить її найбільш ефективною. Це дозволяє, у випадку втрати функцій чи неможливості роботи однієї із сенсорних систем, компенсувати порушення за рахунок іншої системи або кількох систем.

## § 9. Слова і символи як подразники



Поміркуйте

Дельфіни та інші китоподібні цілком ефективно можуть спілкуватися між собою. Як їм це вдається? Що відіграє роль подразника під час спілкування?



Згадайте

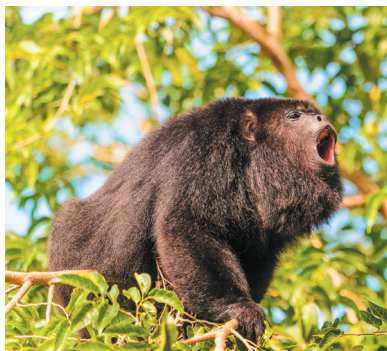
- Сенсорні системи
- Відділи мозку
- Вища нервова діяльність
- Свідомість

### Перша сигнальна система

Нервову систему тварин пов'язує з навколишнім світом складна система умовно-рефлекторних і безумовнорефлекторних зв'язків. Ця система отримує сигнали від подразників середовища і зумовлює адекватні реакції на них організму. Її називають **сигнальною системою**. Розрізняють першу і другу сигнальні системи.

*Перша сигнальна система* розвинена в усіх тварин. Вона відображає навколишній світ на основі конкретних подразнень і сигналів від сенсорних систем, не формуючи абстрактні поняття і теоретичні узагальнення.

За допомогою першої сигнальної системи тварини можуть спілкуватися між собою і передавати певну досить просту інформацію через рухи, міміку, жести, звуки, пози, запахи. Так, тварина може дізнатися про соціальний статус, стан здоров'я та особини свого виду; позначити власну територію (мал. 9.1), свою



**Мал. 9.1.** Позначення тваринами своєї території за допомогою голосу (мавпа ревун) та запаху (чорний ведмідь)

готовність до розмноження, повідомити про розташування джерела їжі (бджоли роблять це за допомогою спеціальних рухів — так званого танцю бджіл).

У межах першої сигнальної системи тварини для отримання потрібної інформації можуть виконувати досить складні дії. Так, багато тварин під час зустрічі обнюхують одне одного за певними схемами, унікальними для кожного з видів. Навіть незначні відмінності в ритуальних танцях під час сезону розмноження дозволяють птахам надійно відрізнити особин свого виду (мал. 9.2).

### Друга сигнальна система

*Друга сигнальна система* розвинена в людини. Можливо, певною мірою вона властива і деяким тваринам (людиноподібні мавпи, деякі китоподібні). Друга сигнальна система відображає навколишній світ на основі мовних подразнень (вимовних, почутих або видимих).

У рамках цієї системи можливе формування абстрактних понять і теоретичних узагальнень. Здатність до узагальненого віддзеркалення явищ і предметів зробило можливим для людини теоретичне пізнання світу. Завдяки цьому людина створила сучасну науку і культуру та отримала можливість прогнозувати наслідки своїх дій та різноманітних природних процесів.

Друга сигнальна система людини є домінантною в порівнянні з першою. Вона контролює її діяльність і може впливати на прояв



**Мал. 9.2.** Танок журавлів під час парування



Мал. 9.3. Писемність теж є складовою мови



Мал. 9.4. Символи та знаки, які є сигналами другої сигнальної системи

складних безумовних рефлексів та інстинктивних програм.

Наслідком функціонування другої сигнальної системи в людини було виникнення мови. Мова є системою знаків і засобів спілкування між людьми. Вона формується на основі звуків, які людина навчається вимовляти з дитинства. Але тільки звуками мова не обмежується. Існує графічний варіант мови — писемність, яка відіграє величезну роль у сучасному суспільстві (мал. 9.3).

Значення другої сигнальної системи в житті людини є дуже великим. Завдяки їй відбувається спілкування людей. Вона надає можливість для навчання та обміну досвідом, вираження почуттів та емоцій, висловлення бажань тощо.

Слід зазначити, що для розвитку другої сигнальної системи недостатньо тільки спадковості. Спостереження за дітьми-мауглі, яких вирощували дикі тварини, продемонстрували важливий факт. Якщо в ранньому дитинстві людина не буде мати контакту з іншими людьми і, відповідно, можливості сформувати другу сигнальну систему, то в більш дорослому віці сформувати її вже буде неможливо.

Тобто спадково в людини передається тільки здатність до формування другої сиг-

нальної системи. Виникнення самої системи відбувається в періоді раннього дитинства під впливом суспільства, у якому живе.

### Слова і символи як подразники

Слова є специфічними подразниками, які діють на другу сигнальну систему людини. Вони мають кілька характерних саме для них особливостей.

- Слова насамперед є сигналами сигналів, бо кожне слово містить інформацію про якийсь певний сигнал, що отримують органи чуття.
- Слова здатні узагальнювати певні сигнали першої сигнальної системи. Так, слово «риба» узагальнює ознаки всіх риб, які відомі людині (акули, соми, карасі, окуні, осетри тощо).
- Дуже важливою властивістю слів є також їхня здатність відділяти поняття від певної реальності, абстрагувати його. Це дає можливість людині формувати абстрактне мислення. Гарним прикладом такого абстрагування є жартівлива фраза «Сферичний кінь у вакуумі», яка висміює надмірний відрив від реальності в аналізі якихось проблем.

Крім слів, умовними сигналами другої сигнальної системи можуть бути різноманітні символи та умовні знаки. До таких знаків належать ноти, знаки дорожнього руху, мова жестів, свисту тощо (мал. 9.4).



#### Ключова ідея

За зв'язок нервової системи з навколишнім середовищем у тварин відповідають сигнальні системи. Перша сигнальна система забезпечує безпосередній зв'язок із середовищем на основі прямої інтерпретації сигналів сенсорних систем. Друга сенсорна система використовує опосередковану передачу інформації завдяки сигналам сигналів, якими є слова мови або спеціалізовані знаки та символи.



#### Запитання та завдання

1. На конкретних прикладах поясніть, які сигнали можуть подавати домашні тварини своїм господарям за допомогою першої сигнальної системи.
2. Які переваги мають спеціальні символи порівняно зі словами як подразники другої сигнальної системи?

## § 10. Друга сигнальна система та еволюція



Поміркуйте

Як показали дослідження, шимпанзе і горили здатні на певному рівні опанувати мову жестів і спілкуватися з дослідниками та між собою. Але говорити вони так і не навчилися. Чому?

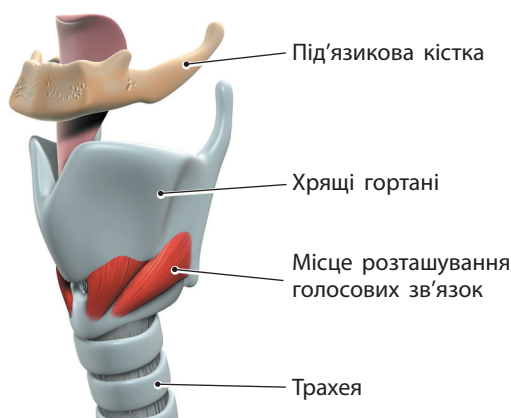


Згадайте

- Гортань
- Голосові зв'язки
- Кора мозку
- Преадаптації

### Преадаптації до виникнення другої сигнальної системи

Друга сигнальна система не виникла миттєво внаслідок якоїсь макромутації. Її появі передувало утворення у предків людини цілої низки преадаптацій, які з'являлися як у певних системах органів, так і в особливостях функціонування вищої нервової діяльності. Потрібні для створення другої сигнальної системи морфологічні преадаптації відбулися насамперед у дихальній системі. Вони були пов'язані з особливостями будови гортані (мал. 10.1). У ній розташовані голосові зв'язки, які, власне, і генерують звуки. Ці зв'язки з'явилися ще в далеких предків людини. Крім того, для можливості розмовляти важливим є розташування самої гортані. У людиноподібних мавп гортань розташована вище, ніж у людини.



Мал. 10.1. Будова гортані людини дає можливість розмовляти

Це зменшує ризик потрапляння їжі в дихальні шляхи під час її ковтання, але суттєво утруднює можливості мовлення, у тому числі обмежує рухи язика, який відіграє важливу роль у вимовлянні багатьох звуків.

Ще однією преадаптацією для виникнення другої сигнальної системи було збільшення розмірів і ускладнення будови кори головного мозку. Це дозволило здійснювати набагато більш складні нервові процеси, які виявилися потрібними і для роботи другої сигнальної системи. На розвиток мозку суттєво впливали і зміни в будові рук, які часто залучалися до виготовлення знарядь праці, що потребувало суттєвого ускладнення процесів вищої нервової діяльності.

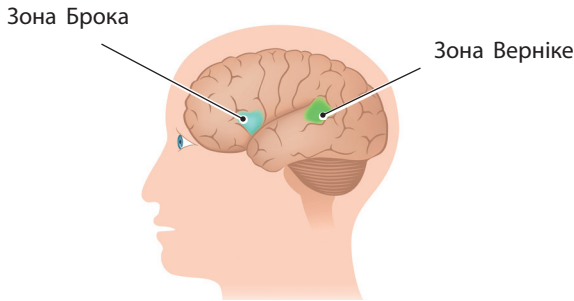
Ще одним наслідком виготовлення знарядь праці стало збільшення об'єму робочої (або оперативної) пам'яті у предків людини. Сучасна людина в середньому може одночасно відстежувати (або контролювати) сім об'єктів, а шимпанзе — тільки два або три. Для виготовлення навіть найпростіших знарядь потрібно відстежувати як мінімум три об'єкти — об'єкт, який обробляється, інструмент і руку, яка тримає об'єкт. Тому у предків людини об'єм оперативної пам'яті збільшувався. Це виявилось надзвичайно актуальним для роботи другої сигнальної системи, бо з малим об'ємом оперативної пам'яті неможливо складати довгі речення.

### Еволюція другої сигнальної системи

Еволюція другої сигнальної системи тривала дуже довго. Основним фактором, який стимулював її утворення, була адаптація предків людини до життя в умовах савани. Існування приматів у таких умовах цілком можливе, і до життя в ній адаптувалися не тільки представники гомінід, але й собако-голови мавпи (павіани, гелади тощо).

Савана є місцем із великою кількістю й різноманітністю харчових ресурсів, але вона має й певні особливості. Перш за все, їжа не зосереджена в одному місці, тому задля її пошуків необхідно постійно переміщатися. Крім того, у савані виживали лише ті види,





**Мал. 10.2.** У корі мозку людини є зони, які відповідають за мову

які адаптувалися до всеїдності. Складні умови існування розвивали здатність до аналітичного мислення, вміння співставляти факти і робити висновки.

Життя в савані ускладнювалося наявністю великого числа хижаків. Захиститися від них примати могли тільки у складі групи. Тому під час адаптації до життя в савані було великим значення соціальної структури груп приматів. Спілкування між особинами в групі потребувало більш ефективної комунікації, тому виникали і закріплювалися системи сигналів про небезпеку, взаємодопомогу, наявність їжі тощо.

Формування другої сигнальної системи не було наслідком тільки генетичних мутацій. Самі по собі вони створювали тільки можливість для формування комунікативних зв'язків та соціальних взаємодій. Відбір ішов не на рівні окремих особин, а на рівні груп. Яка група мала кращу комунікацію, та й отримувала переваги в існуючих умовах життя. Хоча морфологічні зміни відігравали важливу роль. Так, однією з важливих адаптацій, потрібних для виникнення другої сигнальної системи, стало формування в корі головного мозку людини двох важливих зон — Брока і Верніке



#### Ключова ідея

Формування другої сигнальної системи у предків людини стало можливим завдяки наявності низки преадаптацій у будові деяких систем органів та особливостях проходження процесів вищої нервової діяльності. Воно відбувалося в умовах африканської савани і стало однією з головних адаптацій до цього середовища існування.



**Мал. 10.3.** Виникнення писемності суттєво вплинуло на розвиток суспільства

(мал. 10.2). Зона Брока відповідає за відтворення мови, а зона Верніке — за її розуміння.

### Друга сигнальна система та розвиток суспільства

Друга сигнальна система істотно вплинула на розвиток суспільства. Завдяки їй суттєво змінився механізм накопичення та передачі інформації між поколіннями. Для цього вже не було потрібне закріплення інформації в геномі. Її можна було передавати шляхом навчання. Звичайно, у тварин також існує навчання нащадків. Але друга сигнальна система дозволяє це робити опосередковано, надаючи інформацію з різних джерел. Крім того, об'єми інформації, яка передається за допомогою другої сигнальної системи, на кілька порядків більші.

Важливим етапом у розвитку людського суспільства стало виникнення писемності (мал. 10.3), що дало можливість обмінюватися інформацією людям, які навіть не бачили один одного. Більш того, писемність забезпечила передачу інформації між людьми, які жили в різний час.

Розвиток другої сигнальної системи дозволив досягти більшої спеціалізації і диференціації суспільства. Він став підґрунтям для створення науки і мистецтва, які зумовили збільшення темпів розвитку людства і розселення людей по всій планеті.



#### Запитання та завдання

**1.** Чому в новонароджених дітей гортань розташована вище, ніж у дорослих? **2.** Які фактори, крім хижаків, могли вплинути на укріплення соціальних зв'язків у приматів, що перейшли до життя в умовах савани? **3.** На конкретному прикладі поясніть, як друга сигнальна система вплинула на розвиток певного суспільства.

## § 11. Подразливість і пристосування до умов середовища



Поміркуйте

Чому в різних середовищах існування у тварин провідну роль відіграють різні сенсорні системи?



Згадайте

- Адаптація
- Сенсорні системи
- Середовище
- Подразливість

### Адаптивне значення подразливості

Здатність сприймати подразнення є однією з найважливіших адаптацій живих організмів до середовища існування. Сприйняття подразнень надає організму інформацію про сприятливі місця перебування, можливу небезпеку, джерела живлення, наявність партнерів для розмноження тощо.

На процес сприйняття подразнень організмами завжди впливала велика кількість факторів. Найбільш важливими серед них були властивості середовища існування, особливості способу життя виду і наявність тих чи інших чутливих структур, отриманих від предків. Справа в тому, що ніяка нова структура (у тому числі й пов'язана зі сприйняттям подразнень) не з'являється в еволюції миттєво. Вона завжди виникає зі структур, утворених предками організму на попередніх етапах еволюції. І від особливостей сприйняття подразнень предками залежать потенційні можливості органів чуття нащадків.

### Розвиток подразливості та способи життя організмів

Розвиток подразливості тісно пов'язаний зі способом життя організмів. Для організмів, які ведуть малорухомий спосіб життя, швидкість реагування на подразники не має такого великого значення. Середовище навколо них зазвичай є доволі стабільним. Це добре видно на прикладі квіткових рослин, які більшу частину життєвого циклу розташовані на одному місці й активно переміщуються у просторі тільки на стадії поширення насіння.

У сидячих або вільно дрейфуючих у складі планктону тварин вимоги до сприйняття подразнень теж не дуже високі, хоча і більші, ніж у рослин. Адже їм ще доводиться забезпечувати власне живлення. Проте такий спосіб життя примушує очікувати дію подразників з усіх боків приблизно з однаковою ймовірністю. Саме тому в цих тварин так поширена радіальна симетрія тіла, а рецептори розташовані рівномірно по всьому тілу.

Ті тварини, які ведуть достатньо рухливий спосіб життя, зазвичай мають двобічну симетрію тіла. Їхні органи чуття розташовані переважно на голові або в передній частині тіла. Таке розміщення є найбільш вигідним, бо саме передня частина тіла найчастіше першою зазнає дії подразника.

Але і серед рухливих тварин розвиток сенсорних систем може суттєво різнитися. Так, хижаки, які полюють на активну здобич, що швидко рухається в умовах гарного освітлення, мають добре розвинений зір. А тим, хто полює на малорухливу здобич у мутній воді або в місцях, де мало світла, дісталися маленькі очі й поганий зір, але дуже гарна дотикова сенсорна система (мал. 11.1).

### Сенсорні системи та умови існування

Кожне середовище має притаманні тільки йому властивості, які зумовлюють важливість того чи іншого подразника для отримання інформації про події, що відбуваються навколо. У наземно-повітряному середовищі найбільш



**Мал. 11.1.** Органи зору у тварин, які полюють на малорухливу здобич (планарія) та на здобич, яка швидко рухається (бабка)



Мал. 11.2. Організми, які використовують електричну сенсорну систему: качкодзьоб, скат, гнатонем (нільський слоник)

ефективним подразником є світло, бо воно легко поширюється на великі відстані й забезпечує організм інформацією про небезпеку і джерела харчування. Тому наземні тварини часто мають добрий зір. Але це стосується насамперед тих, хто веде денний спосіб життя. Тим, хто є активним уночі, світло не дуже допомагає. Для них більше значення мають інші сенсорні системи. Так, кажани є завзятими нічними хижаками, які полюють на літаючих комах. У них основною сенсорною системою стала слухова. Саме вона дозволяє кажанам активно полювати, використовуючи розвинену здатність до ехолокації.

Для ямкоголових змій зорова сенсорна система також не основна. Їхньою здобиччю є наземні гризуни, і для полювання на них вони використовують іншу сенсорну систему. Це інфрачервоні рецептори, розташовані на голові змії. Для полювання на теплокровних гризунів така система найбільш ефективна, бо дозволяє легко їх знаходити у траві й лісовій підстилці.

Умови існування у водному середовищі не дуже сприятливі для поширення світла. Тому не дивно, що зорові системи водних організмів часто не дуже добре розвинені. А в мешканців великих глибин, де світла немає, вони часто взагалі відсутні.

Найбільш ефективними системами сприйняття подразнень у водному середовищі є ті,

які сприймають коливання середовища (бічна лінія риб, органи слуху водних ссавців тощо). Також багато важливої інформації може надходити через нюхову сенсорну систему. Вона, наприклад, дуже розвинена в акул, багатьох кісткових риб та членистоногих. А для тих, хто шукає здобич на дні, часто найважливішою стає дотикова сенсорна система (хижі кільчасті черви, деякі молюски і членистоногі тощо).

Цікавою адаптацією для пошуку їжі в умовах низької ефективності органів зору є використання електрорецепторів. Чутливі електрорецепторні органи активно використовують акули і скати. Скати взагалі не можуть без них обходитися, бо їхній рот розташований на нижній стороні тіла, а очі — на верхній, і бачити свою здобич вони не можуть навіть теоретично. Представником ссавців, здатним активно використовувати електрорецепцію, є качкодзьоб (мал. 11.2). Саме завдяки електрорецепторам він може знаходити здобич на дні водойм, де шукає собі їжу.

Суттєво впливає на особливості сприйняття подразнення і *грунтове середовище*. Для його мешканців світло практично не має значення. Тому очі в них часто відсутні або сильно редуковані (дощовий черв'як, кріт, сліпак тощо). Найбільше значення в цьому середовищі мають органи, які сприймають коливання та вібрації (слух, дотикова система) і запахи (нюхова система).

### ! Ключова ідея

Здатність сприймати подразнення є однією з головних адаптацій організмів до умов життя. Особливості сприйняття подразнень і домінування тієї або іншої сенсорної системи у конкретного виду зумовлене його середовищем існування, способом життя і попередньою еволюційною історією розвитку.

### ≡ Запитання та завдання

**1.** На прикладі сов поясніть, як особливості подразливості цих тварин пов'язані зі способом життя нічного літаючого хижака. **2.** Як, на вашу думку, особливості розвитку сенсорних систем дельфіна пов'язані з умовами його існування та способом життя? **3.** Чому використання електричної сенсорної системи поширене серед водних організмів?

## § 12. Подразливість у взаємодіях живих організмів



Поміркуйте

У рисі зір бінокулярний, але поле зору не дуже широке. У зайців, на яких полюють рисі, зір не бінокулярний, але поле зору достатньо широке. Чому існує така різниця?



Згадайте

- Вид
- Внутрішньовидові взаємодії
- Форми взаємодії видів
- Екологічна ніша

### Подразливість у внутрішньовидових взаємодіях

Подразливість відіграє важливу роль у взаємодіях організмів. Вона визначає характер та результати взаємодії як на внутрішньовидовому рівні, так і на рівні міжвидових взаємовідносин в екосистемах.

На внутрішньовидовому рівні здатність реагувати на подразнення є важливою під час визначення партнера для розмноження, взаємодії особин різних поколінь, визначення місця тварини в соціальній ієрархії, конкуренції за ресурси.

Вибір партнера для розмноження є важливим фактором еволюційного успіху. Аналіз інформації, яка надходить за допомогою сенсорних систем, дозволяє тварині вибрати найбільш оптимального партнера. Саме так, наприклад, обирають партнера самки солов'я. Вони оцінюють спів самця, який таким чином позначає свою територію, від розміру і якості якої залежить ефективність виховання пташенят.

Взаємодія особин різних поколінь є дуже важливою для тварин, які передають свій досвід нащадкам шляхом навчання. Така модель поведінки поширена серед ссавців. Сприйняття інформації від старшого покоління дозволяє дитинчатам тигрів, вовків, слонів, мавп та інших видів суттєво підвищувати свої шанси на виживання. Потреба в ефективній передачі інформації між по-

коліннями стала однією з причин розвитку другої сигнальної системи в людини.

Для тварин, які утворюють складні соціальні угруповання, визначення місця в ієрархії групи є нагальною потребою. Для цього використовується багато різних способів — від простої бійки до складних форм взаємодій між окремими угрупованнями особин у складі великої групи. Але всі вони можливі тільки завдяки інформації, яка надходить до мозку за допомогою сенсорних систем. Тваринами, для яких така взаємодія дуже важлива, є голуби, леви, павіани, шимпанзе, слони тощо.

Конкуренція між тваринами за ресурси не стосується тільки їжі. До ресурсів відносять і місця водопою, і місця, придатні для розмноження, і укриття від негоди та хижаків. Зазвичай на території проживання певної популяції виду далеко не всі ресурси є в достатній кількості. Тому між особинами виду виникає конкуренція. Для успіху в конкурентній боротьбі тварина повинна або раніше знайти потрібний ресурс, або краще його захищати. В обох випадках успіх значною мірою залежить від ефективності роботи сенсорних систем організму і його здатності до сприйняття подразнень.

### Подразливість у міжвидових взаємодіях

У міжвидових взаємодіях подразливість є важливою для багатьох форм взаємовідносин: конкуренції, хижацтва, паразитизму, мутуалізму, коменсалізму тощо. Конкурентна взаємодія на міжвидовому рівні схожа на внутрішньовидову. У цьому випадку ефективність роботи сенсорних систем також впливає на швидкість знаходження та використання ресурсів.

Дуже сильно здатність до сприйняття подразнень впливає на взаємовідносини видів у системі хижак — жертва. У цій взаємодії саме робота сенсорних систем визначає шанси хижака ввійти жертву і шанси жертви втекти від хижака.

Часто особини виду, на який полюють хижаки, взаємодіють між собою для більшого успіху у виявленні та захисті від хижаків. Так,



у колоніях гризунів часто одна або кілька особин спостерігають за хижаками, які можуть на них напасти (мал. 12.1). Це суттєво знижує ризик стати жертвою хижака для всіх особин.

Але хижаки також застосовують взаємодію та взаємопідтримку під час полювання, що підвищує їхні шанси на отримання жертви. У такий спосіб полюють вовки, леви та африканські дикі собаки. Саме так полювали і люди до того, як перейшли до сільськогосподарського виробництва продовольства.

У випадку коменсалізму та мутуалізму взаємодія без участі сенсорних систем узагалі неможлива. Види, які взаємодіють, можуть знайти один одного тільки за допомогою сенсорних систем. Для видів із мутуалістичними відносинами це питання життя і смерті, бо поодиноці ці види вижити не зможуть.

У паразитів ситуація є різною для різних видів. Для тих, які потрапляють в організм хазяїна з допомогою переносників (як малярійний плазмодій, якого переносить комар), робота сенсорних систем не має значення. А для тих паразитів, які активно шукають жертву (наприклад клопів), чутливі сенсорні системи є запорукою успіху, бо без них вони не зможуть знайти свою жертву.

### Значення подразливості для екосистем

Для екосистем подразливість має велике значення в організації внутрішньовидових та міжвидових взаємодій. Від здатності до сприйняття подразнень часто залежить стан популяцій окремих видів, які входять до складу екосистеми.

Крім того, екосистема і сама є біологічною системою. Тому подразливість є однією з її властивостей. На дію тих чи інших подразників екосистема може реагувати, змінюючи співвідношення особин різних видів, перерозподіляючи екологічні ніші вимерлих видів між іншими, перебудовуючи трофічні зв'язки та кругообіг окремих речовин.

#### ! Ключова ідея

Подразливість відіграє важливу роль як у внутрішньовидових, так і в міжвидових взаємодіях живих організмів. Вона є одним із факторів, який впливає на екосистеми. Самі екосистеми також є біологічними системами, і подразливість — одна з їхніх властивостей.



**Мал. 12.1.** Сторожові особини, які стежать за хижаками, трапляються в групах гризунів, сурикатів і копитних

ПР

#### Практична робота

**Моделювання фізіологічних і поведінкових реакцій організмів на подразники, сформовані іншими організмами екосистеми (у вигляді розгорнутих ілюстрованих схем)**

1. Виберіть організм, для якого ви будете складати схеми реакцій.
2. Складіть схему фізіологічних і поведінкових реакцій особини обраного виду на подразники, сформовані: а) особинами свого виду (які відрізняються за статтю, віком чи соціальним становищем у групі); б) особинами іншого виду (який є для обраного виду хижаком, конкурентом чи мутуалістом).
3. Сформулюйте висновки.

≡

#### Запитання та завдання

1. На прикладі горобця поясніть, яке значення має подразливість для існування організму.
2. Чому передача досвіду нащадкам напряду має переваги над передачею інформації, яка зберігається в геномі?
3. Виберіть одну з екосистем вашого регіону і на конкретних прикладах покажіть, як на її стан впливає подразливість живих організмів.

## § 13. Рух у живій природі



Поміркуйте

Чим відрізняється рухливість живих та неживих об'єктів?



Згадайте

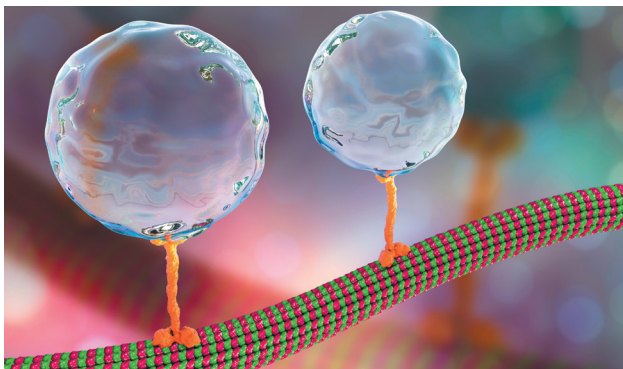
- Клітинні органели
- Системи органів
- Обмін речовин

### Рух як властивість живого

Рух — це зміна просторового розташування фізичного тіла відносно інших тіл або частини цього тіла відносно інших частин. Це явище спостерігається у природі всюди: рухаються елементарні частинки у складі атома, атоми і молекули у складі речовини, повітряні й водні маси, літосферні плити, планети, зорі й галактики. Рухаються й об'єкти техносфери. Але лише в живій природі ми спостерігаємо рух, що є *активним і цілеспрямованим*. Це означає, що об'єкт витрачає на такий рух внутрішню енергію і скеровує його на досягнення певної мети. Утім, пасивний, випадковий рух у живій природі теж трапляється: наприклад, коли ви, спіткнувшись, падаєте на підлогу.

### Функції руху

Рух потрібний живим організмам для виконання найрізноманітніших завдань. Пере-



Мал. 13.1. Крокуючий білок кінезин транспортує вантаж — мембранний пухирець

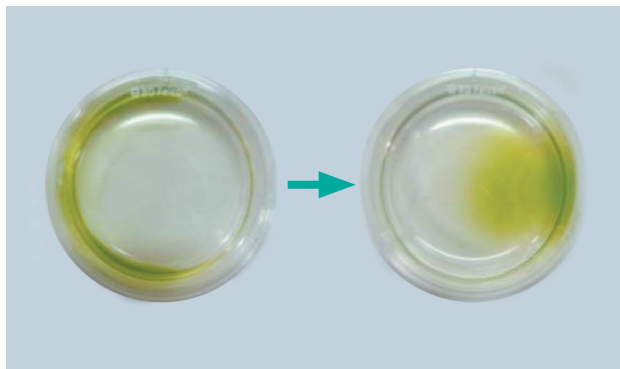
сування цілого тіла у просторі, так звана **локомоція**, дозволяє їм знаходити оптимальні умови для існування. Наприклад, хламідомонада завдяки такому руху пересувається у краще освітлені ділянки водойми, а антилопа — на більш багаті пасовища.

Не менш важливою є і здатність живих організмів до **зміни взаємного розташування та форми** окремих частин свого тіла. *Ростові рухи* рослин дозволяють їм набувати оптимального розташування у просторі. *Рухи кінцівок* багатоклітинних тварин забезпечують виконання ними таких складних поведінкових актів, як побудова гнізд, шлюбні танці, передача соціальних сигналів жестами і позами. Завдяки *маніпулятивній діяльності*, тобто здатності до спрямованого пересування і перебудови об'єктів навколишнього середовища, людина створює і використовує інструменти, носії інформації, об'єкти мистецтва.

### Рух на різних рівнях організації живого

Рух проявляє себе на кожному рівні організації живого. На молекулярному рівні він простежується в роботі білкових комплексів, що виконують синтез усіх компонентів клітини, забезпечують транспорт речовин, одержання енергії тощо.

На клітинному рівні здатність до руху проявляють численні органели. Завдяки «крокуючим» білкам *кінезінам* мембранні органели пересуваються в цитоплазмі



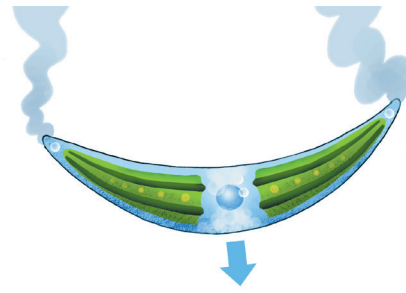
Мал. 13.2. У результаті фототаксису клітини зелених водоростей зосереджуються в освітленій ділянці



(мал. 13.1). Уся цитоплазма завдяки різноманітним механізмам безперервно циркулює у клітині: це явище має назву **циклоз**. Одноклітинним організмам властивий **таксис** — локомоторний рух, спрямований у бік певного подразника або від нього (мал. 13.2).

На тканинному рівні рухові явища простежуються в узгодженому русі війок миготливого епітелію, міграції клітин імунної системи, рухливості сперматозоїдів. До руху здатні й клітини деяких тканин рослин: замикаючі клітини продихів, зооспори, гамети.

Рух простежується в роботі майже кожної системи органів: у скороченні серця, розтягненні легенів, перистальтиці кишечника, стисненні сечового міхура та, звичайно, у рухах скелетних м'язів, які забезпечують зміну положення кінцівок, міміку, численні вегетативні рефлекси (ковтання, чхання, кашель тощо).



Мал. 13.3. Екскреторний рух водорості кластеріум



Мал. 13.4. Гігроскопічний рух: розкриття плода в розрив-трави

## Типи руху організмів

Тип руху	Механізм	Приклади
За допомогою моторних білків	Робота білкових молекул, здатних змінювати свою форму	Рух м'язів, джгутиків, війок, псевдоподій у про- та еукаріотів, специфічні рухи бактерій
Ростові	Поділ та розтягнення клітин у певних ділянках тіла	Повільні рухи листків, розкриття бутонів, завивання в'юнких стебел (кульбаба, тюльпан, берізка)
Тургорні	Зміна об'єму клітин, переважно за рахунок вакуолей	Розкриття продихів, рухи хижих рослин, захисні рухи (мімоза)
Екскреторні	Відштовхування від субстрату шляхом виділення слизу	Ковзні рухи міксобактерій та деяких водоростей (кластеріум) (мал. 13.3)
Гігроскопічні	Зміна пружності клітинних оболонок під час висихання та зволоження	Поширення насіння (розрив-трава, фіалка), розсіювання спор (хвощі, печіночники і слизовики) (мал. 13.4)

### ! Ключова ідея

Рух властивий усім живим істотам і простежується на всіх рівнях організації живого. Він може забезпечуватися активністю моторних білків, тургорними, ростовими, екскреторними та гігроскопічними явищами.

### Запитання та завдання

**1.** До якого типу за джерелом виникнення рушійної сили можна віднести розкидування насіння у скаженого огірка? **2.** У чому полягає подібність та відмінність рухів людини від рухів робота-андроїда? **3.** Відомо, що хлоропласти рослин здатні пересуватися в найбільш освітлену ділянку клітини. Поміркуйте, які механізми можуть лежати в основі цього процесу.

## § 14. Рухи клітин



Поміркуйте

Чим зумовлене різноманіття механізмів руху одноклітинних організмів?



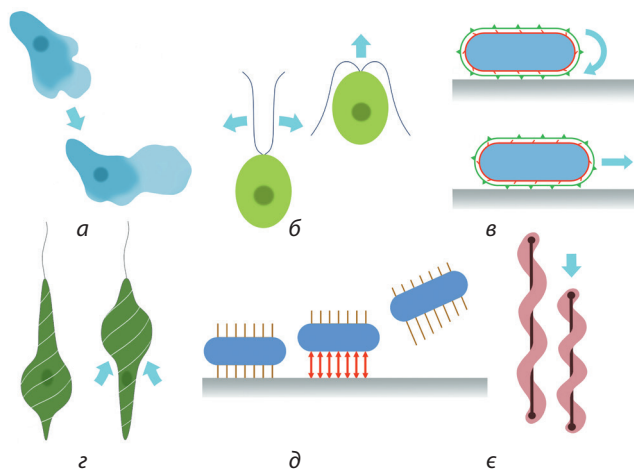
Згадайте

- Бактерії, археї, протисти
- Мікротрубочки, мікрофіламенти

### Поняття про амебоїдний та миготливий рух

У світі одноклітинних організмів переважають рухи, зумовлені активністю моторних білків: амебоїдний, миготливий, ковзний, метаболічний, стрибаючий, гвинтоподібний (мал. 14.1). Найбільш поширеними серед них є перші два типи.

**Амебоїдний рух** здійснюється за рахунок тимчасових випинів поверхні клітини — *псевдоподій*. Утворення та рух псевдоподій забезпечується взаємодією моторних білків — *актину* і *міозину*. Актинові мікрофіламенти формують чохол у поверхневому шарі цитоплазми. Коли цей чохол стискається за допомогою молекул міозину, цитоплазма спрямовується в ділянку, де його товщина



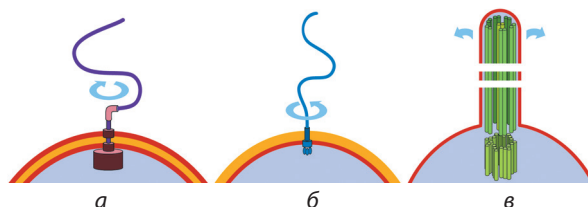
**Мал. 14.1.** Рухи одноклітинних організмів: амебоїдний (а), миготливий (б), ковзний (в), метаболічний (г), стрибаючий (д), гвинтоподібний (е)

є найменшою. Протистів, здатних до амебоїдного руху, називають *амебами*, або *коренеїжками*. Подібні форми відомі у складі майже кожної великої групи еукаріотів, але найбільш поширені серед амeboзоїв, до яких належать звичайна та дизентерійна амеби. Амебоїдний рух не втратив свого значення і в багатоклітинних організмів: завдяки йому лейкоцити людини пересуваються у тканинах та фагоцитують чужорідні частки.

**Миготливий рух** зумовлений ритмічним коливанням циліндричних випинів, які, на відміну від псевдоподій, мають постійну форму та розташування на поверхні клітини. Серед структур, що забезпечують миготливий рух, найважливішими є *аксоподії* та *джгутики*. Перші мають жорсткий внутрішній скелет і здатні лише коливатися з одного боку в інший. Джгутики, на відміну від них, здатні вигинатися або навіть обернутися навколо своєї осі.

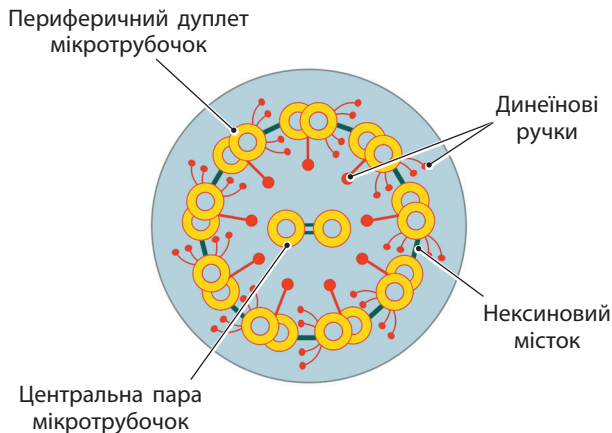
### Будова і функціонування джгутиків та війок

**Джгутик бактерій** є порожнистою білковою ниткою, утвореною з молекул білка *флагеліну*. Біля своєї основи трубка переходить у порожнистий *гак*, що з'єднується із системою білкових *дисків*, пов'язаних із мембраною та клітинною стінкою. Один із дисків має вигляд зубчастого колеса. До кожного з його зубців прилягає комплекс моторних білків. Білки кожного такого комплексу здійснюють ритмічні рухи, змушуючи колесо обертатися. Енергію для їхніх рухів забезпечує потік протонів. Завдяки роботі цього механізму джгутик обертається навколо своєї осі й рухає клітини вперед так само, як гребний гвинт рухає корабель (мал. 14.2, а).



**Мал. 14.2.** Будова джгутика бактерій (а), архей (б), еукаріотів (в)





**Мал. 14.3.** Будова аксонем джгутика еукаріотів

**Джгутик архей** являє собою суцільну білкову нитку, утворену молекулами трьох різних типів флагеліну. Він обертається навколо своєї осі, використовуючи для цього енергію молекул АТФ (мал. 14.2, б).

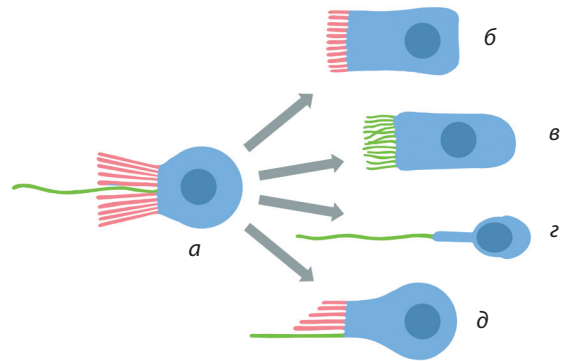
**Джгутик еукаріотів** складається з 20 паралельних білкових трубок, що є типовими мікротрубочками, утвореними з мономерів білка *тубуліну*. Вони розташовані вздовж осі джгутика за схемою  $(9 \cdot 2) + 2$ . Уздовж кожної пари мікротрубочок тягнуться ручки, утворені з білка *динейну*. Ручка може приєднатися до сусідньої мікротрубочки і зсунути її з місця. Узгоджені рухи динеїнових ручок призводять до того, що пари мікротрубочок ковзають уздовж одна одної. Завдяки цьому джгутик змієподібно коливається, рухаючи клітину (мал. 14.2, в).

**Війки.** Клітини деяких еукаріотів мають сотні й навіть тисячі джгутиків (мал. 14.3). Такі численні джгутики можуть рухатися незалежно (у гіпермастигін, опалін) або коливатись узгоджено (в інфузорій), утворюючи «хвилі»,



#### Ключова ідея

Рух одноклітинних організмів найчастіше забезпечується джгутиками і псевдоподіями. Псевдоподії є виростами, керованими зсередини взаємодією молекул актину і міозину. Джгутики бактерій — це трубки з білка флагеліну, що обертаються навколо своєї осі. Джгутики еукаріотів складаються з  $(9 \cdot 2) + 2$  тубулінових мікротрубочок, які ковзають уздовж одна одної завдяки взаємодії з молекулами динеїну.



**Мал. 14.4.** Комірцевий джгутиконосець (а) і його структури в організмі людини: клітина епітелію кишечника (б), клітина епітелію бронхів (в), сперматозоїд (г), волоскова клітина (д)

як уболівальники на стадіонах. В останньому випадку їх традиційно називають *війками*.

### Поширення і значення клітин з миготливими структурами в організмі людини

Предками багатоклітинних тварин були комірчасті джгутиконосці, клітина яких має джгутик, оточений *комірцем* — ловчим апаратом, утвореним із мікрворсинок, форма яких підтримується молекулами актину. З переходом до багатоклітинності більшість клітин тваринного організму втратили джгутики та комірці, однак подекуди ці структури збереглися (мал. 14.4). Так, мікрворсинки, що колись утворювали комірць, формують *щіточкову облямівку* клітин епітелію тонкого кишечника. Одиночні джгутики властиві сперматозоїдам людини. Численні джгутики вкривають клітини війчастого епітелію, який вистилає дихальні шляхи, маткові труби, спинномозковий канал тощо. А волоскові клітини слухової системи та органа рівноваги зберегли як джгутик, так і мікрворсинки.



#### Запитання та завдання

**1.** Як ви гадаєте, чому в одноклітинному світі не набули поширення гігроскопічні, осмотичні, ростові рухи? **2.** У літературі ХХ ст. аксиподії часто розглядалися як різновид псевдоподій. Спробуйте підтвердити або спростувати цю точку зору. **3.** Чи міг еукаріотичний джгутик утворитися з джгутика давньої бактерії або археї?

## § 15. Рухи м'язів



Поміркуйте

Який зі способів руху одноклітинних організмів найбільш придатний для багатоклітинних тварин?



Згадайте

- Опорно-рухова система
- М'язова тканина
- АТФ

### Будова і робота м'язів

Предки багатоклітинних тварин були здатні на два типи рухів: джгутиковий і амебоїдний. Перші тварини намагалися використати обидва. Так, у пластинчастих, реброплавів, війчастих черв'яків численні джгутики (війки) беруть помітну участь у пересуванні. Однак більш ефективним виявилось використання амебоїдного руху. Для цього знадобилося, щоб актинові мікрофіламенти зібралися в міцні паралельні пучки. Клітини, у яких це відбулося, ми називаємо **м'язовими клітинами**, або **міоцитами**, а органи, утворені такими клітинами, — **м'язами**, або **мускулами**.

Типовий м'яз складається з трьох основних частин: голівки, черевця і хвоста. *Черевце* є зосередженням м'язових клітин, скорочення яких забезпечує корисну роботу: руховий акт. *Голівка* і *хвіст* — це кінцеві ділянки,

що з'єднують м'яз із тими частинами тіла, рух яких він забезпечує. Голівка прикріплена до того органа, який під час скорочення м'яза залишається нерухомим, а хвіст — до того, що рухається. У хордових і голівка, і хвіст найчастіше прикріплені до двох різних кісток (двоголовий м'яз плеча, литковий м'яз), однак відомі випадки, коли м'язи прикріплюються до шкіри (мімічні м'язи, сфінктери), хрящів (м'язи гортані), інших м'язових тканин (ціліарний м'яз ока).

### Типи м'язової тканини

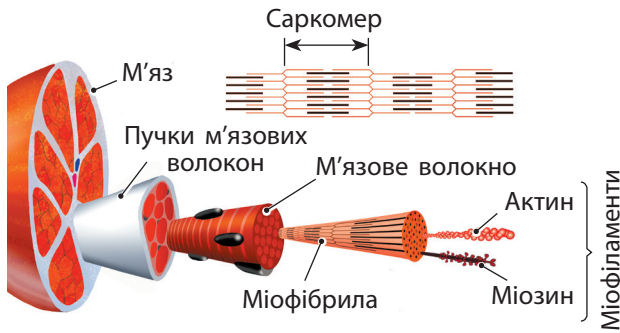
У хребетних виділяють три основні типи м'язової тканини: гладеньку, у якій скоротливі волокна утворюють у цитоплазмі об'ємну сітку, та посмуговану, у якій вони утворюють паралельні пучки. Структурними одиницями скелетної посмугової тканини є не звичайні клітини, а багатоядерні **м'язові волокна**, утворені в результаті злиття декількох клітин. Посмугована тканина, у свою чергу, поділяється на два підтипи: скелетний і серцевий.

### Структура міоцитів і саркомерів

Як і будь-яка клітина, м'язове волокно містить цитоплазматичну мембрану, або *сарколему*, і цитоплазму, або *саркоплазму*. У цитоплазмі присутні численні мітохондрії (вони забезпечують клітину енергією) та ендоплазматичний, або *саркоплазматичний*, ретикулум (він накопичує йони Кальцію, необхідні для скорочення). Окрім цього,

### Типи м'язової тканини

	Гладенька	Серцева посмугована	Скелетна посмугована
Будова клітини			
Кількість ядер	Одне	Одне	Багато
Активність	Мимовільна	Мимовільна	Свідома
Розташування	Стінки кровоносних і лімфатичних судин, травного тракту, сечового міхура, матки; шкіра, залози	Скоротливий шар серця — міокард	Усі скелетні м'язи, язик, глотка, гортань, діафрагма, стравохід



Мал. 15.1. Будова м'язового волокна

у цитоплазмі присутні *T-трубочки* — похідні цитоплазматичної мембрани, відповідальні за поширення нервового збудження.

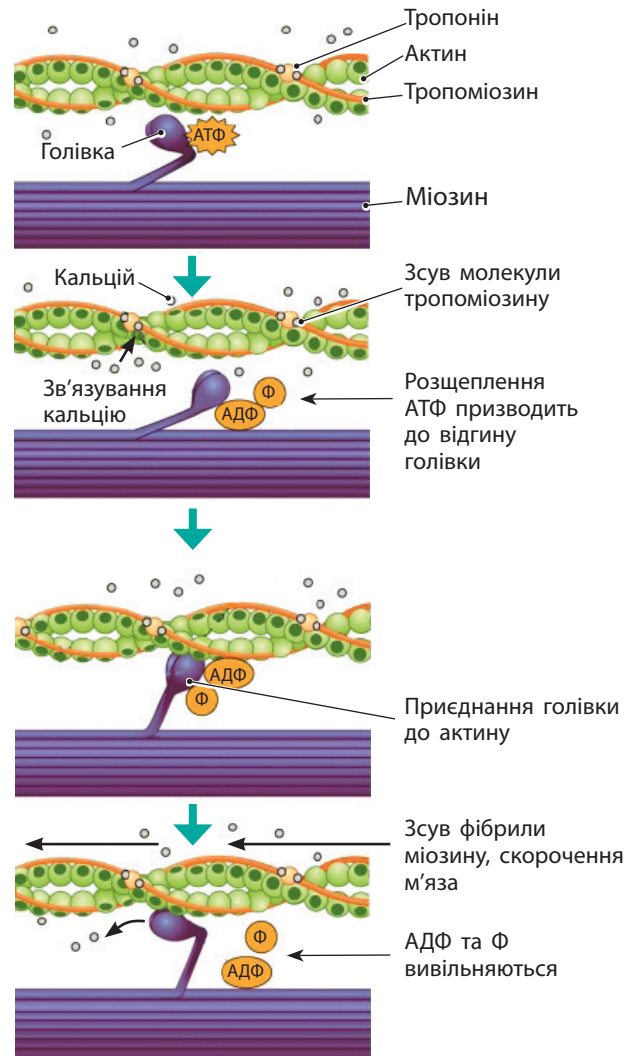
Центральну частину волокна займають *міофібрили* — довгі посмуговані пучки, які складаються з численних *міофіламентів* — окремих ниткоподібних молекул актину і міозину. Міофіламенти кожного типу зібрані в короткі відрізки (*диски*), що розташовані в ряд, один за одним. Філаменти кожного міозинового диска заходять у проміжки між філаментами двох сусідніх актинових пучків. Ділянка міофібрили, що охоплює один міозиновий пучок і суміжні з ними половинки двох сусідніх актинових пучків, називається **саркомером** (мал. 15.1).

### Механізм м'язового скорочення

Кожен міозиновий філамент має дві голівки. Розщепивши молекулу АТФ, голівка зв'язується з актиновим філаментом і штовхає його в бік центру саркомера. Узгоджена робота багатьох міозинових філаментів призводить до посилення взаємопроникнення актинових і міозинових дисків і, відповідно, до скорочення саркомера, м'язового волокна і всього м'яза (мал. 15.2).

#### ! Ключова ідея

М'язові клітини, міоцити, утворюють три типи тканин: гладеньку, скелетну посмуговану і серцеву посмуговану. У кожному міоциті присутні міофібрили, які складаються з пучків актинових і міозинових філаментів. Розщеплюючи молекулу АТФ, голівки молекул міозину приєднуються до молекул актину і тягнуть їх уздовж міофібрили, що забезпечує скорочення м'яза.



Мал. 15.2. Механізм м'язового скорочення

Процес м'язового скорочення регулюється йонами Кальцію, які, вивільнившись із саркоплазматичного ретикулуму, зв'язуються з молекулами білка *тропоніну*. Цей білок змінює розташування волокон *тропоміозину*, які закривають активні центри молекул актину. Це дозволяє голівкам молекул міозину приєднатися до актинової фібрили.

#### Запитання та завдання

1. Доведіть, що м'язовий тип руху є похідним від амебоїдного.
2. Яку роль м'язова тканина відіграє у функціонуванні основних систем органів людини?
3. Як ви гадаєте, що спонукає йони Кальцію до виходу із саркоплазматичного ретикулуму?

## § 16. Рухи рослин



Поміркуйте

Які обмеження накладає на рухливість багатоклітинного організму наявність клітинних стінок?



Згадайте

- Будова кореня, стебла, листка, квітки

### Рух у вищих рослин

Вищі рослини — переважно автотрофні організми, для яких джерелом енергії є світло, а джерелом поживних речовин — повітря і ґрунт. Намагаючись збільшити поглинання світла, вуглекислого газу, води та мінералів, рослини набули розгалуженої форми і глибоко занурились у субстрат. Розплатою за це стала втрата здатності до пересування у просторі. У цих умовах необхідність відшукувати оптимально освітлені й насичені водою ділянки та захищатися від ворогів спонукала рослини до пошуку нових способів руху: ростових та тургорних.

### Ростові рухи рослин

**Ростові рухи** — зміни положення частин рослини, зумовлені нерівномірним наростанням клітин у складі певного органа. Подібні рухи поділяються на три великі групи: тропізми, нутації і настії.

**Тропізми** — рухи, спрямовані вздовж напрямку дії зовнішнього чинника — світла, тепла, земного тяжіння. Якщо тропізм спрямований у бік посилення стимулу, він називається *позитивним*, якщо навпаки — *негативним*. Розрізняють численні форми тропізмів.

**Геотропізм** — рух, викликаний силою тяжіння. *Позитивний геотропізм* характерний для коренів, він змушує їх досягати ґрунту і поширюватись у ньому. *Негативний геотропізм* властивий пагонам і дозволяє їм рости вгору навіть в умовах, коли насінина ще знаходиться під землею (мал. 16.1).

**Фототропізм** — рух, викликаний світлом. *Позитивний фототропізм* властивий стеблам, а *негативний* — кореням (мал. 16.2). А от листки схильні орієнтуватися перпендикулярно до напрямку падаючого світла, бо саме так вони вловлюють найбільшу його кількість. Це явище називають *діафототропізмом*.

**Хемотропізм** — рух, викликаний хімічними речовинами. Він характерний насамперед для коренів, що під час росту згинаються в напрямку збільшення концентрації поживних речовин, наприклад мінеральних солей. Хемотропічні реакції також характерні для пилкових трубок покритонасінних рослин.

**Нутації** — ростові рухи, що призводять до ритмічного коливання органа (переважно стебла). У витких і лазячих рослин нутація стебел і вусиків забезпечує пошук опори і закріплення на ній (мал. 16.3).



Мал. 16.1. Геотропізм стебла і кореня



Мал. 16.2. Приклад фототропізму



Мал. 16.3. Скручування вусика — результат нутації



**Мал.16.4.** Приклад ростової настії: закривання суцвіття

**Настії** — рухи, напрям яких не пов'язаний із напрямом дії зовнішнього подразника. *Автонастії* зумовлені нерівномірним ростом клітин у різних частин органа. *Фотонастії* спричинені зміною освітленості (закривання суцвіть кульбаби за похмурої погоди) (мал. 16.4). *Термонастії* пов'язані зі зміною температури (закривання квіток тюльпанів і крокусів на холоді).

### Тургорні рухи рослин

**Тургор** — це напруження клітини, зумовлене тиском її вмісту на оболонку. У рослинних клітинах тургор зумовлений насамперед умістом води у центральній вакуолі. Якщо вміст води у вакуолях змінюється, це призводить до зміни обсягу і механічної пружності всієї рослинної клітини. Цей механізм і лежить в основі тургорного руху.

Поширеним прикладом тургорного руху на рівні окремих клітин є розкриття і закриття продихів. Цілі органи рослин також здатні здійснювати тургорні рухи. Вони зазвичай розглядаються як «швидкі настії», оскільки ззовні відрізняються від типових (ростових) настій лише своєю швидкістю. Однак механізми цих явищ абсолютно різні. У рослин, здатних до тургорних настій,



**Мал.16.5.** Приклад тургорної настії: складання листка мімози

в основі листкових пластинок і черешків присутній *пульвінус* — група клітин, що можуть швидко змінюватись в об'ємі. Наповнюючись водою, пульвінус розтягується, рухаючи одну частину рослини відносно іншої.

Розрізняють декілька типів тургорних настій. *Ніктинастії* — рухи «засинання», спричинені одночасним зменшенням температури й освітленості, які відбуваються вночі (складання листків конюшини ввечері). *Тигмонастії*, або *сейсмонастії*, зумовлені дотиком, струсом або іншим механічним впливом на органи рослини (складання листочків мімози та венериної мухоловки) (мал. 16.5). *Хемонастії* спричинені зміною концентрації хімічних речовин (рухи листків росички після потрапляння на них комах).

### ПР Практична робота

#### Ростові рухи рослин на прикладі проростків насіння

1. Здійсніть пророщування насіння квасолі, помістивши її в горизонтально розташовану скляну трубку, відкриту з обох боків.
2. Простежте напрями росту пагона і кореня до виходу з трубки та після нього.
3. Поясніть свої спостереження.

### ! Ключова ідея

Ростові рухи поділяються на тропізми, спрямовані вздовж дії певного фактора, нутації, що призводять до коливання навколо вісі, і настії, напрям яких не залежить від напрямку дії стимулу. До осмотичних рухів належить розкриття продихів, захисні рухи, а також рухи хижих рослин.

### ≡ Запитання та завдання

1. Чому в рослинному світі не набув поширення м'язовий спосіб руху? 2. Які анатомічні дослідження слід провести для того, щоб визначити, до якого типу належить рух певної рослини? 3. У чому полягає функціональна відмінність між тигмонастіями мімози та венериної мухоловки?

## § 17. Рухи тварин



Поміркуйте

У чому принципова різниця між способами поширення багатоклітинних тварин і вищих рослин?



Згадайте

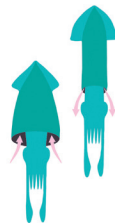
- Будова опорно-рухової системи в різних типів тварин
- Гомологічні і аналогічні органи

### Локомоторні рухи тварин

Тварини, як правило, активно здійснюють розселення, тобто пошук і заселення нових територій, за допомогою локомоції. Усі локомоторні рухи багатоклітинних тварин забезпечуються м'язовими скороченнями. Але за способом фізичної взаємодії з навколишнім середовищем вони є вкрай різноманітними.

#### Плавання

	<p><b>Спосіб руху:</b> рухом гребних виступів (плавців)</p> <p><b>Приклади:</b> риби, морські черепахи, пінгвіни, китоподібні, тюлені під час переміщення в товщі води та водні птахи (качки, пелікани) під час плавання на поверхні водойм</p>
	<p><b>Спосіб руху:</b> вигинами всього тіла</p> <p><b>Приклади:</b> вугрі, мурени та інші риби, хвостаті земноводні, морські змії</p>
	<p><b>Спосіб руху:</b> хвилеподібним коливанням плавців</p> <p><b>Приклади:</b> риби (електричний вугор, камбала, морський коник, спиноріг)</p>



**Спосіб руху:** реактивним способом (шляхом виштовхування певного об'єму води в напрямку, що протилежний руху)

**Приклади:** медузи, сифонофори, кальмари, деякі покровники

#### Рух по твердій опорі

##### Ходьба



**Спосіб руху:** шляхом ритмічної зміни кінцівок, на які спирається тіло

**Приклади:** комахи (під час ходьби в кожний момент на субстрат спирається три ноги), саламандри, плазуни і ссавці (на субстрат спираються дві ноги), людина, що перейшла до *прямоходіння* (на субстрат спирається лише одна нога). Водні тварини, що рухаються по дну водойм (голожаберні молюски, голкошкіри, поліхети)

##### Біг



**Спосіб руху:** шляхом чергування фаз опори на поверхню та повного відриву від неї.

Кінцівки, на які здійснюється опора, по чергово змінюються  
**Приклади:** ссавці, деякі птахи (страус) і плазуни (василіск)

##### Стрибки



**Спосіб руху:** подібний до бігу, але тіло приземляється на ті ж самі кінцівки, якими воно відштовхнулося від землі

**Приклади:** птахи (горобці, дятли, галки), безхвості земноводні (жаби), ссавці (кенгуру, тушканчики, зайці)



##### Брахіація



**Спосіб руху:** крокуючий рух у висячому положенні, з чіплянням кінцівками до розташованої згори опори (як правило, гілки дерева)

**Приклади:** примати (лемури, гібони, орангутани)



<p><b>Повзання</b></p> 	<p><b>Спосіб руху:</b> почерговою зміною ділянок тіла, на які спирається тварина. Залежно від характеру руху виокремлюють такі типи повзання, як витке (див. мал.), пружне (за типом «гармошки») та крокуюче (бічний хід з почерговою опорою на передній і задній кінці тіла)</p> <p><b>Приклади:</b> черви, личинки комах, безногі земноводні, змії</p>
<p><b>Ковзання</b></p> 	<p><b>Спосіб руху:</b> на відміну від повзання, не потребує значної зміни форми тіла. Замість цього його нижня поверхня утворює численні дрібні випини, що працюють як тимчасові кінцівки</p> <p><b>Приклади:</b> брюхоногі молюски (випини утворюються скороченими ділянками м'язової ноги), деякі змії (функцію опори виконують черевні луски)</p>

### Політ

<p><b>Махальний політ</b></p> 	<p><b>Спосіб руху:</b> тварина постійно підштовхує себе крилами, здійснюючи ними махальні рухи</p> <p><b>Приклади:</b> комахи, птахи і кажани; у далекі часи цей спосіб також опанували птерозаври</p>
<p><b>Ширяючий політ</b></p> 	<p><b>Спосіб руху:</b> підтриманням свого тіла в повітрі без ритмічних рухів</p> <p><b>Приклади:</b> орли, грифи, чайки (ширяться здійснюється між фазами махального польоту); летючі дракони, летяги, шерстокриллі (ширяться стрибком, довжина якого збільшується завдяки додатковій опорі на повітря)</p>

### Риття



#### Ключова ідея

Активний рух багатоклітинних тварин забезпечується м'язовими скороченнями і проявляється у формі плавання, польоту, риття та руху по твердій поверхні. Пасивний рух відіграє певну роль у поширенні запліднених яєць, личинок, мальків, а також дрібних і малорухливих тварин.

	<p><b>Спосіб руху:</b> штовхальними або обертальними рухами переднього кінця тіла</p> <p><b>Приклади:</b> дощовий черв'як</p>
	<p><b>Спосіб руху:</b> рухами кінцівок</p> <p><b>Приклади:</b> кріт, сліпак, голий землекоп</p>

### Пасивні рухи тварин

Пасивний рух у багатоклітинних тварин має другорядне значення і використовується переважно для поширення яєць, личинок, а також малорухливих або дрібних істот. На великі відстані переносяться течіями компоненти зоопланктону (личинки ракоподібних та голкошкірих, мальки риб). Запліднені яйця коловерток, дафній, тихоходів переносяться повітрям. У деяких жалких, що плавають у поверхні води, утворюються своєрідні повітряні пухирі та складки, що виконують функцію вітрил (фізалія, велелла).



#### Практична робота

##### Дослідження залежності між типом руху організму і будовою його тіла

1. Розгляньте на зображеннях, наданих учителем, будову передніх кінцівок сарни, крота, дельфіна, гібона.
2. Поясніть, які особливості будови цих органів пов'язані зі способом пересування.
3. На підставі спостережень складіть та заповніть таблицю.

Вид тварини	Основний спосіб пересування	Особливості будови передніх кінцівок



#### Запитання та завдання

1. Порівняйте будову та функціонування крил комах, птахів та кажанів.
2. Гусениця п'ядуна крокує по гілці, почергово прикріплюючись до неї переднім та заднім кінцем тіла. Який спосіб руху тут спостерігається?
3. Чому пасивний рух відіграє значну роль у житті дрібних риб, але не великих?

## § 18. Поширення організмів унаслідок окультурення й одомашнення



Поміркуйте

Чому дикі предки свійських тварин не мали таких величезних ареалів, які мають їхні нащадки?



Згадайте

- Сорт
- Еволюція
- Порода
- Відбір

### Одомашнення культурних рослин

**Одомашнення** — це процес змін популяцій рослин або тварин, завдяки якому вони стають пристосованими до утримання в неволі й використання їх людиною. Стосовно рослин часто використовують термін *окультурення*, яке є синонімом терміна *одомашнення*. Одомашнення відбувається з метою отримання від рослин і тварин продуктів харчування, промислової продукції (шкіра, волокно тощо) або задля інших цілей (транспорт, охорона та ін.). Більша частина видів була одомашнена в період від 12 до 2 тисяч років тому.

Одомашнення рослин людиною відбувалося в різних регіонах нашої планети незалежно один від одного. Необхідними передумовами цього процесу були:

- сприятливі кліматичні умови;
- наявність певних видів рослин із досить великими плодами, які потім одомашнювалися;
- достатня кількість населення;
- певні соціальні умови для можливості утворення осілих поселень.

Наприклад, клімат низки регіонів Австралії є дуже сприятливим для вирощування зернових. Але всі австралійські види злаків мають надто дрібне насіння. І вирощувати їх для отримання зерна немає сенсу. Та після того, як у цю країну привезли зерна злаків із Європи, ситуація змінилася, і Австралія стала одним зі світових лідерів із виробництва зерна.

Тому кількість центрів походження рослин була обмеженою. Виявив їх видатний учений, генетик і селекціонер М. І. Вавилов.

### Центри походження культурних рослин

Найдавнішим центром походження культурних рослин вважають регіон «Родючого півмісяця», названого так за формою зображення цього регіону на карті. Перехід до вирощування культурних рослин стався там приблизно 10–12 тисяч років тому. Усі інші центри походження рослин виникли пізніше.

Слід зазначити, що деякі види рослин мають складну історію окультурення і декілька центрів походження.

### Поширення культурних рослин

Різні цивілізації протягом свого існування взаємодіяли між собою. При цьому вони обмінювалися рослинами та агротехнологіями, завдяки чому види культурних рослин поширилися на великих територіях. Та не завжди такий обмін був вдалим, особливо в давні часи. Для росту рослин надзвичайно важливою є довжина світового дня, до якої вони пристосовані. І адаптація до інших умов відбувається важко і займає тривалий час. Тому обмін культурними рослинами набагато легше відбувався в широтному напрямку (наприклад, між Китаєм та Середземноморським регіоном, ніж між регіонами Центральної та Південної Америки).

Сучасна селекція досить успішно долає перешкоди на шляху поширення рослин. Саме тому кава, яка походить з Африки, уже давно стала одним з основних продуктів вирощування в американських країнах. А какао, яке родом із Америки, є важливим продуктом африканського експорту.

### Одомашнення і поширення тварин

Одомашнення тварин порівняно з одомашненням рослин мало певні особливості. Найімовірніше, процес одомашнення тварин здійснювався двома шляхами. Перший — класичне утворення мутуалістичних взаємовідносин між двома видами. Такі зв'язки часто виникають у природних екосистемах. Другий — цілеспрямоване приручення людиною тварин для одержання від них певних продуктів (м'яса, шерсті тощо).





### Основні центри походження культурних рослин

Назва центру	Місце розташування	Рослини, які походять із цього центру
Східноазійський	Китай	Просо, соя, мандарин, ліщина, волоський горіх
Індо-малайський	Малайський архіпелаг, Філіппіни, Індокитай	Банан, кокосова пальма, помаранча, чорний перець, рис
Індійський	Індія, М'янма	Баклажан, лимон, манго, гречка, огірок
Середньоазійський	Частина Пакистану, Афганістан, Таджикистан, Узбекистан	Диня, цибуля городня, часник, конопля
Передньоазійський («Родючий півмісяць»)	Мала Азія, Закавказзя, Іран, частина Туркменістану	Пшениця, полба, жито, ячмінь, горох, слива, груша, фінікова пальма, льон, інжир
Середземноморський	Балкани, Греція, Італія	Оливкове дерево, виноград, гірчиця, капуста, морква, буряк, кріп
Ефіопський	Ефіопія, Судан, Еритрея	Сорго, кава, кавун, кола, кунжут
Центральноамериканський	Центральна Америка, Антильські острови	Кукурудза, какао, батат, соняшник, тютюн
Південноамериканський	Гірські області Колумбії, Еквадору, Перу, Болівії	Картопля, помідор, арахіс, ананас, гевея

Першим способом одомашнювали собак і котів. Цей процес із собаками відбувався приблизно 10 тис. років тому на території Азії, з котами — трохи пізніше. Останні зайняли нішу «мисливців на гризунів», коли в Передньоазійському центрі походження рослин почали створювати запаси зерна. Ці запаси стали об'єктом нападу гризунів і, відповідно, причиною одомашнення котів.

Інші домашні тварини приручалися людиною цілеспрямовано в період від 8 до 2 тис. років тому. Більшість домашніх тварин було одомашнено на території Євразії в тих самих місцях, де розміщувалися центри походження культурних рослин. Тільки індики, мускусні качки, морські свинки і ламы були одомашнені в Америці.

Поширення домашніх тварин відбувалося завдяки торговельним контактам між жителями різних регіонів. Так, приблизно 4 тис. років

тому до Австралії потрапила собака динго, яка потім здичавіла, хоча і підтримує певну взаємодію з місцевими аборигенами. Крім того, люди брали із собою тварин на нові місця, коли здійснювали переселення. Саме так на острова Тихого океану з хвилею полінезійської колонізації потрапили собаки, кури і свині.



#### Практична робота

##### Напрямки та результати одомашнення

1. Розгляньте на зображеннях, наданих учителем, зовнішній вигляд тяглого коня, корови, вівчарки, чіхуахуа, домашньої курки. Які ознаки цих тварин пов'язані з одомашненням?
2. Чому тварин обирали саме за цими ознаками?
3. На підставі спостережень складіть та заповніть таблицю за такими стовпцями: «Вид тварини, порода або група порід», «Особливості будови порівняно з дикими родичами», «Мета штучного добору».



#### Ключова ідея

Людина сприяла поширенню по всій землі потрібних їй видів тварин і рослин. Центри походження культурних рослин і домашніх тварин співпадають із найдавнішими центрами людської цивілізації. Насамперед це Передня Азія («Родючий півмісяць»), Індія, Китай, Центральна та Південна Америка.



#### Запитання та завдання

1. З якою метою, окрім харчування, людина вирощує рослини? 2. Чим зумовлене різноманіття порід великої рогатої худоби? коня? собаки? 3. Для яких тварин первинна причина одомашнення і сучасне використання людиною є суттєво різними?

## § 19. Міграції тварин



Поміркуйте

Які переваги та недоліки має постійне проживання тварини на одній просторово обмеженій ділянці ландшафту?



Згадайте

- Ареал
- Популяція
- Прохідні риби
- Перелітні птахи

### Міграції тварин: причини, способи і шляхи

Більшість тварин постійно перебуває в русі. В *осілих* видів індивід або група індивідів (зграя) кожен день рухається за власною траєкторією, що пролягає в межах ареалу. Але в деяких випадках великі групи тварин вдаються до узгоджених подорожей — міграцій.

**Міграції** — переміщення значної частини популяції між суттєво відмінними середовищами існування. Вони можуть відбуватись пасивно, під дією зовнішніх чинників: течій, вітрів тощо, — або ж здійснюватись за рахунок цілеспрямованої рухової активності тварин. Активні міграції спричинюються необхідністю пошуку корму, оселищ (птахи), ділянок, придатних для сплячки (змії, кажани), розмноження та виведення потомства (лососі, ропухи, морські черепахи).

**Нерегулярні міграції**, або **кочівлі**, не мають чітко визначеної періодизації та напрямку переміщення. Вони характерні для багатьох комах, плазунів, копитних (антилоп,



**Мал. 19.1.** Монарх — рекордист із дальності перельоту серед комах



**Мал. 19.2.** Горбуші (анадромні риби) під час міграції до місць нересту

оленів, сарн). **Регулярні міграції** відбуваються під впливом добових або сезонних явищ і мають чіткі напрямки. *Добові міграції*, наприклад вертикальні переміщення планктону в товщі океану, є, як правило, недалекими. А от *сезонні міграції*, як-от перельоти птахів, можуть охоплювати відстані на десятки тисяч кілометрів. Для здійснення таких міграцій тваринам необхідний механізм відчуття напрямку — **біонавігація**. Сюди відносяться орієнтація за сонцем, зірками, магнітним полем землі, хімічними сигналами (запахами, складом води), запам'ятовування пройдених маршрутів тощо.

Сезонні міграції відомі в багатьох видів метеликів. Найдовші перельоти здійснює метелик монарх, який кожної осені мігрує з Канади до Мексики, долаючи відстані до 4000 км (мал. 19.1). Аналогічні міграції здійснюють і деякі бабки, наприклад дозорець зелений. А для деяких видів сарани характерні масові, але нерегулярні міграції на відстань до 300 км, спричинені нестачею корму.

Міграції риб також можуть бути пов'язані з сезонними явищами. Так, тунці щорічно мігрують із півночі на південь і назад, услід за змінами температури води. Деякі риби здійснюють міграції з метою розмноження, бо їхня молодь здатна розвиватися в умовах, дуже відмінних від тих, що сприятливі для дорослих. Так звані *анадромні* види живуть у морях, але розмножуються у прісній воді (горбуша, лосось, райдужна форель, європейський осетер) (мал. 19.2).



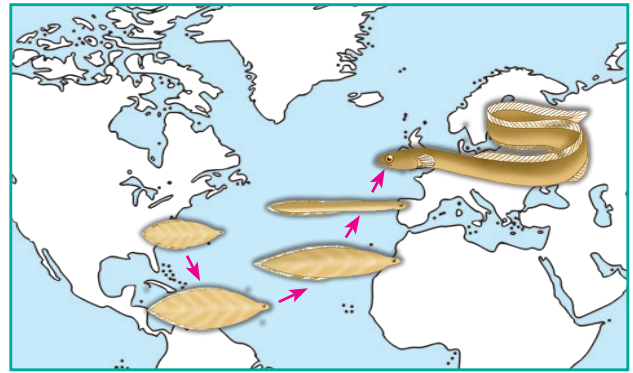
Інші, *катадромні* види, навпаки, живуть у прісних водах, а розмножуються в морі (європейський вугор, річкова камбала) (мал. 19.3). У багатьох анадромних видів міграція до місця розмноження відбувається лише один раз у житті: подолавши величезні відстані, рухаючись до місця розмноження проти сильної течії, перестрибуючи річкові пороги і водоспади, знесилені риби гинуть відразу після нересту.

Міграції птахів, або *перельоти*, пов'язані із сезонною зміною кліматичних, а отже і кормових умов. Полярний крячок щороку мігрує від Арктики до Антарктики, долаючи відстань 40 000–90 000 км, а малий грицик пролітає 11 000 км без жодної зупинки. Але більшість птахів мігрує на менші відстані: із помірних регіонів до тропічних (лелеки, ластівки, бджолоїдки) або лише з північних регіонів Європи до південних, де водойми не замерзають (качки, гуси, лебеді).

Міграції ссавців переважно пов'язані з пошуком корму, зумовленим нестачею рослинної їжі протягом холодного сезону. До нерегулярних кочівель здатні багато видів гризунів, наприклад лемінги. Далекі сезонні міграції здійснюють кажани і копитні (північний олень, антилопа гну). Сезонні явища в океанах змушують до далеких міграцій ластиногих та китоподібних: сірі кити щороку пропливають 12 000 км — від Каліфорнії до Арктичних широт.

### Вплив людської діяльності на міграційні процеси

Людина, змінюючи умови навколишнього середовища, може значно вплинути на міграційні процеси. Види, що в природних умовах змушені мігрувати в пошуках більш сприятливих умов, переходять до осілости, бо поблизу людського житла вони знаходять усі необхідні ресурси навіть узимку. Так, дрізд чорний, крижень, деякі види кажанів



Мал. 19.3. Міграції європейського вугра (анадромної риби)

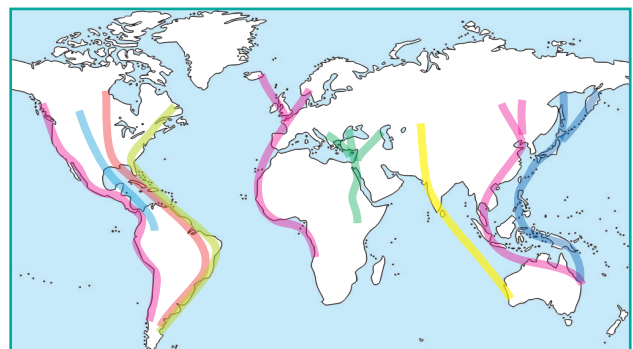
формують у містах осілі популяції, а граки в південній частині ареалу поступово стали осілими птахами. Сприятливі умови населених пунктів змушують осілих лісових птахів мігрувати до міст кожної зими (повзик, блакитна синиця), а перелітних — прокладати маршрути через міста (омелюх).

ПР

Практична робота

#### Дослідження шляхів міграції мічених тварин.

1. Розгляньте на мапі основні напрямки сезонних міграцій птахів (мал. 19.4).
2. Поміркуйте, чим зумовлене переважання напрямку міграції південь-північ.
3. Чим пояснюються існуючі відхилення від цього напрямку?



Мал. 19.4. Основні напрямки сезонних міграцій птахів

≡

Запитання та завдання

1. Чому багато видів птахів мігрують до міст саме взимку, вважаючи за краще влітку повертатися до природних екосистем? 2. Які види амфібій і рептилій здатні до міграцій? З яких причин? 3. Чому деякі денні птахи здійснюють перельоти вночі?



Ключова ідея

Тварини вдаються до міграції в пошуках місць, сприятливих для живлення, сплячки або виведення потомства. Необхідність мігрувати пов'язана насамперед із сезонними явищами. Найвіддаленіші міграції здійснюють птахи і китоподібні.

## § 20. Саморегуляція біологічних систем



Поміркуйте

Яке значення має саморегуляція для живих організмів?



Згадайте

- Гомеостаз
- Рівні організації біологічних систем

### Поняття саморегуляції

Будь-яка жива система, починаючи від клітини й закінчуючи біогеоценозом, постійно зазнає впливу ззовні різноманітних факторів. Змінюються температурні умови, вологість, закінчується їжа або посилюється міжвидова конкуренція. При цьому життєздатність будь-якої системи залежить від її вміння підтримувати свій склад на постійному рівні.

Як ви пам'ятаєте, для кожного окремого організму важливо підтримувати *гомеостаз* — сталість внутрішнього середовища. Для більших біосистем, наприклад біоценозів, важливо зберегти певне співвідношення між організмами, що складають трофічні рівні, інакше порушиться баланс обміну речовин і енергії.

Саме для підтримки постійного складу біосистем існують чисельні механізми саморегуляції. **Саморегуляція** — це властивість систем зберігати внутрішню стабільність на певному, відносно сталому рівні. Саморегуляція є однією з найважливіших властивостей живих систем.

### Саморегуляція на різних рівнях біологічних систем

На різних рівнях організації живої матерії — від молекулярного до надорганізмового — існують конкретні механізми саморегуляції.

Прикладом саморегуляції на **молекулярному рівні** є ферментативні реакції, у яких кінцевий продукт впливає на активність ферментів, що каталізують ці реакції.

Приклади саморегуляції на **клітинному рівні** — самозбирання клітинних мембран із молекул ліпідів, регуляція етапів клітинного циклу.

На **надклітинному рівні** саморегуляція здійснюється як організація клітин в упорядковані асоціації — тканини.

Більшість органів здатні до **внутрішньорганної саморегуляції** функцій; наприклад, внутрішньосерцеві рефлекторні дуги забезпечують закономірні співвідношення тиску в порожнинах серця.

На **організмовому рівні** ефективно взаємодіють нервові, гуморальні й гормональні механізми саморегуляції, за допомогою яких у ссавців устанавлюються й підтримуються на певному рівні показники внутрішнього середовища — температура, кров'яний та осмотичний тиск, рівень цукру в крові тощо.

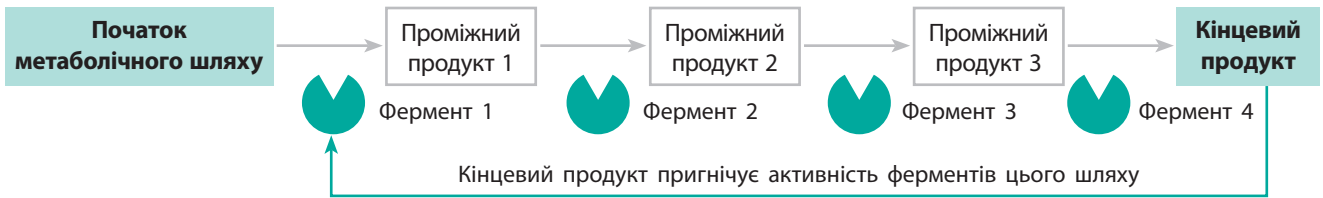
Різнманітні прояви й механізми саморегуляції на **видовому рівні** добре відстежуються в популяціях. Це регуляція чисельності популяцій, співвідношення статей у них, темпи старіння й народжуваності особин.

До **надвидових систем** належать біоценози й екосистеми. Це великі стійкі системи, деякі з них існують без видимих змін сотні й тисячі років. Міжвидові взаємодії регулюють чисельність різних видів, що входять до складу угруповання.

### Принцип зворотного зв'язку

Процеси, що відбуваються на кожному з рівнів організації біологічних систем, різняться масштабною, джерелами енергії й своїми результатами, але вони є схожими за суттю. Вони ґрунтуються на однакових методах саморегуляції систем. Насамперед це **механізм зворотного зв'язку**.

Механізм зворотного зв'язку полягає в тому, що система отримує певний відгук на результати свого функціонування, який визначає, що системі робити далі. Наприклад, у голодної тварини виділяються травні ферменти, що подразнюють шлунок і спонукають шукати здобич; у кров виділяється адреналін, який підвищує фізичну активність і допомагає полюванню. Після їжі



Мал. 20.1. Негативний зворотний зв'язок у регуляції метаболічного шляху

виділяються речовини, що викликають почуття задоволення, і ця «нагорода» знижує пошукову активність. Таким чином, зворотний зв'язок керує системою залежно від її стану.

**Саморегульовані системи** — це системи зі зворотним зв'язком, здатні реагувати на зовнішні й внутрішні зміни, зберігаючи стан динамічної рівноваги.

Зворотний зв'язок може бути позитивним і негативним. У разі **негативного зворотного зв'язку** результати процесу уповільнюють або зупиняють процес.

За принципом негативного зворотного зв'язку в клітинах регулюється робота генів і активність ферментів. Прикладом може бути пригнічення метаболічного шляху кінцевим продуктом (мал. 20.1). За типом негативного зворотного зв'язку здійснюється нервова і гуморальна регуляція гомеостазу, завдяки якій підтримується температура тіла, постійна концентрація  $\text{CO}_2$ , глюкози тощо. Наприклад, підвищення температури активує механізми терморегуляції, спрямовані на її зниження, і навпаки (мал. 20.2).

У популяціях негативні зворотні зв'язки забезпечують гомеостаз чисельності. Приміром, чим більше їжі, тим більшою стає чисельність популяції. За необмеженої кількості їжі цей ріст міг би бути нескінченним, але нестача їжі призводить до його зупинки. Цей зв'язок є негативним. Завдяки йому чисельність популяції коливається навколо відносно постійного значення.

У разі **позитивного зворотного зв'язку** результати процесу ще більше посилюють цей процес.

! Ключова ідея

**Саморегуляція** — властивість систем зберігати внутрішню стабільність на певному, відносно сталому рівні. Конкретні механізми саморегуляції існують на різних рівнях організації живого — від молекулярного до надорганізмового.

За принципом позитивного зворотного зв'язку відбувається регуляція згортання крові. Навколо ушкодженої кровоносної судини концентруються тромбоцити. Вони вивільнюють хімічні речовини, що «приваблюють» на місце події нові тромбоцити. Процес посилюється, доки не утвориться тромб. Ще одним прикладом є дозрівання плодів. Стиглі плоди виділяють етилен — газ, який є гормоном у рослин. Під його дією інші плоди також дозрівають й у свою чергу виділяють етилен.

Іноді позитивний зворотний зв'язок грає негативну роль. Під його впливом посилюється імунна відповідь під час запалення, коли активується все більше нових порцій імунних клітин. У результаті каскад реакцій може стати неконтрольованим, викликаючи руйнування в осередку запалення, поширюючись на сусідні тканини й охоплюючи весь організм.



Мал. 20.2. Негативний зворотний зв'язок у процесах терморегуляції

☰ Запитання та завдання

**1.** Наведіть конкретні приклади саморегуляції на різних рівнях біологічних систем. **2.** Чи існує взаємозв'язок саморегуляції на різних рівнях таких систем? Доведіть або спростуйте свою думку.

## § 21. Саморегуляція на молекулярному рівні



Поміркуйте

Для чого клітина регулює швидкість роботи ферментів?



Згадайте

- Ферменти
- Метаболічні шляхи
- Каталітичний центр ферменту
- Алостерична регуляція

### Загальні шляхи регуляції активності ферментів

Регуляція активності ферментів спрямовує всі клітинні процеси. Ферменти здатні реагувати на внутрішній стан клітини й на зовнішні фактори, що впливають на неї. Така чутливість ферментів дає змогу відреагувати на зміни навколишнього середовища, пристосувати клітину до нових умов, дати відповідь на гормональні сигнали.

Рівень активності ферментів регулюється двома шляхами: контролем кількості ферменту й контролем його активності. **Кількість ферменту** визначається співвідношенням швидкостей його синтезу й розпаду. Кількість ферменту змінюється залежно від інтенсивності його синтезу. Цей процес регулюється на етапах експресії гена цього ферменту (докладніше див. § 22).

**Контроль активності ферменту** здійснюється шляхом взаємодії з певними речовинами, що змінюють конформацію активного центру. Як ви знаєте, ферменти за своєю природою є білками. І їхня чутливість до субстрату залежить від просторової конфігурації.

### Доступність субстрату

Одним із простих способів регуляції активності ферментів є **зміна концентрації субстратів реакції**. Як ви знаєте, швидкість, із якою речовини реагують між собою, залежить від їхньої концентрації. Чим більше

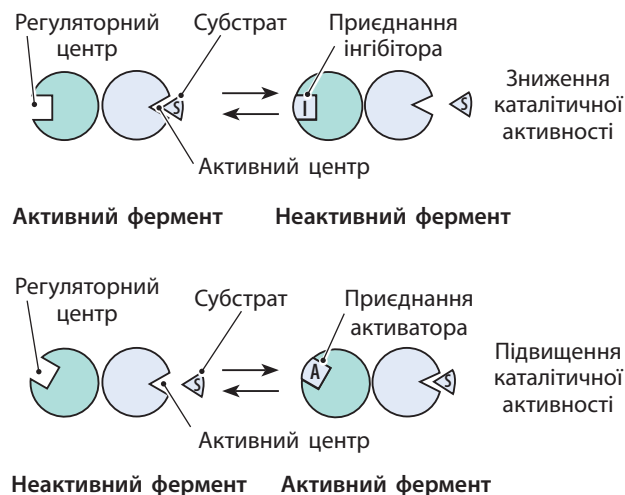
молекул субстрату є в наявності, тим швидшим стає процес. При насиченні всіх молекул ферменту субстратом швидкість реакції стає максимальною. Наприклад, для циклу трикарбонових кислот таким субстратом виступає оксалоацетат. Наявність оксалоацетату «підштовхує» реакції циклу.

### Алостерична регуляція

Алостерична регуляція ферментної активності базується на зміні третинної структури молекул ферменту. Ця зміна відбувається внаслідок приєднання до ферменту молекули іншої речовини.

Алостеричні ферменти мають два активні центри: каталітичний і алостеричний. До алостеричного центру приєднується молекула речовини-ефектора. Це змінює конформацію білка й, відповідно, його ферментну активність (мал. 21.1).

**Алостерична регуляція** може бути як позитивною, так і негативною. Негативним регулятором може бути кінцевий метаболіт біохімічного процесу або продукт цієї реакції, тобто діє **механізм негативного зворотного зв'язку** (мал. 20.1). Позитивним регулятором може бути субстрат реакції; у такому випадку діє **механізм позитивного зворотного зв'язку**.



Мал. 21.1. Загальний принцип алостеричної регуляції



## Хімічна регуляція

На активність ферментів можна вплинути шляхом їхньої хімічної модифікації. Хімічна модифікація здійснюється приєднанням до амінокислот білка певних груп: фосфатної групи, залишку жирної кислоти, вуглеводних компонентів. Приєднання додаткових угруповань суттєво впливає на структуру ферменту, а отже, і на його ферментативну активність.

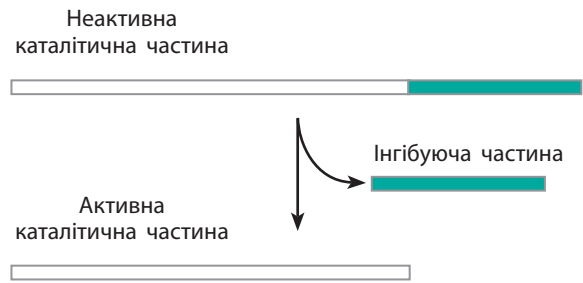
Найбільш поширений спосіб змінити властивості білків — це **фосфорилування** й **дефосфорилування** (приєднання або від'єднання залишку фосфорної кислоти). Наприклад, під час фосфорилування білків клітинного цитоскелета змінюється сила його взаємодії з мембраною й форма клітин. Фосфорилування певних білків активує скорочення м'язів.

## Обмежений протеоліз

Обмежений (частковий) протеоліз передбачає, що синтез деяких ферментів здійснюється у вигляді більшого попередника — **проферменту**. Фермент активується шляхом відщеплення від нього одного або кількох пептидних фрагментів. Тоді в частині молекули, що залишилася, відбувається конформаційна перебудова й формується активний центр (мал. 21.2). Фермент стає активним.

Прикладом є активація протеолітичних ферментів шлунково-кишкового тракту (трипсиногену, пепсиногену), факторів системи зсідання крові (фібриногену), лізосомальних ферментів, пептидних гормонів (інсуліну). Наприклад, неактивний трипсиноген, синтезований у підшлунковій залозі, надходить у кишечник, де відбувається його обмежений протеоліз. У результаті утворюється активний трипсин.

Такий механізм захищає організм від ушкоджень (наприклад, щоб слизова підшлункової залози не зруйнувалася під дією трипсину) або зберігає білок до моменту,



Мал. 21.2. Активація ферменту обмеженим протеолізом

коли знадобиться його активність (під час згортання крові).

## Метаболічні ланцюги

Зазвичай ферментативні реакції в клітині об'єднані в метаболічні ланцюги або цикли.

У кожного метаболічного ланцюга є **ключовий фермент**, який визначає швидкість усього ланцюжка реакцій. Як правило, ключові ферменти є першими в ланцюжку. Найчастіше це алостеричні ферменти. Вони інгібуються кінцевими продуктами або активуються субстратами (мал. 20.1). У такий спосіб регулюється швидкість усього метаболічного шляху.

Також функціонування клітини забезпечується просторовою регуляцією метаболічних шляхів. Цей тип регуляції пов'язаний із локалізацією певних ферментів у різних органелах: у ядрі містяться ферменти синтезу ДНК і РНК, у цитоплазмі — ферменти гліколізу, у мітохондріях — ферменти циклу трикарбонових кислот. Найвищий рівень просторової організації спостерігається, коли ферментні комплекси пов'язані з мембранами. У такому разі речовини, що перетворюються, послідовно пересуваються вздовж ланцюга ферментів. Приклади таких комплексів — АТФази і переносники електронів у мембранах хлоропластів і мітохондрій. Читка просторова локалізація ферментів у клітині забезпечує їх узгоджену діяльність.



### Ключова ідея

Регуляція активності ферментів спрямовує всі клітинні процеси. Рівень ферментної активності регулюється двома шляхами: контролем кількості ферменту й контролем його активності.



### Запитання та завдання

**1.** Алостеричні ферменти найчастіше мають четвертинну структуру: складаються з декількох субодиниць. Чому? **2.** Як ви вважаєте, які з розглянутих способів регуляції активності ферментів є оборотними, а які — необоротними?

## § 22. Саморегуляція на клітинному рівні

**?** Поміркуйте

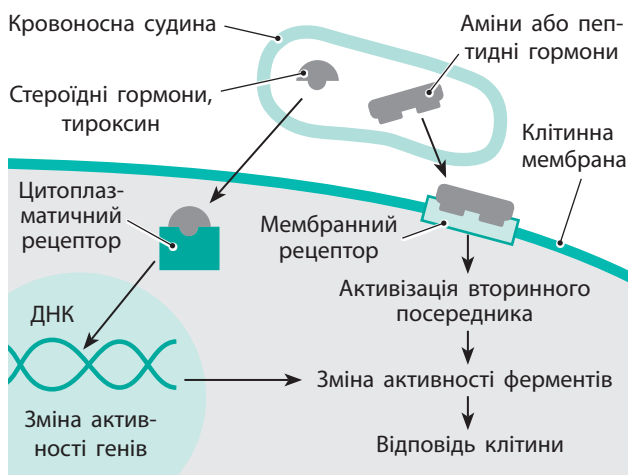
Яке значення має саморегуляція на клітинному рівні? Доведіть свою думку.

**←** Згадайте

- Промотор
- Термінатор
- Оператор
- Оперон
- Інтрони
- Екзони
- Сплайсинг
- Мембранний потенціал
- Апоптоз
- Клітинний цикл
- Натрій-калієвий насос

### Внутрішньоклітинна сигналізація

Внутрішньоклітинна сигналізація необхідна для передачі зовнішніх сигналів до внутрішньоклітинних структур. Так, наприклад, клітина сприймає сигнали гормонів або нейромедіаторів. Гормони або нейромедіатори називаються **первинними посередниками**. Вони взаємодіють із рецепторами на поверхні клітин. У відповідь на це в цитоплазмі клітин утворюються **вторинні**



Мал. 22.1. Схема внутрішньоклітинної сигналізації

**посередники** — регуляторні молекули, які «підхоплюють естафету» і передають сигнал уже на клітинні структури. За участю вторинних посередників у клітині активуються різні процеси. У результаті це зумовлює клітинну відповідь: секрецію речовин, ріст і рух, поділ, експресію певних генів та інших процесів (мал. 22.1).

### Приклади індукції і репресії у прокаріотів

Індукція	Репресія
<p>Лактозний оперон <i>E. coli</i> містить гени трьох ферментів, які розщеплюють лактозу. За відсутності лактози транскрипція блокується білком-репресором, який пов'язаний з оператором.</p>	<p>Триптофановий оперон <i>E. coli</i> містить гени п'яти ферментів, які беруть участь у синтезі амінокислоти триптофана.</p>
<p>Коли в клітині з'являється лактоза, вона зв'язується з білком-репресором. Білок-репресор змінює конформацію і від'єднується від оператора. Шлях для РНК-полімерази відкривається, і відбувається транскрипція. У результаті синтезуються ферменти, які розщеплюють лактозу.</p>	<p>Настає момент, коли концентрація триптофану в клітині стає високою і синтез треба призупинити. Триптофан зв'язується з білком-репресором, який при цьому змінює конформацію. Весь комплекс зв'язується з оператором і блокує транскрипцію.</p>





## Регуляції експресії генів

Як ви знаєте, у структурі кожного гена є *промотор* і *термінатор* — ділянки початку і закінчення транскрипції, а також *оператор* — ділянка, яка регулює експресію гена. Якщо оператор заблокований, то РНК-полімераза не може рухатися вздовж гена, і транскрипція не відбувається.

У **прокаріотів** гени об'єднані в *оперони* — структури з декількох генів із загальними промотором і термінатором. В оперони зібрані гени ферментів одного метаболічного шляху. Так вони синтезуються разом і в однаковій кількості. Регуляція швидкості транскрипції в прокаріотів відбувається за двома механізмами: *індукцією* та *репресією*.

В **еукаріотів** регуляція експресії генів ускладнюється. До регуляції транскрипції, крім операторів, залучаються додаткові ділянки геному — *енхансери* і *сайленсери*. Енхансери, після зв'язування з ними певних білків, стимулюють транскрипцію, а сайленсери пригнічують її. Також транскрипція регулюється *конденсацією* і *деконденсацією хроматину* (щільно конденсований хроматин неактивний).

На етапі дозрівання мРНК *альтернативний сплайсинг* зумовлює синтез різних мРНК і, відповідно, синтез різних генних продуктів. Остаточна регуляція відбувається на етапі *посттрансляційної модифікації* білка.

## Самозбирання клітинних органел

**Самозбирання мембран.** Білки й ліпіди, що входять до складу мембран, здатні до самозбирання. Більшість фосfolіпідів у водному середовищі мимовільно утворюють бішари. Ці ліпідні бішари схильні до замикання на самих себе, що зумовлює формування закритих відсіків.

**Самозбирання рибосом.** Спочатку рибосомні білки утворюють комплекси з молекулами рибосомальної РНК. Утворюються велика й мала субодиниці рибосом. Субодиниці зв'язуються з мРНК і між собою, утворюючи активну рибосому.



### Ключова ідея

До механізмів підтримання гомеостазу на клітинному рівні належать самозбирання органел, підтримання мембранного потенціалу, регуляція експресії генів і клітинного циклу.

**Самозбирання мікротрубочок і мікрофіламентів.** Мікротрубочки джгутиків, цитоплазми й веретена поділу побудовані з глобулярного білка тубуліну. У певних умовах мікротрубочка росте шляхом самозбирання тубулінових субодиниць.

## Підтримання мембранного потенціалу

Мембранний потенціал є необхідним для важливих клітинних процесів, зокрема транспорту речовин через мембрани та проведення нервового імпульсу (детальніше див. §4). Як же він підтримується? У мембранах клітини розташований натрій-калієвий насос — білок, який перекачує йони  $\text{Na}^+$  із клітини, а йони  $\text{K}^+$  у клітину. Концентрація йонів  $\text{K}^+$  всередині клітини стає в 30–37 разів вищою, ніж за її межами, і Калій «прагне» вийти з клітини. У результаті на зовнішній мембрані утворюється надлишок позитивно заряджених часток (йонів  $\text{K}^+$ ), а на внутрішній поверхні мембрани — надлишок негативно заряджених часток. Так виникає різниця потенціалів.

## Саморегуляція клітинного циклу

Існує низка механізмів контролю клітинного циклу.

Тривалість інтерфази регулюється розміром клітини, а також визначається зовнішніми умовами й сигналами від інших клітин. Спеціальні системи регулюють перехід з одного періоду клітинного циклу в інший, запуск мітозу.

Клітина контролює також правильність процесу реплікації ДНК, цілісність хромосом і клітинних структур (формування веретена поділу, прикріплення до нього хромосом). Якщо виявляються порушення, перехід до наступних етапів клітинного циклу гальмується. Якщо пошкодження катастрофічні, клітина розпочинає процес *апоптозу*.

**Апоптоз** є запрограмованою загибеллю клітини. Однією з основних функцій апоптозу є знищення пошкоджених та старіючих клітин.



### Запитання та завдання

1. Навіщо в клітині регулюється експресія генів?
2. Що станеться в разі порушення мембранного потенціалу?
3. У яких випадках клітини підлягають апоптозу?

## § 23. Саморегуляція на тканинному рівні



Поміркуйте

За яких умов клітини, що входять до складу тканин, можуть виконувати свої функції?



Згадайте

- Тканини
- Гормони
- Передача нервового імпульсу
- Клітинні мембрани
- Нейромедіатори

### Міжклітинна сигналізація

Існування складних багатоклітинних організмів можливе завдяки координації біохімічних процесів, що відбуваються в їхніх клітинах. Така координація ґрунтується на міжклітинній комунікації й передачі сигналу всередину окремих клітин.

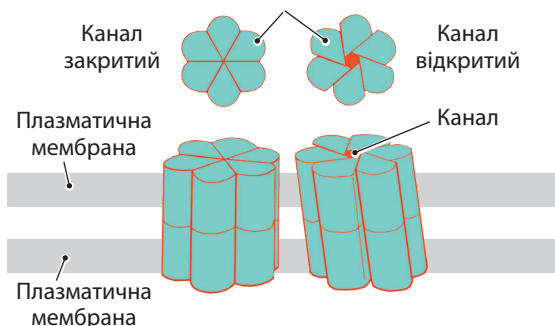
Спеціалізовані клітинні структури, що скріплюють клітини між собою і забезпечують міжклітинну комунікацію, називають *міжклітинними контактами*.

Сигналізація між тваринними клітинами може бути *контактною* (за безпосереднього контакту) і *дистантною* (на відстані). **Контактна сигналізація** відбувається через *щілинні контакти* (мал. 23.1), які сполучають цитоплазму двох клітин, що взаємодіють та уможливають обмін малими молекулами. **Дистантна сигналізація** відбувається за допомогою молекул, що секретуються.

### Контактна сигналізація через щілинні контакти

**Щілинний контакт** — спосіб сполучення клітин у тканині за допомогою білкових каналів (мал. 23.1). Через ці канали від клітини до клітини можуть передаватися *електричні сигнали* і *малі молекули*, такі як неорганічні йони, моносахариди, амінокислоти, нуклеотиди, вітаміни й молекули вторинних посередників.

Щілинні контакти наявні в більшості тваринних клітин. Вони забезпечують поширення електричного збудження, передаючи йони між клітинами. Таким чином щілинні кон-



Мал. 23.1. Щілинні контакти

такти сполучають клітини серцевого м'яза, синхронізуючи їхні скорочення, а також клітини гладеньких м'язів кишечника, забезпечуючи ритмічну перистальтику. У нервовій системі щілинні контакти формують електричні синапси, через які нервовий імпульс поширюється значно швидше, ніж через хімічні синапси. Такі структури дуже корисні, коли важлива швидкість (наприклад, у рефлексорних дугах, відповідальних за втечу).

За участю щілинних контактів вирівнюється концентрація сигнальних молекул і поживних речовин. Це необхідно, скажімо, для нормального функціонування печінки й дозрівання фолікулів у яєчнику. Також щілинні контакти потрібні для нормального розвитку зародка: вони підтримують диференціацію окремих груп клітин, передаючи сигнальні молекули.

### Дистантна сигналізація за допомогою молекул, що секретуються

Під час дистантної регуляції клітини-регулятори виділяють хімічні речовини, які є сигналами для клітин-мішеней, розташованих на деякій відстані.

Існують **три типи хімічної сигналізації**:

- **ендокринна** — сигналізація за допомогою хімічних речовин (гормонів), які діють на віддалені клітини;
- **паракринна** — виділення клітиною хімічних речовин, які діють лише на клітини із найближчого оточення;
- **аутокринна** — виділення клітиною речовин, які діють на неї саму.



Існують такі міжклітинні сигнальні речовини:

- **гормони** — речовини, що виділяються ендокринними клітинами й транспортуються рідинами організму до клітин-мішеней, розташованих на відстані від місця секреції;
- **гістогормони** — біологічно активні речовини, які виділяються клітинами в міжклітинний простір і впливають лише на сусідні клітини;
- **нейромедіатори** — з'єднання, що передають сигнал у синапсах нервових клітин і діють тільки на постсинаптичну клітину.

## Паракринна і аутокринна сигналізація

Особливістю паракринної і аутокринної регуляції є місцева дія. Гістогормони не надходять у кровотік, а діють на клітину, що їх продукує, та на її найближче оточення, поширюючись по міжклітинній рідині за рахунок дифузії. До гістогормонів належать кініни, простагландини, гістамін, серотонін, тканинні фактори росту.

*Цитокіни* — невеликі пептиди, які стимулюють або пригнічують функції інших клітин (зокрема ріст), беруть участь у диференціюванні клітин, розпочинають апоптоз. Наприклад, *лімфокіни* — це цитокіни, які виділяються лімфоцитами, *інтерлейкіни* — цитокіни, відповідальні за міжклітинні взаємодії між лейкоцитами.

*Фактори росту* — білкові молекули, що регулюють поділ, диференціювання і рухливість клітин. Наприклад, фактори росту епітеліальної, кісткової, нервової тканин.

*Простагландини* за хімічною природою є жирними кислотами. Вони спричинюють скорочення гладких м'язів, активують діяльність нервової системи, мають антизапальну дію, збільшують проникність кровоносних судин, знижують рівень зсідання крові.

*Гістамін* бере участь у регуляції різних процесів в організмі, є нейромедіатором і одним з активаторів алергічних реакцій.



### Ключова ідея

Міжклітинна сигналізація здійснюється дистантно, з виділенням хімічних речовин, і за безпосередньої взаємодії клітин через щілинні контакти.



Мал. 23.2. Синаптичний контакт

## Синаптична сигналізація

Нервові клітини передають інформацію на великі відстані за допомогою електричних імпульсів. У нервових закінченнях ці імпульси перетворюються на хімічні сигнали. Це відбувається у спеціалізованих контактах — **синапсах**. Із нервового закінчення з пресинаптичної клітини вивільняються сигнальні молекули — *нейромедіатори*. Ці молекули вловлюються рецепторами постсинаптичної мембрани наступного нейрона й стимулюють утворення електричного сигналу (мал. 23.2). Якщо нейромедіатор не досяг мети, він вилучається зі щілини ферментами або повертається назад у нервові закінчення. Тому вплив сигналу є досить точним.

До нейромедіаторів ЦНС належать, наприклад, адреналін, серотонін, дофамін. *Адреналін* є збуджуючим нейромедіатором. *Дофамін* є частиною «системи заохочення» і виділяється у відповідь на правильну поведінку. Він викликає відчуття задоволення, чим впливає на процеси мотивування і навчання. *Серотонін* часто називають гормоном щастя; зниження рівня серотоніну є одним з факторів виникнення депресії. *Ацетилхолін* здійснює передачу сигналу з нервів на м'язи.



### Запитання та завдання

1. Навіщо клітини тканин контактують одна з одною?
2. Порівняйте ефективність щілинних і синаптичних контактів для нервової тканини.
3. Зважаючи на функції щілинних контактів, зробіть припущення, які порушення можуть виникнути в разі спадкового дефекту цих структур.

## § 24. Нервова й гуморальна саморегуляція на рівні організму



Поміркуйте

Чи є гомеостаз головною умовою існування живого організму?



Згадайте

- Гомеостаз
- Вегетативна нервова система
- Ендокринна система
- Гормони

### Гомеостаз

**Гомеостаз** — властивість живого організму зберігати сталість внутрішнього середовища, а саме хімічного складу й основних фізіологічних функцій.

Якщо зовнішні умови, у яких живе організм, значно змінюються, то показники його внутрішнього середовища — хімічний склад, концентрація солей, температура, рН — можуть коливатися тільки у вузькому діапазоні. Інакше всі життєві функції організму порушуються.

Аби забезпечити гомеостаз на рівні цілого організму, потрібна взаємодія багатьох систем органів. Злагоджена робота всіх систем підтримується шляхом нервової, гуморальної та імунної регуляції.

### Нервова регуляція

Нервова регуляція здійснюється нервовою системою (НС). Цей вид регуляції забезпечує швидко відповідні реакції організму на подразнення.

Нервова система поділяється на соматичну і автономну (останню також називають вегетативною). *Соматична* НС регулює роботу скелетних м'язів і відповідає за контрольовані рухи тіла. *Автономна* НС управляє гладенькими м'язами та іннервує внутрішні органи; її робота не підконтрольна свідомості.

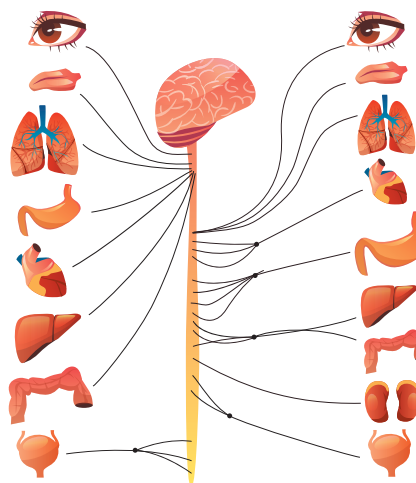
Саме автономна нервова система виконує головну роль у підтримці гомеостазу, забезпечуючи контроль сталості внутрішнього середовища. Автономна нервова система іннервує всю гладеньку мускулатуру внутрішніх органів, гладенькі м'язи шкіри, ендокринні залози, серце, кровоносні судини. Її відділи керують обміном речовин, контролюють кровообіг, дихання, травлення, виділення, водно-сольовий обмін, відповідають за ріст і розмноження.

Автономна НС поділяється на симпатичний і парасимпатичний відділи. Як правило, дії симпатичної і парасимпатичної систем є протилежними.

*Симпатична* нервова система мобілізує сили організму для фізичної діяльності. Вона активується під час стресу, готує організм до втечі або боротьби. Під її впливом прискорю-

#### Парасимпатичний відділ

- Звужує зіниці
- Стимулює слиновиділення
- Звужує бронхи
- Стимулює травлення
- Уповільнює серцебиття
- Стимулює жовчний міхур
- Розслаблює пряму кішку
- Скорочує сечовий міхур



#### Симпатичний відділ

- Розширює зіниці
- Зменшує виділення слини
- Розширює бронхи
- Підвищує частоту скорочень серця
- Уповільнює травлення
- Стимулює виділення глюкози
- Скорочує пряму кішку
- Стимулює виділення адреналіну
- Розслаблює сечовий міхур

Мал. 24.1. Дія автономної нервової системи



## Порівняння характеристик нервової і гуморальної регуляції

Характеристики	Нервова регуляція	Гуморальна регуляція
Речовини-посередники	Нейромедіатори	Гормони
Швидкість реакції у відповідь	Швидка	Повільна
Тривалість реакції	Короткочасна	Довготривала
Масштаб реакції	Місцева	Часто відбувається в масштабі всього організму

ється обмін речовин, частіше дихання, підвищується артеріальний тиск, посилюється кровопостачання м'язів і головного мозку. Одночасно пригнічується діяльність травної та видільної систем.

*Парасимпатична* нервова система, навпаки, налаштовує організм на роботу в спокійних умовах. Вона зменшує силу і частоту скорочень серця, підсилює перистальтику кишечника, стимулює синтез травних ферментів тощо.

### Гуморальна регуляція

*Гуморальна регуляція* — це координація фізіологічних і біохімічних процесів в організмі, що здійснюється за рахунок рідких середовищ (крові, лімфи, тканинної рідини) з допомоги біологічно активних речовин (гормонів і гістогормонів).

Одним із видів гуморальної регуляції є *ендокринна регуляція*, у якій беруть участь *гормони*, що виробляються спеціалізованими залозами внутрішньої секреції і виділяються в кров, а іноді й в інші рідини організму. Гормони за рахунок цих рідин досягають клітин-мішеней, зв'язуються з рецепторами на їх поверхні і змінюють роботу клітини-мішені. Гормони мають високу біологічну активність (діють у дуже невеликих концентраціях) і специфічність (діють на певні клітини-мішені).

За хімічною будовою гормони можуть бути білками й пептидами (інсулін, гормони передньої частки гіпофіза), похідними амінокислот (адреналін, тироксин), стероїдами (статеві гормони, гормони кори надниркових залоз).



#### Ключова ідея

Завдяки зв'язку нервової й ендокринної систем здійснюється єдина нейрогуморальна саморегуляція організму, що забезпечує підтримання відносної сталості внутрішнього середовища організму.

### Взаємозв'язок нервової і гуморальної систем

Гуморальна регуляція — це найдавніший механізм координації процесів життєдіяльності організму. У клітинах і органах під час метаболізму утворюються різні продукти обміну речовин. Деякі з них можуть сильно вплинути на функціонування організму.

Прикладом впливу простих продуктів обміну на фізіологічні функції людини є дія вуглекислого газу: висока концентрація  $\text{CO}_2$  розширює кровоносні судини, стимулює роботу серця і дихального апарату.

На основі такої давньої і неспецифічної хімічної регуляції сформувалася тканинна регуляція, яка здійснюється гістогормонами. Потім з'явилася більш складна ендокринна регуляція, що відбувається за участю гормонів.

На пізнішому етапі розвитку живих істот виникла нервова регуляція. Цей механізм є більш досконалим, швидким і точним, у порівнянні з гуморальною регуляцією.

Разом із тим, гуморальна регуляція може впливати довгостроково. Наприклад, гормон росту, що виділяється протягом років, визначає зростання дитини.

У процесі життєдіяльності організму обидва типи регуляції взаємопов'язані. Хімічні речовини впливають на роботу нервової системи, а їх виділення регулюється відповідними нервовими центрами. Єдиний нейрогуморальний механізм забезпечує саморегуляцію всіх функцій і автоматичне підтримання гомеостазу.



#### Запитання та завдання

1. Як ви вважаєте, яка із систем регуляції — нервова чи гуморальна — еволюційно більш давня?
2. Як нейрогормони впливають на нашу поведінку?
3. Як здійснюється взаємозв'язок між нервовою й гуморальною типами регуляції?

## § 25. Терморегуляція. Водно-сольовий гомеостаз. Детоксикація



Поміркуйте

Як різні організми підтримують сталість внутрішнього середовища?



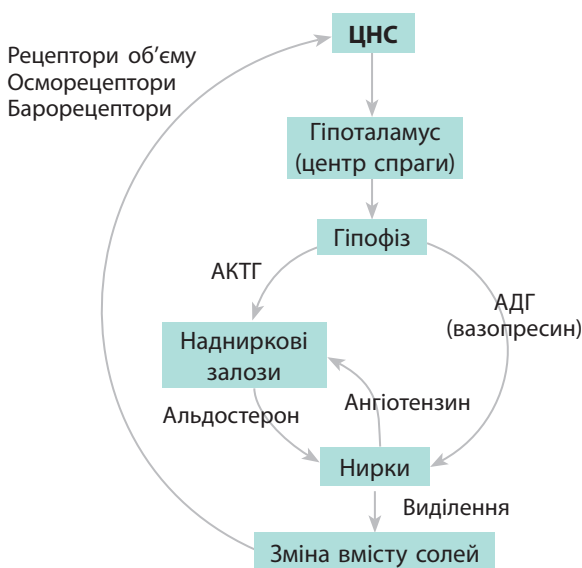
Згадайте

- Видільна система
- Гормональна регуляція
- Механізм зворотного зв'язку

### Терморегуляція

Систему фізіологічних процесів, що забезпечують підтримання сталої температури тіла, називають **терморегуляцією**.

Терморегуляція відбувається за принципом зворотного зв'язку (див. мал. 20.2, с. 45). Підвищення температури навколишнього середовища спричиняє в теплокровних тварин рефлекторне зниження обміну речовин і зменшення теплотворення, й навпаки — зниження температури рефлекторно підвищує інтенсивність метаболічних процесів із посиленням теплотворення. Тепловіддача в зовнішнє середовище здійснюється за рахунок



Мал. 25.1. Нервово-гуморальна регуляція водно-сольового балансу

теплопроведення й випаровування води (потовиділення, транспірація). (Докладніше про засоби терморегуляції у тварин див. §38.)

### Водно-сольовий гомеостаз

**Водно-сольовий (осмотичний) гомеостаз** — це регуляція обміну води і концентрації солей (електролітів) у рідинях організму. У клітинах головними електролітами є йони  $K^+$  і  $Mg^{2-}$ , у крові й міжклітинній рідині висока концентрація йонів  $Na^+$  і  $Cl^-$ .

Вирішальну роль у підтримці водно-сольового балансу відіграє нервово-гуморальна регуляція (мал. 25.1). За умови зниження обсягу крові (наприклад, під час кровотечі) або зростання концентрації солей спеціальні рецептори в стінках артерій сигналізують про це в ЦНС. У відповідь з'являється відчуття спраги, і тим самим стимулюється відповідна поведінка. Окрім цього, активізується ендокринна система: задня частка гіпофіза виділяє *антидіуретичний гормон* (скорочено АДГ, або *вазопресин*), кора надниркових залоз виділяє *альдостерон*. Дія цих гормонів спрямована на утримання води в організмі: вони збільшують її реабсорбцію в каналцевій системі нирок. Альдостерон також активізує реабсорбцію Натрію і виведення Калію нирковими каналцями.

Підтримку сталого вмісту Кальцію забезпечують *паратгормон* і *кальцитонін*. Паратгормон підвищує рівень  $Ca^{2+}$  в плазмі крові, активуючи його виведення з кісткової тканини, підсилюючи його реабсорбцію в нирках і абсорбцію в кишечнику. Кальцитонін діє навпаки: знижує рівень  $Ca^{2+}$  у крові, головним чином припиняючи його «вимивання» з кісток.

### Підтримання сталого рівня глюкози

Сталий рівень глюкози в крові (3,3–5,5 ммоль/л) підтримується насамперед шляхом *гуморальної регуляції*, у якій беруть участь певні гормони.

*Інсулін* є єдиним гормоном, дія якого спрямована на зниження рівня глюкози в крові. Він стимулює перехід глюкози з плазми крові в клітини, головним чином, м'язів



Мал. 25.2. Регуляція вмісту глюкози в крові за принципом негативного зворотного зв'язку

і жирової тканини. Крім того, інсулін стимулює процеси синтезу глікогену й ліпідів із глюкози, а також процеси гліколізу, у яких глюкоза витрачається.

Інші гормони збільшують вміст глюкози в крові. *Глюкагон* посилює розпад глікогену в печінці й стимулює синтез глюкози — глюконеогенез (мал. 25.2). *Адреналін* стимулює розпад глікогену. *Глюкокортикоїди* стимулюють глюконеогенез.

### Підтримання сталого рівня рН крові

У нормі рН крові коливається в межах 7,36–7,4. Але у процесах життєдіяльності в кров увесь час викидаються продукти або кислого, або оснóвного характеру, що можуть зсунути це значення. Сталість рН підтримується *буферними системами крові* й органами виділення — легенями та нирками. Буферні системи згладжують різкі коливання рН у разі раптового збільшення вмісту кислих

або лужних продуктів у крові. Органи виділення виводять ці продукти з організму.

**Буферні системи** — це такі хімічні системи, рН яких не змінюється навіть за умови додавання деякої кількості кислот або основ. У тканинній рідині і крові головною буферною системою є *гідрокарбонатна* система ( $\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-$ ), а у внутрішньоклітинній рідині — *фосфатна* ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$ ).

### Роль печінки в детоксикації та підтриманні гомеостазу

Печінка функціонує як первинний регулятор вмісту в крові речовин, що надходять в організм із їжею. Чужорідні й токсичні речовини в печінці перетворюються на менш токсичні сполуки. Відбувається це шляхом окиснення, відновлення, метилювання, ацетилювання й кон'югації з тими чи іншими речовинами. Наприклад, аміак, що утворюється під час розпаду білків, знешкоджується в печінці, перетворюючись на сечовину або сечову кислоту. Токсичний для нервової системи білірубін (продукт розпаду гемоглобіну) у печінці сполучається із глюкуроною кислотою, й у такий спосіб відбувається його детоксикація. Продукти гниття білків у кишечнику (фенол, індол) знешкоджуються шляхом кон'югації із сірчаною або глюкуроною кислотами.

#### ПР Практична робота

##### Моделювання механізмів підтримання гомеостазу

1. Проаналізуйте схему регуляції рівня глюкози в крові (мал. 25.2).
2. Складіть аналогічну схему водно-сольового гомеостазу у тварин (за принципом негативного зворотного зв'язку). Вкажіть процеси, що відбуваються — реабсорбція води, зміна вмісту йонів  $\text{Na}^+$ .
3. Складіть схему підтримки рівня йонів Кальцію в крові.

#### Запитання та завдання

1. До яких наслідків для організму може призвести порушення тепловіддачі? 2. Навіщо потрібно регулювати вміст солей в організмі? 3. Для чого необхідно підтримувати постійний рівень рН крові? 4. Які захворювання порушення функцій печінки ви знаєте? Наскільки вони небезпечні для організму?

#### ! Ключова ідея

ЦНС, ендокринна система, органи виділення й печінка беруть участь у підтриманні сталості внутрішнього середовища організму. Сталість складу плазми крові підтримується нервовою й гормональною регуляцією, а також буферними системами крові.

## § 26. Імунітет як засіб збереження гомеостазу



Поміркуйте

Що таке фагоцитоз? Які функції в організмі людини виконують лейкоцити?



Згадайте

- Імунітет
- Фагоцитоз
- Антітіла
- Антігени

### Імунна регуляція

До регуляторних систем, що забезпечують внутрішню сталість організму, належить також імунна система. Імунітет є здатністю організму відрізнити чужорідний біологічний матеріал від свого та нейтралізувати цей матеріал. Імунна система усуває чужорідні речовини, віруси і бактерії, що проникли в організм. Також імунна система підтримує життєдіяльність організму шляхом виведення власних мутантних або зношених клітин, білків, що відробили своє, та токсичних речовин.

Виділяють неспецифічний і специфічний види імунітету. *Неспецифічний імунітет* спрямований проти широкого спектра чужорідних агентів. *Специфічний імунітет* передбачає виробництво спеціалізованих систем нейтралізації — такими є *антітіла*, які розпізнають конкретні *антигени*.

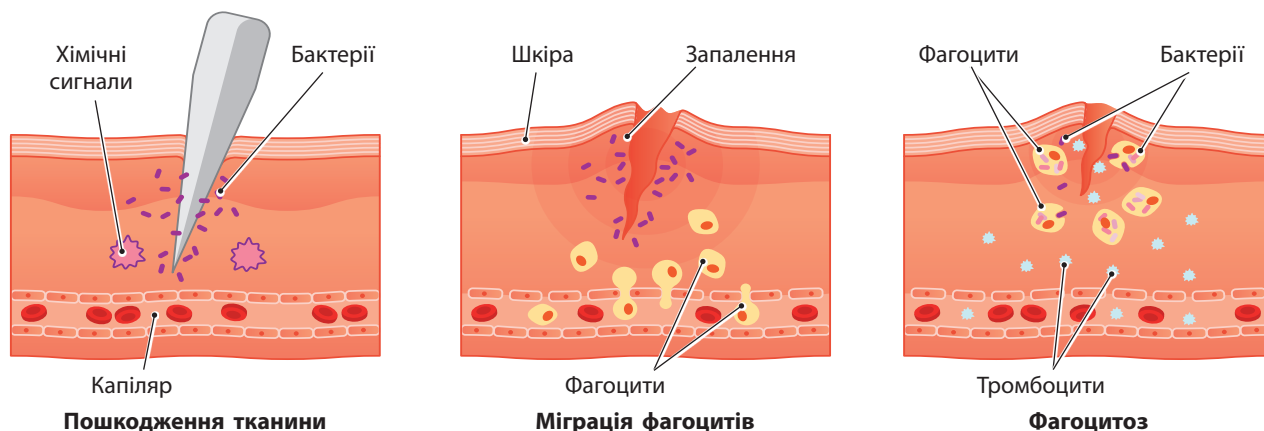
### Неспецифічні захисні бар'єри

Першими на шляху чужорідних агентів постають фізіологічні бар'єри організму — шкіра, слизові оболонки, кутикула, панцири тощо. Щільний шар епітеліальних клітин шкіри є механічною перешкодою, яка не дозволяє бактеріям і вірусам проникнути в середину організму. До того ж кисла реакція поверхні шкіри несприятлива для більшості мікроорганізмів. Твердий зовнішній кістяк, такий як панцир, також перешкоджає інвазії чужорідного матеріалу. Слиз, що покриває тіло багатьох кишковопорожнинних, кільчастих червів, молюсків, затримує й знищує патогенні мікроорганізми. Зовнішні слизові оболонки людини виділяють лізоцим — речовину, що знищує бактерій. Широко відома й бактерицидна дія шлункового соку, який має дуже кислу реакцію.

У разі порушення цілісності цих бар'єрів проти чужорідного тіла діє ціла низка клітинних і гуморальних захисних механізмів: загоєння ран, фагоцитоз патогену, його інкапсулювання. Окремим видом підтримки гомеостазу є зсідання крові.

### Загоєння ран та згортання крові

Загоєння ран запобігає втраті організмом життєво важливих рідин (крові, гемолімфи тощо). У безхребетних рани «закриваються» шляхом скорочення м'язів, випинання жирового тіла, згортання плазми, утворення



Мал. 26.1 Процеси, що відбуваються в місці запалення





тромбу з клітин крові. У загоєнні ран беруть участь спеціальні *гемостатичні клітини*. У хребетних тварин під час пошкодження кровоносних судин активізується *система згортання крові*. У результаті каскаду реакцій утворюється тромб із білка фібрину, який затягує рану.

### Запальний процес

Універсальною і неспецифічною захисною реакцією організму на дію різних патогенів є **запалення**. Запальний процес виникає під час проникнення чужорідних агентів (механічних, хімічних, біологічних) у підшкірний або підслизовий шар.

На початку запального процесу в місці пошкодження розширюються капіляри і посилюється кровоток, тому місце запалення червоніє. Ба більше проникність капілярів зростає, і в пошкоджену тканину з плазми крові виходять *фагоцити*. Розвивається процес поглинання мікробів клітинами-макрофагами — *фагоцитоз* (мал. 26.1). Поглинаючи чужорідні тіла й пошкоджені клітини, фагоцити гинуть у великих кількостях, перетворюючись на гній.

Крім того, до місця запалення надходять лейкоцити та фізіологічно активні речовини (наприклад, гістамін), які теж беруть участь у знищенні патогену. Усі ці процеси сприяють виникненню набряку.

### Специфічний імунітет хребетних

У відповідь на вплив певного стороннього агента (антигена) в організмі утворюються специфічні антитіла, що забезпечують специфічний імунітет. Еволюційно він з'явився у хребетних і є відмінною рисою їхньої імунної системи. Головними клітинами, що відповідають за специфічний імунітет, є лімфоцити. (Докладніше див. § 56.)

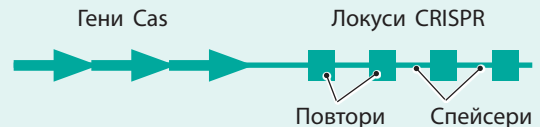
### РНК-інтерференція та антивірусний імунітет

Система РНК-інтерференції є важливою частиною внутрішньоклітинної імунної від-

Дізнайтеся більше

#### Антивірусний імунітет бактерій. CRISPR

Останнім часом активно досліджують нещодавно відкриту систему імунітету в бактерій і архей. Імунну відповідь забезпечують спеціальні РНК, гени яких розташовані в локусах, що одержали назву CRISPR. Локуси CRISPR складаються з численних повторів, між якими є проміжки — спейсери. Послідовність нуклеотидів кожного спейсера відповідає послідовності ділянки ДНК певного вірусу. Тобто набір спейсерів — це «бібліотека» різноманітних вірусних «міток». У безпосередній близькості від локусів CRISPR є гени білків, які називають Cas. Зазвичай Cas — це нуклеази.



На спейсерах безперервно транскрибуються різноманітні молекули РНК. З ними з'єднуються білки Cas. Ці комплекси плавають у цитоплазмі, «патрулюючи» її. Якщо в клітину потрапляє вірусна ДНК, то її розпізнає відповідна РНК і приєднується до неї, а нуклеаза Cas розщеплює цю чужорідну ДНК. Систему CRISPR-Cas сьогодні активно використовують для редагування геному. Можна штучно синтезувати будь-яку послідовність РНК і ввести її в певну клітину в комплексі з нуклеазою Cas. І тоді нуклеаза «розріже» відповідну ділянку геному. Так можна «вирізати» шкідливу мутацію й виликувати організм від спадкового захворювання.

повіді на віруси й інший чужорідний генетичний матеріал. Суть її полягає в пригніченні експресії гена за допомогою малих молекул РНК.

Малі інтерферуючі РНК у комплексі з ферментом ендонуклеазою зв'язуються зі специфічною мішенню — комплементарного до них ДНК або РНК (приміром, вірусного). Після зв'язування нуклеаза розщеплює специфічну ДНК або РНК, таким чином руйнуючи її.

Для багатьох організмів — найпростіших, молюсків, черв'яків, комах, рослин — цей феномен є одним з основних способів імунного захисту проти вірусів.

Запитання та завдання

1. Опишіть різноманіття видів неспецифічного імунітету.
2. Чи є реакція запалення шкідливою? Поясніть.
3. Як можна використовувати систему CRISPR задля медичних цілей?

Ключова ідея

Механізми імунітету спрямовані на підтримання сталості внутрішнього середовища організму й можуть бути віднесені до явищ гомеостазу.

## § 27. Поведінкові механізми збереження гомеостазу



Поміркуйте

Чому без їжі людина може прожити кілька місяців, а без води — не більш тижня?



Згадайте

- Рефлекс
- Терморегуляція
- Осморегуляція

### Поведінка й підтримання гомеостазу

Для будь-якого виду тварин характерні різні власні види поведінки (пошук їжі, піклування про потомство, побудова гнізда тощо).

Завдяки природному добору формується «правильна» поведінка, що сприяє виживанню особини. А її нащадки успадковують саме таку модель поведінки. Так у вида формується набір *програм виживання* — поведінкових реакцій, які допомагають особинам пристосуватися до умов навколишнього середовища і підтримувати свій гомеостаз.

Велику роль у підтримці гомеостазу організму відіграють вроджені форми поведінки. До них належать, наприклад, рефлексорне уникнення болю як фактора, що ушкоджує, задоволення голоду або спраги.

Для людини не менш важливі свідомі дії. Ми змінюємо порушений обмін речовин за допомогою ліків, додаємо до їжі вітаміни, підтримуємо температуру тіла, одягаючись і ховаючись у приміщеннях.

### Поведінкові механізми регуляції гомеостазу в людини

Активація пристосувальної поведінки відбувається, коли сигнал про зміну гомеостазу передається в гіпоталамус. Гіпоталамус формує відчуття незадоволеності, яке переживається як потреба в їжі, воді, теплі, холоді тощо. Цей стан називають *мотиваційним збудженням*. Воно спонукає організм до активних дій.

Задоволення потреб викликає позитивні емоції, тобто поведінка контролюється не тільки відчуттям потреб, а й *системою винагороди* — складною мережею нейронів, що відповідають за задоволення. Передчуття нагороди забезпечує мотивацію до дії.

У формуванні адаптивної поведінки дуже великою є роль *емоцій*. У ході еволюції ця ознака була доведена природним добром до надзвичайно багатой різноманітності емоційного стану в людини.

### Роль безумовних рефлексів у підтриманні гомеостазу

Безумовні рефлеksi є основою нервової діяльності тварин, основу взаємодії їхнього організму з навколишнім середовищем.

Низка безумовних рефлексів безпосередньо обумовлює гомеостаз, а рефлексорна реакція організму залежить від змін обміну речовин. Наприклад, складний безумовний рефлекс, пов'язаний із пошуком їжі, виникає в разі зниження вмісту глюкози й інших поживних речовин у крові.



Мал. 27.1. Способи поведінкової терморегуляції у тварин



Через надлишок вуглекислого газу в крові відбувається рефлекторне прискорення дихання.

У разі інфекцій, отруєння, накопичення в крові токсичних продуктів обміну виникає блювання. Цей рефлекторний акт видаляє з організму шкідливі речовини.

Ознакою порушення гомеостазу є біль. Він змінює поведінку тварини на уникнення больових відчуттів із метою виживання.

## Поведінка й терморегуляція

Більшість тварин здатна певною мірою впливати на температуру тіла за допомогою відповідної поведінки (мал. 27.1). Тварина може утворювати додаткове тепло, прискорюючи метаболізм, і вживати заходів, що знижують втрати тепла.

У холодних умовах багато тварин посилено харчуються. Прийом їжі дає можливість отримати більше тепла, оскільки воно виділяється під час травлення. Теплокровні тварини збільшують утворення калорій, посилюючи м'язову активність, наприклад, дрижанням або рухом. У деяких безхребетних зниження температури стимулює додаткову рухову активність, і в такий спосіб вони здатні підтримувати більш високу температуру тіла, ніж температура середовища.

На холоді тварини звиваються клубком або збиваються до купи з іншими особинами того ж виду, що знижує втрати тепла. Окремі види здійснюють сезонні міграції в місця з більш сприятливими умовами.

В умовах спеки тварини посилюють охолоджувальне випаровування, зволожуючи поверхню тіла слиною або змочуючи себе водою. Деякі тварини широко розкривають пащі в спеку, посилюючи випаровування через дихання. Деякі в спекотну погоду періодично ховаються в прохолодних норах.

### ! Ключова ідея

Поведінкові особливості, що сприяють підтриманню гомеостазу, виникли в ході еволюції. Вони спрямовані на задоволення потреб, що виникають під час порушення складу внутрішнього середовища. До них належать пошук їжі й води, способи терморегуляції, міграції до місць зі сприятливими умовами, спорудження житла тощо.



### Дізнайтеся більше

У людини еволюційно сформувалась система харчових вподобань. Смачна їжа мотивує скуштувати її знову. Потрапивши до рота, їжа активізує рецептори язика, які посилають інформацію в мозок. Там збуджується механізм винагороди: мозок продукує хімічні сполуки (наприклад, ендорфіни), що приносять задоволення. Це ще більше стимулює нас споживати смачну їжу.

Одним із найбільш відомих харчових уподобань людини є любов до солодкого. Еволюційно це виправдано: солодкі вуглеводи (глюкоза) швидко задовольняють потребу в їжі та знижують відчуття голоду. Це вподобання формувалося в наших предків тисячоліттями. У ті часи, коли солодка їжа зустрічалася рідко — у вигляді фруктів або меду, — така харчова поведінка себе виправдовувала. Однак зараз солодка їжа стала легкодоступною, і ця звичка перетворилася на шкідливу. Надмірне вживання вуглеводів призводить до розвитку захворювань, таких як ожиріння і цукровий діабет.

## Поведінка й водний баланс

Всім сухопутним тваринам потрібна вода. За умови її нестачі істотно змінюються метаболічні процеси, порушується гомеостаз. Зменшується об'єм протоплазми клітин і міжклітинної рідини, зростає концентрація солей у крові та інших рідинах організму. Зневоднення організму є серйозною загрозою для життя. Втрата людиною понад 20% води супроводжується незворотними змінами в організмі і призводить до смерті.

Під час зневоднення виникає *спрага*. Це дуже неприємний стан, який стимулює організм до пошуку води. Утамувавши спрагу, людина почувається задоволеною. Адже спрага супроводжується наростанням процесів збудження в центральній нервовій системі, які зумовлюють підвищення м'язової активності. Винятком з цього правила є тварини, що мешкають у посушливих місцях. У них спрага знижує м'язову активність. Деякі тварини пустелі під час хронічного дефіцита води навіть впадають у сплячку.



### Запитання та завдання

1. Як ви особисто регулюєте тепловіддачу на холоді? під час спеки?
2. Чому саме солодка їжа найшвидше втамує відчуття гострого голоду?
3. Чому ми хочемо пити після солоної їжі? у спеку?
4. Поміркуйте, які свідомі дії людини спрямовані на підтримку гомеостазу.

## § 28 Регуляція в рослин



Поміркуйте

Чому зелені томати дозрівають швидше, якщо разом із ними покласти один стиглий томат?



Згадайте

- Транспірація
- Мінеральне живлення рослин
- Газообмін у рослин

### Регуляція надходження й виділення речовин

У наземних рослин надходження мінеральних речовин і води відбувається через клітинні мембрани корневих волосків та інших клітин у корені. *Вода надходить у корінь* за законами осмосу. Осмотичний тиск у клітинах корневих волосків і клітинах, які проводять воду до ксилеми й далі до листків, набагато вищий, ніж осмотичний тиск ґрунтової води, унаслідок високої концентрації розчинених солей і сахаридів у клітинах. Отже, вода прагне увійти в ці клітини з ґрунту, знижуючи їх осмотичну концентрацію.

*Поглинання мінеральних речовин* відбувається шляхом активного транспорту. Перенесення йонів крізь цитоплазматичну мембрану всередину клітин корневих волосків проходить проти градієнта концентрації і електричного потенціалу, тому на цей процес витрачається енергія.

*Надходження газів* —  $\text{CO}_2$  для фотосинтезу й  $\text{O}_2$  для дихання — відбувається головним чином через продиhi. Для дихання рослини також використовують  $\text{O}_2$ , утворений у процесі фотосинтезу й накопичений у міжклітинниках.

*Інтенсивність газообміну* регулюється відкриттям та закриттям продиhiв. На світлі в замикаючих клітинах продиhiв збільшується вміст цукрів і йонів Калію, що призводить до підвищення осмотичного тиску й надходження води. Тургор клітин збільшується, і продиhi відчиняються ширше настільки,

наскільки вищий рівень освітлення. Уночі продиhi закриваються, тому що фотосинтез зупиняється і тургорний тиск у замикаючих клітинах спадає.

*Виділення в рослин* здійснюється клітинами листків і коренів, а також клітинами спеціальних видільних тканин (залозистими волосками, молочними судинами, нектарниками). Речовини, що виділяються, можуть накопичуватися у вакуолях і клітинних стінках. Багато продуктів метаболізму рослин відкладаються у змертвілих тканинах (деревині), а також у листках або корі, які періодично скидаються. Продукти обміну речовин можуть видалятися з опалим листям під час листопаду.

### Фітогормони

Процеси, що відбуваються в рослинному організмі, регулюються за допомогою певних хімічних речовин — фітогормонів.

**Фітогормони** — це речовини, що виробляються рослинами для керування власним ростом і розвитком, а також для реакції на впливи навколишнього середовища.

Фітогормони регулюють утворення і ріст рослини, цвітіння, утворення плодів і насін-



Дізнайтеся більше

Етилен, який продукується рослинами, може поширюватися не тільки по судинній системі рослин, але й через атмосферу. Це різко скорочує час реакції, а також синхронізує процеси, що відбуваються через етилен, у розташованих поряд рослинах і плодах. Таку властивість широко використовують для прискорення дозрівання овочів і фруктів, коли разом із зеленими кладуть трохи стиглих. Їхнім етиленом стимулюється дозрівання інших.

