

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ЩОДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
«ОСНОВИ БІОЛОГІЇ ТА ГЕНЕТИКИ ЛЮДИНИ»
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ДЕННОЇ ФОРМИ НАВЧАННЯ
ЗА НАПРЯМОМ 6.030102 – «ПСИХОЛОГІЯ»

КРЕМЕНЧУК 2013

Методичні вказівки щодо практичних занять з навчальної дисципліни «Основи біології та генетики людини» для студентів денної форми навчання за напрямом 6.030102 – «Психологія»

Укладачі: д. б. н., проф. В. В. Никифоров,
старш. викл. О. О. Никифорова

Рецензент к. б. н., доц. О. А. Антонова

Кафедра природничих дисциплін

Затверджено методичною радою Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Протокол №__ від_____ 2013 р.

Голова методичної ради

проф. В. В. Костін

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Перелік практичних занять.....	5
Практичне заняття № 1 Вивчення структурно-функціональної організації фізіологічних систем людини.....	5
Практичне заняття № 2 Вивчення ембріогенезу і структурно-функціональної організації тканин людини.....	13
Практичне заняття № 3 Вивчення структурно-функціональної організації тваринної клітини.....	19
Практичне заняття № 4 Вивчення структурно-функціональної організації молекул нуклеїнових кислот. Процеси за участю ДНК і РНК.....	24
Практичне заняття № 5 Універсальний генетичний код.....	31
Практичне заняття № 6 Закономірності спадковості Г. Менделя при моно- і дігібридному схрещуванні.....	36
Практичне заняття № 7 Закономірності спадковості, що не відповідають законам Г. Менделя.....	48
2 Критерії оцінювання.....	55
Список літератури.....	56

ВСТУП

Навчальна дисципліна «Основи біології та генетики людини» є фундаментальною в системі базової вищої освіти під час підготовки фахівців за напрямом 6.030102 – «Психологія».

Метою дисципліни є формування у студентів-психологів цілісного уявлення про біологію людини на молекулярному, клітинному, органо-тканевому та організменному рівнях структурно-функціональної організації живої речовини.

У результаті вивчення дисципліни студент повинен знати:

- основні біологічні (генетичні) закони та закономірності;
- основні поняття (нормативні навчальні елементи), завдання та особливості головних біологічних наук відповідно до рівнів організації живої речовини (фізикохімічна біологія, цитологія, гістологія, ембріологія, анатомія, фізіологія і генетика людини);
- загальні відомості про людину, її будову і функції, походження, еволюцію і розповсюдження; взаємовідносини між собою та навколишнім середовищем;
- усі форми прояву життя (обмін речовин, розмноження, мінливість і спадковість, пристосування, ріст, розвиток).

Уміти використовувати базові біологічні знання.

ПЕРЕЛІК ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Практичне заняття № 1

Тема. Вивчення структурно-функціональної організації фізіологічних систем людини

Мета: вивчити структурно-функціональні особливості організму людини, її органів і систем, як єдиного цілого.

Навчальні елементи: орган, функціональні системи, системи органів, опорно-рухова, кровоносна, дихальна, травна, видільна, статева, ендокринна, нервова системи, сенсорні системи.

Короткі теоретичні відомості

Органи, фізіологічні й функціональні системи

В організмі людини різні тканини об'єднані в певні структури, що утворюють органи. Пригадаймо, що *орган* – це частина тіла, яка має певну форму і будову, виконує одну або кілька специфічних функцій.

У певному органі зазвичай переважає одна тканина, яка визначає його основну функцію. Наприклад, у серці такою тканиною є м'язова, у мозку – нервова, у залозах – епітеліальна.

Органи спеціалізуються на виконанні функцій, потрібних для забезпечення життєдіяльності організму. Так, серце виконує функцію насоса, що перекачує в організмі кров, нирки – функцію виділення з організму кінцевих продуктів обміну речовин, печінка бере участь у процесах травлення, обміну речовин. Органи, що містяться в порожнинах тіла, називають внутрішніми.

Органи, які виконують спільну функцію, об'єднуються в *системи органів*. Їх ще називають фізіологічними системами. В організмі людини виділяють *опорно-рухову, кровоносну, дихальну, травну, видільну, статеву, ендокринну, нервову системи, а також сенсорні системи*.

Опорно-рухова система складається зі скелета та прикріплених до нього м'язів. Скелет і м'язи виконують функцію опори й руху тіла, дають змогу виконувати різноманітні дії, захищають внутрішні органи від зовнішніх

впливів.

Кровоносна система складається із серця та кровоносних судин (*артерії, вени, капіляри*). Серце скорочується і проштовхує кров по кровоносних судинах. Завдяки кровообігу органи нашого тіла забезпечуються поживними речовинами й киснем і звільняються від вуглекислого газу та інших продуктів життєдіяльності. Кровоносна система також виконує терморегуляційну функцію. Вона здійснює взаємозв'язок усіх органів організму.

Дихальну систему утворюють легені та дихальні шляхи (*носова порожнина, носоглотка, глотка, гортань, трахея, бронхи, бронхіоли, альвеоли*). Основна функція цієї системи – це забезпечення дихання організму людини завдяки газообміну між повітрям і кров'ю. Також вона бере участь у виділенні продуктів обміну.

Травна система включає травний тракт (*ротова порожнина, глотка, стравохід, шлунок, кишечник*) і травні залози (*слинні залози, шлункові, підшлункова залоза, дрібні залози кишечника, печінка*). Основна функція травної системи – це живлення організму завдяки процесам перетравлення їжі та всмоктування поживних речовин у кров і лімфу.

Видільна система (*нирки, сечоводи, сечовий міхур, сечівник*) виконує функцію виведення з організму продуктів обміну речовин, збереження сталості його внутрішнього середовища, підтримання водно-сольового обміну.

Статева система виконує функцію розмноження. Вона складається із жіночих (*яєчники*) і чоловічих (*яєчка*) статевих залоз та зовнішніх і внутрішніх статевих органів. У статевих залозах формуються статеві клітини (*яйцеклітини і сперматозоїди*) й утворюються статеві гормони. У матці розвивається плід.

Ендокринна система включає різні залози внутрішньої секреції: *гіпофіз, епіфіз, щитовидну, надниркові, підшлункову, статеві залози* та інші. Кожна залоза виробляє і виділяє в кров особливі хімічні речовини – гормони. Ці речовини беруть участь у регуляції функцій усіх клітин і тканин організму за допомогою біологічно активних речовин, у координації діяльності окремих органів і організму в цілому.

Нервова система об'єднує всі інші системи, регулює та узгоджує їх діяльність, підтримує зв'язок організму із зовнішнім середовищем. Нервова система складається з головного і спинного мозку та нервів, які від них відходять. Нервова система є підґрунтям психічної діяльності людини, визначає її поведінку.

Системи органів тісно взаємозв'язані між собою. Їх діяльність узгоджена, що й забезпечує життєдіяльність усього організму людини. Кожному організму властивий розподіл функцій між його клітинами, органами і фізіологічними системами.

Функціональна система – це взаємоузгоджене об'єднання діяльності різних органів або фізіологічних систем, спрямоване на досягнення корисного для організму пристосування до навколишнього середовища.

Для забезпечення процесів життєдіяльності й виконання різноманітних функцій необхідна взаємоузгоджена діяльність органів або фізіологічних систем. Наприклад, надходження кисню до клітин і виведення з них вуглекислого газу здійснюється завдяки спільній роботі систем дихання, кровообігу і крові та механізмам їх регуляції. Для забезпечення рухів необхідна спільна робота нервової системи і м'язів.

Фізіологічні системи – це поєднані між собою органи, які забезпечують певну функцію організму. Різні фізіологічні системи утворюють функціональні системи, що забезпечують складні процеси життєдіяльності, об'єднуються для виконання певної функції.

Тканини, об'єднуючись між собою, утворюють органи. Орган – це частина тіла, яка займає в ньому постійне положення, має певну будову і форму, виконує одну або кілька функцій. Органами є м'язи, серце, легені, печінка, нирки тощо.

Анатомічно і функціонально об'єднуючись кілька органів, які беруть участь у виконанні якого-небудь складного акту діяльності, утворюють систему органів (кровоносна, дихальна, травна і т. д.).

Нервова система забезпечує взаємозв'язок між окремими органами і системами органів і функціонування організму як єдиного цілого. Вона регулює і координує діяльність різних органів, пристосовує діяльність усього організму як цілісної системи до мінливих умов зовнішнього і внутрішнього середовища. За допомогою нервової системи здійснюється сприйняття та аналіз різноманітних подразнень із навколишнього середовища і внутрішніх органів, а також відповідні реакції на ці подразнення.

Нервова система у функціональному і структурному відношенні поділяється на периферичну, центральну та автономну (вегетативну) нервові системи. Центральна нервова система складається з головного і спинного мозку. Головний мозок міститься всередині черепа, а спинний мозок – у хребетному каналі. На розрізі головного і спинного мозку видно ділянки більш темного кольору – сіра речовина і ділянки білого кольору – біла речовина мозку. Сіра речовина утворена тілами нервових клітин; біла складається зі скупчень нервових волокон, вкритих мієліновою оболонкою.

Кровоносна і лімфатична системи

Кров розглядають як одну з різновидів сполучної тканини. Кров підтримує зв'язок з тканинною рідиною і лімфою, складаючи разом з ними внутрішнє середовище організму.

Відносна постійність цього середовища потрібна для нормальної життєдіяльності клітин.

Кров виконує ряд дуже важливих функцій: газообмінну, трофічну, видільну. Вона розносить по організму фізіологічно активні речовини і здійснює гуморальну функцію, бере участь у знешкодженні хвороботворних мікроорганізмів, продуктів їх життєдіяльності (захисна функція). Кров складається з рідкої частини – плазми та формених елементів «клітин» – еритроцитів, лейкоцитів і тромбоцитів.

Еритроцити – червоні кров'яні серця, їх налічується до 5 млн в 1 мм³ крові. Вони переносять кисень в організмі людини. У здійсненні цієї функції бере участь основний компонент еритроцитів – пігментна речовина –

гемоглобін. Зменшення кількості еритроцитів у крові «анемія» спостерігається у разі захворювань або після значних крововтрат.

Лейкоцити – білі кров'яні тільця, мають здатність до активних рухів і захоплювання, а також внутрішньоклітинного перетравлювання мікробів або інших чужорідних елементів (фагоцитоз). Явище фагоцитозу, його захисну роль уперше відкрив І. І. Мечников. В 1 мм^3 міститься 6–8 тисяч лейкоцитів. У відповідь на деякі обставини («інтенсивну» м'язову роботу) або хворобливі процеси (запалення та ін.) периферична кров реагує збільшенням кількості лейкоцитів – гіперлейкоцитозом. Інші захворювання (черевний тиф, променева хвороба) супроводжуються зменшенням їх кількості у крові – лейкопенією.

Тромбоцити – значно менші від еритроцитів і лейкоцитів, плоскі клітинні елементи, які мають значення для процесу зсідання крові; 1 мм^3 крові містить 200–400 тисяч тромбоцитів.

Кров може виконувати свої функції тільки завдяки постійному руху по замкненій кровоносній системі. Кровоносна система складається з двох основних частин: «мотора» кровообігу – серця та сітки кровоносних судин.

Серце – порожнистий м'язовий орган, що ритмічними скороченнями накачує в артерії кров, яка знову повертається до нього по венах. Серце оточене серозною оболонкою – *перикардом*. Стінка серця складається з трьох шарів – епікарду, міокарду та ендокарду.

Суцільна поздовжна м'язова перетенка розділяє серце на праву і ліву половини. Кожна половина має два відділи – верхній – *передсердя* і нижній *шлуночки*. Біля отворів ендокард утворює складки – клапани серця. Усі клапани відкриваються в один бік і це забезпечує односторонній напрямок течії крові. Серце працює ритмічно, скорочення (систола) змінюється діастолюю (розслабленням) серця, потім настає загальна пауза.

Від основи серця починаються великі судинні стовбури: *артерії*, по яких кров тече від шлуночків серця, та вени, по яких вона повертається до передсердь. Розгалуження кінцевих гілочок артерій – *артеріоли*, розгалуження кінцевих гілочок *вен* – *венули* з'єднуються між собою за допомогою сітки

найдрібніших судин – *капілярів*, унаслідок чого утворюється замкнута кровоносна система.

Дихальна система і дихання

Життя нерозривно пов'язане з окисненням молекул складних органічних речовин. Окиснення відбувається постійно у всіх клітинах організму (клітинне дихання). Клітинне дихання забезпечується дихальною функцією крові (транспортуванням газів кров'ю) і легенеvim диханням, унаслідок якого кров насичується киснем і звільнюється від вуглекислого газу. Інші продукти окислення виділяються в основному нирками. Усі органи, що беруть участь у легенеvomу диханні утворюють *систему органів дихання*. За функціональною ознакою ця система поділяється на *повітропровідні шляхи* (*носова порожнина, глотка, гортань, трахея, бронхи*) і *легені* (*альвеоли* – структурно-функціональна одиниця легень), у яких відбувається газообмін.

Травлення та травна система

Організм оновлює свої тканини та добуває енергію з поживних речовин їжі. Однак більша частина цих речовин (крім води, мінеральних солей, глюкози, вітамінів) у їх природному вигляді не засвоюється організмом. Тому вона потрібна зазнати ряд фізичних і хімічних перетворень (перетравитись). Основа травлення – це розщеплення великих і складних молекул – білків, вуглеводів і жирів до їх складових компонентів. Легкість, з якою організм розщеплює складні органічні речовини, зумовлена біологічними каталізаторами, що знаходяться в травних соках. Це гідролітичні ферменти. *Ферменти* – це білки, вони суворо специфічні, кожний з них діє тільки на певну речовину, вимагаючи для цього певних умов (відповідної реакції середовища, температури та ін.). Однак дія ферментів – це тільки кінцевий результат складного фізіологічного процесу, яким є травлення. Воно відбувається за допомогою активної роботи всіх органів травної системи і регулюється нервово-гуморальними механізмами.

Травну систему складає *травний канал і травні залози* (великі й малі). Травний канал складається з *ротової порожнини, глотки, стравоходу, шлунка,*

кишківника (*тонкого та товстого*). Найважливішими залозами є *печінка, підшлункова залоза, слинні залози*. Маленькі залози розміщені в слизовій оболонці травного каналу і виділяють *травні соки*, які беруть активну участь у перетравлюванні їжі. Система органів травлення забезпечує приймання, роздібнення, розрідження, розщеплення, переміщення і всмоктування їжі та видалення неперетравлених решток.

Організм є відкритою системою, тому що підтримує обмін речовин із зовнішнім середовищем: одержує їжу і виділяє продукти обміну. У процесі обміну постійно утворюються кінцеві продукти окислення білків, вуглеводів і жирів – *«шлаки життя»*, які є токсичними для організму. Проте концентрація їх зазвичай не перевищує фізіологічних величин, бо вони «вимиваються» з тканин кров'ю і виводяться з організму спеціальними органами, що мають назву *органи виділення*.

Вуглекислий газ, як летка речовина, виділяється через легені. Нелеткі речовини, особливо продукти обміну білків і нуклеопротейдів, можуть виділятися тільки в розчиненому стані через спеціальний видільний орган – *нирки*, а також частково через шкіру і слизову оболонку шлунково-кишкового тракту. Через нирки виділяється також більшість отруйних речовин, які можуть випадково потрапити до організму. Виділяючи сечу, нирки виконують одночасно й іншу функцію – підтримують постійність внутрішнього середовища організму (гомеостаз): осмотичного тиску, іонного складу та кислотно-лужної рівноваги. Це досягається шляхом виділення незбалансованого продукту, надлишку (води, лужних і кислих сполук, певних іонів, а також глюкози). Завдяки тісному зв'язку із судинною системою нирки мають також вплив і на стан кровообігу, зокрема на величину кров'яного тиску.

Функцію регульованого виведення сечі з організму виконують *сечовивідні шляхи*.

Спочатку сеча виводиться по каналцях самої нирки, а потім по сечовивідних шляхах, до яких належать сечоводи, сечовий міхур і сечівник. Нирки і сечовивідні шляхи утворюють сечову систему. Регуляція діяльності

нирок здійснюється за допомогою нервово-гуморальних механізмів, які реагують на найменші зміни осмотичного тиску в тканинах. Під їх впливом змінюється нирковий кровообіг: збільшується або зменшується *фільтрація* та *реабсорція* води в нирках. У здійсненні видільної функції ниркам допомагає шкіра: піт містить усі азотовмісні речовини сечі. Тому при затримці цих речовин в організмі посилюють видільну функцію шкіри, потогінні засоби та вплив сухого тепла. У разі значної затримки в організмі азотистих шлаків частина з них може виділятися і через слизові оболонки шлунково-кишкового тракту. Цьому сприяють повторні промивання шлунка та очищувальні клізми, які зменшують явища азототермії.

Завдання до теми

1. Охарактеризуйте будову і функції опорно-рухової, кровоносної, дихальної, травневої, видільної, статевої, ендокринної, нервової систем. Зробити відповідні рисунки і пояснювальні записи.

2. Роздивитися готовий препарат крові у мікроскоп. Скласти лейкоцитарну формулу крові за допомогою камери Горяєва. У журналі для практичних занять зробити відповідні рисунки і записи.

Контрольні питання

1. З яких зародкових листків розвиваються покриви, органи травневої, дихальної, серцево-судинної систем?

2. Яким чином відбувається закладка та диференціація нервової трубки у хордових?

3. Назвіть ароморфози в еволюції головного мозку людини.

4. Що є структурною та функціональною одиницею переднирки, первинної та вторинної нирок?

5. Назвіть ароморфози в статевій системі людини.

6. Назвіть приклади онтофілогенетично зумовлених вад розвитку різних систем органів у людини.

Література: [1, с. 23–34; 2, с. 12–30; 3, с. 8–14; 6, с. 26–35; 13, с. 21–37; 14, с. 43–47, 356–367].

Практичне заняття № 2

Тема. Вивчення ембріогенезу і структурно-функціональної організації тканин людини

Мета: вивчення будови і функцій різнотипних тваринних тканин: епітеліальних, сполучних, м'язових і нервової тканин та ембріональних стадій людини.

Навчальні елементи: епітеліальні, сполучні, м'язові й нервова тканини, ембріогенез, детермінація.

Короткі теоретичні відомості

1 Тваринні тканини

Усі тканини організму мають певні властивості, що в нормі визначаються їх будовою і функцією. Така закономірність у гістології одержала назву *детермінації тканин*. До складу кожного органа входять різноманітні тканини, тісно пов'язані між собою. Спільна діяльність органів і тканин зумовлена координацією з боку нервової системи і залоз внутрішньої секреції (ендокринної системи). Вони забезпечують цілісність організму і взаємодію його частин.

Епітеліальні тканини покривають поверхню тіла, вистилають внутрішню поверхню порожнистих органів (шлунок, кишечник, сечовивідні шляхи та ін.), утворюють серозні оболонки і залози. Усі епітеліальні тканини розвиваються із зовнішнього зародкового листка – ектодерми.

Знаходячись на межі зовнішнього і внутрішнього середовища організму, вони є граничними тканинами й виконують захисну функцію та функцію обміну речовин між організмом і навколишнім середовищем.

На підставі морфологічних і функціональних особливостей виділяють шкірний, кишковий, нирковий, целомічний і епендимогліальний типи епітелію. Поряд із цим розрізняють одношаровий однорядний: плоский, кубічний і циліндричний, а також одношаровий багаторядний циліндричний типи епітелію. Багатошаровий плоский епітелій буває ороговілий, неороговілий і перехідний.

Сполучні тканини. Уся група тканин, об'єднана під цією назвою, розвивається із мезенхіми (мезодерми). Мезенхімні клітини ембріона у своєму розвитку можуть округлятися і перетворюватися на вільні рухомі клітини, що знаходяться в рідкій або напіврідкій проміжній речовині (кров і лімфа). Водночас у процесі розвитку можуть виникати малорухомі або нерухомі клітини, що знаходяться у більш-менш щільній міжклітинній речовині (волокнисті сполучні тканини). Ця тканина всюдисуща, завжди підстиляє епітелій, оточує судини, з якими вона пов'язана генетично і функціонально.

Функції сполучної тканини: трофічна – участь в обміні речовин, захисна – спроможність сполучнотканинних клітин фагоцитувати і брати участь у формуванні імунітету, механічна – сполучна тканина утворює сухожилля, хрящі, кістки. Такий вид сполучної тканини, як ретикулярна, становлячи основу кровотворних органів, відіграє велику роль у процесі утворення крові.

Сполучна тканина має дуже багато перехідних форм, тому можна дати лише загальну класифікацію видів сполучної тканини, базуючись на специфіці їх функції. Прийнято розрізняти *трофічні* (кров, лімфа, міжтканинна рідина), *опорно-трофічні* (пухка, щільна сполучна і спеціальні) й *опорні* (хрящова і кісткова сполучні тканини). Кісткова тканина утворюється з клітин міжклітинної речовини, яка складається з волокон і основної рідини, що містить неорганічні солі.

Колагенові волокна кісткової тканини отримали назву остеїнових (лат. os – кістка), вони виявляються при спеціальній гістологічній обробці. Неорганічні речовини представлені, головним чином, солями кальцію, фосфатами та ін., які утворюють складні сполуки. У кістковій тканині зустрічаються три види клітин: остеобласти, остеоцити та остеокласти.

а) остеобласти – клітини, що утворюють кісткову тканину; зустрічаються в місцях відновлення кісткової тканини, а також у кістці, що розвивається;

б) остеоцити утворюються з остеобластів і мають відростки: вони лежать у кісткових порожнинах, а відростки заходять до кісткових каналців;

в) остеокласти – клітини, що беруть участь у руйнуванні кістки і хряща з утворенням навколо себе лакун, у якій вони лежать; найчастіше це багатоядерні клітини з відростками.

Розрізняють два види кісткової тканини – *грубоволокнисту* і *пластинчасту*. У грубоволокнистій кістковій тканині колагенові волокна утворюють добре помітні пучки, між якими у кісткових порожнинах лежать остецити. Ця тканина зустрічається в процесі розвитку кісток у зародків, а також у швах черепа та в місцях прикріплення сухожилок до кісток. Пластинчаста (або тонковолокниста) кісткова тканина містить колагенові волокна, розташовані паралельними пучками всередині пластинок або між ними. Пластинчаста тканина міцніша за грубоволокнисту, з неї побудовані всі кістки скелета хребетних тварин.

Пластинчаста кісткова тканина утворює компакту і пористу речовину, яка складає кістку. У *компактній* кістковій речовині кісткові пластинки розташовуються в певному порядку і надають речовині велику міцність. У *пористій* речовині кісткова тканина утворює всередині кістки балки і пластинки різної форми, які переплітаються між собою у певних напрямках, залежно від функції кістки. З компактної речовини складається, головним чином, середня частина довгих трубчастих кісток (діафіз), а пориста речовина утворює їх кінці (епіфізи), а також короткі кістки; пласкі кістки складаються з обох речовин.

Зовні кістка вкрита *надкісницею* (*periosteum*), яка складається з двох шарів сполучної тканини. Внутрішній містить багато колагену, еластину та остеобласти. Зовнішній шар побудований з більш міцнішої сполучної тканини, до якої прикріпляються зв'язки і сухожилки м'язів. Жива кістка містить 50 % води, 12,5 % органічних речовин білкової природи (осеїн та остеомукоїд), 21,8 % неорганічних мінеральних речовин (головним чином, фосфат кальцію) та 15,7 % жиру.

Рухові процеси в організмі людини і тварин зумовлені діяльністю

м'язових тканин, що мають скорочувальні структури – мікрофібрили, які, у свою чергу, утворені актин-міозинним білковим комплексом. Скорочення м'язів призводить до переміщення тіла в просторі, прямуванню його частин, органів, зміни їх об'єму, напруги стінок тощо. До м'язових тканин належать гладка і поперечносмугаста м'язова тканина.

Гладка м'язова тканина має клітинну будову, скорочувальний апарат у вигляді гладких міофібрил. Вона скорочується повільно і спроможна довгостроково знаходитися в стані скорочення, споживаючи відносно малу кількість енергії та не втомлюючись. Такий тип м'язової діяльності називається *тонічним*. До гладкої м'язової тканини підходять вегетативні нерви і, на відміну від кісткової м'язової тканини, вона не підпорядковується свідомості, хоча і знаходиться під контролем кори великих півкуль головного мозку. Цей вид тканини входить до складу стінок різноманітних внутрішніх органів (шлунок, кишечник, сечовий міхур, матка та ін.), кровоносних судин і шкіри.

Поперечносмугаста м'язова тканина утворює кісткові м'язи, м'язи рота, частково стравоходу та ін. Велика частина поперечносмугастих м'язових волокон має високу швидкість скорочення і швидко стомлюється. Цей тип скорочувальної діяльності називається *тетанічним* і підпорядковується свідомості.

Нервова тканина є компонентом нервової системи. Вона складається з нервових клітин – нейронів і проміжної речовини – *нейроглії*. Нервові клітини спроможні під дією подразнення переходити в стан збудження, виробляти імпульси і передавати їх. Ці властивості визначають специфічну функцію нервової системи. Нейроглія органічно пов'язана з нервовими клітинами, має також клітинну будову і здійснює трофічну, секреторну, захисну й опорну функції. Нервова тканина розвивається із зовнішнього зародкового листка – ектодерми.

Нервові клітини – *нейрони* або *нейроцити*, являють собою відросткові клітини, розміри яких коливаються у значних межах (від 3–4 до 130 мкм). За формою нервові клітини також дуже різноманітні. Відростки нервових клітин

проводять нервові імпульси з однієї частини організму в іншу, їх довжина коливається від декількох мікрон до 1–1,5 м. Розрізняють два види відростків нервової клітини. Перші проводять імпульси від тіла нервової клітини до інших клітин або тканин робочих органів, вони називаються *аксонами* (або нейритами). Нервова клітина має завжди один нейрит, який закінчується кінцевим апаратом на іншому нейроні або у м'язі, залозі та ін. Другий вид відростків називається *дендритами* (лат. *dendron* – дерево), тому що вони деревоподібно розгалужуються. Їх кількість у різних нейронів різна. Дендрити чутливих нейронів мають спеціальні сприймальні апарати – чутливі нервові закінчення – *рецептори*. Різниця потенціалів і швидкість проходження нервового імпульсу складають 40–50 мВ та 0,2–180 м/с відповідно.

Зв'язок між нейронами здійснюється за допомогою *синапсів* (лат. *synapsis*-дотик). Вони утворені кінцевими розгалуженнями нейрита однієї клітини на тілі або дендритах іншої. У синапсі нервовий імпульс проходить тільки в одному напрямку.

Нейроглія представлена клітинами різноманітної форми та величини, залежно від походження, їх поділяють на дві групи: гліоцити (*макроглія*) та гліальні макрофаги (*мікроглія*). Серед гліоцитів розрізняють епендимоцити, астроцити та олігодендроцити. Вони розвиваються разом з нервовими клітинами з ектодерми, гліальні макрофаги – з мезенхіми. Епендимоцити вистилають спинномозковий канал і шлуночки головного мозку. Астроцити утворюють тіла нейронів у центральній і периферичній частинах нервової системи, утворюють оболонки нервових волокон і входять до складу нервових закінчень. Клітини мікроглії рухливі та здатні до фагоцитозу.

2. Ембріогенез тварин

Ембріогенез тварин являє собою розвиток тваринного організму, що проходить усередині яйцевих оболонок поза материнським організмом або всередині нього в зародкових оболонках. Зародковий розвиток (ембріогенез) відбувається за передзародковим розвитком (оогенез, сперматогенез) і передуює післязародковому розвитку.

Ембріогенез починається з моменту запліднення яйцеклітини (*сингамії*) – утворення зиготи (при партеногенезі – активації яйця) і полягає в дробленні (стадії 2-х, 4-х, 8-ми, 16-ти, 32-х і 64-х бластомерів), бластуляції (стадія одношарового пухирця), гастрюляції (стадія двошарового пухирця), стадії три зародкових листків, гістогенезу й органогенезу (становлення функцій тканин і органів).

Зародковий розвиток у цілому визначається спадковим апаратом клітин. Окремі гени кодують будову білків, які, у свою чергу, визначають виникнення всіх ознак організму і тим самим увесь процес ембріогенезу.

Завдання до теми

1. Роздивитися в мікроскоп готовий препарат епітеліальної тканини; зробити відповідні рисунки і пояснювальні записи в журнал для практичних занять.

2. Роздивитися в мікроскоп готовий препарат м'язової тканини (гладка мускулатура); у журналі для практичних занять зробити відповідні рисунки і пояснювальні записи.

3. Роздивитися в мікроскоп готовий препарат сполучної тканини (гіаліновий хрящ); зробити в журналі для практичних занять відповідні рисунки і пояснювальні записи.

4. Роздивитися в мікроскоп готовий препарат нервової тканини зробити в журналі для практичних занять відповідні рисунки і пояснювальні записи.

Контрольні питання

1. Охарактеризуйте будову і функції епітеліальних тканин. Наведіть їх класифікацію.

2. Назвіть основні функції сполучних тканин.

3. Наведіть загальну класифікацію сполучних тканин.

4. Що таке тонічна й тетанічна м'язова діяльність? Охарактеризуйте два основні типи м'язових тканин.

5. Які функції виконує нервова тканина?

6. Назвіть і охарактеризуйте основні стадії ембріогенезу тварин.

Література: [1, с. 67–89; 345–356; 2, с. 43–47, 57–85; 3, с. 56–74; 8, с. 73–85; 9, с. 365 – 378; 13, с. 68–83].

Практичне заняття № 3

Тема. Вивчення структурно-функціональної організації тваринної клітини

Мета: вивчення мікроструктури тваринних клітин; засвоєння принципів властивостей у клітинній будові організмів, що належать до царства *Animalia*; знайомство з прийомами порівняльної цитології.

Навчальні елементи: тваринна клітина, клітинні органоїди, екзоцитоз.

Короткі теоретичні відомості

Клітина (лат. *cellula*) – основна структурно-функціональна одиниця всіх живих організмів, елементарна жива система. Розміри клітини варіюють від 0,1 мкм (бактерії) до 155 мм (яйце страуса); діаметр більшості еукаріотичних клітин знаходиться у межах 10–100 мкм (1 мкм = 0,000001 м).

Тваринна клітина (рис. 3.1). Клітини організму людини і тварин різноманітні за розмірами (розміри соматичних клітин варіюють від декількох до 150 мкм). Вони вирізняються внутрішньою будовою, хімічним складом, характером обміну речовин, функціональним значенням і формою. Крім клітин із постійною формою, є група рухомих клітин, що безупинно змінюють форму. Загальне число клітин в організмі вищих тварин настільки велике, що неможливо зробити хоча б приблизний їх підрахунок.



Рисунок 3.1 – Органоїди тваринної клітини

1. *Оболонка* тваринної клітини, на відміну від рослинної, дуже тонка. Механічна тривкість тваринної тканини досягається наявністю нитчастих (фібрилярних) структур усередині клітини або в міжклітинній речовині. Під оболонкою тваринної клітини розуміють зовнішню цитоплазматичну мембрану клітини (плазмолему), що обмежує протопласт зовні, є його складовою частиною і пов'язані з нею глікопротеїди (глікокалікс) і речовини, що виділяються або поглинаються клітиною. *Плазмолема* – тонка, невидима в оптичний мікроскоп структура, складається з двох прошарків ліпідів і розташованого між ними прошарку білків.

Велике значення має здатність цитоплазматичної мембрани захоплювати дрібні рідкі (піноцитоз) і великі (фагоцитоз) частинки та занурювати їх усередину клітини, де вони піддаються перетравленню. Процес, протилежний піноцитозу – *екзоцитоз*: викид продуктів метаболізму з клітини.

2. *Цитоплазматична (ендоплазматична) сітка (ретікулум)* – система анастомозуючих один з одним каналців або цистерн, стінки яких складаються з ліпопротеїдних мембран, видимих тільки за допомогою електронного мікроскопа.

Розрізняють два види цитоплазматичної сітки: гранулярну (шорсткувату) та агранулярну (гладку). Для першої характерна наявність на мембранах зовнішньої поверхні каналців рибосом. Вони складаються з білків і рибонуклеїнової кислоти та належать до безмембранних клітинних органоїдів. Рибосоми можуть лежати й вільно. Їх комплекси називають полісомами, функції яких пов'язані з біосинтезом білків. Особливо багато вільних рибосом в ембріональних клітинах. Функціональне значення гранулярної сітки – синтез білків і їх відокремлення.

3. *Пластинчастий комплекс (апарат Гольджі) та лізосоми* Гольджіосоми в оптичному мікроскопі мають вигляд сіточки і складаються з тонких ниток. В електронний мікроскоп видно, що пластинчастий комплекс є системою паралельно розташованих ліпопротеїдних подвійних гладких мембран, що утворюють замкнуті щілиноподібні каналці, цистерни і пухирці.

Пластинчастий комплекс бере участь у синтезі вуглеводів, відокремленні й упакуванні (оточенні мембранами) вже утворених речовин, призначених для виведення з клітини, можливо, піддаючи їх при цьому останній хімічній перебудові. Він є джерелом клітинних лізосом, що присутні в кожній тваринній клітині у більшій або меншій кількості у вигляді дрібних округлих зерен. Це одномембранні структури, що містять ряд гідролітичних ферментів, які беруть участь у процесі травлення. Як правило, фагоцитарно активні клітини містять багато лізосом і спроможні до автолізу.

4. *Мітохондрії* у світловому мікроскопі спостерігаються у вигляді зерняток і ниток, розкиданих у цитоплазмі. Діаметр їх не перевищує 1 мкм, а число коливається до декількох тисяч.

Мітохондрії забезпечують клітину енергією, необхідною для її життєдіяльності, синтезуючи макроергічні речовини, наприклад, аденозинтрифосфат (АТФ). Витрачена на синтез таких речовин енергія зберігається в їх хімічних зв'язках. При обмінних процесах у клітині, коли виникає необхідність в енергії, відбувається розпад цих речовин і її вивільнення.

5. *Включення* – це структури, що з'являються в клітині та зникають, залежно від умов її обміну й інтенсивності функцій. Вони мають вигляд то більших, то менших зерен і крапель, вакуолей. За складом це – білкові речовини, жири, глікоген, вітаміни, пігментні включення і речовини, що екскреатуються.

Структурно-функціональна організація еукаріотичної клітини

Клітина складається з великої кількості чітко впорядкованих різноманітних молекул. Молекулярні комплекси утворюють *органели*, які є складовою частиною клітинної системи. Внутрішній простір клітини поділено мембранами на відсіки (*компартменти*), де відбуваються тільки специфічні для цього простору реакції. Таким чином, клітина є складною системою макромолекул кількох рівнів організації. Це цілісна неподільна система, у якій можна виділити низку підсистем, відповідальних за специфічні функції:

мембрани (перетинки), цитоплазму, ядро, мітохондрії тощо. Клітинні органели структурно і функціонально зв'язані між собою. Життєдіяльність клітин може здійснюватися тільки за умов скоординованого зв'язку між ними.

Будь-яка клітина складається з *поверхневого апарату, цитоплазми, органел* та інших внутрішньоклітинних структур.

Поверхневий апарат клітини утворюють такі структури:

- *плазматична мембрана* (має ліпопротеїдну природу);
- *надмембранні структури* (у бактерій, рослин і грибів – клітинна стінка, у тварин – глікокалікс);
- *підмембранні структури*.

Плазматична мембрана – це напівпроникний ліпідний бішар із убудованими в нього білками. Будову і функції структурних компонентів клітини відображено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Будова і функції структурних компонентів

Складові частини	Особливості будови, склад	Функції
<i>Підмембранні компоненти</i>		
Цитоплазма	Внутрішнє середовище клітини, міститься між плазматичною мембраною і ядром. Характеризується відносною сталістю будови та властивостей (<i>гомеостаз</i>). Основа (<i>матрикс</i>) цитоплазми – гіалоплазма – перебуває у рідинному стані (<i>золь</i>) або драглистому (<i>гель</i>) і містить білки, ліпіди, нуклеїнові кислоти, солі	Об'єднує складові частини клітини; (<i>компартименти</i>) забезпечує гліколіз, синтез білка за участю рибосом
Цитоскелет	Утворений мікрониточками (<i>актин, міозин</i>), мікротрубочками (<i>тубулін</i>), проміжними філаментами (<i>цитокератин</i>); є єдиною системою	Забезпечує локалізацію структур, форму клітини, транспорт компонентів
Клітинний центр	Складається з 1–2 <i>центріолей</i> (циліндричних тілець), оточених <i>центросферою</i>	Утворює <i>мікротрубочки</i> для внутрішньоклітинного транспорту
Рибосоми (15–20 мкм)	Тільця округлої форми, утворені нуклеопротеїдами, мають дві нерівні <i>субодиниці</i> : <i>малу</i> – для приєднання і-РНК та т-РНК, <i>велику</i> – для синтезу поліпептидного ланцюга	Матричний синтез білка
Включення	Тимчасові зерна (вуглеводи і білки) та краплі (жири)	Запасні речовини

Продовження табл. 3.1

<i>Одномембранні органели (вакуолярна система клітини)</i>		
Ендоплазматична сітка, діаметр 25–30 нм	Система порожнин у вигляді <i>каналців</i> і <i>цистерн</i> . Залежно від будови є два типи ЕС: <i>гладенька (агранулярна)</i> – без рибосом і <i>шорстка(гранулярна)</i> – з рибосомами	Синтез білків (шорстка), ліпідів, вуглеводів (гладенька мембрана) розщеплення токсинів, дозрівання і накопичення білків, транспорт речовин у різні ділянки клітини
Апарат Гольжі (20–2000 нм)	Утворений стопкою <i>плоских цистерн</i> (мішечків), вкритих мембранами, поряд з якими розміщені <i>міхурці</i> та <i>каналці</i> Окрugлі тільця, утворюються в міхурцях апарату Гольджі.	Накопичення, дозрівання, пакування і виведення (<i>секретування речовин</i>); формування лізосом
Лізосоми, діаметр – 1 мкм	Оточені мембраною, містять <i>гідролітичні ферменти</i>	Руйнування речовин, органел, клітин (внутрішньоклітинне травлення) утворення травних вакуолей
Вакуолі	У рослин – мішечки, заповнені рідиною; у тварин – скоротливі, травні, фагоцитарні	Накопичення речовин
<i>Двомембранні органели</i>		
Пластиди (у рослин), 3–10 мкм Види: хлоропласти, хромопласти, лейкопласти	Паличкоподібні, пластинчасті, у вигляді лусок і зерен. У хлоропластів зовнішня мембрана гладенька, внутрішня – утворює <i>грані</i> – пакети плоских мішечків (<i>тилакоїдів</i>). Тилакоїди сусідніх гран сполучаються мембранними каналами (<i>ламели</i>). На поверхні гран знаходиться <i>хлорофіл</i> . У пластидах є ДНК, РНК, включення. Здатні розмножуватися	Хлоропласти забезпечують <i>фотосинтез</i> – перетворення світлової енергії на енергію хімічних зв'язків
Мітохондрії (0,5–5 мкм)	Паличкоподібні, округлі, ниткоподібні; зовнішня мембрана гладенька, внутрішня має багато виростів (<i>крист</i>), які збільшують поверхню. Внутрішній вміст – мітохондріальний <i>матрикс</i> , містить рибосоми, ДНК, і-РНК, т-РНК	Відбуваються окисно-відновні процеси, виділяється енергія, що нагромаджується в АТФ. Синтезуються власні білки, РНК, ДНК
<i>Ядро</i>		
Поверхневий апарат	Складається з 2-х мембран, які мають <i>пори</i>	Обмеження ядра, зв'язок з цитоплазмою
Каріоплазма	Рідинне середовище ядра	Місцезнаходження ядерних елементів
Хроматин	Речовина, що складається з ДНК, білків, і-РНК (інтерфазна форма існування хромосом)	Носій спадкової інформації
Рибонуклео-протеїдні комплекси	Містять ДНК, РНК	Забезпечують утворення рибосом

Клітина – відкрита система. Організація потоків речовини та енергії в клітині

Клітина є відкритою системою, тому що вона не ізольована від зовнішнього середовища. Для життя та функціонування клітинам необхідно постійно взаємодіяти з навколишнім середовищем. Зокрема, між середовищем і клітинами постійно відбувається обмін речовиною, енергією й інформацією. Ці процеси забезпечують упорядкований у часі та просторі, координований перебіг усіх метаболічних і фізіологічних процесів.

Завдання до теми

1. Роздивитися у мікроскоп цитологічний препарат людини (епідерміс шкіри, волосся).
2. Роздивитися у мікроскоп цитологічний препарат тварини (шкірний епідерміс або печінка пацюка, курячий ембріон).
3. Зробити відповідні рисунки і записи в практичному журналі.

Контрольні питання

1. Перерахуйте і дайте стисло характеристику основних клітинних органоїдів. Які з них являють собою бімембранні структури?
2. Назвіть відмінні ознаки рослинної, грибною та тваринної клітин. Які подібності в їх будові вказують на єдність їх походження?
3. Які функціональні властивості клітини характеризують її як відкриту систему?

Література: [3, с. 57–64; 4, с. 32–46; 5, с. 8–14, 16–18; 11, с. 78–82, 84–88; 12 с. 212–215].

Практичне заняття № 4

Тема. Вивчення структурно-функціональної організації нуклеїнових кислот. Процеси за участю ДНК і РНК

Мета: засвоїти принципи просторової будови (конформації) молекул нуклеїнових кислот, визначити розбіжності в будові ДНК і РНК, дати визначення навчальних елементів.

Навчальні елементи: нуклеїнові кислоти (РНК і ДНК), конформація, компліментарність, реплікація, транскрипція, трансляція.

Короткі теоретичні відомості

Молекулярні основи спадковості. Реалізація спадкової інформації

Молекулярні процеси, що відбуваються за участю ДНК та РНК, забезпечують здатність клітин підтримувати високу впорядкованість своєї організації завдяки генетичній інформації, що зберігається, відтворюється, реалізується й удосконалюється.

Незмінність молекулярної структури нуклеїнових кислот є необхідною умовою збереження генетичного здоров'я. Тому знання будови і функцій ДНК і РНК дає змогу втручатися в тонкі механізми спадковості з метою лікування багатьох хвороб людини.

Організація потоку біологічної інформації у клітині. Будова молекули ДНК. Будова молекули РНК

Білки клітини визначають її *структуру, форму і функції*. Проте в природі не доведено жодного випадку, коли б молекула білка синтезувала собі подібну молекулу.

Біологічна інформація зберігається в *генах у структурі ДНК* у такій формі, що вона може точно копіюватися і передаватися наступним клітинам.

Спадкова інформація ДНК записана в лінійній послідовності нуклеотидів. Передавання (*реплікація*) інформації розпочинається поділом двох комплементарних ланцюгів, на кожному з яких утворюється нова молекула ДНК. Під час *транскрипції* певних фрагментів ДНК утворюється м-РНК або і-РНК. Молекули РНК одноланцюгові, вони коротші за ДНК. Транскрипція генетичної інформації з ДНК на РНК і є першим кроком потоку біологічної інформації. Наступний крок – *трансляція* м-РНК. Молекула м-РНК залишає ядро, виходить у цитоплазму і скеровує синтез певного білка на рибосомах. Перенесення інформації від м-РНК до білка ґрунтується на принципі *комплементарності* основ, як і перенесення генетичної інформації від ДНК до РНК. Отже, генетична інформація записана в лінійній послідовності

нуклеотидів ДНК. За участю РНК ця інформація надходить (транслюється) до рибосом з утворенням білкового поліпептиду.

Макромолекула ДНК – це два довгі полімерні ланцюги, що тісно з'єднані між собою. Кожен із цих ланцюгів є *полінуклеотидом*, тобто їх мономерами слугують нуклеотиди, які, своєю чергою, є *тримерами*, що складаються з *азотистої основи*, моносахариду – *дезоксирибози* (у нуклеотидах РНК-рибози) та залишку *ортофосфатної кислоти*. Азотисті основи бувають: *пуринові* – аденін (А) і гуанін (Г) і *піримідинові* – тимін (Т) і цитозин (Ц). Загалом чотири різновиди азотистих основ визначають чотири типи нуклеотидів.

Сполучення нуклеотидів у молекулі ДНК відбувається внаслідок взаємодії фосфату одного нуклеотиду з гідроксильною групою дезоксирибози іншого. У результаті утворюється *фосфодіефірний* зв'язок, що об'єднує нуклеотиди в довгий ланцюжок – полінуклеотид.

Два полінуклеотидні ланцюги ДНК не є ідентичними, але вони *комплементарні* один одному. Це пов'язано зі строгою відповідністю основ одного ланцюга основам іншого. Відстань між двома ланцюгами ДНК – 2 нм, що дає змогу вмістити лише одну пару А-Т або Г-Ц, які відповідають цим розмірам. Тільки аденін і тимін, а також гуанін і цитозин мають відповідні просторові структури для утворення водневих зв'язків. Отже, аденін в одному ланцюгу має завжди відповідати тиміну в іншому, а гуанін завжди повинен мати навпроти себе цитозин.

Аденін з'єднується з тиміном двома водневими зв'язками, а гуанін з цитозином – трьома водневими зв'язками. Таке сполучення азотистих основ забезпечує міцний зв'язок обох ланцюгів ДНК.

Два полінуклеотидні ланцюги ДНК *антипаралельні*. Тобто, 5-й кінець одного ланцюга з'єднаний із 3-м кінцем іншого, і навпаки. Генетична інформація записана послідовністю нуклеотидів у напрямку від 5-кінця до 3-кінця. Таку нитку називають «*змістовною*», саме тут розташовані гени (*матричний ланцюг*). Другий ланцюг ДНК необхідний як «еталон» збереження генетичної інформації та набуває значення у процесах реплікації та *репарації*.

Саме таку модель будови молекули ДНК запропонували 1953 р. Д. Уотсон і Ф. Крік.

Спадкова інформація зберігається в молекулі ДНК, проте ДНК не бере безпосередньої участі в життєдіяльності клітин. Роль посередників у передачі спадкової інформації від ДНК у цитоплазму відіграють РНК. Взаємовідносини ДНК, РНК і білків можна уявити у вигляді схеми: ДНК → РНК → білок.

РНК мають вигляд довгих нерозгалужених полімерних молекул, що складаються з одного ланцюга. РНК – полімер рибонуклеотидів, що складаються із залишків ортофосфатної кислоти, рибози й азотистих основ (*аденін, гуанін, цитозин, урацил*). Усі різновиди РНК синтезуються на молекулах ДНК за участю ферментів *РНК-полімераз* на основі принципу комплементарності. При цьому в синтезованій молекулі аденін ДНК комплементарний урацилу РНК, а гуанін – цитозину.

Молекули *РНК* відрізняються за низкою ознак від молекул ДНК:

- вуглеводом *РНК* є рибоза;
- РНК не містить тиміну, його місце в молекулі займає урацил;
- РНК – одноланцюговий полінуклеотид;
- правила Чаргаффа не виконуються.

На основі розміру, структури і функції молекул розрізняють три типи РНК.

Інформаційна РНК (і-РНК). Її молекули утворюються на певних ділянках ДНК, що мають назву структурних генів, у вигляді комплементарної копії ділянки одного з її ланцюгів. І-РНК є матрицею для синтезу поліпептидів (білків), тому її також називають матричною. Матрична РНК є шаблоном, на якому будуються поліпептиди відповідно до закладеної генетичної інформації.

Транспортна РНК (т-РНК). Молекули т-РНК утворюються на спеціальних генах, вони короткі, мають трійчасту форму, що нагадує листок конюшини. Молекули *т-РНК* переносять до місць синтезу білків тільки відповідні їм амінокислоти із цитоплазми. Кожній амінокислоті відповідає своя т-РНК. Молекули т-РНК мають чотири важливі ділянки:

- транспортну;
- антикодон;
- ділянку приєднання ферменту;
- ділянку зв'язування з рибосоною.

До транспортної ділянки приєднується специфічна амінокислота. Вона утворена двома комплементарними кінцевими ділянками РНК, 3-й кінець якої закінчується послідовністю ЦЦА з вільною ОН-групою. До цієї групи приєднується амінокислота, що транспортується.

У центрі *антикодону* наявний триплет, комплементарний до триплету на і-РНК, який називають *кодоном*. У період синтезу білка антикодон знаходить відповідний йому кодон на і-РНК і тимчасово приєднується до нього водневими зв'язками.

Ділянка приєднання ферменту – це спеціальна частина молекули т-РНК для специфічного зв'язування з ферментом *аміноацил-т-РНК-синтетазою*, що каталізує приєднання до молекули т-РНК амінокислоти.

Ділянка зв'язування з рибосоною – особлива частина молекули (певна послідовність нуклеотидів) т-РНК, що потрібна для прикріплення до рибосоми.

Рибосомна РНК (р-РНК) утворюється на спеціальних генах ДНК у ядерці. У каріоплазмі р-РНК різні білки об'єднуються для утворення малих і великих *субодиниць* рибосом. Рибосомна РНК утворює структурний каркас рибосоми, забезпечує зв'язування і-РНК з рибосомами за допомогою певних послідовностей нуклеотидів (табл. 4.1).

Універсальність та індивідуальна специфічність ДНК. Правила Чаргаффа

Молекули ДНК у різних рослин і тварин побудовані з одних і тих самих нуклеотидів чотирьох типів: *аденілового, гуанілового, цитидилового і тимідилового* (А, Г, Ц, Т), але різняться між собою за кількістю і порядком чергування нуклеотидів. Ця обставина визначає універсальність й одночасно унікальність ДНК. ДНК кожного виду характеризується відносною постійністю і видовою специфічністю. Але будь-яка ДНК характеризується певними

закономірностями, установленими 1950 р. американським біохіміком Е. Чаргаффом.

Правила Чаргаффа:

1. Сума пуринових основ дорівнює сумі піримідинових основ:

$$A + G = T + C.$$

2. Кількість основ з кетогрупою в 6-му положенні дорівнює кількості основ з аміногрупою в 6-му положенні:

$$G + T = A + C, \text{ або } (G + T) / (A + C) = 1.$$

3. Вміст аденіну дорівнює вмісту тиміну, а вміст гуаніну дорівнює вмісту цитозину (правило еквівалентності):

$$A = T; G = C.$$

Відповідно до цих правил склад ДНК різних організмів може варіювати лише за співвідношенням $(A + T) / (G + C)$, але для організмів цього виду таке співвідношення є постійним і називається *коефіцієнтом специфічності ДНК* ($K_{сп}$ ДНК). $K_{сп}$ ДНК людини дорівнює 1,54. $K_{сп}$ ДНК бактерії кишкової палички дорівнює 1,0.

Генетична роль нуклеїнових кислот

Оскільки відомо, що з ДНК побудовані гени, які контролюють усі процеси в клітині шляхом синтезу ферментів та інших білків, що, у свою чергу, визначають синтез інших речовин клітини, то, по суті, ДНК є носієм генетичної (спадкової) інформації. Таким чином, генетична інформація – це інформація про білки. У зв'язку з цим розрізняють такі функції ДНК як спадкового матеріалу:

1. *Збереження спадкової інформації, на основі якої формується фенотип*, що стає можливим унаслідок існування генетичного коду.

2. *Генетичний код* – система запису спадкової інформації, за якою послідовність нуклеотидів у молекулах нуклеїнових кислот визначає, послідовність амінокислот у молекулах білків. Оскільки в процесі реалізації генетична інформація переписується з ДНК на і-РНК, генетичний код читається за і-РНК і записується за допомогою 4 азотистих основ РНК (А, У, Г, Ц).

Таблиця 4.1 – Характеристика нуклеїнових кислот

Кислота	Будова мономера нуклеотиду	Локалізація та функція в клітині	Будова
ДНК	<ol style="list-style-type: none"> 1. Залишок фосфорної кислоти. 2. Дезоксирибоза. 3. Азотисті основи (аденін чи гуанін, цитозин чи тимін) 	Утворює хроматин в інтерфазному ядрі або хромосоми під час мітозу. Зберігає спадкову інформацію	Подвійна спіраль*
РНК	<ol style="list-style-type: none"> 1. Залишок фосфорної кислоти. 2. Рибоза. 3. Азотисті основи (аденін чи гуанін, або цитозин чи урацил) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. і-РНК входить до складу ядерець і бере участь у транскрипції (зчитуванні) і трансляції (переносі) спадкової інформації з ядерної ДНК на рибосоми в цитоплазмі. 2. т-РНК забезпечує синтез білка на рибосомах. 3. р-РНК входить до складу рибосом. 	Одинарна нитка*

*Примітка: у вірусів може бути навпаки, але завжди присутній лише один тип нуклеїнової кислоти (або ДНК, або РНК).

Завдання до теми

1. Ділянка молекули ДНК має таку послідовність нуклеотидів: АЦЦ-АТА-ГЦТ-ЦАА-ГГА. Визначити послідовність амінокислот у відповідному поліпептидному ланцюзі.

2. На одному з ланцюгів ДНК синтезована і-РНК, в якій А – 14 %, Г – 20 %, У – 40 %, Ц – 26 %. Визначити вміст (%) нуклеотидів у молекулі ДНК.

3. Полінуклеотид молекули ДНК із 1444 нуклеотидів, що кодує білок, містить п'ять інтронних ділянок – завдовжки 100, 120, 135 та дві по 150 нуклеотидів. Скільки амінокислот у закодованому білку?

4. Знайти кількісні співвідношення нуклеотидів у ділянці молекули ДНК, якщо відомо, що вона містить 240 тимідилових нуклеотидів, що становить 20 % загальної кількості нуклеотидів.

Контрольні питання

1. Що таке інактивація, пролонгація і термінація? Сформулюйте визначення понять «реплікація», «транскрипція» й «трансляція».
2. Охарактеризуйте вміст азотистих основ у живих організмах.
3. Наведіть характеристику нуклеїнових кислот.
4. Які процеси за участю нуклеїнових кислот вам відомі? Визначте принцип компліментарності.
5. Перелічіть найважливіші ознаки типів РНК. Які функції виконують інформаційна, транспортна і рибосомальна РНК?

Література: [1, с. 5–8; 8, с. 15–16; 9, с. 36–38; 15, с. 28–31; 18, с. 2–7].

Практичне заняття № 5

Тема. Універсальний генетичний код

Мета: засвоїти принципи універсального генетичного коду, дати визначення навчальних елементів, набути навичок розв'язання генетичних задач з кодування і декодування.

Навчальні елементи: генетичний код, ген, геном, кодон (триплет).

Короткі теоретичні відомості

Генетичний код – система запису спадкової інформації, за якою послідовність нуклеотидів у молекулах нуклеїнових кислот визначає, послідовність амінокислот у молекулах білків. Оскільки в процесі реалізації генетична інформація переписується з ДНК на і-РНК, генетичний код читається за і-РНК і записується за допомогою 4 азотистих основ РНК (А, У, Г, Ц).

Генетичний код (табл. 5.1) характеризується такими властивостями:

- *триплетність* – кожна амінокислота кодується трьома сусідніми нуклеотидами (триплетом);
- *універсальність* – код єдиний для всіх організмів, одні й ті самі триплети кодують одні й ті самі амінокислоти у різних біологічних видів. Завдяки універсальності генетичного коду гени скеровують синтез відповідних білків навіть у чужих клітинах, якщо ці клітини включили їх у свої ДНК;

– *виродженість*, або *множинність*, — одна амінокислота може кодуватися більш ніж одним триплетом. Оскільки існує чотири типи нуклеотидів, генетичний код складається з 64 кодонів ($4^3 = 64$), з них 61 кодон кодує 20 амінокислот. Три кодони (УАГ, УАА, УГА) – *нонсенс-кодони* не кодують жодної амінокислоти і для них не існує т-РНК; вони виконують роль сигналів завершення трансляції (стоп-кодони, кодони-термінатори). Одним триплетом кодуються метіонін і триптофан, інші 18 з 20 амінокислот – кількома (2, 3, 4 і 6).

Виродженість захищає генетичний код від мутаційних змін. Якщо в кодоні АГЦ, який кодує аргінін, станеться заміна цитозину на аденін, то зміст спадкової інформації від цього не порушиться і в білковій молекулі не відбудеться жодних змін, оскільки кодон АГА також кодує аргінін;

– *специфічність* – кожний окремий триплет кодує лише одну певну амінокислоту. Специфічність не суперечить множинності. Наприклад, триплет УУА кодує лише лейцин, тобто для цієї амінокислоти він є специфічним. Однак із цього не випливає, що лейцин не може кодуватися іншими триплетами, але це вже відображається такою властивістю, як множинність;

– *неперекривність* — конкретний нуклеотид входить до складу лише одного триплету, тобто якщо нуклеотид увійшов до складу попереднього триплету, то до складу наступного він уже входить не може;

– *колінеарність* – послідовність триплетів у ДНК визначає порядок розташування амінокислот у молекулі білка. Це означає, що положення кожної амінокислоти в білковому поліпептиді залежить від положення триплету у молекулі ДНК. По суті, ген і поліпептид, який він кодує, є колінеарними;

– *переважання двох перших нуклеотидів*, тобто із трьох нуклеотидів кодону третій може варіювати.

Генетичний код має дивовижну компактність. Так, запис інформації, яка міститься в хромосомі тваринної клітини у вигляді літер, що символізують триплети нуклеотидів, становитиме книгу обсягом понад 500 тис. сторінок.

Таблиця 5.1 – Генетичний код

Перша основа	Друга основа				Третя основа
	U	C	A	G	
U	Phe	Ser	Tyr	Cys	U C A G
	Phe	Ser	Tyr	Cys	
	Leu	Ser	стоп	стоп	
	Leu	Ser	стоп	Trp	
C	Leu	Pro	His	Arg	U C A G
	Leu	Pro	His	Arg	
	Leu	Pro	Gln	Arg	
	Leu	Pro	Gln	Arg	
A	Ile	Thr	Asn	Ser	U C A G
	Ile	Thr	Asn	Ser	
	Ile	Thr	Lys	Arg	
	Met	Thr	Lys	Arg	
G	Val	Ala	Asp	Gly	U C A G
	Val	Ala	Asp	Gly	
	Val	Ala	Glu	Gly	
	Val	Ala	Glu	Gly	

2. Відтворення спадкової інформації та її передавання наступним поколінням клітин. Відтворення відбувається у S-період інтерфази і забезпечується реплікацією молекули ДНК, передавання здійснюється в ході мітотичного механізму.

Реплікація (самоподвоєння, самовідтворення) – синтез ДНК на матриці ДНК, який забезпечує точне копіювання спадкової інформації. Здатність до самоподвоєння – унікальна властивість ДНК, притаманна лише їй і можлива завдяки комплементарності двох полінуклеотидів її молекули.

Етапами реплікації є:

- розкручування біоспіралі ДНК;
- локальне розведення її ланцюгів;
- стабілізація одностричкових полінуклеотидів ДНК;
- поява з двох розведених ланцюгів Y-подібної структури (реплікативної вилки).

У такий спосіб утворюються дві дочірні молекули, ідентичні материнській. Кожна дочірня молекула складається з однієї старої (материнської) нитки й однієї нової нитки. Реплікація ДНК моделює процес

самовідтворення на молекулярному рівні організації.

Оскільки тільки один материнський полінуклеотид збережений у кожній дочірній молекулі, такий тип реплікації має назву *напівконсервативного*.

Функції РНК полягають у тому, що всі види РНК забезпечують процеси, які супроводжують етапи синтезу білка: транскрипцію, трансляцію, реакції матричного синтезу.

Ген. Сучасний стан теорії гена

Одним з основних положень генетики є положення про те, що всі ознаки і властивості організмів визначаються одиницями спадковості – *генами* (від грец. *genos* – рід, походження).

Ген – елементарний, дискретний, матеріальний спадковий фактор – функціональна одиниця генетичної інформації; ділянка молекули ДНК (у деяких вірусів РНК), яка містить інформацію про послідовність амінокислот у молекулі поліпептиду (білка) або послідовність нуклеотидів у молекулах РНК.

Ген характеризується такими ознаками:

1. Кожний ген складається приблизно з 1000 пар нуклеотидів. Набір нуклеотидів та їх послідовність у кожному гені унікальні, що зумовлює специфічність гена, тобто здатність контролювати лише певну ознаку.

2. Більшість генів в еукаріотів є унікальними і представлені в геномі лише однією копією. Поряд з цим існують гени (гени р-РНК, т-РНК, гістонові гени), які представлені блоками, що складаються з тандемно повторюваних (один за одним) ідентичних генів або груп генів.

3. Найменшу функціональну одиницю генетичного матеріалу, яка кодує синтез певного поліпептиду, називають *цистроном*. Один цистрон кодує один поліпептид. Терміни «цистрон» і «ген» вживають практично як синоніми.

4. Ген має складну будову і здатний до мутацій та рекомбінацій. Найменшу ділянку цистрона, зміна якої може спричинити мутацію, називають *мутон* (одиниця мутації), а найменшу ділянку, яка змінюється шляхом рекомбінації, – *реконом* (одиниця рекомбінації). Довжину мутонів і реконів найчастіше визначає одна (рідше дві) пара нуклеотидів.

5. Гени розташовані у хромосомах у певній послідовності в лінійному порядку (один за одним). Кожний ген займає певне місце (локус).

6. Існує кілька класифікацій генів. За функцією гени поділяють на:

– *структурні* – кодують синтез білків (по суті, це гени і-РНК);

– *гени т-РНК* – кодують синтез т-РНК;

– *гени р-РНК* – кодують синтез р-РНК;

– *регуляторні* – контролюють активність структурних генів.

7. Структурні гени еукаріотів мають мозаїчну будову. Вони містять *екзони* (інформативні ділянки кодують амінокислоти) та *інтрони* (неінформативні ділянки не кодують амінокислот).

8. Ген не бере участі в біосинтезі білка, він є матрицею для утворення посередників – різних молекул РНК, які безпосередньо забезпечують синтез.

9. Активність гена знаходиться під генним контролем та контролем факторів зовнішнього середовища.

10. Молекулярна організація геному еукаріот характеризується надлишковою кількістю ДНК. Так, розмір геному людини достатній для утворення близько 1,5 млн генів, але фактично в ньому міститься лише 35 тис. генів і більша частина ядерної ДНК не транлюється в амінокислотну послідовність.

11. Молекули ДНК здатні до *репарації*, тому не всі ушкодження гена ведуть до мутації.

12. Гени мають фіксовану локалізацію на хромосомі, тобто займають певний *локус*. Відомі також *мобільні* (міграційні) генетичні елементи (МГЕ), або мобільні гени. Це послідовності нуклеотидів ДНК, здатні до переміщення (*транспозиції*) по геному клітини. З ними пов'язують виникнення мутацій і варіацій.

13. Гени, за хромосомною теорією спадковості, розташовані в хромосомах лінійно в певній послідовності і не перекриваються. (Перекривні гени – винятки, виявлені в деяких вірусах.)

14. В еукаріотів відкриті *псевдогени* – послідовності нуклеотидів, які

схожі на структурні гени, але не транскрибуються у функціонально активні поліпептиди.

Завдання до теми

1. Використовуючи таблицю універсального генетичного коду, закодуйте амінокислотну послідовність пропонованого поліпептиду в послідовність нуклеотидних триплетів молекул ДНК на вибір викладача.

2. Білковий поліпептид містить 248 амінокислот. Що важче: білок чи ген, який його кодує?

3. Молекулярна маса білка 18 000. Визначити довжину інформативної частини гена, який кодує цей білок.

4. Початкова ділянка молекули білка має такий склад:

АСП-ЛЕЙ-АЛА-СЕР-АЛА. Визначити кількісне співвідношення А + Т до Г + Ц (коефіцієнт специфічності) ланцюга ДНК, який кодує цю ділянку білка.

5. Гемоглобін крові людини містить 0,34 % феруму. Розрахувати молекулярну масу гемоглобіну.

Контрольні питання

1. Які риси універсального генетичного коду вам відомі? Сформулюйте визначення поняття «універсальний генетичний код».

2. Опишіть принципи кодування амінокислотних послідовностей білків у молекулах нуклеїнових кислот.

3. Що означає «нонсенс-кодон»?

4. Яким нуклеотидом відрізняються ДНК і РНК?

Література: [8, с. 11–15, 47–49; 9, с. 28–32, 65–67; 15, с. 12–14, 167–169; 18, с. 46–48, 265–267].

Практичне заняття № 6

Тема. Закономірності спадковості Г. Менделя при моно- і дигібридному схрещуванні

Мета: засвоїти закономірності успадкування і мінливості ознак співвідносно до генетики людини.

Навчальні елементи: успадкування, генотип, фенотип, алельні гени, неалельні гени, домінантний ген, рецесивний ген, гомозиготний організм, гетерозиготний організм, гемізіготний організм.

Короткі теоретичні відомості

За сучасними даними експертів Усесвітньої організації охорони здоров'я, із тисячі новонароджених у 42–65 виявляють моногенні захворювання, що мають менделюючий характер.

Серед загальної кількості спадкових хвороб значна частка успадковується відповідно до законів Менделя. Тільки спадкових хвороб обміну речовин сучасна медицина нараховує понад 600. Усі вони переважно є вираженими менделюючими ознаками.

Як відомо, генетика вивчає закономірності спадковості й мінливості.

Успадкування – процес передачі спадкової інформації у ряді поколінь. Застосування терміна «успадкування ознак» є умовним, оскільки успадковуються не ознаки, а гени, які несуть інформацію про всі ознаки і властивості організму. Тому для розуміння багатьох спадкових процесів слід опанувати закономірності успадкування (із покоління в покоління) генів.

Генотип – сукупність усіх генів організму (у широкому розумінні – сукупність спадкових факторів). Генотип успадковується від батьківських форм і здатний потенційно визначати ознаки організму.

Фенотип – сукупність усіх зовнішніх і внутрішніх ознак організму. Він є результатом взаємодії генотипу й умов навколишнього середовища. Фенотип ніколи не буває відображенням усього генотипу, а завжди відображає лише ту частину його, яка реалізується за цих умов, тому, як правило, ознака має певний діапазон прояву (норму реакції), що відображає характер змін факторів середовища.

Алельні гени, алелі (від лат. *alleles* – протилежний) – парні гени, що займають одні й ті самі локуси гомологічних хромосом і визначають альтернативні взаємовиключні стани однієї й тієї самої ознаки. Гени, як і хромосоми, парні. У кожній клітині диплоїдного організму будь-який ген

представлений двома алелями, один з яких організм одержав від батька, інший – від матері. (Виняток становлять лише статеві клітини – гамети, у яких міститься лише один алель цього гена.)

Таким чином, алельні гени, або гени однієї алельної пари, – це насправді різні форми (різновиди) того самого гена.

Неалельні гени – гени різних алельних пар. Вони, відповідно, визначають варіанти різних ознак і характеризуються протилежними, порівняно з алельними генами, властивостями.

Алельні гени бувають домінантними і рецесивними.

Домінантний ген (алель) – ген, який проявляється у фенотипі гетерозиготного організму (варіант ознаки, що ним визначається, теж є домінантним).

Рецесивний ген (алель) – ген, який не проявляється в фенотипі гетерозиготного організму (визначає, відповідно, рецесивний варіант ознаки).

Домінантний і рецесивний алелі одного гена позначають однаковою літерою латинського алфавіту, але домінантний алель пишуть великою літерою (А), а рецесивний – маленькою (а).

Гомозиготний організм (гомозигота) – диплоїдний організм, в обох гомологічних хромосомах якого містяться однакові алелі певного гена (наприклад АА чи аа). Гомозигота характеризується, відповідно, гомозиготним генотипом. Гомозиготний генотип буває:

– *гомозиготний домінантний* – АА;

– *гомозиготний рецесивний* – аа.

Гомозиготний організм утворює один тип гамет за цим геном (А або а).

Гетерозиготний організм (гетерозигота) – диплоїдний організм, обидві гомологічні хромосоми якого містять різні алелі певного гена (Аа). Гетерозигота характеризується *гетерозиготним генотипом* – Аа й утворює два типи гамет за цим геном (А й а).

Гемізіготний організм (від грец. *hemi* – напів) – організм, генотип якого виражається не двома, а одним алелем, і цей алель завжди фенотипово

проявляється, навіть тоді, коли він рецесивний.

Гемізіготними є гаплоїдні організми, а також диплоїдний гетерогаметний організм, але лише за тими генами, які локалізовані у статевих хромосомах. Наприклад, чоловіки (XY) є гемізіготними за генами гемофілії, дальтонізму, які локалізовані в негомологічній ділянці X-хромосоми, оскільки в них лише одна X-хромосома, а Y-хромосома цих генів не містить.

Узагальнюючи все вище сказане, розглянемо для прикладу алельну пару, що контролює стан кисті людини:

A – ген полідактилії (багатопалості, найчастіше шестипалості);

a – ген нормальної будови кисті (п'ятипалості).

Теоретично можливими є такі генотипи та фенотипи:

Генотип	AA гомозиготний	aa гомозиготний	Aa
Фенотип	Полідактилія	Нормальна кисть	Полідактилія

Закономірності успадкування ознак установлені Г. Менделем

Закономірності успадкування ознак уперше 1865 р. відкрив Г. Мендель у дослідах з гібридизації різних сортів посівного гороху. Ці закономірності відомі тепер як три закони (правила) Г. Менделя і закон (гіпотеза) чистоти гамет. Це основні закони генетики.

Суть гібридологічного методу

Успіх сприяв Г. Менделю завдяки вдалому вибору об'єкта досліджень (горох посівний) і застосуванню розробленого ним гібридологічного методу вивчення спадковості, який став основним методом класичної і сучасної генетики. Його назва зумовлена тим, що вивчення успадкування ознак здійснювалося шляхом гібридизації (схрещування), тобто поєднання двох генетично різних організмів (*гамет*).

Гетерозиготний організм, який утворюється при цьому, називають *гібридом*, а потомство – гібридним.

Особливостями гібридологічного методу були:

– самоzapильність гороху, що визначало чистолінійність усіх поколінь

(гомозиготність, чистосортність);

– відбір для дослідів тих сортів, які різнилися між собою чіткими і зручними для дослідження альтернативними ознаками;

– спостереження за успадкуванням не всіх ознак одночасно, як це робили інші вчені, а однієї або кількох пар альтернативних ознак;

– ретельне планування дослідів, ведення точного кількісного обліку потомства за кожною парою досліджуваних ознак у ряді поколінь та його математичний аналіз.

За збігом обставин горох має 7 пар хромосом (це було встановлено пізніше) і гени кожної із 7 пар ознак розташовані в різних парах хромосом. Ця обставина допомогла вченому відкрити явище незалежного успадкування ознак.

Моногібридне схрещування – це схрещування, у якому батьківські організми різняться за однією парою альтернативних ознак, *дигібридне* – за двома, *полігібридне* – за трьома парами ознак і більше.

Символіка генетичних схем

Заслугою Г. Менделя було також і те, що він запропонував алгебраїчні символи для позначення генетичних схем схрещувань, які з деякими доповненнями застосовують і в сучасній генетиці:

P (від лат. *parentes* – батьки) – батьківські форми;

× – схрещування;

♀ – жіноча стать (дзеркало Венери);

♂ – чоловіча стать (щит і спис Марса);

велика літера латинського алфавіту – домінантний алель;

маленька літера латинського алфавіту – рецесивний алель;

F (від лат. *fili* – діти) – гібридне покоління;

F₁ – перше покоління, F₂ – друге і т. д.

У першому рядку схеми записують генотипи батьків (на перше місце переважно ставлять жіночий організм, на друге – чоловічий), у другому – типи гамет, які вони утворюють, у третьому рядку – усі можливі генотипи дітей.

Вивчення успадкування ознак Г. Мендель почав з моногібридного схрещування. Наприклад, схема його досліду для гороху мала такий вигляд:

A – ген жовтого забарвлення насіння;

a – ген зеленого забарвлення насіння.

P	♀ AA <i>жовті гомозиготи</i>	×	♂ aa <i>зелені гомозиготи</i>
Гамети	A		a
F ₁	Aa <i>100 % гетерозиготи з жовтим насінням</i>		

Перший і другий закони Г. Менделя

Наведена схема ілюструє перший закон Г. Менделя – закон одноманітності гібридів першого покоління: *при схрещуванні гомозиготних особин, які різняться за однією парою альтернативних ознак, спостерігається одноманітність гібридів першого покоління F₁ як за фенотипом, так і за генотипом.*

За фенотипом усі особини мають домінуючу ознаку, за генотипом вони гетерозиготні.

Якщо адаптувати цей закон Менделя (ураховуючи його універсальний характер) стосовно успадкування вище розглянутої патогенної ознаки людини (полідактилія), то матимемо:

A – ген полідактилії;

a – ген нормальної будови кисті.

P	♀ AA <i>гомозиготи-полідактиліки</i>	×	♂ aa <i>гомозиготи з нормальною кистю</i>
Гамети	A		a
F ₁	Aa <i>100 % гетерозиготи з полідактилією</i>		

Цитологічні основи цього закону: гомозиготні батьки (AA x aa) у процесі мейозу утворюють гамети лише одного типу – A і a відповідно. Поєднання цих гамет дає зиготу лише одного типу – Aa.

Наступні закономірності Г. Менделя розглядатимемо також на прикладі патогенних ознак людини. Якщо зобразити схему шлюбу людей з генотипами,

що відповідають F_1 , матимемо:

P	♀ Aa	×	♂ Aa
	<i>гетерозиготи- полідактиліки</i>		<i>гетерозиготи- полідактиліки</i>
Гамети	A, a		A, a
F_2	AA,	Aa,	Aa, aa
Генотип:	<i>гомозигота домінантна</i>	<i>гетерозиготи</i>	<i>гомозигота рецесивна</i>
Фенотип:	<i>п о л і д а к т и л і я</i>		<i>п'ятипалість</i>

Другий закон Г. Менделя – закон розщеплення ознак: *при схрещуванні (шлюбі) двох гетерозиготних особин (гібридів), які різняться за однією парою альтернативних ознак, у потомстві спостерігається розщеплення за фенотипом 3:1 і за генотипом 1:2:1.*

За фенотипом 3/4 особин (75 %) мають домінантну ознаку, а 1/4 (25 %) – рецесивну.

За генотипом 1/4 особин (25 %) – домінантні гомозиготи AA, 2/4 (50 %) – гетерозиготи Aa, 1/4 (25 %) – рецесивні гомозиготи aa.

Цитологічні основи другого закону: гібриди першого покоління F_1 , (Aa) при мейозі утворюють яйцеклітини і спермії двох типів – A і a, поєднання яких при схрещуванні дає три типи зигот: AA, aa, Aa. Тому одноманітності в F_2 не може бути, бо в основі закону розщеплення лежить феномен незмішування алелів у гібридних організмів.

Закон чистоти гамет

Той факт, що рецесивна ознака, яка була відсутня в гібридів першого покоління F_1 , знову з'явилася в 1/4 гібридів другого покоління F_2 , Г. Мендель пояснив тим, що успадковуються не самі ознаки, а спадкові фактори (гени), які визначають розвиток цих ознак, і що ці фактори дискретні. У гібридів F_1 , (Aa) є два спадкові фактори (алельні гени), один із них A відповідає за домінантну ознаку, інший a – за рецесивну.

Отже, алельні гени, знаходячись у гетерозиготному стані, не зливаються, не змінюють один одного і, не втрачаючи своєї індивідуальності, передаються в гамети. Гамети є «чистими»: вони несуть лише один із двох алелей певного гена.

Ця закономірність була названа гіпотезою «чистоти» гамет, її цитологічну основу забезпечує механізм мейозу, який був відкритий значно пізніше законів Г. Менделя. Оскільки алельні гени знаходяться в гомологічних (парних) хромосомах, а при мейозі в кожену гамету потрапляє лише одна з гомологічних хромосом, відповідно – й один ген з цієї алельної пари.

Аналітичне схрещування

Фенотип організму з рецесивною ознакою цілком визначається його генотипом, оскільки такий організм обов'язково має бути гомозиготним за рецесивним геном (aa), тоді як організм з домінантною ознакою може мати як гомозиготний домінантний генотип (AA), так і гетерозиготний (Aa). Для визначення генотипу в дослідах на рослинах і тваринах проводять аналітичне схрещування і визначають генотип особини за фенотипом потомства.

Аналітичне схрещування – це схрещування, у якому особина, генотип якої невідомий, але його потрібно встановити (AA чи Aa), схрещується з рецесивною гомозиготою (aa). Якщо все потомство від цього схрещування буде одноманітним, досліджуваний організм має генотип AA (схема а). Якщо у потомстві спостерігається розщеплення за фенотипом у співвідношенні 1:1, досліджуваний організм є гетерозиготою Aa за схемою:

а)				
Р	♀ AA	×	♂ aa	
Гамети	A		a	
F ₁		Aa		
		100 %		
б)				
Р	♀ Aa	×	♂ aa	
Гамети	A, a		a	
F ₁		Aa,	aa	
		50 %	50 %	

Третій закон Г. Менделя – закон незалежного комбінування ознак

Цей закон Г. Мендель відкрив для дигібридного і тригібридного схрещувань. Щоб зрозуміти суть тих явищ, які мають місце у дигібридному схрещуванні, розглянемо його генетичну схему, моделюючи успадкування патогенних ознак на основі двох алельних пар людини:

A – ген полідактилії;

a – ген нормальної будови кисті;

B – ген нормального вуглеводного обміну;

b – ген цукрового діабету.

Як відомо, при схрещуванні Менделем гороху батьківські форми були гомозиготами із суто домінантним і суто рецесивним генотипами, тобто батьківські форми людей будуть із такими генотипами й фенотипами:

AABB – гомозигота-полідактилік без цукрового діабету;

aabb – гомозигота з нормальною кистю і цукровим діабетом.

P ♀ AABB × ♂ aabb

Гамети AB ав

F₁ AaBb

100 % дигетерозиготи з полідактилією без цукрового діабету

Для отримання F₂ розглянемо шлюб біологічних особин F₁:

P ? AaBb × ? AaBb

Результати злиття гамет зручніше виразити у формі решітки Пеннета (табл. 6.1)

Таблиця 6.1 – Результати злиття гамет

♀ Гамети ♂	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB <i>полідактиліки</i>	AABb <i>полідактиліки</i>	AaBB <i>полідактиліки</i>	AaBb <i>полідактиліки</i>
Ab	AABb <i>полідактиліки</i>	AAbb <i>полідактиліки із цукровим діабетом</i>	AaBb <i>полідактиліки</i>	Aabb <i>полідактиліки із цукровим діабетом</i>
aB	AaBB <i>полідактиліки</i>	AaBb <i>полідактиліки</i>	aaBB <i>здорові</i>	aaBb <i>здорові</i>
ab	AaBb <i>полідактиліки</i>	Aabb <i>полідактиліки із цукровим діабетом</i>	aaBb <i>здорові</i>	Aabb <i>діабетики</i>

Оскільки закони Менделя мають статистичний характер, то слід розуміти, що схема ілюструє не кількість фактично народжених дітей у подружньої пари, а лише дає можливість знайти вірогідність певних генотипів чи фенотипів потомства при заданих генотипах батьків.

Отже, у другому поколінні F_2 наявне потомство чотирьох фенотипових класів у співвідношенні 9 полідактиликів : 3 полідактиліки з цукровим діабетом: 3 здорових : 1 із цукровим діабетом (9:3:3:1). Нескладно побачити, що за однією, окремо взятою парою ознак, потомство розподіляється приблизно у співвідношенні 3:1, як у моногібридному схрещуванні, тобто таке кількісне співвідношення можна пояснити незалежним розподілом спадкових факторів (генів), що контролюють стан кисті й вуглеводний обмін. З математичної точки зору маємо:

$$(3 + 1) \times (3 + 1) = (3 + 1)^2 = 9 + 3 + 3 + 1.$$

На цих висновках ґрунтується *третій закон Г. Менделя* – закон незалежного комбінування ознак: *при схрещуванні гомозиготних особин, які різняться двома (і більше) парами альтернативних ознак, у другому поколінні F_2 спостерігається незалежне успадкування і комбінування ознак, якщо гени цих ознак розташовані в різних парах хромосом.*

Цитологічною основою цього закону є мейоз. У мейозі негомологічні хромосоми розходяться незалежно і можуть комбінуватися в будь-яких поєднаннях. Тому алель А може виявитися в одній гаметі з однаковою вірогідністю з алелем В або з алелем в, але не з алелем а. З такою ж імовірністю алель а може потрапити в гамету з алелем В або з алелем в, але не з алелем А. Гібриди F_2 у мейозі утворюють яйцеклітини чотирьох типів: АВ, Ав, аВ і ав і стільки ж типів сперміїв. При випадковому поєднанні цих гамет можливе утворення 16 типів зигот (4×4), які можна визначити за решіткою Пеннета. Ці типи зигот дають чотири фенотипових класи у співвідношенні 9:3:3:1 і дев'ять генотипових класів у співвідношенні: 1 ААВВ : 2 АаВВ : 2 ААВв : 4 АаВв : 1 ААвв : 2 Аавв : 1 ааВВ : 2 ааВв : 1 аавв.

Підрахунок розщеплення в F_2 за кожною парою ознак показує, що воно в обох випадках дорівнює 12:4, тобто 3:1, як при моногібридному схрещуванні. Отже, дигібридне схрещування – це, по суті, два незалежних моногібридних, які ніби накладаються одне на одного.

Застосовуючи закони Г. Менделя, можна спрогнозувати розщеплення і для більш складних схрещувань: три-, тетрагібридного і т. д. В основі завжди лежатиме розщеплення при моногібридному схрещуванні (табл. 6.2).

Таблиця 6.2 – Характеристика типів схрещування

Параметри	Тип схрещування		
	Моно-гібридне	Ди-гібридне	Полі-гібридне
Кількість типів гамет (N), утворених	2^1	2^2	2^n
Кількість комбінацій гамет при утворенні	4^1	4^2	4^n
Розщеплення за фенотипом у F_2	$(3:1)^1$	$(3:1)^2$	$(3:1)^n$
Розщеплення за генотипом у F_2	$(1:2:1)^1$	$(1:2:1)^2$	$(1:2:1)^n$
Кількість різних класів за фенотипом	$2^1=2$	$2^2=4$	2^n
Кількість різних класів за генотипом	$3^1=3$	$3^2=9$	3^n

Із кількісних співвідношень гаметоутворення випливає формула:

$$N = 2^n, \quad (6.1)$$

де N – кількість типів гамет; n – число гетерозиготних алелів генотипу.

Якщо викладені закономірності гаметоутворення адаптувати до дигібридного схрещування, то для можливих класів генотипів отримаємо результати:

Гомозиготні генотипи	AABB	AAbb	aaBB	aabb
Гамети (n = 0, N = 1)	AB	Ab	aB	ab
Моногетерозиготні генотипи	AABb	aaBb	AaBB	AaBb
Гамети (n = 1, N = 2)	AB, Ab	aB, ab	AB, aB	Ab, ab
Дигетерозиготний генотип	AaBb			
Гамети (n = 2, N = 4)	AB, Ab, aB, ab			

Завдання до теми

1. У людини полідактилія (шестипалість) – автосомно-домінантна ознака. П'ятипалий чоловік, батьки якого були шестипалі, одружився із шестипалою жінкою, батько якої п'ятипалий. Які діти можуть народитися у цієї шлюбної пари? Визначити генотипи всіх згаданих осіб.

2. У здорових батьків народилися син, що хворіє на фенілкетонурію, і здорова дочка. Яка вірогідність того, що дочка є носієм гена фенілкетонурії?

3. У людини є дві форми глухонімоти, які зумовлюють рецесивні алелі різних генів а і в. Визначити вірогідність народження нормальної дитини в сім'ї, де обоє батьків мають різні форми глухонімоти, а за другою парою алелів вони гетерозиготні.

4. Скільки типів гамет і які саме утворюють особини з генотипами: 1) AA; 2) Aa; 3) AaBB; 4) AaBb; 5) AaBBCcDD; 6) aaBB; 7) AaBbCc?

5. У людини ген полідактилії домінує над геном нормальної будови кисті, а ген альбінізму є рецесивним відносно гена нормальної пігментації. Жінка – полідактилік одружилася з чоловіком – альбіносом. У цього подружжя народилося двоє дітей, у однієї з яких спостерігаються полідактилія й альбінізм, а друга – здорова. Визначити генотипи батьків і дітей та пояснити такі наслідки шлюбу.

Контрольні питання

1. У чому суть універсальності законів Г. Менделя?
2. Які принципові відмінності між поняттями «генотип» і «фенотип»?
3. Що таке алельні гени? Яке їх походження?
4. У чому суть та які клітинні основи гіпотези «чистоти» гамет?
5. Який генетичний зміст першого і другого законів Менделя?
6. За якими особливостями гетерозиготний організм відрізняється від гомозиготного?
7. Чому третій закон Менделя називають ще законом незалежного комбінування ознак?

8. Чи може гібридологічний метод Г. Менделя моделювати вивчення спадковості людини?

Література: [7, с. 14–17; 8, с. 174–178; 9, с. 347–349; 10, с. 56–59, 304–307; 14, с. 89–94; 16, с. 13–18; 17, с. 19–23].

Практичне заняття № 7

Тема. Закономірності спадковості, що не відповідають законам Г. Менделя

Мета: засвоїти генетичну зумовленість хвороб, їх передачу в поколіннях, прояв в онтогенезі, поширення в популяціях, географічне поширення.

Навчальні елементи: моногенне, автосомно-домінантне, автосомно-рецесивне, зчеплене успадкування.

Короткі теоретичні відомості

Г. Менделем відповідно до тогочасного рівня пізнання генетики були встановлені такі закономірності успадкування ознак:

1. Кожна ознака в організмі контролюється парою алелів певного гена.
2. При мейозі кожна пара алелів розщеплюється і кожна гамета одержує по одному алелю з кожної пари.
3. При утворенні чоловічих і жіночих гамет у кожному з них може потрапити будь-який алель з однієї пари разом з будь-яким алелем з іншої пари.
4. Кожний алель передається з покоління в покоління як дискретна незмінна одиниця спадковості.
5. Материнський і батьківський організми рівною мірою беруть участь у передаванні своїх спадкових факторів нащадкам. Нове покоління одержує не готові ознаки, а тільки спадкові фактори – по одному алелю (для кожної ознаки) від кожної батьківської особини.

Ознаки, що успадковуються за законами Менделя, і типи їх успадкування у людини

Усі ознаки, успадкування яких узгоджується із закономірностями, встановленими Г. Менделем, є дискретними і контролюються одним геном

(моногенне успадкування). Актуальною для медичної практики є патогенність низки цих ознак (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – Патологічні ознаки у людини

Домінантні	Рецесивні
Карликова хондродистрофія	Нормальний скелет
Полідактилія (6 пальців і більше)	П'ятипалість
Брахідактилія (короткопалість)	Нормальна будова пальців
Синдактилія (зрощення пальців)	Нормальна будова пальців
Нормальне зсідання крові	Гемофілія
Поліпоз товстої кишки	Відсутність поліпозу
Нормальне сприймання кольору	Дальтонізм (кольорова сліпота)
Наявність пігментів у шкірі, волоссі	Альбінізм (відсутність пігментації)
Нормальне засвоєння фенілаланіну	Фенілкетонурія
Нормальне засвоєння галактози	Галактоземія
Нормальне засвоєння фруктози	Фруктозурія
Еліптоцитоз (еліпсоподібна форма еритроцитів)	Нормальна форма еритроцитів

Розрізняють такі типи їх успадкування:

- *автосомно-домінантний*;
- *автосомно-рецесивний*;
- *X-зчеплений (домінантний і рецесивний)*;
- *Y-зчеплений*.

При автосомному успадкуванні ген досліджуваної ознаки розташований в автосомі (нестатевій хромосомі), при зчепленому зі статтю успадкуванні – у статевих хромосомах (X, Y) (табл. 7.2).

Таблиця 7.2 – Непатологічні ознаки у людини

Домінантні	Рецесивні
Карі очі	Блакитні очі
Темне волосся	Світле волосся
Косий розріз очей	Прямий розріз очей
Ніс з горбинкою	Прямий ніс
Широка щілина між різцями	Вузька щілина або відсутність її
Зуби великі, виступають уперед	Звичайна форма і розміщення зубів
Ямочки на щоках	Відсутність ямочок
Білий локон волосся	Рівномірна пігментація волосся
Наявність ластовиння	Відсутність ластовиння
Губи повні	Губи тонкі
Краще володіння правою рукою	Краще володіння лівою рукою
Кров резус-позитивна	Кров резус-негативна
Здатність згортати язик трубочкою	Нездатність згортати язик трубочкою

Ознаки *автосомно-домінантного типу успадкування*:

1. Вертикальний принцип успадкування (при достатній кількості потомків ознака виявляється в кожному поколінні родоводу).
2. Особи жіночої і чоловічої статі хворіють однаково часто.
3. У хворої дитини один із батьків або обоє – хворі.

Ознаки *автосомно-рецесивного типу успадкування*:

1. Відносно невелика кількість хворих у родоводі навіть при достатній кількості потомків (успадкування за горизонталлю родоводу).
2. Чоловіки і жінки успадковують хворобу однаково часто.
3. Батьки хворої дитини частіше фенотипово здорові, але є гетерозиготними носіями мутантного гена.
4. Мутантний рецесивний ген (а) фенотипово проявляється лише в гомозиготному стані (аа).

Вірогідність народження хворих дітей зростає в родинних шлюбах.

При *X*-зчепленому домінантному типі успадкування:

1. Хворіють переважно особи жіночої статі.
2. У хворого батька ($X^A Y$) усі дочки будуть хворі, а всі сини – здорові.
3. Якщо мати хвора ($X^A X^a$), то ймовірність народження хворої дитини становить 50 % незалежно від статі.

Для *X*-зчепленого рецесивного типу успадкування характерним є:

1. Хворіють переважно особи чоловічої статі.
2. Відсутня передача ознаки від батька до сина.
3. Гетерозиготна жінка (носій) передає мутантний рецесивний ген половині своїх синів, які будуть хворі, і половині своїх дочок, які фенотипово здорові, але будуть носіями.
4. Ознака хворої матері передається її синам у 100 % випадків.

При *Y*-зчепленому типі успадкування:

1. Хворіють виключно особи чоловічої статі.
 2. Ознака хворого батька передається його синам у 100 % випадків.
- Ознаки, які успадковуються через *Y*-хромосому, називають *голандричними*.

Успадкування резус-фактора крові людини. Резус-конфлікт

У людини відповідно до закономірностей моногібридного схрещування успадковується резус-фактор крові. Кров може бути резус-позитивна (наявність в еритроцитах специфічного аглютиногену визначається домінантним геном – Rh) і резус-негативна (аглютиноген відсутній, що зумовлюється рецесивним геном – rh). Таким чином, резус-позитивна кров може мати генотипи: RhRh (гомозиготний домінантний) і Rhrh (гетерозиготний); резус-негативна кров може визначатися лише гомозиготним рецесивним генотипом – rhrh.

Сама назва «резус-фактор» зумовлена тим, що вперше аглютиноген, який визначає резус-позитивну кров, 1940 р. був виділений з еритроцитів мавпи *Macacus resus*, і лише через деякий час його було виявлено у людини. Близько 85 % європейців здатні його синтезувати і становлять резус-позитивну групу (Rh^+), 15 % – не здатні та називаються резус-негативними (Rh^-). Насправді резус-фактор зумовлюється трьома домінантними тісно зчепленими генами (C,

D, E), розміщеними в першій хромосомі, які успадковуються як при моногібридному схрещуванні.

Резус-фактор необхідно враховувати при переливанні крові і трансплантації, тому що на аглютиноген резус-позитивної крові, у випадку його потрапляння у резус-негативний організм, виробляються антитіла.

Резус-фактор може бути причиною резус-конфлікту між матір'ю і плодом. Конфлікт виникає в тому випадку, коли мати має резус-негативну кров, а дитина одержала домінуючий алель від батька і є резус-позитивною (рис. 7.1).

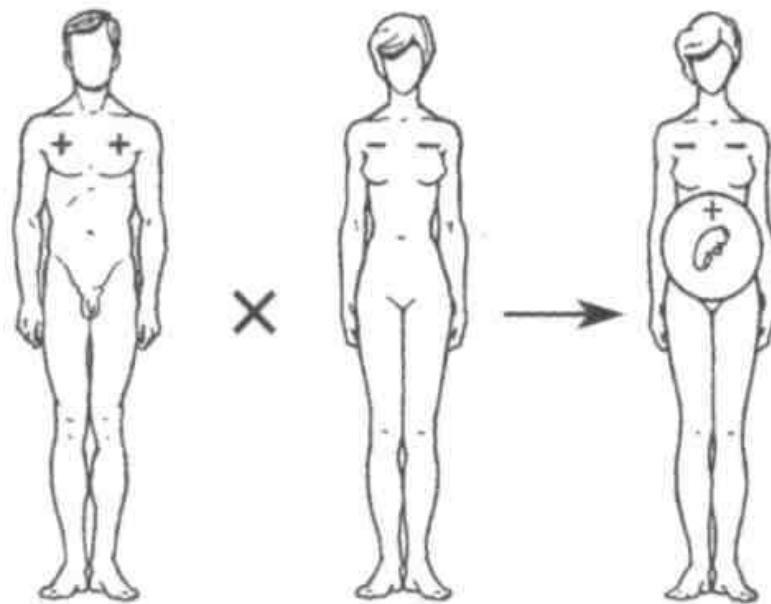


Рисунок 7.1 – Схема виникнення резус-конфлікту

Кров матері і плода не змішується. Тому перша вагітність завершується нормально. Але під час народження першої дитини, коли плацента відшаровується, еритроцити дитини потрапляють в організм матері, де на резус-антиген утворюються антитіла. При наступній вагітності ці антитіла через бар'єр плаценти проникають у кров плода, вступаючи у реакцію з резус-антигеном, спричинюючи склеювання еритроцитів та їх лізис (*еритробластоз, або гемолітична хвороба новонароджених*). Причому з кожними наступними пологамі захворювання в дітей проявляється у більш тяжкій формі. Якщо резус-негативній дівчині до шлюбу було зроблено переливання резус-позитивної крові, то вже перша дитина (якщо вона резус-позитивна) буде нежиттєздатною. Тому навіть одноразове переливання резус-позитивної крові

дівчатам з резус-негативною кров'ю абсолютно неприпустиме. При шлюбі жінки, що має резус-негативну кров, з чоловіком, який є резус-позитивною гомозиготою, усі діти будуть резус-позитивними (схема а), а при його гетерозиготності – 50 % резус-позитивні та 50 % резус-негативні (схема б):

а)

Р	♀ rhrh	×	♂ RhRh
Гамети	rh		Rh
F ₁		Rh	rh
			100 % Rh ⁺

б)

Р	♀ rhrh	×	♂ Rhrh
Гамети	rh		Rh, rh
F ₁	Rhrh,		Rhrh
	50 % Rh ⁺		50 % Rh ⁻

Умови прояву законів Менделя

Існують такі умови прояву законів Менделя:

1. Відносна стабільність гена, який визначає цю ознаку (відсутність мутацій).
2. Алельний стан гена (домінантність і рецесивність).
3. Рівномірне утворення в мейозі гамет з алелем А і гамет з алелем а.
4. Однакова вірогідність зустрічі таких гамет при заплідненні.
5. Однакова життєздатність усіх типів зигот і організмів, які з них розвиваються.
6. Однакова участь материнського і батьківського організмів у передачі спадкових факторів.
7. Локалізація генів різних алелей у різних парах гомологічних хромосом.

Завдання до теми

1. Які генотипи батьків, якщо у них кров резус-позитивна, а одна їх дитина має резус-негативну кров, а інша – резус-позитивну?

2. Чоловік з резус-позитивним фактором крові, мати якого резус-негативна, одружився з жінкою з резус-негативною кров'ю. Визначити можливість резус-конфлікту у цієї шлюбної пари.

Контрольні питання

1. Від чого залежить кількість гамет, утворюваних організмом?

2. В якому випадку успадкування неалельних генів має незалежний характер?

3. Який висновок можна зробити про генетичну структуру організму, якщо при аналітичному схрещуванні наявні чотири типи потомків у співвідношенні 1:1:1:1?

4. Чим інколи може зумовлюватись відхилення від розщеплення 9:3:3:1 у потомстві F_2 при дигібридному схрещуванні?

5. Що означає твердження: «Закони Менделя мають статистичний характер»?

6. Чому резус-негативна кров жінки може призвести до резус-конфлікту, а чоловіка – ні?

7. Які фактори впливають на зростання вірогідності резус-конфлікту?

Література: [7, с. 46–49; 8, с. 69–71; 9, с. 324–327; 16, 1–5; 17, с. 6–9].

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

1–34 – «незадовільно» з обов’язковим повторним вивченням дисципліни;

35–59 – «незадовільно» з можливістю повторного складання;

60–64 – «задовільно» («достатньо»);

65–74 – «задовільно»;

75–84 – «добре»;

85–89 – «добре» («дуже добре»);

90–100 – «відмінно».

Отримана кількість балів переводиться в національну шкалу відповідно до таблиці, наведеної нижче, та виставляється в екзаменаційну відомість.

Відповідність рейтингових балів і національної шкали оцінювання:

За 100-бальною шкалою	Оцінка за національною шкалою
60–100 «зараховано»	1–34 «не зараховано»

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

Основна література

1. Біологічний словник / за ред. К. М. Ситника. – Київ : ГРУР енциклопедії, 1986. – 680 с.
2. Биологический энциклопедический словарь / под ред. М. С. Гилярова. – Москва : Сов. энциклопедия, 1995. – 864 с.
3. Грин Н. Биология 1–3 Т. (перевод с англ.). / Н. Грин, У. Стаут, Д. Тейлор – Москва : Мир, 1990. – 1069 с.
4. Кемп П., Армс К. Введение в биологию (перевод с англ.). / П. Кемп, К. Армс – Москва : Мир, 1991. – 671 с.
5. Билич Г. Л. Биология / Г. Л. Билич, В. А. Крыжановский / Полный курс в 3-х т. – Москва : ООО узд. дом «Оникс 21 век», 2002. – 864 с.
6. Слюсарев А. О. Біологія. : підручник / А. О. Слюсарев, С. В. Жукова. – Київ : Вища школа, 1992. – 442 с.
7. Согур Л. М. Основи біології та генетики людини : навч. посібник / Л. М. Согур. – Київ : Фітосоціоцентр, 2007. – 188 с.
8. Барціховський В. В. Медична біологія / В. В. Барціховський, П. Я. Шерстюк. – Київ : ВСВ «Медицина», 2011. – 312 с.
9. Піщак В. П. Медична біологія / В. П. Піщак, Ю. І. Бажора. Підручник. – Вінниця : Нова книга. 2004. – 656 с.
10. Гершензон С. М. Основы современной генетики. – Киев : Наукова думка, 1983. – 506 с.

Додаткова

11. Федченко С. Н. Молекулярно-генетические основы онтогенеза. / С. Н. Федченко : учебное пособие. – Луганск, 2003. – 336 с.
12. Зенгбуш П. Молекулярная и клеточная биология / П. Зенгбуш. – Москва :

Мир, 1982. – 367 с.

13. Воробьева Е. А. Анатомия и физиология / Е. А. Воробьева и др. – Москва: Медицина, 1991. – 416 с.

14. Лобашев М. Е. Физиологическая генетика / под ред. М. Е. Лобашева. – Л. : Медицина, 1996. – 472 с.

15. Мусил Я. И. Современная биохимия в схемах (перевод с англ. / Мусил Я. И. и др.). Москва : Мир, 1984. – 215 с.

16. Никифоров В. В. *Vade mecum* / В. В. Никифоров : учебное пособие по систематике и латинскому языку. – Кременчуг : КГПИ, 1998. – 49 с.

17. Бочков Н. П. Генетика человека / Н. П. Бочков. – Москва : Медицина, 1978. – 381 с.

18. Баев А. А. Генетическая инженерия. – Москва : Знание, 1985. – 447 с.

Методичні вказівки щодо практичних занять з навчальної дисципліни «Основи біології та генетики людини» для студентів денної форми навчання за напрямом 6.030102 – «Психологія»

Укладачі: д. б. н., проф. В. В. Никифоров,
старш. викл. О. О. Никифорова

Відповідальний за випуск зав. кафедри природничих дисциплін проф.
В. В. Никифоров

Підп. до др. _____ 2013 р. Формат 60x84 1/16. Папір тип. Друк ризографія.
Ум. друк. арк. _____. Наклад _____ прим. Зам. № _____. Безкоштовно.

Видавничий відділ
Кременчуцького національного університету
імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева 20, м. Кременчук, 39600