

Лекція 22. ОБМІН РЕЧОВИН І ЕНЕРГІЇ. ХАРЧУВАННЯ. ТЕПЛООБМІН

Обмін речовин й енергії або метаболізм — сукупність хімічних і фізичних перетворень речовин й енергії, які забезпечують життєдіяльність організму. Енергія, що виділяється в процесі метаболізму, необхідна для здійснення роботи (механічної, хімічної, електроосмотичної), росту, розвитку й забезпечення структури та функції клітинних елементів (рис. 11.1).

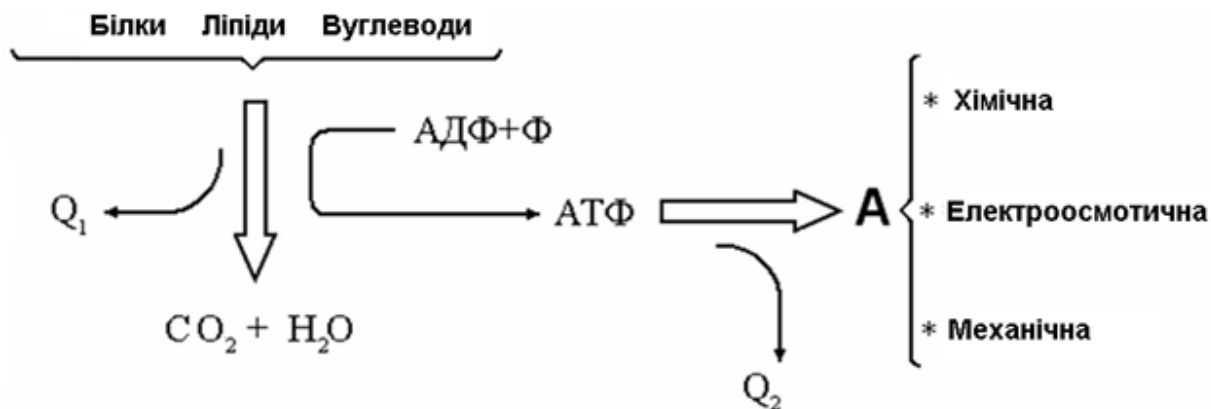


Рис. 11.1. Схема обміну речовин та енергії в організмі:
 Q_1 – первинна теплота; Q_2 – вторинна теплота; А – робота.

Метаболізм забезпечує відновлення втрачених організмом мінеральних та органічних сполук, які розпадаються, постачає організм енергією.

Обмін речовин складається з процесів асиміляції та дисиміляції. **Асиміляція** (анаболізм) — процес засвоєння організмом речовин та енергії. **Дисиміляція** (катаболізм) — процес розпаду складних органічних сполук, при якому витрачається енергія.

Процеси асиміляції та дисиміляції нерозривно пов'язанні між собою. У період росту переважає асиміляція. У дорослому організмі встановлюється відносна рівновага між процесами обміну речовин. У похилому віці асиміляція відстає від дисиміляції. Порушення нормальних співвідношень між процесами катаболізму та анаболізму спостерігаються при захворюваннях.

Обмін білків

Білки (протеїни) — високомолекулярні сполуки, побудовані з амінокислот. Білки виконують багаточисленні функції в організмі.

Структурна, або пластична функція: білки являються головною складовою частиною всіх клітин і міжклітинних структур.

Каталітична, або ферментативна функція білків: здатність прискорювати біохімічні реакції в організмі. Усі відомі ферменти являються білками.

Захисна функція білків: утворення імунних тіл (антитіл) при надходженні до організму чужорідного білка (наприклад, бактерії). Білки зв'язують токсини та отрути, що потрапляють в організм, забезпечують зсідання крові й зупинку кровотечі при пораненнях.

Транспортна функція: перенесення багатьох речовин. Постачання клітин киснем та видалення вуглекислого газу з організму забезпечується білком — гемоглобіном, ліпопротеїди забезпечують транспорт жирів тощо.

Функцією білків є **передача спадкової інформації**, в якій провідну дію виконують нуклеопроїєди. У склад нуклеопроїєдів входять нуклеїнові кислоти.

Регуляторна функція білків: підтримка біологічних констант в організмі, забезпечуються впливом різних гормонів білкової природи.

Енергетична роль білків: забезпечення енергією всіх життєвих процесів в організмі. Окислення 1 г білка в організмі забезпечує виділення 4,1 ккал.

Індивідуальна специфічність білків

Білки різних людей мають індивідуальну специфічність. Це підтверджується утворенням імунних тіл в організмі людини при пересадці органів. У результаті може виникнути реакція відторгнення пересадженого органа. Індивідуальні відмінності в складі білків передаються в спадок. Порушення генетичного коду

може стати причиною важких спадкових хвороб.

Потреба в білках

В організмі постійно відбувається синтез та розпад білків. Джерелом синтезу нового білка є білки їжі. У травному тракті білки розщеплюються ферментами до амінокислот і в тонкій кишці відбувається їх всмоктування. Одночасно з амінокислотами можуть всмоктуватись і пептиди. З амінокислот і пептидів клітини синтезують білок, який характерний для даного організму. Білки не можуть бути замінені іншими харчовими продуктами, їх синтез в організмі можливий лише з амінокислот. Білок може замінювати жири та вуглеводи, оскільки використовується для синтезу цих сполук.

Біологічна цінність білків. У різних природних джерелах білка (рослинних та тваринних) налічується близько 80 амінокислот. У харчових продуктах, які використовує людина, міститься тільки 20 амінокислот. Не всі амінокислоти, що входять до складу білків, являються рівноцінними для людини. Деякі амінокислоти не можуть синтезуватися в організмі людини й повинні надходити з їжею в готовому вигляді. Їх називають **незамінними амінокислотами**. До них відносяться: валін, метіонін, треонін, лейцин, ізолейцин, фенілаланін, триптофан і лізин, а у дітей ще аргінін і гістидин. Нестача незамінних амінокислот в їжі призводить до порушення білкового обміну в організмі. Замінні амінокислоти в основному синтезуються в організмі.

Білки містять різні амінокислоти в різних співвідношеннях. У склад їжі тваринного походження входить більше незамінних амінокислот, ніж у склад рослинної їжі. Білки, які містять весь необхідний набір амінокислот, називаються **біологічно повноцінними білками**. Найбільш висока біологічна цінність білків молока, яєць, риби, м'яса. Біологічно неповноцінними називають білки, у складі яких відсутня хоча б одна амінокислота, яка не може бути синтезована в організмі. Неповноцінними являються білки кукурудзи, пшениці, ячменю.

Азотний баланс. Азот потрапляє в організм тільки з білковою їжею, в інших поживних речовинах він не міститься. Засвоєння азоту визначають за різницею вмісту азоту в спожитій їжі та в калі. Знаючи кількість засвоєного азоту, легко підрахувати загальну кількість засвоєного організмом білка, оскільки в білку міститься в середньому 16% азоту, тобто, **1 грам азоту міститься в 6,25 г білка**. Таким чином, помноживши знайдеу кількість азоту на 6,25 (**білковий коефіцієнт**), можна визначити кількість білка. Для визначення кількості зруйнованого білка, необхідно знати загальну кількість азоту, виведеного з організму. Азотовмісні продукти білкового обміну (сечовина, сечова кислота, креатинін та ін.) виділяються головним чином з сечею та частково з потом. В умовах звичного, неінтенсивного потовиділення на кількість азоту в поті можна не звертати увагу. Отже, кількість азоту в сечі є надійним показником кількості незворотного розпаду білків амінокислот.

Азотний баланс — різниця між кількістю засвоєного азоту й кількістю азоту, виведеного з організму. Розрізняють азотну рівновагу, позитивний і негативний азотний баланс.

Азотна рівновага — кількість виділеного азоту дорівнює кількості азоту, що надійшов в організм. Азотна рівновага спостерігається у здорової дорослої людини.

Таблиця 11.1

Вікові величини належної кількості поживних речовин та енергії в добових харчових раціонах

Вік	Поживні речовини, г/кг ⁻¹			Енергія, ккал/кг ⁻¹
	білки	жири	вуглеводи	
0-3 міс	2,5	6,5	13	120
4-6 міс	3,0	6,0	13	120
7-12 міс	3,5	5,5	13	115
1-3 роки	4,0	4,0	16	115
4-6 років	3,5	3,5	14	100
7-10 років	2,5	2,5	10	75
11-13 років, хлопчики	2,3	2,3	9	65
11-13 років, дівчатка	2,1	2,1	8	60
14-17 років, хлопчики	1,8	1,8	7,3	60
14-17 років, дівчатка	1,6	1,6	6,5	47
Дорослі	1,4	1,4	5,7	42

Позитивний азотний баланс — кількість виведеного азоту значно менше, ніж засвоєного (затримка азоту в організмі). Позитивний азотний баланс відмічається в дітей (підсилений ріст), у жінок під час вагітності, при інтенсивній спортивній підготовці (збільшення м'язової тканини), при загоюванні ран чи видужуванні після важкого захворювання.

Негативний азотний баланс (азотний дефіцит) — кількість виділеного азоту більша засвоєного. Негативний азотний баланс спостерігається при білковому голодуванні, порушенні регуляції білкового обміну.

Білковий мінімум — мінімальна кількість спожитого білка, за якої підтримується азотна рівновага (25-35 г на добу). У зв'язку з тим, що не весь білок їжі завоюється і не всі білки містять необхідні набір незамінних амінокислот, то білка необхідно споживати більше, ніж білковий мінімум. Добовий раціон дорослої людини повинен містити білковий оптимум, який становить 1 г білка на кілограм маси тіла (у середньому 80-100 г) (табл. 11.1). При цьому білки тваринного походження повинні становити не менше 30%.

Обмін жирів

До жирів відносяться неоднорідні в хімічному відношенні речовини, котрі поділяють на прості ліпіди (нейтральні жири, віск), складні ліпіди (фосфоліпіди, гліколіпіди) і стероїди (холестерин).

Основна маса ліпідів представлена в організмі людини нейтральними жирами. Нейтральні жири їжі людини являються джерелом енергії. При окисленні 1 г жиру виділяється 37,7 кДж (9,3 ккал) енергії. Нейтральний жир є обов'язковою складовою частиною протоплазми, ядра та оболонки клітини; виконує пластичну функцію. Жир може депонуватися у вигляді жирових крапель у підшкірній клітковині. Жир захищає організм від посиленої віддачі тепла, травматичних пошкоджень.

Добова потреба дорослої людини в нейтральному жирі складає 70-90 г (з них, як мінімум, 15% таких, що містять ненасичені жирні кислоти – жири рослинного походження).

Утворення жирів з вуглеводів. Нейтральні жири в енергетичному відношенні можуть бути замінені вуглеводами. Надлишкове споживання вуглеводів з їжею призводить до відкладання жиру в організмі. У нормі в людини 25-30% вуглеводів їжі перетворюється в жири.

Утворення жирів із білків. Білки є пластичним матеріалом. Тільки при надзвичайних обставинах білки використовуються для енергетичних цілей. Перетворення білка в жирні кислоти проходить через утворення вуглеводів.

Обмін вуглеводів

Біологічна роль вуглеводів визначається їх енергетичною функцією. Енергетична цінність 1 г вуглеводів складає 16,7 кДж (4,1 ккал). Вуглеводи являються безпосереднім джерелом енергії для всіх клітин організму, виконують пластичну та опорну функції.

Добова потреба дорослої людини в вуглеводах складає біля 0,5 кг. Основна частина їх (біля 70%) окислюється в організмі до води та вуглекислого газу. Біля 25-28% харчової глюкози перетворюється в жир, а з 2-5% синтезується глікоген.

Складні вуглеводи, які потрапили з їжею, не можуть проникнути через слизову оболонку кишечника в кров і лімфу. Єдиною формою, котра може всмоктуватися, являються моноцукри. Вони всмоктуються головним чином у тонкій кишці, переносяться до печінки та в тканини. У печінці з глюкози синтезується глікоген. Глікоген може розпадатися до глюкози. У печінці можливе утворення вуглеводів із продуктів їх розпаду (піровиноградної кислоти чи молочної кислоти), а також із жирів та білків.

У вуглеводному обміні організму велике значення має м'язова тканина. М'язи під час їх діяльності забирають із крові значну кількість глюкози. У м'язах, як і в печінці, синтезується глікоген. Розпад глікогену являється одним із джерел енергії для скорочення м'яза.

Водно-сольовий обмін

Усі хімічні та фізико-хімічні процеси в організмі здійснюються у водному середовищі.

Вода виконує в організмі наступні функції:

- 1) служить розчинником продуктів харчування та обміну;
- 2) переносить розчинені речовини;
- 3) послаблює тертя між поверхнями тіла людини;
- 4) приймає участь у регуляції температури тіла.

Загальний вміст води в організмі дорослої людини складає 50-60% від її маси (40-45 л). Вода потрапляє в організм через травний тракт. Деяка кількість води утворюється в самому організмі — у процесі обміну речовин. Разом з водою до організму потрапляють і мінеральні речовини (солі). Біля 4% сухої маси їжі повинні складати мінеральні сполуки.

Важливою функцією електролітів є участь у ферментативних реакціях. Особлива роль належить йонам, котрі необхідні для активізації ферментів, які пов'язані з переносом та вивільненням енергії. Електроліти приймають участь і в регуляції кислотно-основного стану в організмі.

Натрій забезпечує постійність осмотичного тиску в міжклітинній рідині, приймає участь в утворенні мембранних потенціалів, у регуляції кислотно-основного стану. Значна кількість натрію знаходиться в кістковій тканині — депо натрію.

Калій забезпечує осмотичний тиск у внутрішньоклітинній рідині, стимулює утворення ацетилхоліну. Синтез і відкладання глікогена в тканинах відбувається з поглинанням йонів калію. Нестача йонів калію гальмує анаболічні процеси в організмі.

Хлор являється важливим аніоном позаклітинної рідини, забезпечує постійність осмотичного тиску.

Кальцій і фосфор знаходяться в основному в кістковій тканині (більше 90%). Вміст кальцію в плазмі крові являється однією з біологічних констант. Незначні порушення в рівні цього йона можуть приводити до найважчих наслідків для організму. Зниження рівня кальцію в крові викликає несвідомі скорочення м'язів, судом. Внаслідок зупинки дихання настає смерть. Підвищення рівня кальцію в крові

Таблиця 11.2

Основні принципи раціонального збалансованого харчування

- енергетична цінність добового раціону повинна відповідати енерговитратам організму;
- оптимальне співвідношення між білками, жирами та вуглеводами;
- наявність в їжі вітамінів, макро- та мікроелементів;
- наявність в їжі незамінних та захисних компонентів;
- дотримання режиму харчування;
- добра засвоюваність їжі (залежить від її складу та способу приготування);
- високі органолептичні властивості їжі;
- санітарно-епідемічна нешкідливість їжі

синтез гемоглобіну. Добова потреба заліза дорослої людини складає 10-30 мкг.

Йод в організмі міститься в невеликій кількості, але його значення велике. Йод входить у склад гормонів щитоподібної залози, які впливають на всі процеси обміну, ріст і розвиток організму.

Енергетичний обмін

Усі процеси життєдіяльності здійснюються з використанням енергії. У процесі утворення макроергів частина енергії виділяється у вигляді тепла – **первинне тепло**. Після використання АТФ частина енергії трансформується в тепло – **вторинне тепло**. Витрачені енергетичні ресурси постійно відновлюються за рахунок їжі. **Енергетична цінність вуглеводів** - 4,1 ккал/г (17,16 кДж/г), **білків** - 4,1 ккал/г (17,17 кДж/г), **жирів** - 9,3 ккал/г (38,94 кДж/г).

Одиниці вимірювання енергії

- **калорія** (1 кал) = 4,2 джоуля (Дж),

- **джоуль** (1 Дж) = 0,24 кал

Одиниці вимірювання інтенсивності обміну:

1 Вт = 0.014 ккал/хв = 0,84 ккал/год. = 20.16 ккал/добу

Основний обмін — це мінімальна кількість енергії, яка необхідна для підтримки нормальної життєдіяльності організму при певних умовах:

- стан повного спокою;
 - натщесерце;
 - лежачи при повному розслабленні м'язів;
 - при температурі комфорту.
- Основний обмін залежить від:
- віку (табл. 11.3);
 - росту;
 - маси тіла;
 - статі.

супроводжується зменшенням збудливості нервової та м'язової тканин, утворенням ниркових каменів. Кальцій необхідний для побудови кісток, тому він повинен потрапляти в достатній кількості в організм з їжею.

Фосфор приймає участь в обміні багатьох речовин, входить до складу макроергічних сполук (АТФ). Велике значення має відкладання фосфору в кістках.

Залізо знаходиться в організмі у вигляді комплексних солей. Залізо входить у склад гемоглобіну, міоглобіну, у склад ферментів, які приймають участь в окисно-відновних реакціях. Недостатнє надходження в організм заліза порушує

Таблиця 11.3

Вікові зміни основного обміну

Вік	Основний обмін		
	ккал/добу	ккал · м ⁻² · добу ⁻¹	ккал · кг ⁻¹ · г
1-й день	122	580	1,5
1 міс	205	860	2,0
3 міс	330	1075	2,3
6 міс	445	1193	2,3
9 міс	540	1287	2,3
1 рік	580	1318	2,4
3 роки	750	1240	2,1
5 років	840	1167	2,0
10 років	1120	1096	1,6
14 років	1360	1028	1,4
Дорослі	1700	1000	1,0

Середня величина основного обміну дорослого дорівнює 1 ккал за 1 год на 1 кг маси тіла. Під час сну при мінімальному тонусі скелетних м'язів обмін речовин стає нижчим від рівня основного обміну. **Належ-**

ний основний обмін (такий, що повинен бути в нормі в конкретної людини) визначається за таблицями Гаріса-Бенедикта. **Реальний основний обмін** (визначається шляхом прямої чи непрямой калориметрії) не повинен у нормі відрізнятись від належного більше, ніж на 10-15%.

Загальний обмін – уся енергія, яку виробляє організм за одиницю часу для виконання роботи, на теплоутворення й для створення запасів енергії.

Специфічно-динамічний вплив їжі – підвищення обміну після прийому їжі (до 10-12 годин). Особливо цей вплив виражений при надходженні білків (зростає до 30%).

При трудовій діяльності відбувається найбільший приріст енерговитрат. Доросле населення за рівнем загального обміну може бути поділено на 5 груп:

- 1-ша – зайняті переважно розумовою працею, 2200-2800 ккал;
- 2-га – зайняті легкою фізичною роботою, 2350-3000 ккал;
- 3-тя – зайняті фізичною роботою середньої важкості, 2500-3200 ккал;
- 4-та – зайняті важкою фізичною роботою, 2900-3700 ккал;
- 5-та – зайняті дуже важкою фізичною роботою, 3900-4300 ккал.

Потреба організму жінок в енергії приблизно на 15% нижча, ніж у чоловіків.

Таблиця 11.4
Добова витрата енергії у дітей та підлітків залежно від віку

Вік	добова витрата енергії, кДж (ккал)
6 міс - 1 рік	3 349 (800)
1-1,5 роки	5 443 (1 300)
1,5-2 роки	6 280 (1 500)
3-4 роки	7 536 (1 800)
5-6 років	8 374 (2 000)
7-10 років	10 048 (2 400)
11-14 років	11 932 (2 850)
хлопці 14-17 років	13 188 (3 150)
дівчата 13-17	11 514 (2 750)

Методи оцінки обміну енергії ґрунтуються на двох принципах.

Пряма калориметрія – пряме вимірювання у спеціальних термоізольованих камерах кількості тепла, що виділяється.

Непряма калориметрія – шляхом визначення кількості виділеного вуглекислого газу та кількості спожитого кисню. При непрямій калориметрії спочатку визначають **дихальний коефіцієнт** (ДК) - відношення об'єму виділеного CO₂ до об'єму спожитого O₂ ($DK = V_{CO_2} : V_{O_2}$). Величина ДК різна при окисленні білків (0,8), вуглеводів (1,0) чи жирів (0,7). При змішаному харчуванні ДК коливається в межах 0,85-0,90.

Наступним кроком є визначення за отриманим ДК з використанням таблиць **калоричного коефіцієнта кисню** – кількість енергії, яка виділяється при використанні 1 л кисню (рис. 11.2, табл. 11.5).

Нарешті, кількість використаного кисню (за 1 хв., 1 год. чи за 1 добу) множать на калоричний коефіцієнт кисню й отримують реальні енергетичні витрати організму в конкретних умовах.

Непряму калориметрію можна провести за результатами неповного газового аналізу (визначення за допомогою спірографії лише об'єму спожитого кисню). Величина ДК тоді приймається за 0,85.

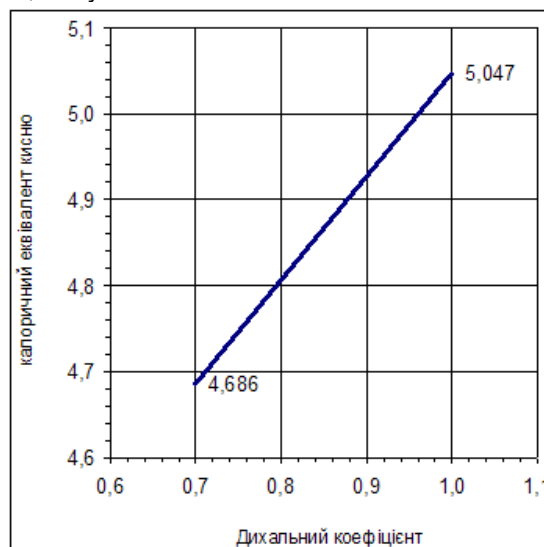


Рис. 11.2. Залежність між величиною калоричного еквіваленту кисню та дихальним коефіцієнтом

Таблиця 11.5
Величина калоричного еквівалента кисню при різних значеннях дихального коефіцієнта

Дихальний коефіцієнт	Калоричний еквівалент кисню	Дихальний коефіцієнт	Калоричний еквівалент кисню
0,70	4,686	0,86	4,875
0,71	4,690	0,87	4,887
0,72	4,702	0,88	4,900
0,73	4,714	0,89	4,912
0,74	4,727	0,90	4,924
0,75	4,739	0,91	4,936
0,76	4,752	0,92	4,948
0,77	4,764	0,93	4,960
0,78	4,776	0,94	4,973
0,79	4,789	0,95	4,985
0,80	4,801	0,96	4,997
0,81	4,813	0,97	5,010
0,82	4,825	0,98	5,022
0,83	4,838	0,99	5,034
0,84	4,850	1	5,047
0,85	4,863		

Розрізняють хімічну та фізичну терморегуляцію.

Терморегуляція

Температура тіла людини залежить від двох основних факторів:

- теплопродукції,
- тепловіддачі.

Баланс між теплоутворенням і тепловіддачею визначає температуру тіла. Оскільки швидкість хімічних реакцій залежить від температури, і системи ензимів в організмі мають вузькі температурні межі, у яких їх активність оптимальна, то нормальна життєдіяльність організму визначена порівняно сталою температурою (рис. 11.3).

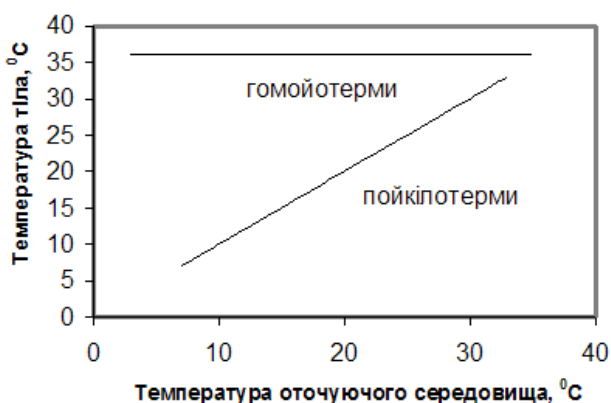


Рис. 11.3. Співвідношення між температурою тіла та температурою оточуючого середовища у пойкилотермних та гоміотермних тварин

Різні ділянки поверхні шкіри мають різну температуру. Тулуба і голови - 33-34°C, дистальних відділів кінцівок - 28°C. Поверхня шкіри під одягом має вищу температуру, оскільки одяг зменшує тепловіддачу (рис. 11.4).

Температуру тіла людини оцінюють шляхом її вимірювання під пахвою, де у здорової людини вона складає 36,5-36,9°C. Протягом доби вона може коливатися в межах $\pm 0,5-0,7^\circ\text{C}$ (рис. 11.5).

Найнижча температура буває вночі (3-4 г.), найвища - о 16-18 годині. У клініці нерідко (особливо немовлят) вимірюють температуру в прямій кишці, де вона вища, ніж під пахвою, і складає в здорової людини в середньому 37,2-37,5°C.

Постійність температури тіла та рівновага між теплопродукцією та тепловіддачею підтримується фізіологічними процесами — терморегуляцією.

Хімічна терморегуляція — зміна рівня обміну речовин, що підвищує чи знижує рівень утворення тепла в організмі. У стані спокою на печінку припадає близько 20% загальної теплопродукції, на інші внутрішні органи — 56%, на скелетні м'язи — 20%; при фізичному навантаженні на скелетні м'язи — до 90%, на внутрішні органи — лише 8%.

Фізична терморегуляція — фізіологічні процеси, за рахунок яких змінюється рівень тепловіддачі. При підвищенні температури навколишнього середовища тепловіддача збільшується, при понижених — зменшується.

Віддача тепла відбувається проведенням, конвекцією, випроміненням і випаровуванням.

У людини в стані спокою при $t=20^\circ\text{C}$ біля 60% тепла віддається за рахунок випромінювання (радіації),

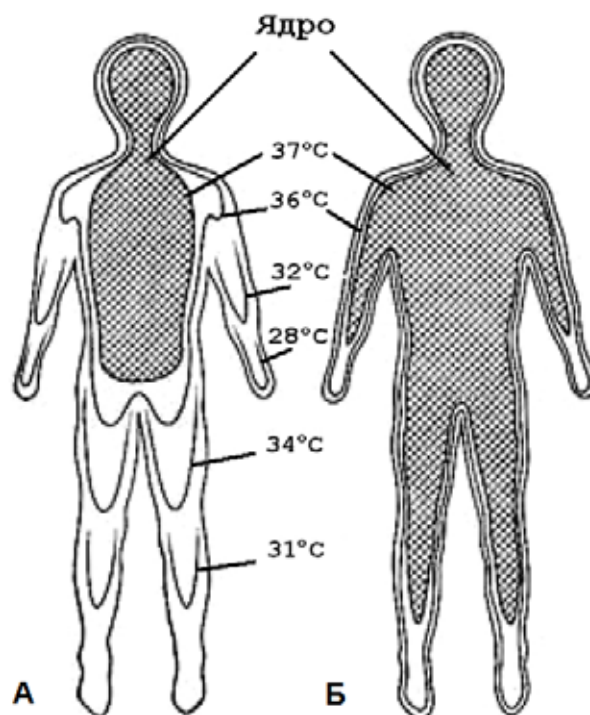


Рис. 11.4. Температура різних ділянок (поверхні та ядра) тіла людини при температурі повітря 20°C (А) та 35°C (Б).

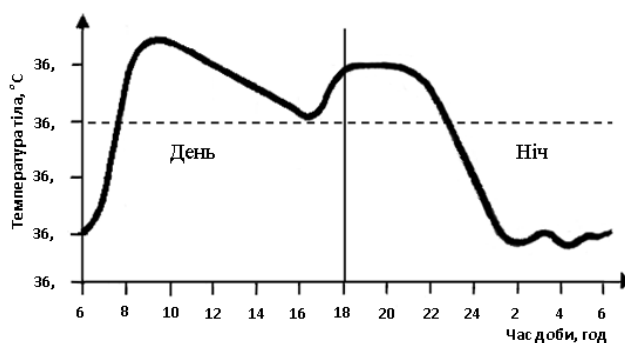


Рис. 11.5. Періодичний характер зміни температури тіла протягом доби.

близько 12-15% - конвекцією повітря, 2-5% - проведенням і близько 20% тепла втрачається шляхом випаровування поту. Теплопровідність, конвекція і випромінювання є пасивними шляхами тепловіддачі, які ґрунтуються на законах фізики – тепловіддача здійснюється лише тоді, коли температура поверхні тіла більша за температуру навколишнього середовища. При однаковій температурі, або при вищій температурі навколишнього середовища згадані шляхи не тільки не ефективні, але й може відбуватися нагрівання тіла. У цих умовах спрацьовує лише один механізм тепловіддачі – шляхом випаровування поту (для випаровування 1 мл поту витрачається 0,58 ккал).

В основі хімічної та фізичної терморегуляції лежать рефлекторні реакції.

Центр терморегуляції розташовано в гіпоталамусі.

У ретикулярній формації середнього мозку й у спинному мозку є центральні терморецептори, які сприймають коливання температури тіла.

Гуморальна регуляція забезпечується гормонами гіпофізу, щитоподібної залози й наднирників.

Головну роль у регуляції процесів тепловіддачі відіграють зміни **кровопостачання шкіри**. Звуження судин сприяє меншому надходженню тепла від ядра до оболонки й збереженню його в організмі. При розширенні судин шкіри її температура може збільшуватися на 7-8°C, при цьому збільшується й тепловіддача.

Регуляція обміну речовин

Вплив нервової системи на обмінні процеси здійснюється декількома шляхами.

1. Безпосередній вплив нервової системи (через гіпоталамус, еферентні нерви) на тканини й органи.
2. Опосередкований вплив нервової системи через гіпофіз (соматотропін).
3. Опосередкований вплив нервової системи через тропні гормони гіпофіза й периферичні залози внутрішньої секреції.
4. Прямий вплив нервової системи (гіпоталамус) на активність залоз внутрішньої секреції і через них на обмінні процеси.

Основним відділом центральної нервової системи, який регулює всі види обмінних процесів, являється гіпоталамус. У гіпоталамусі виявлені групи ядер, котрі регулюють обмін вуглеводів, жирів, білків, води й солей, а також обмін тепла й споживання їжі.

Вплив на обмінні процеси та теплоутворення здійснюють залози внутрішньої секреції. Гормони щитоподібної залози, соматотропін, інсулін, статеві гормони (андрогени) підсилюють синтетичні процеси (анаболічна дія гормонів). Гормони кори наднирників та щитоподібної залози у великих кількостях підсилюють катаболізм.

В організмі проявляється взаємопов'язаний вплив нервової та ендокриної систем на обмінні та енергетичні процеси. Збудження симпатичної нервової системи здійснює прямий стимулюючий вплив на обмінні процеси, одночасно при цьому збільшується секреція гормонів щитоподібної залози та наднирників (тироксин та адреналін). За рахунок цього додатково підсилюється обмін речовин та енергії.

Зміни в метаболізмі та теплообміні відбуваються також при дефіциті в організмі гормонів. Нестача тироксину призводить до зниження основного обміну. Це пов'язано зі зменшенням використання кисню тканинами й послабленням теплоутворення. У результаті знижується температура тіла.

Гормони залоз внутрішньої секреції змінюють проникність клітинних мембран (інсулін), активують ферментні системи організму (адреналін, глюкагон) і впливають на їх біосинтез (глюкокортикоїди).

Регуляція обміну речовин та енергії нервовою та ендокринною системами забезпечує пристосування організму до умов середовища, що постійно змінюються.

Лекція 23. ВИДІЛЕННЯ

У процесі метаболізму в органах і тканинах утворюються продукти обміну, які повинні виводитись з організму. При катаболізмі білків утворюється аміак, який виводиться у вигляді нетоксичних сечовини та солей амонію. Кінцевим продуктом обміну нуклеїнових кислот є сечова кислота.

До органів виділення належать: нирки, легені, кишечник, шкіра, молочні залози.

Видільна функція кишечника полягає в екскреції ряду солей. У товстій кишці відбувається виділення Ca^{2+} , Mg^{2+} , важких металів (Fe, Mn, кадмій). Крім того, ШКТ виділяє невелику кількість H_2O , жовчних кислот, пігментів, деяких лікарських речовин, неперетравлених залишків їжі.

Видільна функція шкіри зумовлена наявністю потових та сальних залоз. У секреті потових залоз міститься сечова кислота, креатин, жири, леткі жирні кислоти, NaCl. За якісним складом піт майже не відрізняється від сечі, різниця лише у відношенні складових речовин: концентрація токсичних метаболітів у поті трохи нища, ніж у сечі. Потові залози виділяють також густий та в'язкий секрет — вушну сірку.

Потовими залозами виділяється ряд пігментів, які відкладаються у волоссі.

Секрет молочних залоз містить велику кількість жиру та білків (казеїну, молочного глобуліну, альбуміну), а також молочного цукру (лактози). Крім того, у молоці міститься велика кількість фосфорно-кислих та сірководневих сполук кальцію, калію та магнію. У період лактації через молочні залози виділяються лікарські засоби.

Через легені виводиться з організму вуглекислий газ, пара води (400 мл/добу), леткі та газоподібні речовини, засоби для інгаляційного наркозу, пари етанолу.

Центральним, найбільш важливим органом, який забезпечує процеси виділення, є **нирки** та пов'язані з ними органи сечовиділення.

Будова нирок

Нирка, (ren) — парний орган, бобоподібної форми масою 120-200 г, розташовані нирки в поперековій ділянці, по обидва боки від хребта на внутрішній поверхні задньої черевної стінки. Нирка має декілька оболонок. Зовні вона покрита тонкою сполучнотканинною пластинкою — фіброзною капсулою.

Нирка складається з внутрішньої мозкової речовини (2,5 см) і поверхневої — кіркової речовини (0,7 см), які відрізняються щільністю і кольором. Мозкова речовина утворена 10-15 конусоподібними пірамідами. Кожна піраміда має основу, яка направлена до кіркової речовини, і верхівку у вигляді сосочка. Кіркова речовина розміщена на периферії нирки, однак проникає в мозкову речовину у вигляді ниркових стовпів. Мозкова речовина тонкими відростками врастає в кіркову, утворюючи промені. Через сосочки пірамід утворена сеча потрапляє в початкові шляхи сечових шляхів — малі чашечки, котрі впадають в верхні чи нижні великі чашечки. Вони зливаються, у свою чергу, в одну ниркову миску, яка переходить у сечівник.

Сечівник — трубка, довжиною 30-50 см, сполучає ниркову миску та сечовий міхур.

У сечовому міхурі, об'ємом 700-800 см³, накопичується сеча. Дно міхура, звужуючись, переходить у сечовипускний канал, через який сеча виводиться назовні.

Структурно-функціональною одиницею нирки являється нефрон. Кількість нефронів в одній нирці 1-1,5 млн. У нефроні відбуваються всі основні процеси, які забезпечують утворення сечі.

Нефрон складається з капілярного клубочка (гломерули) — мальпігієвого тільця, який знаходиться у двостінковій капсулі (Шумлянського-Боумена) і системи звивистих канальців. Порожнина капсули переходить у просвіт проксимального канальця нефрона. Каналець опускається в мозковий шар нирки, згинається, утворює петлю (Генле) і повертається в кіркову речовину до рівня клубочка нефрона, де починається дистальний каналець, який переходить у збиральну трубочку.

Дистальний і проксимальний відділи — це звивисті канальці нефрона, його петля (Генле) — прямі канальці. У петлі Генле, у свою чергу, виділяють низхідну та висхідну частини.

Звивисті канальці вистелені зсередини одношаровим кубічним епітелієм, збиральні трубочки — циліндричним.

Таким чином, кожен нефрон включає 6 послідовних відділів:

- 1) ниркове тільце (Мальпігієве тільце), яке складається із капсули Шумлянського-Боумена й клубочка;
- 2) проксимальний звивистий каналець;
- 3) низхідна частина петлі Генле;
- 4) висхідна частина петлі Генле;
- 5) дистальний звивистий каналець;
- 6) збиральна трубочка.

Кровопостачання нирок

Нирки добре кровопостачаються. Кров надходить від черевної аорти нирковою артерією і збирається в ниркову вену, яка впадає в нижню порожнисту вену. Кожний нефрон оточений численними кровонесними капілярами. До капілярного клубочка кров надходить приносячою артеріолою (із системи ниркової артерії), яка розпадається на капіляри (перша сітка капілярів). Потім капіляри клубочків збираються у вносні клубочкові артеріоли, які приблизно в 2 рази менші в діаметрі, ніж приносні, що призводить до підвищення кров'яного тиску всередині клубочка. Вносні артеріоли поділяються на капіляри, які утворюють густу сітку навколо ниркових канальців (друга сітка) і лише потім переходять у венули, котрі формують ниркову вену. Наявність вторинної біляканальцевої сітки капілярів є особливістю кровопостачання нирок у порівнянні з іншими внутрішніми органами.

У середньому за добу через нирки людини проходить біля 1700-1800 л крові. Біля 80% нефронів розміщено в товщі кіркової речовини — це кіркові нефрони. Невелика кількість нефронів локалізована в мозковому шарі нирки. Такі нефрони називаються юкстамедулярними (білямозковими). За їх допомогою в нирках здійснюється саморегуляція ниркового кровопостачання, завдяки якій кровотік у нирках і кров'яний тиск у клубочкових капілярах не змінюється навіть при значних коливаннях системного АТ (від 90 до 190 мм рт. ст.). Крім того, у них здійснюється синтез багатьох БАР.

Функції нирок

1. Основна функція нирок — **екскреторна**. Вона включає:

- екскрецію продуктів азотистого обміну (сечовина);
- екскрецію надлишку органічних речовин, які потрапили з їжею чи утворилися в процесі метаболізму (глюкоза, амінокислоти тощо);
- екскрецію чужорідних речовин, наприклад лікарських засобів.

2. **Регуляторна** функція:

- об'ємів рідин організму — за рахунок зменшення чи збільшення діурезу;
- сталості осмотичного тиску;
- йонного складу рідин внутрішнього середовища;
- кислотно-основної рівноваги (pH);
- артеріального тиску (ренін, простогландини, к-ть рідини);
- фібринолізу (урокиназа);
- еритропоезу (синтез еритропоетину).

3. **Ендокринна** функція — секрція біологічно активних речовин.

Вцілому всі функції нирок зводяться до підтримання сталості внутрішнього середовища організму, тобто до підтримання гомеостазу.

Процес сечоутворення

Сечоутворення представляє собою сукупність 3-х процесів.

1. Клубочкова фільтрація.
2. Канальцева реабсорбція.
3. Канальцева секрція.

Клубочкова (гломерулярна) фільтрація – утворення первинної сечі.

У капілярах клубочка ниркового тільця відбувається фільтрація плазми крові.

Фільтруюча мембрана являє собою 3 шари:

- 1) ендотелій капілярів, які мають пори;
- 2) базальна мембрана;
- 3) епітелій внутрішнього листа капсули, котрий складається з особливих клітин — подоцитів, між відростками яких є пори.

З 3-х шарів ниркової мембрани тільки базальна мембрана являє собою напівпроникний ультрафільтр, у той час як два інших шари не перешкоджають проходженню плазми й лише здатні затримувати форменні елементи крові та білки з молекулярною масою більше 68000. Поява в сечі крові й білка може бути викликана пошкодженням цих шарів, наприклад при запаленні (гломерулонефрит).

Фільтрація плазми з капілярів клубочка в порожнину капсули (утворення первинної сечі) обумовлена наявністю **фільтраційного тиску**. Цей тиск залежить від:

- 1) гідростатичного тиску крові в капілярах клубочка (сприяє фільтрації);
- 2) онкотичного тиску плазми крові (складає 30 мм рт.ст., протидіє фільтрації); за рахунок білків плазми (70-80 г/л),
- 3) гідростатичного тиску рідини в порожнині капсули Шумлянського-Боумена (протидіє фільтрації).

Фільтраційний тиск (ФТ) обумовлений різницею між величиною гідростатичного тиску крові в капілярах клубочка (ГТКК) і сумою онкотичного тиску плазми (ОТП) та гідростатичного тиску фільтрата (ГТФ):

$$\text{ФТ} = \text{ГТКК} - (\text{ОТП} + \text{ГТФ}) = 70 - (30 + 20) = 20 \text{ мм рт.ст.}$$

Механізм регуляції клубочкової фільтрації пов'язаний зі змінами фільтраційного тиску. Чим вищий рівень тиску крові в клубочку, тим інтенсивніша фільтрація. Великий тиск у капілярах клубочків створюється завдяки різниці в діаметрі приносних і виносних артерій і становить біля 70 мм рт. ст. При зменшенні тиску в капілярах клубочка до 30-40 мм рт.ст. фільтрація (утворення первинної сечі) припиняється. Фільтраційний тиск при цьому зменшується до нуля ($\text{ФТ} = \text{ГТКК} - (\text{ОТП} + \text{ГТФ}) = 40 - (30 + 10) = 0 \text{ мм рт.ст.}$).

Онкотичний тиск плазми (30 мм рт. ст.), який утримує рідину в кровоносних судинах, перешкоджає фільтрації, як і гідростатичний тиск фільтрата всередині порожнини капсули (20 мм рт. ст.). При зменшенні онкотичного тиску (внаслідок зменшення кількості білка в плазмі крові при голодуванні, крововтраті, втраті білка при захворюванні нирок) зростає клубочкова фільтрація.

У результаті фільтрації крові утворюється 180 л ультрафільтрата тобто **первинної сечі**. Її склад подібний до складу плазми крові за загальною концентрацією осмотично активних речовин: Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- , сечовини, глюкози. Відсутні лише практично всі високомолекулярні білки.

В утвореному ультрафільтраті містяться речовини, необхідні організму для підтримання гомеостазу.

Тому вони разом з водою піддаються реабсорбції, або зворотному всмоктуванню.

Швидкість клубочкової фільтрації (ШКФ) (утворення первинної сечі) визначають за об'ємом фільтрату, що надходить у початковий відділ нефронів обох нирок за 1 хв. Метод ґрунтується на визначенні кліренсу. Кліренс – швидкість очищення плазми від даної речовини за 1 хв при проходженні її через нирки. Для визначення ШКФ використовують інертні нетоксичні речовини, не зв'язані з білками плазми крові, що вільно проходять через пори мембрани шляхом фільтрації і не підлягають ні реабсорбції, ні секреції. Такими речовинами є інулін, ендogenous креатинін та ін. ШКФ вимірюють у мілілітрах за 1 хв, і кількісно вона відповідає кліренсу речовини, від якої плазма очищається лише шляхом фільтрації. Отже, можна застосувати таку формулу: $C_{in} = U_{in}/P_{in} \times V$, де C_{in} – кліренс інуліну, або ШКФ; P_{in} – концентрація інуліну у плазмі крові; U_{in} – концентрація інуліну в сечі; V – кількість сечі ($^{мл}/_{хв}$).

ШКФ в середньому становить у чоловіків $125^{мл}/_{хв}$; у жінок – $110^{мл}/_{хв}$ на $1,73 м^2$ поверхні тіла.

У жаб коркова речовина нирок кровопостачається нирковою артерією, а мозкова – ворітною веною. Тому після перев'язування ниркової артерії сечі мало, вона концентрована, оскільки виключається механізм фільтрації і діє лише секреторний механізм сечоутворення.

Канальцева реабсорбція — це процес всмоктування клітинами канальців і транспорт в міжклітинну рідину й капіляри нирок необхідних для організму речовин із первинної сечі.

У проксимальному звивистому канальці реабсорбується 80% речовин (уся глюкоза, усі вітаміни, гормони, мікроелементи, біля 85% NaCl і H₂O, а також біля 50% сечовини), котрі поступають у капіляри канальців і повертаються в загальну систему кровообігу.

Для процесу реабсорбції суттєве значення має поняття про поріг виведення. **Поріг виведення** — це концентрація речовини в крові, при якій вона не може бути реабсорбована повністю. Практично всі біологічно важливі для організму речовини мають поріг виведення. Наприклад, виділення з сечею глюкози (глюкозурія) настає тоді, коли її концентрація в крові перевищує $10^{ммоль}/л$. При глюкозурії зростає осмотичний тиск сечі, що призводить до збільшення кількості сечі (поліурії). Існують також непорогові речовини, які виділяються при будь-якій концентрації їх у плазмі та ультрафільтраті.

Механізм реабсорбції включає шляхи: спочатку речовини потрапляють з фільтрату в клітини канальця, далі переносяться транспортними системами мембрани в міжклітинний простір; з міжклітинних просторів дифундують у високопроникні біляканальцеві капіляри.

Транспортування може бути активними та пасивними. **Активна реабсорбція** відбувається за участі спеціальних ферментативних систем із затратою енергії проти електрохімічного градієнта. Активно реабсорбуються фосфати, Na⁺. За рахунок активної реабсорбції можливе повторне всмоктування з сечі в кров речовин, навіть у тому випадку, коли їх концентрація в крові дорівнює концентрації в рідині канальців чи вища.

Спряжене транспортування глюкози та амінокислот. З порожнини канальців у клітини речовини транспортуються за допомогою переносника, який обов'язково додатково приєднує Na⁺. Всередині клітини комплекс дисоціює. Концентрація глюкози зростає і за концентраційним градієнтом вона покидає клітину.

Пасивна реабсорбція відбувається без затрат енергії за рахунок дифузії та осмосу. Велика роль у цьому процесі належить різниці гідростатичного тиску в капілярах канальців. За рахунок пасивної реабсорбції здійснюється повторне всмоктування H₂O, хлоридів, сечовини.

Ще один механізм реабсорбції — **піноцитоз**. Таким чином відбувається всмоктування білків.

У результаті активного транспортування Na⁺ і супроводжуваних його аніонів, осмотичний тиск фільтрату знижується і в капіляри шляхом осмосу переходить еквівалентна кількість води. У результаті в канальці утворюється фільтрат ізотонічний крові капіляра. Цей фільтрат потрапляє в петлю Генле. Тут проходить подальша реабсорбція і концентрування сечі за рахунок **поворотно-протипотокової** системи. Концентрування сечі відбувається наступним чином. У висхідній частині петлі нефрона, яка проходить у мозковій речовині, активно реабсорбуються Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻ сечовина. Потрапляючи в міжклітинну рідину, вони підвищують там осмотичний тиск. Низхідна частина петлі Генле проходить у ділянці високого осмотичного тиску, тому з цієї частини петлі виходить вода в міжклітинний простір за законами осмосу. Вихід H₂O з низхідної частини петлі призводить до того, що сеча стає більш концентрованою відносно плазми крові. Це сприяє реабсорбції Na⁺ у висхідній частині петлі, що, у свою чергу, викликає вихід H₂O в низхідній частині. Ці два процеси спряжені, у результаті сеча втрачає в петлі Генле велику кількість H₂O і Na⁺, і на виході з петлі сеча знову стає ізотонічною.

Таким чином, роль петлі Генле як **протипоточного** концентруючого механізму визначають наступні фактори:

- 1) близьке розташування висхідного та низхідного коліна;
- 2) поникність низхідного коліна для H₂O;
- 3) непроникність низхідного коліна для розчинених речовин;
- 4) поникність висхідного сегмента для Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻;

5) наявність механізмів активного транспорту у висхідному коліні.

У дистальній частині канальця відбувається подальша реабсорбція Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , H_2O , яка залежить від концентрації цих речовин в крові — факультативна реабсорбція. Якщо їх багато, то вони не реабсорбуються, якщо мало, то вони повертаються в кров. Дистальний відділ регулює та підтримує постійність концентрації іонів Na^+ і K^+ в організмі. Проникність стінок дистальної частини канальця для H_2O регулюється **антидіуретичним гормоном** (АДГ) гіпофіза (секреція якого залежить від осмотичного тиску крові). При підвищенні осмотичного тиску (тобто зменшенні кількості H_2O), збуджуються осморорецептори гіпоталамусу, секреція АДГ збільшується, збільшується проникність стінок канальця для H_2O і вона реабсорбується в кров, тобто затримується в організмі й осмотичний тиск зменшується.

Аналогічно регулюється реабсорбція води в збиральній трубочці, яка також приймає участь в утворенні гіпертонічної чи гіпотонічної сечі в залежності від потреби організму у воді.

Величину канальцевої реабсорбції речовин визначають за різницею між кількістю їх у первинній і кінцевій сечі. Величину канальцевої реабсорбції води (RH_2O) визначають за різницею між швидкістю клубочкової фільтрації (Cin) і кількістю кінцевої сечі й виражають у відсотках по відношенню до ШКФ: $\text{RH}_2\text{O} = \frac{\text{Cin} - V}{\text{Cin}} \times 100\%$

У звичайних умовах величина реабсорбції становить 98-99%. Для оцінки функції проксимальних канальців визначають величину максимальної реабсорбції глюкози (Tmg), збільшуючи її концентрацію в плазмі крові до межі, що значно перевищує порогову. $\text{Tmg} = \text{Cin} \times \text{Pg} - \text{Ug} \times V$, де Cin — ШКФ; Pg — концентрація глюкози в крові; Ug — концентрація глюкози в сечі; V — кількість виділеної за 1 хв сечі. Середня величина Tmg у чоловіків становить 34,7 ммоль/л. У віці після 40 років Tmg зменшується на 7% на кожні 10 років життя.

Канальцева секреція — це:

1) процес переносу речовин через клітини канальців із крові в просвіт канальця в незмінному вигляді, що збільшує швидкість ексекреції речовини ниркою;

2) виділення з клітини в кров або просвіт канальця синтезованих у нирці фізіологічно активних речовин (простагландини, брадикінін) або ексретуючих речовин (гіпурова кислота, аміак).

У проксимальній та дистальній частинах канальця активно секретуються йони H^+ , а йони K^+ — у дистальній частині.

Для оцінки очисної ексреторної функції нирок використовується поняття «кліренс» — очищення. Величина кліренса визначається відношенням кількості речовини, виділеної з сечею за 1 хв., до її вмісту в 1 мл плазми крові.

Утворення NH_3 (аміаку) відбувається в клітинах канальця за рахунок дезамінування АТФ і деяких амінокислот.

Секреція іонів аміаку і H^+ сприяє підтриманню рН крові.

Шляхом секреції із крові видаляються продукти білкового обміну, які не фільтруються в клубочку: креатинін, сечова кислота, сечовина.

Особливе місце займає секреція великої частини лікарських засобів (пеніцилін, фуросемід), парааміногіпурової кислоти, барвників, чужорідних речовин.

Клітинами канальців коркових та юкстамедулярних нефронів синтезується ряд біологічно активних речовин, які надходять в кров (**ендокринна функція нирок**). До них відносяться:

1) **ренін** — його виділення збільшується при зниженні тиску крові в ниркових клубочках; ренін переводить ангіотензіноген в ангіотензин I, який під впливом дипептидкарбоксипептидази перетворюється в ангіотензин II, який звужує кровеносні судини, що призводить до підвищення артеріального тиску; крім того, ангіотензин II стимулює виділення корою наднирників альдостерону, який підвищує реабсорбцію Na^+ в нирках, за натрієм всмоктується вода, об'єм крові збільшується, що також підвищує артеріальний тиск;

2) **кініноген** — стимулює утворення кінінів;

3) **урокіназа** — активатор плазміногена й перетворення його в плазмін, який здійснює фібриноліз;

4) **серотонін** — судинозвужувальна дія.

Величину максимальної канальцевої секреції визначають за різницею між кількістю речовини у первинній та вторинній сечі:

$$\text{Tm} = V \times U - C \times P \times \alpha,$$

де α — 0,8, Tm — показник максимальної канальцевої секреції речовини; V — кількість сечі; C — швидкість клубочкової фільтрації; U — концентрація речовини в сечі; P — концентрація речовини у плазмі; α — частина не зв'язаної з білками речовини, що міститься в плазмі.

Для оцінки функціональної здатності проксимальних канальців виділяти речовини шляхом секреції визначають секрецію парааміногіпурової кислоти (ПАГК), або діодрасту, або препаратів групи пеніциліну та ін. Максимальну секрецію ПАГК (Tm ПАГК) визначають за умов збільшення її концентрації в плазмі крові, при якій відбувається максимальна секреція в проксимальних канальцях.

$Tm_{ПАГК} = U_{ПАГК} \times V - C_{in} \times P_{ПАГК} \times \alpha$, де $\alpha = 0,8$.

Середня величина максимальної канальцевої секреції ПАГК становить $6,78 \pm 1,37$ ммоль/с, або $79,9 \pm 16,7$ мл/хв на $1,73 \text{ м}^2$ поверхні тіла.

Шляхом визначення кліренсу ПАГК можна **визначити ефективний кровообіг і плазмообіг**. Грунтується метод на тому, що при низькій концентрації ПАГК в крові плазма практично повністю звільняється від ПАГК за один етап проходження через нирки: $S_{ПАГК} = U_{ПАГК} \times V / P_{ПАГК}$,

де V – кількість сечі; P – концентрація речовини у плазмі; U – концентрація речовини в сечі.

Середня швидкість ефективного ниркового плазмообігу для чоловіків – 720 мл/хв., для жінок – 660 мл/хв на $1,73 \text{ м}^2$ поверхні тіла.

Після визначення плазматокру за величиною гематокриту можна розрахувати кровотік через нирки ($1700-1800$ л/добу).

У збиральних трубочках, останньому відділі нефрона, відбувається подальша реабсорбція води. Це пов'язано з тим, що збиральні трубочки проходять через мозковий шар нирки, в якому тканинна рідина має високий осмотичний тиск і тому притягує до себе воду.

У результаті фільтрації, реабсорбції та секреції утворюється **вторинна сеча** кількістю $1,5-2$ л на добу. Однак ця кількість непостійна. Залежить від вживання води, білків, добових біоритмів, фізичного навантаження.

Сеча — прозора рідина світло-жовтого кольору. Реакція слабокисла. рН її коливається від $4,5$ до $8,6$. Відносна щільність $1,016-1,022$.

У нормі в сечі білок відсутній або визначають його сліди. Серед органічних речовин небілкового походження в сечі зустрічаються оксалати, молочна кислота, кетонів тіла. У сечі містяться пігменти (уробелін, який визначає її колір), що утворюються з білірубину жовчі в кишківнику, нирках і виділяються ними.

З сечею виводиться велика кількість неорганічних солей — $15-25$ г за добу. Екскретуються хлорид Na, хлорид K, сульфати й фосфати, від них залежить кисла реакція сечі.

Лекція 24. РЕГУЛЯЦІЯ ВИДІЛЕННЯ

Таблиця 10.1

Регуляція процесів реабсорбції

та секреції в ниркових канальцях

Чинник	Ефект	Механізм
Вазопресин (антидіуретичний гормон)	підсилює реабсорбцію Na^+ у висхідному відділі петлі Генле, H_2O в дистальному відділі	активація аденілатциклази (цАМФ), гіалуронідази
Альдостерон	підсилює реабсорбцію Na^+ секрецію K^+ у дистальних ниркових канальцях	утворення специфічних Na-транспортуючих білків, активація Na^+/K^+ -насоса
Натрійуретичний гормон	зменшує реабсорбцію Na^+	
Паратгормон	гальмує канальцеву реабсорбцію фосфору, бікарбонатів, активує реабсорбцію Mg^{2+}	активація аденілатциклази (цАМФ)

Нервова регуляція

— включає в себе перш за все судинорухові реакції, які змінюють системний артеріальний тиск, тим самим змінюючи рівень фільтрації, а отже й рівень діурезу.

Вплив ВНС на реабсорбцію. При подразненні симпатичних нервів зменшується виведення води й збільшується виведення Na.

Подразнення парасимпатичних нервів збільшує виведення з сечею хлоридів за рахунок зменшення їх реабсорбції в канальцях нирок.

Рефлекторна регуляція здійснюється з екстеро-та інтерорецепторів. При больових подразненнях виникає різке зменшення діурезу (олігурія) аж до повного його припинення (анурія). Це пов'язано з сильним звуженням приносячих артеріол і зменшенням фільтраційного тиску. Кора мозку викликає зміну роботи нирок або безпосередньо через вегетативні нерви, або через нейрони гіпоталамуса.

Гуморальна регуляція здійснюється мінералокортикоїдами — альдостероном і дезоксикортикостероном, антидіуретичним гормоном, глюкокортикоїдами й тироксином (табл. 10.1).

Мінералокортикоїди (альдостерон, дезоксикортикостерон) діють на клітини висхідного коліна петлі Генле і дистальної частини каналців нефрона. Під впливом цих гормонів підсилюється процес повторно-го всмоктування Na^+ Cl^- , і одночасно зменшується реабсорбція K^+ і H^+ . Всмоктування Na^+ збільшує осмотичний тиск плазми крові. За натрієм всмоктується вода, об'єм крові збільшується. Механізм дії мінералокортикоїдів пов'язаний з підвищенням потужності натрієвого насоса за рахунок активації утворення специфічних білків.

Регулятором реабсорбції Na^+ є також **натрійуретичний гормон**. Це пептид, який утворюється в передсердях при перерозтягненні їх кров'ю. У нирках він сприяє зменшенню реабсорбції Na^+ , а отже, і води.

Вазопресин (АДГ), який виробляється в нейросекреторних клітинах супраоптичного й паравентрикулярного ядер гіпоталамуса, у стані гранул транспортується аксонами нейросекреторних нейронів і виділяється в капіляри нейрогіпофіза (задня частка), змінює проникність стінок кінцевого відділу дистальної частини каналців і збиральних трубочок і, тим самим, збільшує всмоктування води й зменшує утворення сечі. Утворення АДГ збільшується при зростанні осмотичного тиску крові. При зменшенні секреції АДГ діурез збільшується (розвивається хвороба «нецукровий діабет»). Механізм дії АДГ пов'язаний з активацією синтезу гіалуронідази — фермента, що деполяризує гіалуронову кислоту, яка входить у склад міжклітинної речовини стінок збиральних трубочок.

Це призводить до збільшення пористості стінок і полегшення транспорту води.

Тироксин стимулює діурез, пригнічуючи реабсорбцію води. Це пов'язано з тим, що він забезпечує швидке окислення білків, яке тягне за собою значну екскрецію води і солей.

Глюкокортикоїди — кортизон і гідрокортизон — стимулюють реабсорбцію Na^+ , посилюють виведення K^+ , відіграють вирішальну роль у регуляції виділення води — володіють потужною діуретичною дією.

У пересаженій нирці не функціонують нервові механізми регуляції, оскільки порушено проведення збудження аферентними й еферентними волокнами, але регуляція здійснюється завдяки гуморальній та внутрішньонирковій ауторегуляції.

На сечоутворення впливає ряд інших гуморальних факторів (табл. 10.2).

Таблиця 10.2

Головні ефекти гормонів на видільну функцію нирок

Процеси сечоутворення	Збільшують	Зменшують
Клубочкова фільтрація	Простагландини: E_{12} ; I_2 , D_2 , A_2 Атріопептид Прогестерон Глюкокортикоїди Окситоцин Глюкагон T_3 та T_4 Паратгормон Хоріонічний гонадотропін	Ангіотензин-II Вазопресин Норадреналін Адреналін Лейкотрієни C_4 , D_4
Канальцева реабсорбція води	Вазопресин Пролактин Ангіотензин-II Інсулін Естроген Хоріонічний гонадотропін	Простагландини E_{12} і F_{2a} Атріопептид Кініни Паратгормон Кальціотріол T_3 і T_4