

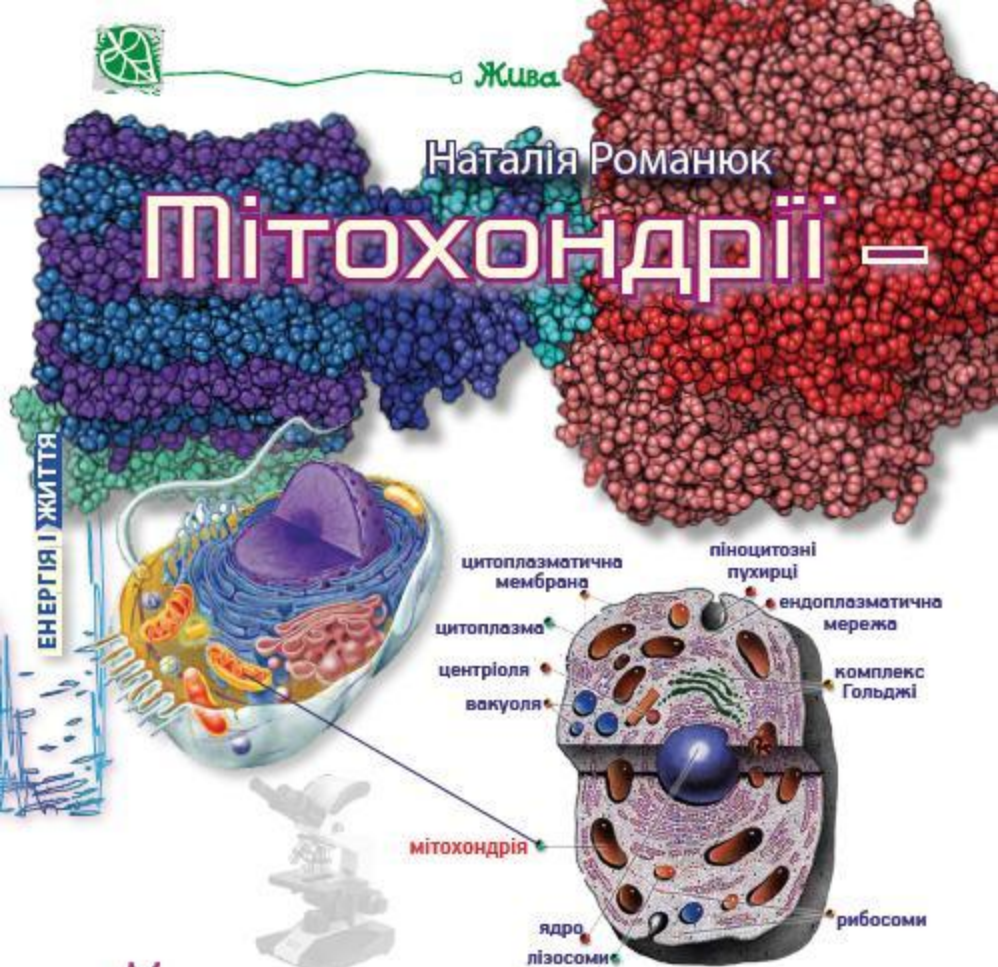


ЖИВА

Наталія Романюк

Мітохондрії =

ЕНЕРГІЯ І ЖИТТЯ



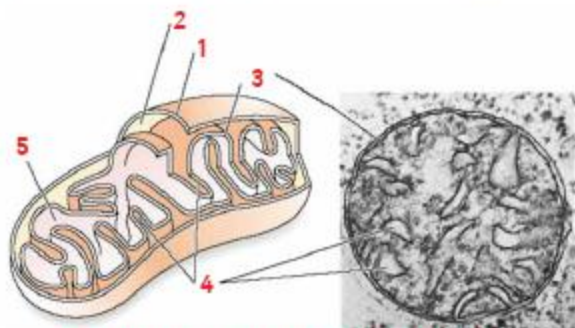
- цитоплазматична мембрана
- цитоплазма
- центріоля
- вакуоля
- мітохондрія
- ядро
- лізосоми
- піноцитозні пухирці
- ендоплазматична мережа
- комплекс Гольджі
- рибосоми

Мітохондрії – порівняно маленькі паличкоподібні, ниткоподібні, округлі або овальні клітинні органели, за розміром близькі до бактеріальної клітини (0,5–1,0 мкм в діаметрі, завдовжки 2–5 мкм). Їх часто називають енергетичними станціями клітини, бо це структури, які постійно працюють і забезпечують клітину енергією у формі аденозинтрифосфатної кислоти (АТФ). Процес утворення АТФ у мітохондріях називають клітинним диханням, під час якого в процесі біохімічних реакцій частина енергії окиснення органічних молекул, отриманих з їжі, запасається в хімічних зв'язках цієї високоенергетичної сполуки. Саме АТФ – головне й універсальне джерело енергії для всіх організмів, своєрідна „енергетична грошова одиниця” клітини. Нею клітини „розраховуються” за всі процеси, які вимагають енергії: ріст, розвиток, розмноження.





енергостанції клітини



Будова мітохондрії

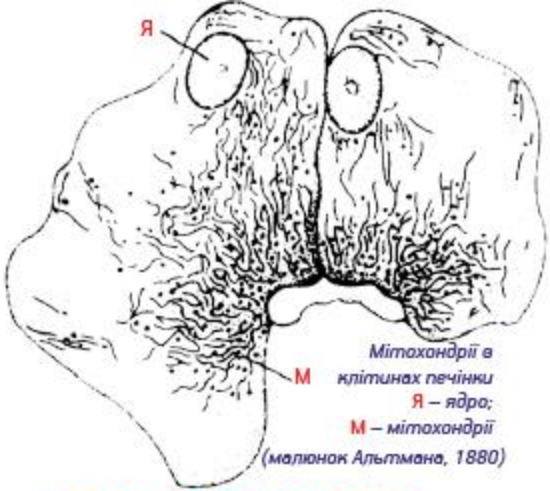
- 1 – зовнішня мембрана;
- 2 – міжмембранний простір;
- 3 – внутрішня мембрана;
- 4 – кристи;
- 5 – матрикс

БУДОВА МІТОХОНДРІЙ

Форма мітохондрій ідеальна для виконання їхніх функцій. Оболонка цієї органели (так само, як і хлоропластів) утворена двома мембранами. Зовнішня мембрана оточує мітохондрію з боку цитозолу, а внутрішня формує численні складки – кристи (лат. „кроста” – гребінь, виріст). Мембрани мітохондрій розділяють органелу на два різних простори (компарменти): один обмежений внутрішньою мембраною – матрикс, а інший, розташований між зовнішньою та внутрішньою мембранами, – міжмембранний простір. Матрикс заповнений водою та білками-ферментами (ензимами) циклу Кребса або циклу трикарбонових кислот (ЦТК), які розщеплюють органічні кислоти. За рахунок крист порівняно невелика органела має дуже велику площу поверхні, а тому може максимально ефективно виконати свою роботу. Згадаймо, що за схожим принципом природа збільшила площу поверхні у мікроборсинках клітин тонкого кишківника. У матриксі також є напівавтономна система синтезу білків: мітохондріальні ДНК, РНК і рибосоми. Ось чому мітохондрії, так само як і хлоропласти, здатні до синтезу потрібних їм білків, проте значна частина їх надходить з цитоплазми.



Альберт фон Келлікер



Мітохондрії в клітинах печінки
Я – ядро;
М – мітохондрії

(малюнок Альтмана, 1880)



Варіанти будови крист мітохондрій:

- а – пластинчасті кристи (печінка);
- б – перфоровані кристи (літальні м'язи мухи);
- в – трубчасті кристи;
- г – хвилясті кристи

ІСТОРИЯ ВІДКРИТТЯ

Ще у 1857 році німецький вчений, професор Вюрцбурзького університету *Альберт фон Келлікер*, розглядаючи клітини м'язів у мікроскоп, помітив якісь „гранули“. Його сучасники описували схожі „гранули“ у інших типах клітин. У 1890 році вчений-цитолог *Ріхард Альтман*, теж німець за походженням, розглядаючи тваринні клітини у мікроскоп, зробив висновок, що мітохондрії – це примітивні організми, здатні до саморозмноження. Р. Альтман назвав їх біобластами, а у 1897 році інший вчений, *Карл Бенда*, запропонував термін „мітохондрія“ (від гр. „mitos“ – нитка та „chondrion“ – зернятка, крупинка), який ми використовуємо й сьогодні.

ПОХОДЖЕННЯ

На думку вчених, мітохондрії – нащадки прадавніх клітин, яких на певному етапі еволюції захопили інші клітини і сформували з ними симбіоз (взаємовигідне співіснування). На початках земної історії в атмосфері практично не було кисню. Згодом внаслідок процесів життєдіяльності синьо-зелених водоростей концентрація кисню в повітрі зросла. Приблизно тоді ж якась примітивна клітина, що не вміла використовувати кисень для отримання енергії, захопила бактерію, яка вміла це робити. З невідомих причин захоплена клітина вижила, і так сформувався взаємовигідний симбіоз. Використання кисню у багато разів збільшило кількість енергії під час окиснення їжі, і нащадки нового організму здобули еволюційну перевагу. Тепер у всіх наших клітинах (а також клітинах усіх





тварин, грибів, рослин і найпростіших) живуть дещо видозмінені, але ті ж прадавні бактерії. Вони називаються мітохондріями і виконують ту ж функцію – продукують для клітини багато енергії, окиснюючи органічні речовини з використанням кисню. У них залишилася їхня власна ДНК, вони розмножуються, і можливо, навіть не підозрюють, що перебувають усередині іншої великої клітини. Та хіба це важливо? Клітина – це просто чудове місце для існування, де є вдосталь їжі. Тому мітохондрії „вештаються” всередині (наших клітин!) в очікуванні лізосом, які „підгодовують” їх продуктами перетравлення їжі, і продукують енергію АТФ. Що більше їжі, то швидше розмножуються мітохондрії. Однак, клітина контролює кількість мітохондрій: якщо їх забагато, лізосоми оточують мітохондрії, перетравлюють їх, і матеріал повторно використовується для побудови нових частин клітини.

МІТОХОНДРІЇ І КЛІТИНА

Кількість мітохондрій залежить від активності клітини і становить в середньому від 200 до 10 000. У клітинах печінки їх понад 1 000. Сперматозоїди різних видів тварин мають від 20 до 72 мітохондрій, а соматичні клітини ссавців приблизно 500–1 000 мітохондрій. Найбільше їх у клітинах мозку, скелетних, серцевого і навколоочних м'язів – майже 10 000 на клітину! Об'єм мітохондрій у клітинах може сягати 25 % цитозоля, а у навколоочних м'язових клітинах – аж 60%! Це тому, що мітохондрії – єдине місце всередині м'язових клітин, де продукти розщеплення вуглеводів, жирів чи білків за участю кисню зазнають подальших перетворень з утворенням енергії. А що більше мітохондрій у наших м'язових клітинах, то більше енергії вони генерують, то швидше і довше ти можеш бігати, їздити на велосипеді чи плавати.

В молодих клітинах, які активно ростуть і функціонують, мітохондрій більше, ніж у старих. Деякі клітини можуть мати одну-єдину величезну розгалужену мітохондрію (клітини певних водоростей, клітини трипанозоми – збудника сонної хвороби). Наші еритроцити (червоні кров'яні тільця) зовсім не містять мітохондрій! У рослинних клітинах, в яких є хлоропласти, мітохондрій менше, ніж у тваринних. Зменшується кількість мітохондрій і у ракових клітинах.

Клітина серцевого м'яза – кардіоцит. Червоні тільця – мітохондрії, рожева – цитоплазма, блакитне – ядро; поперечні темні лінії – саркомери, комплекси скоротливих білків

Ці фото зроблено за допомогою електронного мікроскопу



Мітохондрія нейрона



Мітохондрія клітини кишкового епітелію. На внутрішніх складках мембрани протікають окиснювальні реакції клітинного дихання



Мітохондрії клітин нирки





Живуть мітохондрії декілька днів. У клітині вони здебільшого розміщені біля тих ділянок, де є потреба в АТФ. Наприклад, у серцевому м'язі мітохондрії розміщені біля міофібрил, а в сперміях утворюють спіральний футляр навколо осі джгутика.

Мітохондрії розмножуються так само, як і бактерії: шляхом поділу або фрагментацією крупних мітохондрій на дрібніші. Вони ростуть, зливаються з іншими мітохондріями і забезпечують клітину енергією.

Якщо енергетичні потреби клітини зростають, утворюються нові мітохондрії. На початку 1950-х років учені-фізіологи помітили, що в м'язових клітинах курячих крил мало мітохондрій, а в клітинах крил голубів і диких качок їх дуже багато. Як пояснити цей факт? Звичайно, кури не можуть літати, а крижні і голуби – „спортсмени“ у світі птахів, здатні долати величезні відстані. Ось ці спостереження і спонукали до висновку, що кількість мітохондрій у клітині залежить від фізичного навантаження. У людини через 3 місяці помірних регулярних фізичних навантажень на свіжому повітрі кількість мітохондрій у м'язових клітинах може зрости вдвічі!

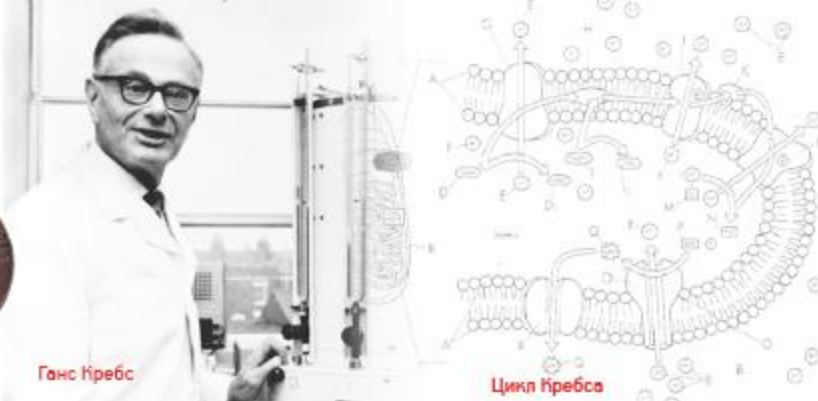
Водночас під час фізичних навантажень змінюється і здатність мітохондрій продукувати АТФ. Так, кількість АТФ, що утворюється в м'язових клітинах серця під час виконання вправ, зростає у 400 разів порівняно з кількістю АТФ, яка утворюється в стані спокою. При цьому зростає і потреба у кисні. Тому, якщо ви довго працюєте чи виконуєте фізичні вправи у закритому приміщенні, не забувайте провітрювати його.

Після тривалих тренувань людський організм може витримувати чималі навантаження. Приміром, 43-річний аргентинець Антоніо Альбертино переплив Ла-Манш в обидва боки без зупинки за 43 години і 4 хвилини, подолавши 150 км. Марафонську дистанцію може пробігти і дитина, і людина похилого віку. Так, восьмирічний Уеслі Пол пробіг марафон за 3 години! В 98





Ганс Кребс



Цикл Кребса

років грек Димітр Іорданіс пробіг марафонську дистанцію без врахування часу на відпочинок за 7 годин 40 хвилин. Сподіваємось, приклад цих людей надихне вас на великі звершення. Пам'ятайте, що тренування, здоровий спосіб життя та прагнення успіху творять справжні дива, розкриваючи приховані людські можливості. І чи не визначальне значення у цьому мають маленькі енергостанції клітини – мітохондрії!

КЛІТИННЕ ДИХАННЯ

Як здійснюється клітинне дихання у мітохондріях? Енергетичні перетворення у мітохондріях так само, як і будь-яке інше дихання, відбуваються із поглинанням кисню і виділенням вуглекислого газу CO_2 . Клітинне дихання (окиснення) за своєю суттю – дуже повільне „горіння”. Їжу, яку ми споживаємо, можна порівняти з „паливом”, яке згоряє в організмі внаслідок взаємодії з киснем повітря. Водночас „горіння” в організмі відрізняється від цього процесу поза організмом: 1) воно відбувається без істотного підвищення температури; 2) відсутнє полум'я; 3) воно здійснюється у водному середовищі. Використання кисню для розщеплення молекул їжі у 14 разів збільшує кількість енергії, яку отримує клітина, порівняно з безкисневим розщепленням!

Отже, ми з вами „спалюємо” поживні речовини за участю кисню та отримуємо АТФ:



АТФ у мітохондріях утворюється внаслідок низки поступових хімічних перетворень. Спершу все, що ми з'їли (білки, жири і вуглеводи), розщеплюється до простих складових, які зазнають подальших перетворень спочатку в цитоплазмі клітини, а потім у матриксі мітохондрій, включаючись у цитратний цикл (його також називають циклом Кребса на честь біохіміка Ганса Кребса). Він відкрив цей цикл у 1937 році, а у 1953 році отримав за це Нобелівську премію. Інша назва – цикл трикарбонових кислот (ЦТК) – вказує на те, що багато проміжних продуктів цього циклу – трикарбонові



Пітер Мітчел



кислоти. В ході циклу Кребса внаслідок численних реакцій виділяється CO_2 та утворюється відновлена сполука (НАДН), яка переносить електрони і протони на дихальний ланцюг внутрішньої мембрани мітохондрій. Поступово, наче м'ячики, електрони „перестрибують” сходинками компонентів дихального ланцюга аж до молекулярного кисню, і разом з протонами утворюють молекули води. Водночас за участю ферменту АТФ-синтази, який теж міститься на кристах, утворюються молекули АТФ. За розкриття механізмів синтезу АТФ, що описуються хеміосмотичною теорією, англійський біохімік Пітер Мітчел 1978 року отримав Нобелівську премію.

Загалом клітинне дихання здійснюється у три етапи: 1) гліколіз (утворення пірувату з глюкози); 2) цикл Кребса – перетворення органічних кислот з виділенням CO_2 ; 3) перенесення електронів у дихальному ланцюгу з утворенням АТФ. Останні два етапи клітинного дихання відбуваються власне у мітохондріях.

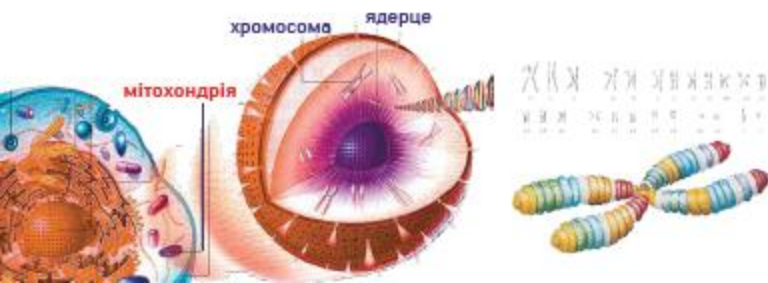
Внаслідок повного окислення однієї молекули глюкози з утворенням води і вуглекислого газу утворюється аж 38 молекул АТФ: 2 молекули в цитоплазмі і 36 – в мітохондріях.

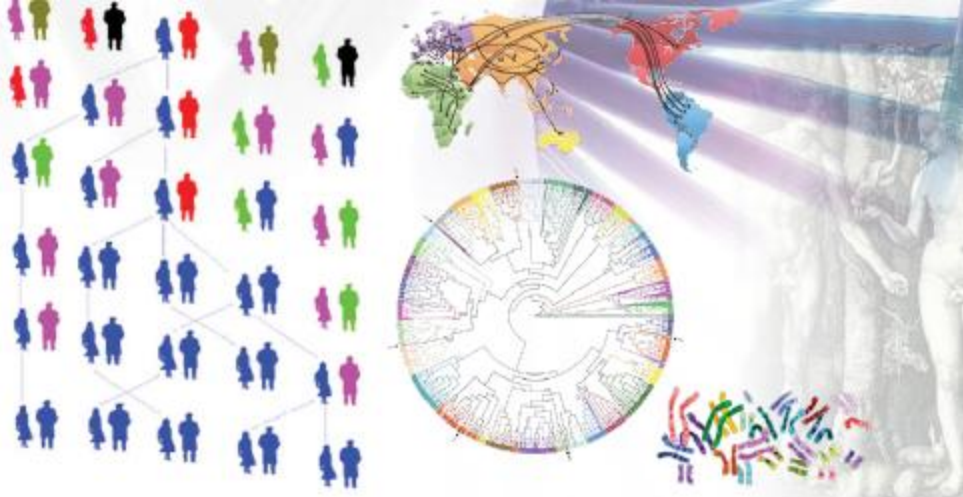
Частина енергії, що вивільняється під час транспортування електронів дихальним ланцюгом, витрачається на термогенез – теплоутворення живих організмів.

Бактерії не мають мітохондрій, а дихальний ланцюг у них міститься безпосередньо на клітинній мембрані.

ІНШІ ФУНКЦІЇ МІТОХОНДРІЙ

Дуже довго вчені вважали, що основна функція мітохондрій – це забезпечення клітини енергією. Протягом останніх років виявилось, що це надто спрощене уявлення про значення мітохондрій у процесах життєдіяльності живих організмів. Лише через сторіччя після відкриття мітохондрій, на початку 1960-х років, було встановлено, що мітохондрії містять свою власну, схожу до бактеріальної, ДНК. Понад 95 % мітохондріальних





білків (2900 із 3000) виконують інші особливі функції у клітині! Ці функції змінюються в ході розвитку організму і контролюють здатність клітини синтезувати, розщеплювати та повторно використовувати „будівельний матеріал“, з якого побудована клітина. Виявляється, без мітохондрій не утворюється ДНК чи РНК, а тому без них неможливий ріст і розвиток клітин. У мітохондріях містяться ферменти, що контролюють синтез ДНК і РНК, гема (потрібного для синтезу гемоглобіну). Вони потрібні для обміну холестерину, синтезу статевих гормонів естрогенів та тестостерону, для утворення та знешкодження вільних радикалів. Деякі функції мітохондрій стосуються лише певних типів клітин. Так, мітохондрії клітин печінки мають ферменти, що знешкоджують аміак, який утворюється в процесах обміну білків. Мітохондрії залучені до контролю поділу, росту і загибелі клітин. Вони також регулюють вміст іонів Кальцію в клітині.

Протягом 1980-х та 1990-х років вчені встановили зв'язок між мітохондріальною ДНК та низкою захворювань людини – мітохондріальними міопатіями.

Дослідження мітохондріального геному, який у людей складається з 37 генів і успадковується за материнською лінією, змінило погляди на еволюцію людини. Кожна людина на Землі має ідентичний фрагмент мітохондріальної ДНК, який передається кожному наступному поколінню вже протягом 200 000 років від спільного для всіх предка жіночої статі – Мітохондріальної Єви. Вивчення мітохондріальної ДНК допоможе вченим встановити походження та шляхи міграції різних народів.

І усі ці функції мітохондрії виконують на додачу до кінцевого розщеплення (окиснення) продуктів нашого харчування!