

Curs 1 Semestrul II

Facultatea de Medicina Craiova

An universitar 2020-2021

Metabolism oxidativ și bioenergetică

Bioenergetică.

Reacții endergonice, exergonice și cuplate.

Căi generale de transformare a compușilor biologici.

Compuși macroergici.

Căi de sinteză a ATP: fosforilare la nivel de substrat, lanțul respirator și fosforilarea oxidativă.

Clasificarea celulelor/organismelor

- In functie de **forma chimica a carbonului** pe care il folosesc din natura:
 - **Organisme/Celule autotrofe** (Se hranesc singure)
 - **Organisme/Celule heterotrofe** (Se hranesc pe seama altor celule/organisme)
 - **Aerobe** (folosesc ca acceptor final de electroni oxigenul)
 - **Anaerobe** (folosesc ca acceptor final de electroni alte molecule)
- In functie de **sursa lor de energie**:
 - **Celule fototrofe** (folosesc ca sursa de energie lumina)
 - **Celule chemotofe** (folosesc ca sursa de energie reactiile de oxidoreducere)

Organisme autotrofe

- lumea vegetala si cateva microorganisme
- Folosesc **CO₂ ca sursa de carbon**
- Sant relativ independente

Organisme heterotrofe

- Reprezinta lumea animala
- Tipuri de celule heterotrofe:
 - Celulele animale
 - Cele mai multe microorganisme
- Nu pot utiliza CO_2
- Isi procura **carbonul din mediu intr-o forma redusa**, relativ complexa, formata din compusi sintetizati de autotrofe sau de alte heterotrofe (proteinele, lipidele, glucidele)
- Sunt dependente de alte celule
- Catabolismul produsilor exogeni sau a celor endogeni (cu obtinere de CO_2 si H_2O) se realizeaza aerob, cu eliberare de energie
- Energia eliberata in procesele catabolice este folosita in:
 - diverse reactiile anabolice,
 - in contractia musculara,
 - in transportul activ transmembrantar,
 - excitatia nervoasa etc

Bioenergetica

Bioenergetica reprezinta fluxul de energie in cadrul sistemelor biologice

Toate reactiile metabolice din sistemele vii necesita energie

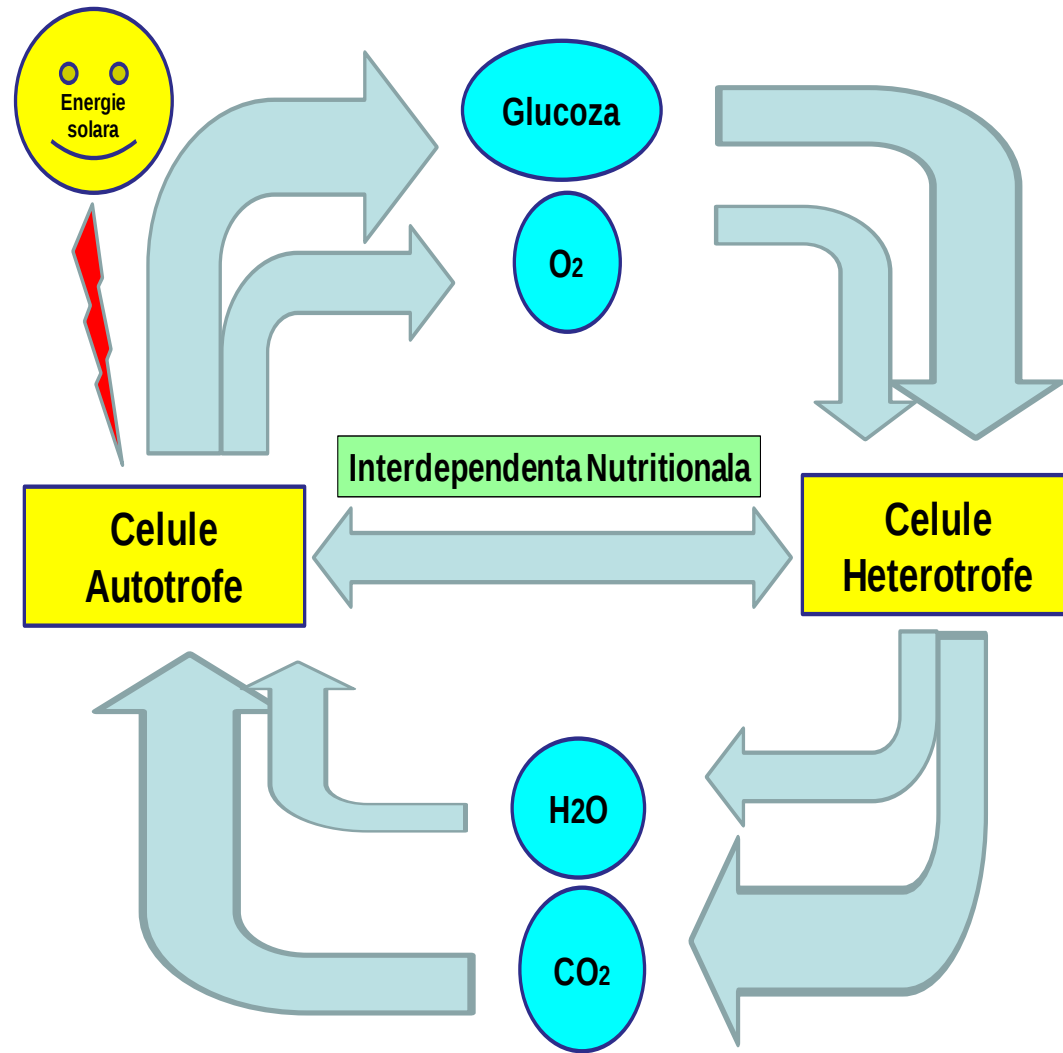
Carbonul este principalul element din constitutia organismelor vii

Radiatia solara este sursa primara de energie

Interdependenta Nutritionala

Ciclul carbonului si oxigenului

- Celulele autotrofe si cele heterotrofe sunt intr-o relatie de interdependenta nutritionala numita **sintrofie**
- Celulele autotrofe (fotosintetice) produc glucoza si O_2 pornind de la apa si CO_2 din atmosfera, folosind energia solara pe care o transforma in energie chimica
- Celulele heterotrofe folosesc compusii organici produsi de celulele autotrofe ca unitati constituyente si combustibil, pe care ii transforma in CO_2 si H_2O
- produsele finale ale catabolismului celulelor heterotrofe (CO_2 si H_2O), sunt folositi de catre celulele fototrofe

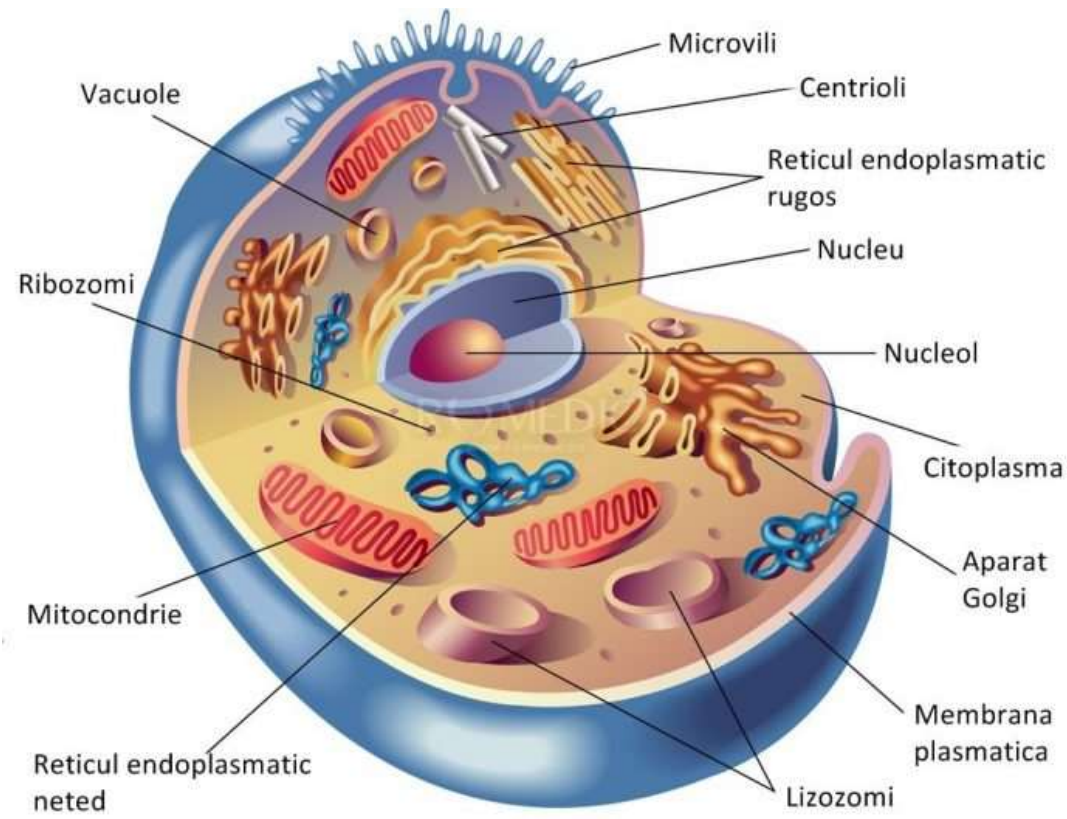


Celula umana

- Numar celule in organismul uman:
100 bilioane (10^{14}) celule
- Dimensiunea celulei este de aprox. **10 μ m**
- Masa celulei este de aprox **1 nanogram**

- **Compartimente celulare**

- nucleoli
- nucleu
- ribosomi
- vezicule
- reticul endoplasmatic rugos
- reticul endoplasmatic neted
- aparatul Golgi
- citoschelet
- mitocondrie
- vacuole
- citoplasma
- lizozomi
- centrioli



Principiile energetice ale organismelor vii

- Din punct de vedere energetic, organismele vii functioneaza pe baza principiilor termodinamice
- **Principiul I al termodinamicii** se refera la legea conservarii energiei: ***Energia nu se pierde, nu se creaza ci se transforma***
- **Principiul II al termodinamicii** se refera la directia spontana in care decurg procesele fizico-chimice si afirma ca : ***orice proces liber si spontan se produce in directia cresterii entropiei sistemului si a mediului inconjurator.***
- Entropia este o marime care caracterizeaza gradul de dezordine al unui sistem

METABOLISMUL

Metabolismul

- Reprezinta totalitatea reactiilor si proceselor care se desfasoara in organismele vii
- Cuprinde transformarile chimice si energetice din lumea vie
- Deoarece **metabolismul** este alcatuit dintr-o succesiune de reactii (liniare, ciclice sau ramificate) prin mai multi intermediari, poarta numele de **metabolism intermediar**
- In cadrul secventelor metabolice, produsul unei reactii devine substrat pentru urmatoarea reactie din secventa
- Produsii succesivi ai reactiilor metabolice se numesc **metaboliti** sau **metabiliti intermediari**

Funcțiile metabolismului

- **1. obținerea energiei chimice** din moleculele de nutriție sau din energia solară
- **2. sinteza și degradarea biomoleculelor** necesare diferitelor funcții celulare

Fazele metabolismul

- Are doua aspecte:
- **1. Catabolism:**
 - Totalitatea reactiilor/proceselor de degradare a moleculelor nutritive si a constituentilor celulari in substante mai simple
 - Este insotit de eliberarea energiei chimice din structura moleculelor nutritive si inmagazinarea ei in molecule de ATP
- **2. Anabolism:**
 - Totalitatea proceselor de sinteza din organisme vii
 - Necesita energie chimica, energie asigurata de ATP generat in faza catabolica

Reactii exergonice, endergonice si cuplate

Reactii exergonice :

Reactii care au loc cu eliberare de energie.

Sunt in general caracteristice proceselor catabolice

Reactii endergonice :

Reactii care au loc cu consum de energie.

Sunt reactii implicate in procesele anabolice si in contractia musculara, gradient de protoni

Reactii cuplate:

Energia libera a reactiei exergonice determina producerea reactiei endergonice

Conditiiile in care are loc cuplarea unei reactii endergonice cu o reactie exergonica sunt:

- unul dintre produsele reactiei exergonice este reactant in reactia endergonica
- cuplarea celor doua reactii se realizeaza printr-un intermediar energetic comun

Catabolismul

Etapa I: Digestia

- Are loc in tractul digestiv
- Macromoleculele sunt degradate la unitatile lor constitutive

Etapa II: Metabolizare completa

- are loc in celula:

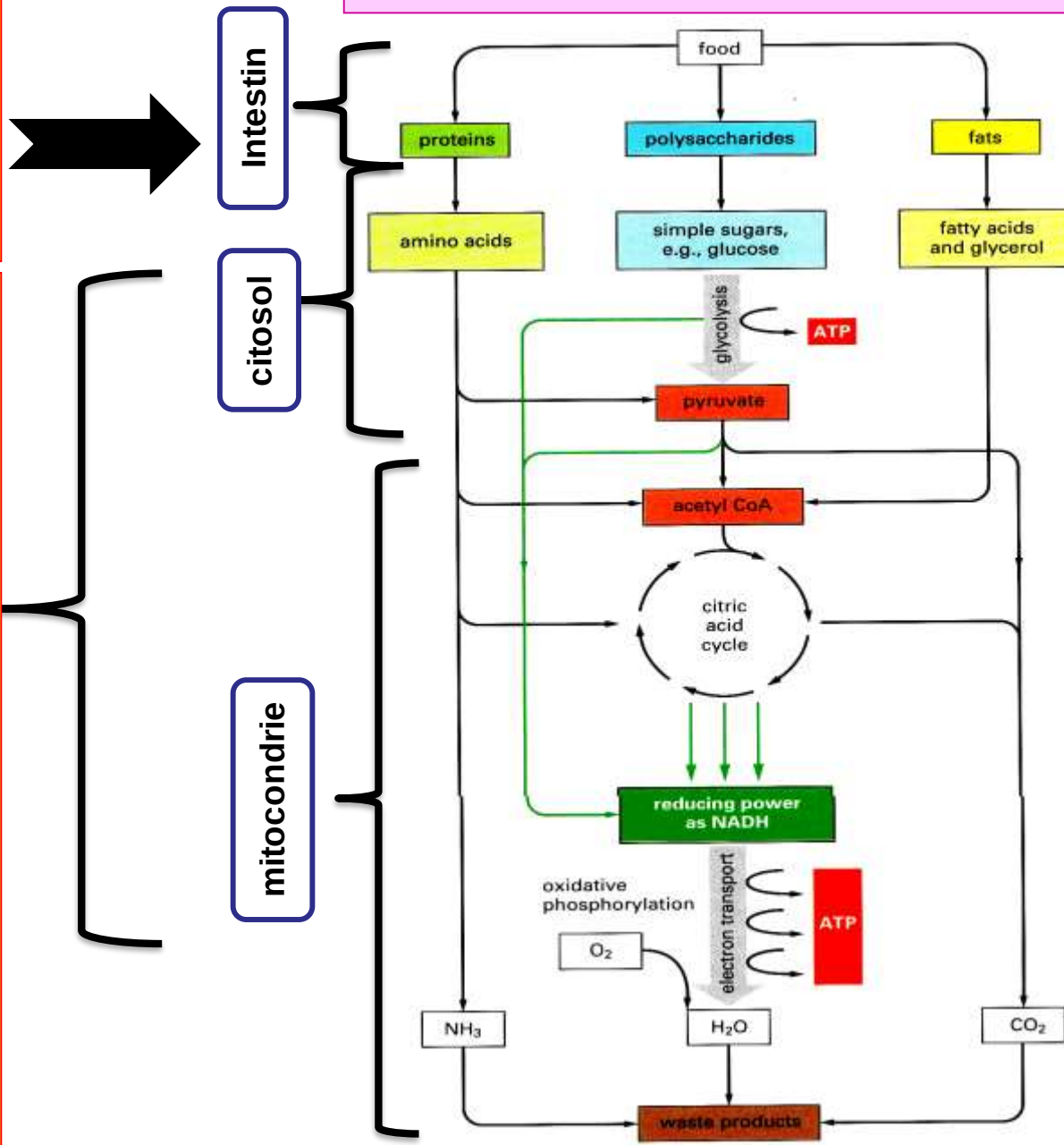
a-in citoplasma:

diferiti metaboliti ai etapei I, dupa ce au intrat in celula, sunt degradati mai departe in intermediari mai simpli

b-in mitocondrie:

produsii intermediari sunt degradati pana la produsii metabolici finali, apa si CO_2 , rezultand o cantitate mare de energie, care este utilizata pentru sinteza de ATP

Substantele nutritive obisnuite (proteine, polizaharide si lipide) trebuie degradate in molecule mici , inainte ca celulele sa le poata folosi



Etapa I: Digestia

Definitie

Digestia este un proces biochimic și mecanic ce se petrece în tubul digestiv, în cursul căruia alimentele brute sunt transformate în substanțe mai simple pe care apoi organismul le poate absorbi și utiliza în procesele metabolice.

Etapele Procesarii alimentelor

1. Digestia: Macromoleculele din produsele alimentare sunt prea mari pentru a fi absorbite de sistemul digestiv, acestea trebuie să fie desfăcute în molecule mici (aminoacizi, zaharuri simple etc.), astfel încât să poată fi absorbite și utilizate de către organism.

Degradarea alimentelor implică două procese:

- **Degradare mecanică:** mestecarea alimentelor.
- **Degradare chimică:** degradare enzimatică a alimentelor.

2. Absorbția: Celulele care alcătuiesc cavitatea digestivă absorb monomerii rezultați din degradarea macromoleculelor (simple zaharuri, aminoacizi etc.), care apoi intră în sânge..

3. Eliminarea Materialele alimentare nedigerate sunt eliminate din organism.

Digestia depinde de doi factori:

natura alimentelor

puterea sucurilor digestive

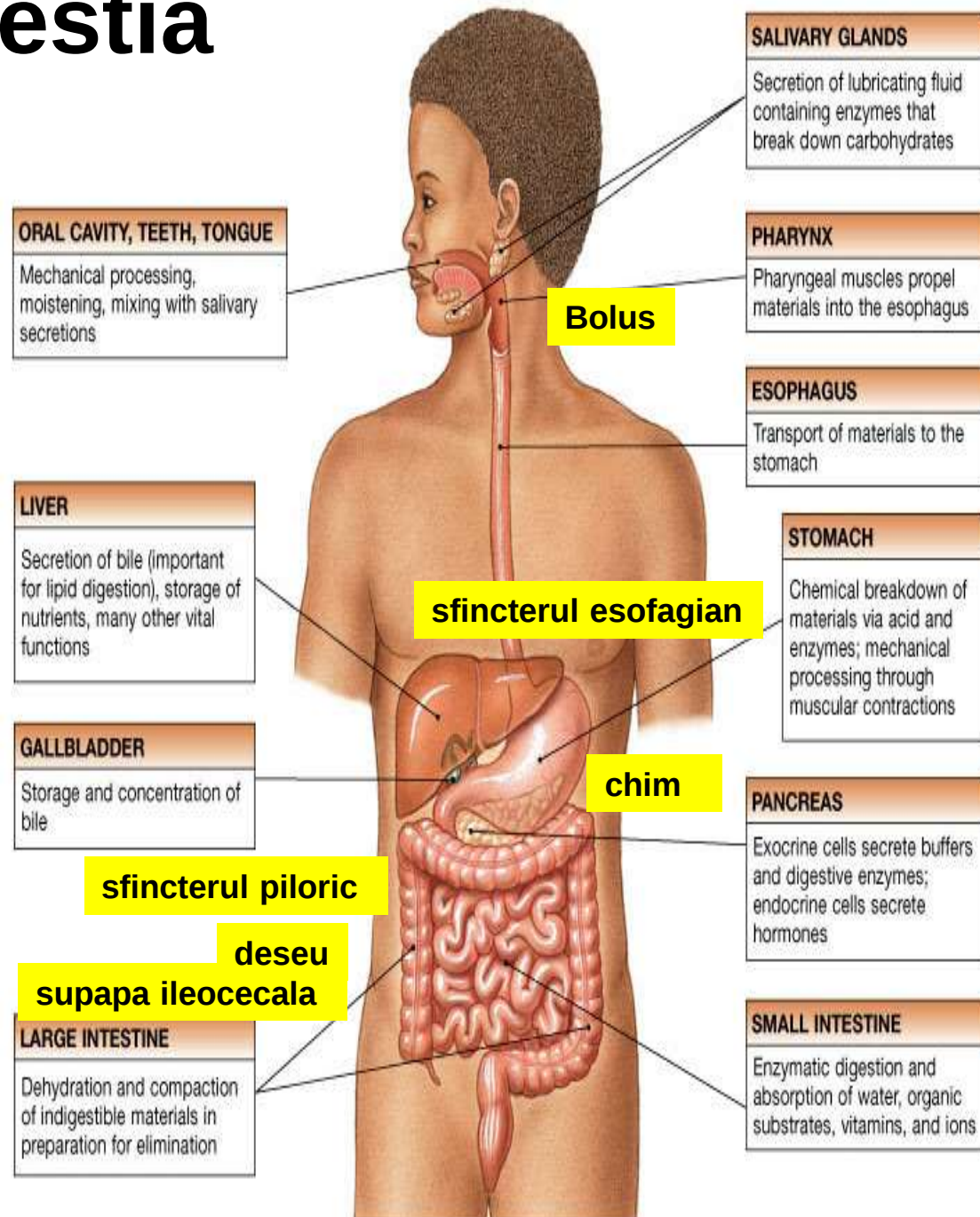
Etapa I: Digestia

Componentele sistemului digestiv:

- 1-cavitătea bucala
- 2-faringe
3. esofag
- 4-stomac
- 5-duoden
- 6-intestin subțire
- 7-intestin gros

Organe anexe:

1. glande salivare
2. ficat
3. vezica biliară
4. pancreas



Etapa II: Metabolizare completa

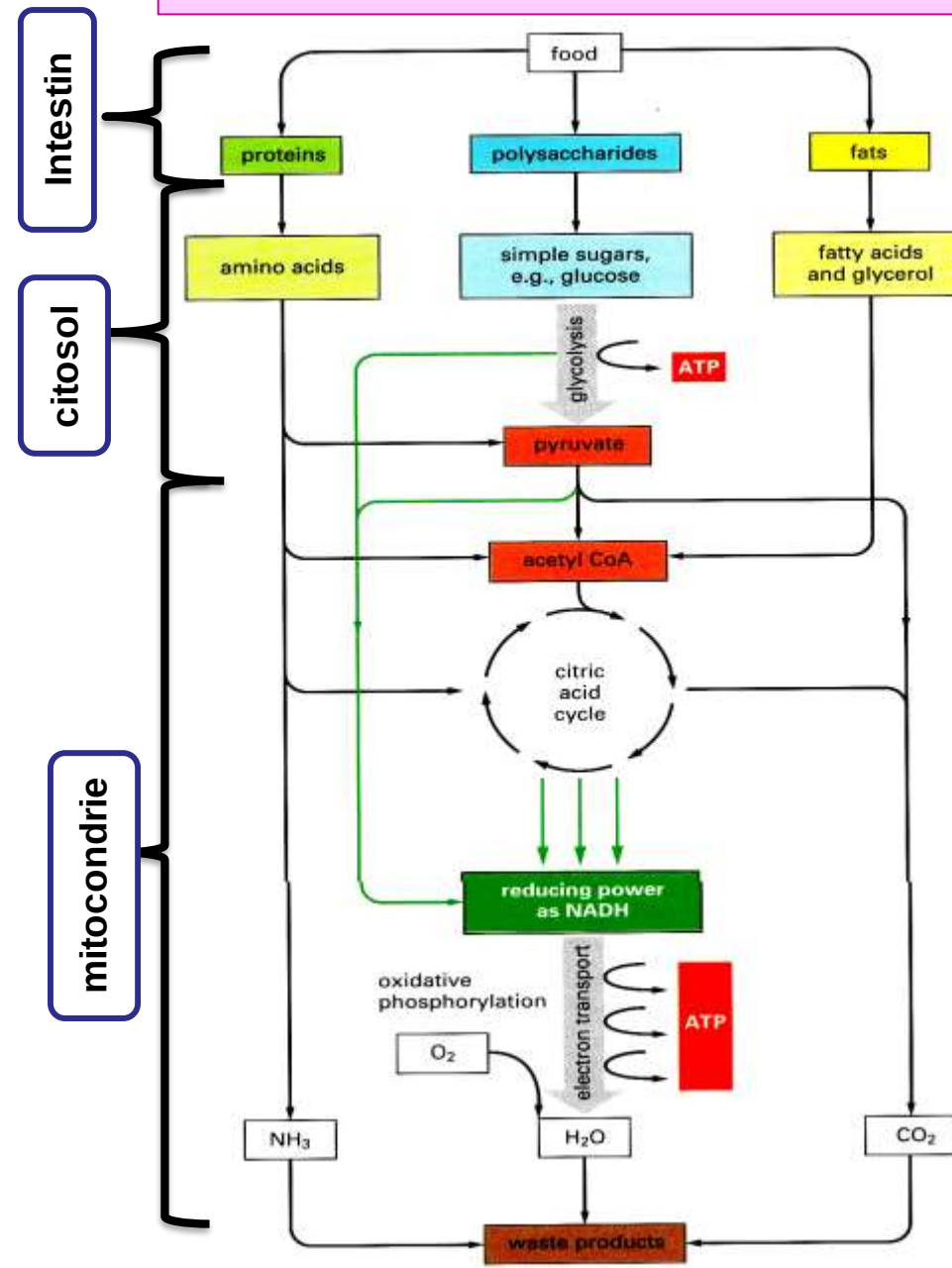
-a

-Are loc in citoplasma, unde diferiti metaboliti ai etapei I, dupa ce au intrat in celula, sunt degradati mai departe in intermediari mai simpli
-Cea mai mare parte din cantitatea de atomi de C si H din glucoza este transformata in piruvat (calea acidului piruvic)

-b

-Are loc in mitocondrie
-Piruvatul trece in mitocondrie unde este transformat in grupari acetil ale acetil coenzimei A (acetil CoA)
-O cantitate mare de acetil CoA este de asemenea produsa prin oxidarea acizilor grasi
-Gruparea acetil a acetil CoA este complet degradata la CO₂ si H₂O
-Aproximativ ½ din energia obtinuta din combustia carbohidratilor si lipidelor in CO₂ si H₂O este folosita in reactia endergonica de obtinere a ATP din ADP (Pi+ADP=ATP), restul de energie de combustie este eliminata in mediu sub forma de caldura, producand dezordine prin cresterea entropiei

Substantele nutritive obisnuite (proteine, polizaharide si lipide) trebuie degradate in molecule mici, inainte ca celulele sa le poata folosi



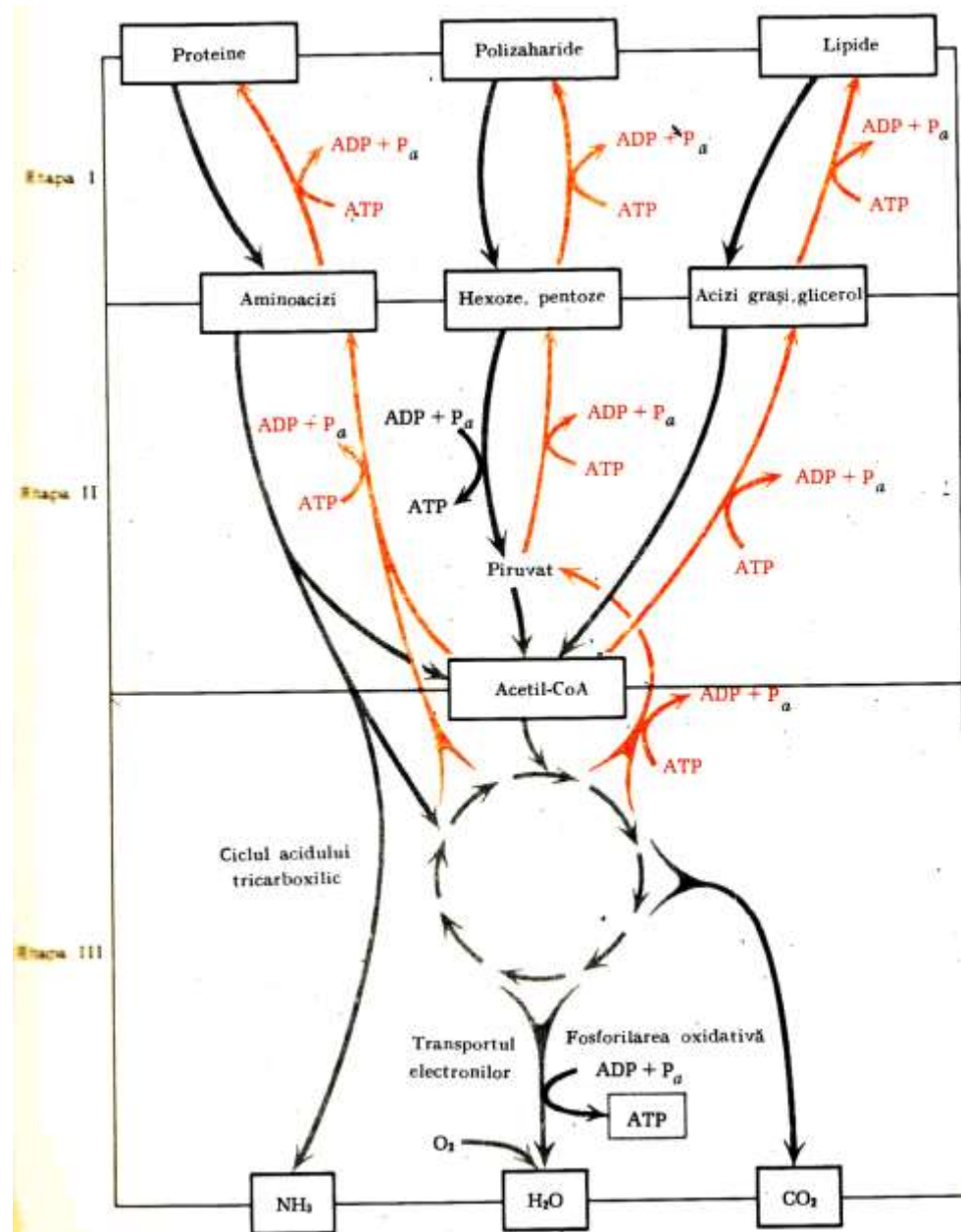
Cai anabolice

Etapa III: elementele constitutive sunt asamblate in macromolecule

Etapa II: precursorii sunt transformati in elemente constitutive

Etapa I: se formeaza molecule mici ale precursorilor

Biosinteza macromoleculelor biologice are loc in trei etape



Anabolism *versus* Catabolism

- Catabolismul este **convergent**: caile catabolice au puncte de plecare diferite, care in final converg intr-o cale comuna
- Anabolismul este **divergent**: porneste de la o cale comuna, apoi se ramifica in cai metabolice diferite
- Cele doua procese sunt **distincte**
 - Calea de sinteza si cea de degradare nu se produc dupa aceleasi reactii metabolice
 - Intr-o celula pot avea loc simultan cai metabolice opuse la care participa mecanisme de control independente
- Secvente metabolice diverse sunt **segregate spatial**
 - ex: degradarea si sinteza anumitor compusi biochimici are loc in compartimente celulare diferite
 - Compartimentarea cailor metabolice opuse se realizeaza in scopul maximizarii economiei celulare

Compusi macroergici

Conținutul în energie liberă (kcal/mol) corespunzătoare hidrolizei unor compuși macroergici

- Compusii macroergici reprezintă un grup de biomolecule specializate care pot transfera **gruparea fosfat** către alți compuși care au ΔG^0 mai mica.
- Acest fenomen se numește **“Potential de Transferare a grupării fosfat”**

Compușii macroergici sunt implicați în bilanțul energetic în toate tipurile de celule vii, fiind susceptibili la hidroliză, în urma căreia eliberează o cantitate mare de energie (minim 7 kcal/mol).

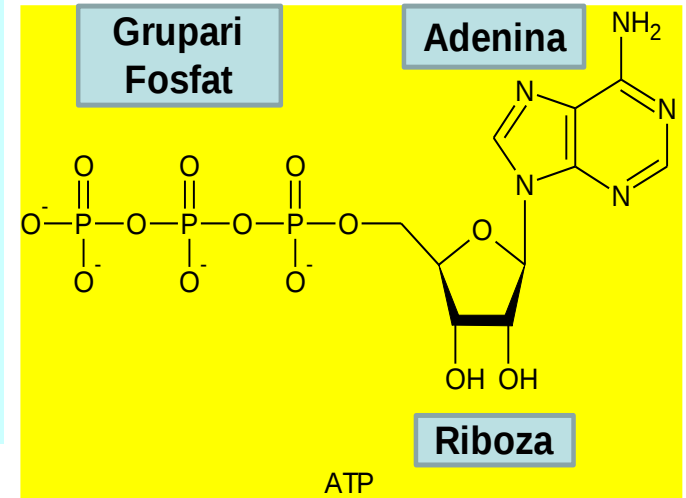
	ΔG^0 (kcal/mol)
• Acid fosfoenolpiruvic $\begin{array}{c} \text{COOH} \\ \\ \text{C} - \text{O} \sim \text{P} \\ \\ \text{CH}_2 \end{array}$	-14,8
• Carbamil-fosfat $\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{O} = \text{C} \\ \\ \text{O} \sim \text{P} \end{array}$	-12,3
• Acid 1.3-bisfosfogliceric $\begin{array}{c} \text{C} = \text{O} \\ \\ \text{O} \sim \text{P} \\ \\ \text{HC} - \text{OH} \\ \\ \text{H}_2\text{C} - \text{OP} \end{array}$	-11,8
• Creatin-fosfat $\begin{array}{c} \text{NH} \sim \text{PC}_3\text{H}_2 \\ \\ \text{HN} = \text{C} \\ \\ \text{N} - \text{CH}_2 - \text{COOH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	-10,3
• Acil-CoA $\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{R} - \text{C} \\ \\ \text{S} - \text{CoA} \end{array}$	-7,5
• $\text{ATP} \longrightarrow \text{ADP} + \text{P}_i$	-7,3

Sistemul Adenilat

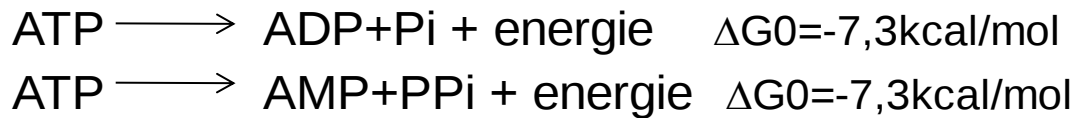
Un rol important ca furnizor de energie pentru procesele biochimice îi are **sistemul adenilat** care cuprinde

adenozintrifosfatul-ATP,
adenozindifosfatul-ADP și
adenozinmonofosfatul-AMP

Sistemul adenilat funcționează în prezența ionilor de Mg^{2+} și a fosfatului anorganic (P_i sau P_a)



- Molecula de ATP contine doua legaturi macroergice , **legaturi tip anhidrida** (in ATP si ADP), care se pot scinda in doua trepte cu eliberare de energie:

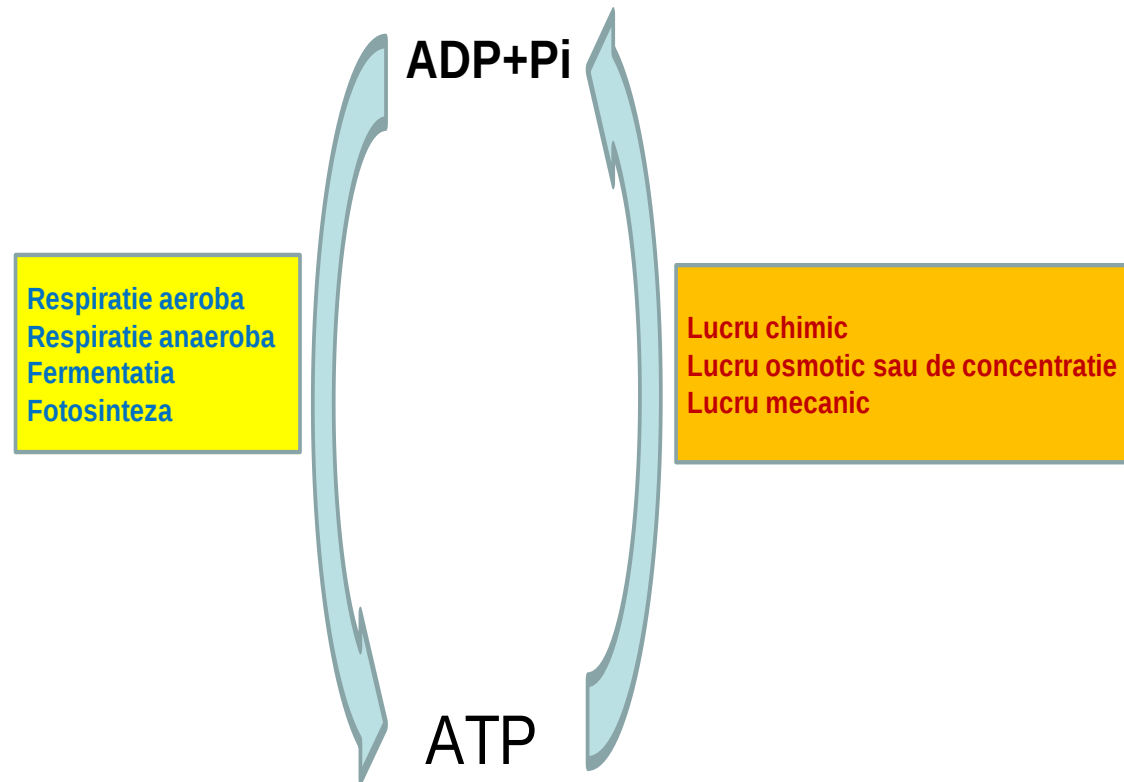


- In AMP, acidul fosforic se leaga de riboza printr-o **legatura esterica**, aceasta legatura nu este macroergica, scindarea ei in organism fiind catalizata **enzimatic** iar energia eliberata este mai mica decat in cazul legaturilor dintre gruparile fosfat din ATP si ADP (3,4 Kcal/mol)

Ciclul ATP

- Molecula de ATP are o functionare ciclica in procesele metabolice, fiind un transportor de energie chimica de la reactiile catabolice la cele anabolice.
- Energia chimica se transfera catre produse cu energie mica prin hidroliza gruparii fosfat, cu obtinere de ADP.
- Molecula de ADP se transforma la randul ei in ATP printr-o serie de reactii de fosforilare care folosesc energia eliberata din procesele metabolice de degradare

Respiratia Celulara genereaza ATP
Lucrul Celular se produce cu consum de ATP



Caile de sinteza a ATP

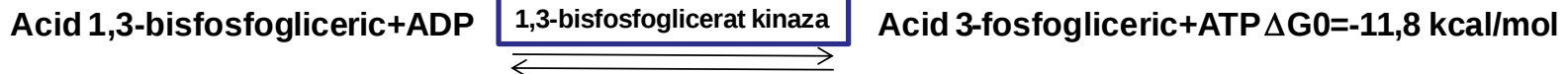
- Sinteza ATP se realizeaza in urma reactiilor catabolice exergonice aerobe sau anaerobe din organismele vii.
 - A. Mecanismul anaerob** de sinteza a ATP este numit “**Fosforilare la nivel de substrat**”
 - B. Mecanismul aerob** de sinteza a ATP se realizeaza prin “**Catabolismul oxidativ (respiratia celulara)**”

A. Fosforilare la nivel de substrat

- **Fosforilare la nivel de substrat** (Mecanismul anaerob)
- Sinteza ATP prin mecanism anaerob este catalizata de **kinaze** (specificitate absoluta pentru substrat) si are randament mic
- In reactiile metabolice din organism exista in totalitate 3 kinaze,
 - Doua kinaze care catalizeaza doua fosforilari la nivel de substrat **in glicoliza**
 - O kinaza care catalizeaza o reactie de fosforilare la nivel de substrat din **ciclul Krebs**
- se produce atunci cand energia eliberata intr-o reactie metabolica exergonica a unei secvente degradative este folosita imediat pentru producerea de ATP din ADP

A. Fosforilare la nivel de substrat

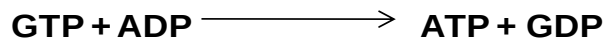
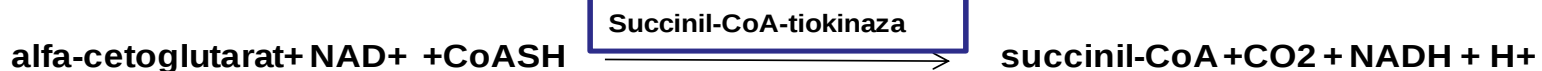
1. Transformarea acidului 1,3-bisfosfoglicerice în acid 3-fosfoglicerice



2. Transformarea acidului fosfoenolpiruvic în acid piruvic



3. Decarboxilarea oxidativă a acidului alfa-cetoglutaric

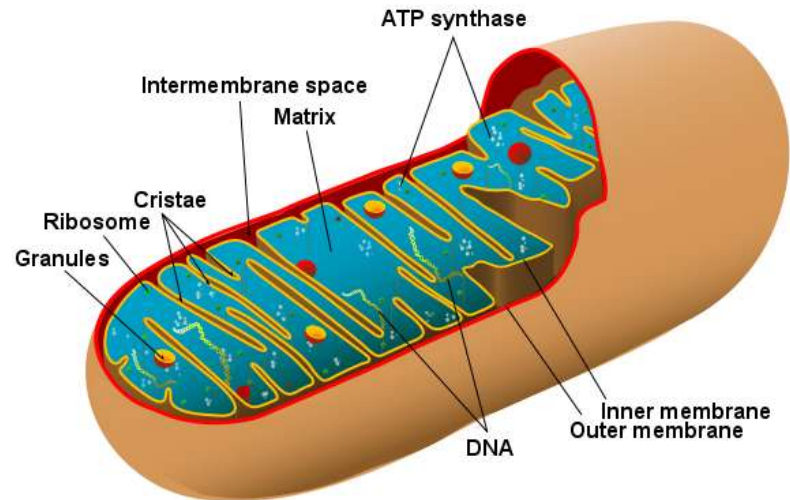


B. Respiratia celulara

- **Catabolismul oxidativ (respiratia celulara)** reprezinta degradarea acidului piruvic pana la CO_2 si H_2O cu eliberare de energie.
- Respiratia celulara incepe cu o serie de reactii numite Ciclul Krebs si se termina cu **fosforilarea oxidativa**.
- Respiratia celulara are loc in mitocondrie si include urmatoarele etape:
 - 1. Ciclul Krebs
 - 2. Lantul respirator sau lantul transportorilor de hidrogen si electroni
 - 3. Fosforilarea oxidativa

Mitocondria

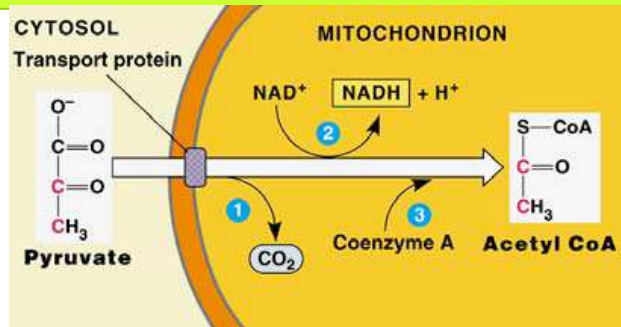
- Una dintre cele mai importante componente din citoplasma celulara:
- Sursa de energie a celulei
- Conțin enzimele oxido-reducătoare necesare respirației celulare
- Respirația produce energia necesară organismelor, înmagazinată în ATP.
- Mitocondriile au material genetic propriu- ADN mitocondrial- care conține informația genetică pentru sinteza enzimelor respiratorii



1. Ciclul Krebs, ciclul acidului citric sau ciclul acizilor tricarboxilici (TCA)

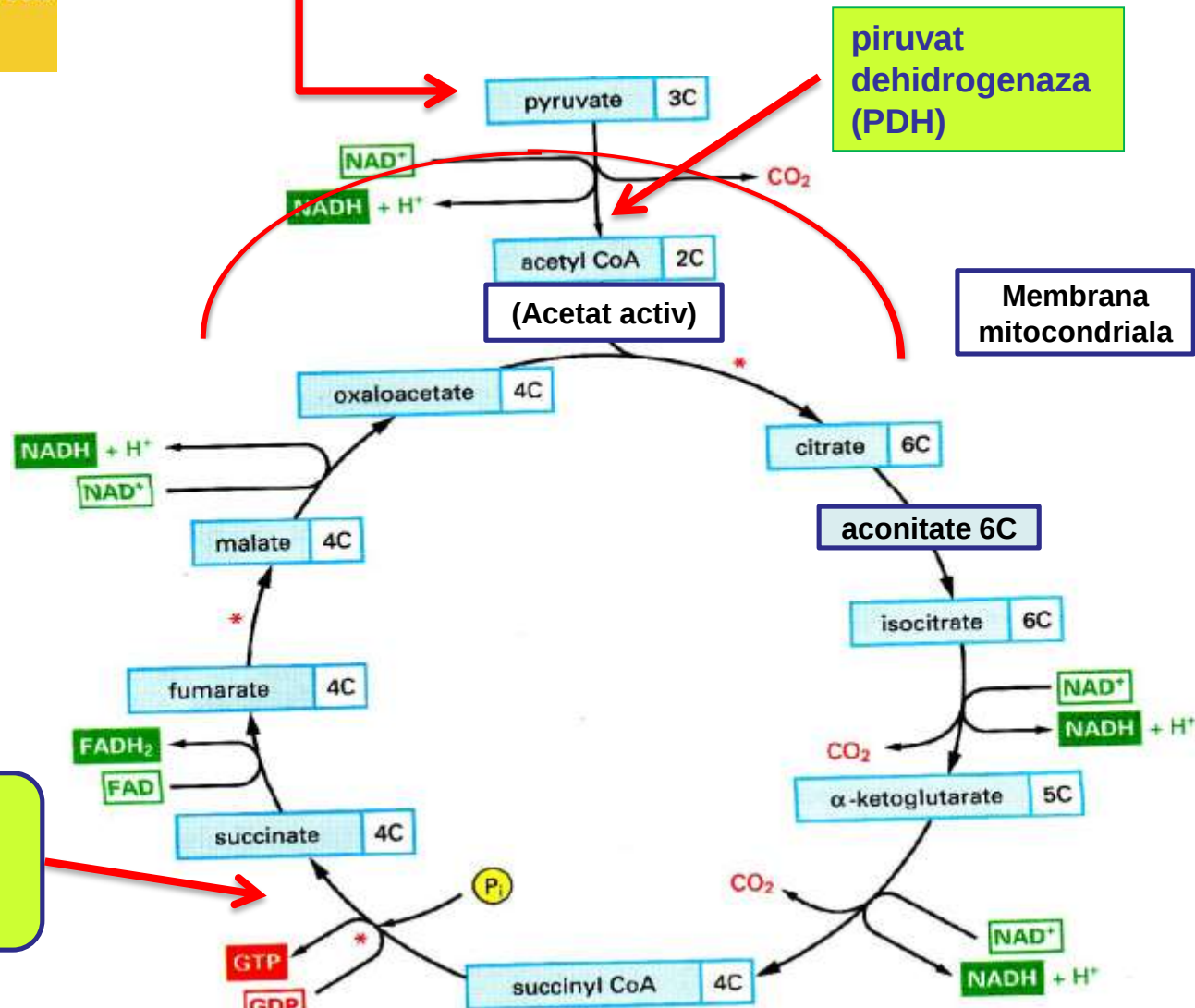
- **Ciclul Krebs-** de la numele cercetatorului **Hans Krebs**, care a elucidat aceasta secventa metabolica in 1936 (Premiul Nobel in 1953).
- Incepe cand acetil-CoA reactioneaza cu oxaloacetatul (OAA) si formeaza **acidul citric** care este un **acid tricarboxilic**, de aceea **Ciclul Krebs** este cunoscut si sub denumirea de **ciclul acidului citric** sau **ciclul acizilor tricarboxilici (TCA)**
- TCA este cale metabolica centrala a tuturor organismelor aerobe si reprezinta procesul final de degradare a nutrientilor (glucide, lipide si proteine)
- Are loc in mitocondrie
- Este o cale amfibolica (anabolica si catabolica)

1. Decarboxilarea oxidativa a piruvatului



Membrana mitocondriala permite traversarea piruvatului dar nu si a moleculei de actil-CoA. Piruvatul este transportat din citosol in mitocondrie unde sub influenta complexului multienzimatic al **piruvat dehidrogenazei (PDH)** este rapid convertit la actil-CoA, eliberand CO_2 .

Fosforilare la nivel de substrat



Complexul multienzimatic al piruvat-dehidrogenazei (PDH)

PDH catalizeaza reactii care servesc ca punct de interconectare a trei cai metabolice:

1. glicoliza,
2. gluconenogeneza si
3. biosinteza acizilor grasi

Complexul enzimatic PDH contine:

-3 enzime si coenzimele lor:

Piruvat dehidrogenaza cu coenzima **tiaminpirofosfat (TPP)**

Lipoil-reductaz-trans acetilaza cu coenzima **acidul lipoic**

Dihidro-lipoil-dehidrogenaza cu coenzima **Flavin-Adenin-Dinucleotid (FAD)**

-2 coenzime care actioneaza de sine statatoare: **CoA-SH** si **Nicotinamid-Adenin-Dinucleotid (NAD⁺)**, forma oxidata

-2 proteine de reglare (kinaze si fosfataze), care au rolul de a stopa reactia atunci cand creste nivelul de ATP in sistem

Patobiochimie

Tiaminpirofosfatul (TPP) este forma activă a vitaminei B1 (tiamina).

În avitaminoza B1 nu se poate produce reacția de *decarboxilare oxidativă a piruvatului* ceea ce duce la o acumulare a piruvatului la nivelul creierului ducând la encefalopatie (sindrom Wernicke-Korsakoff).

Reactia globala a TCA



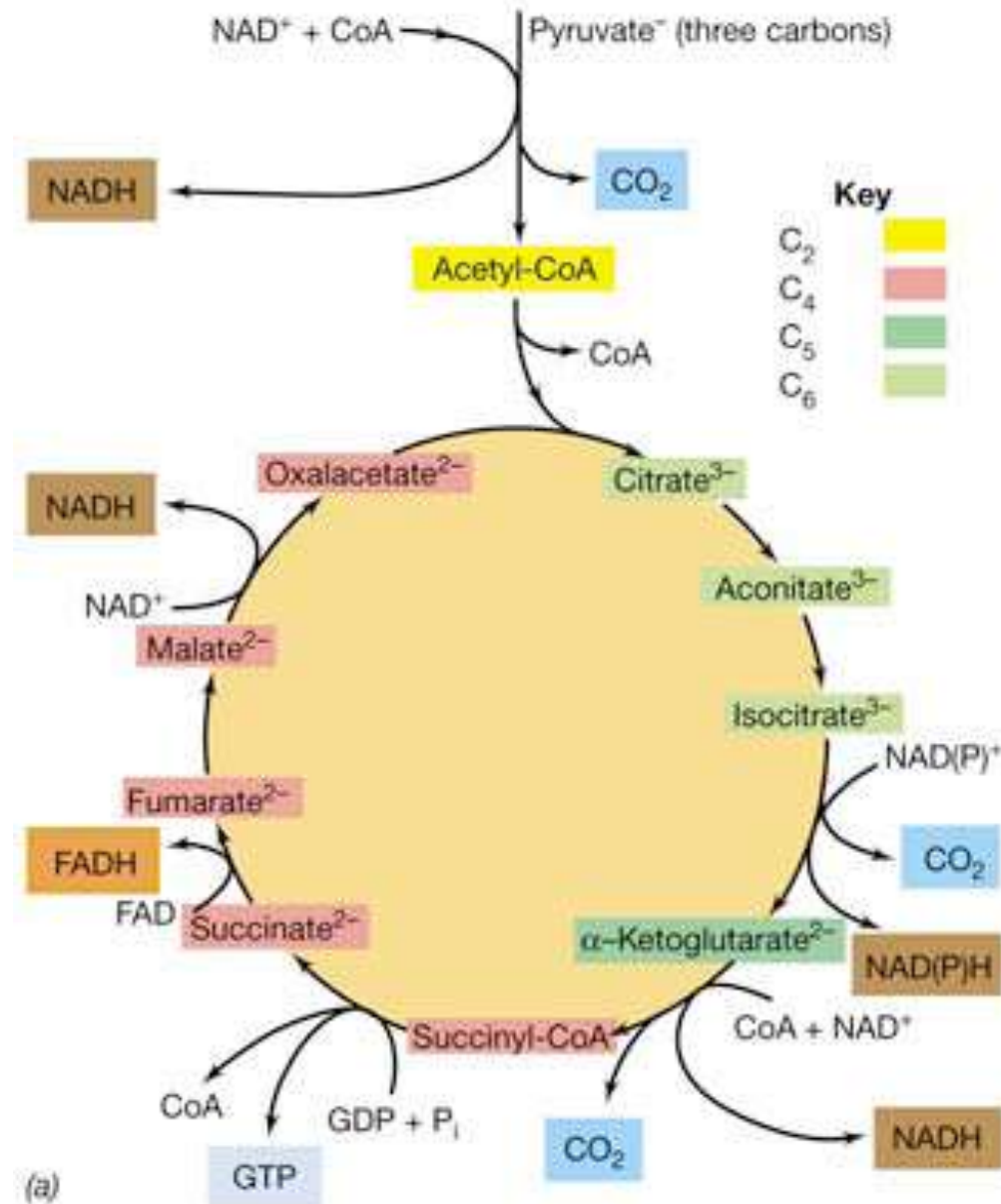
• Pentru fiecare molecula de acetyl-CoA care se oxidează, un ciclu TCA generează:

- 2 molecule de CO₂
- 3 molecule de NADH
- o molecula de FADH₂
- o molecula de GTP

• TCA nu este un proces de generare de energie prin ATP, deoarece se obtine un singur mol ATP

• Aportul cel mai mare adus de TCA este **alimentarea lantului respirator cu H**

• furnizează **precursori** pentru biosinteza



2. Lantul transportorilor de hidrogen si electroni

1. Reprezinta mecanismul biochimic de transfer al **echivalentilor reductori** (**protonii (H^+) si electronii (e^-)**), de la coenzimele reduse catre oxigen, intr-o succesiune de reactii redox, care au ca produs final apa si eliberare de energie
2. Se desfasoară la toate organismele aerobe si in toate celulele care contin **mitocondrii** (exceptie eritrocitele)
3. Componentele lantului respirator sunt situate in membrana mitocondriala interna, in ordinea crescatoare a **potentialelor perechilor lor redox**.
4. Succesiunea acestor componente este foarte bine determinată, ele fiind asamblate în **complexe moleculare**.

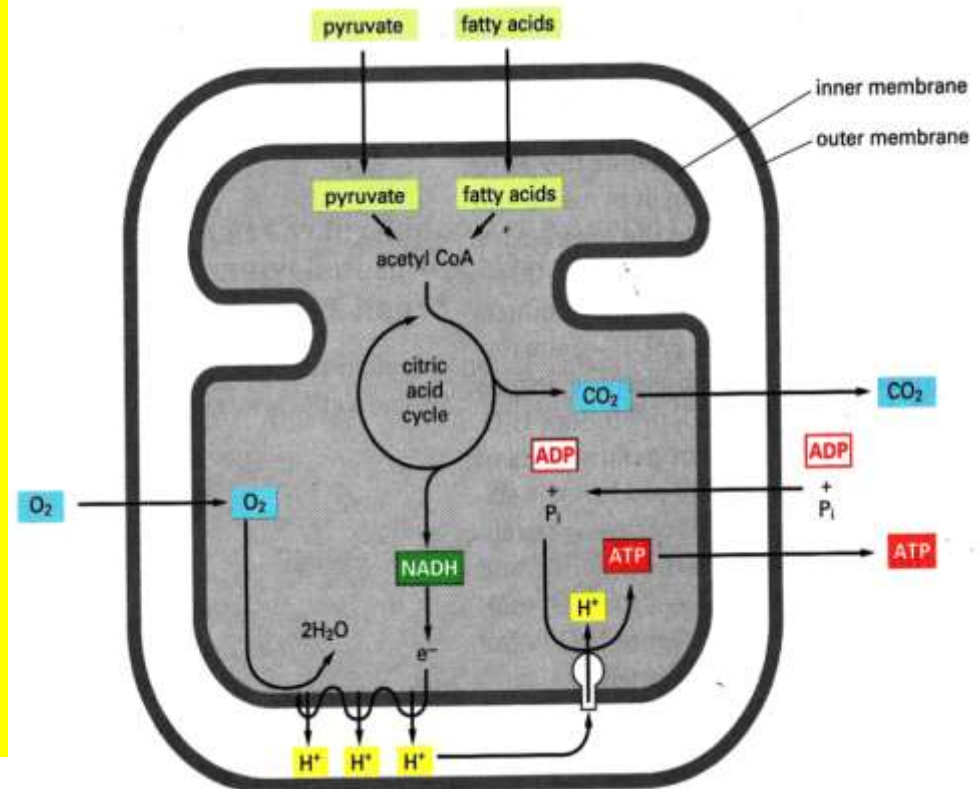
Totalitatea reactiilor de oxido-reducere in urma carora hidrogenul este oxidat, cu formare de apa si generare de energie

În cadrul procesul de formare a apei în celulă, cele două elemente (H_2 și O_2) trebuie să fie activate.

Activarea are loc prin transformarea în ioni:

$2 H - 2 \bar{e} = 2 H^+$, reacție de oxidare

$\frac{1}{2} O_2 + 2 \bar{e} = O^{2-}$, reacție de reducere



Componentele lantului respirator

Lantul respirator este format din urmatoarele clase de molecule

- Coenzima Q sau Ubichinona
- Citocromi
- Proteinele fier-sulf
- Flavoproteine

Acete componente au fost grupate in:

1. Complexe moleculare ale lantului respirator care leaga lantul respirator de fosforilarea oxidativa:

- **Complex I, II, III, IV**

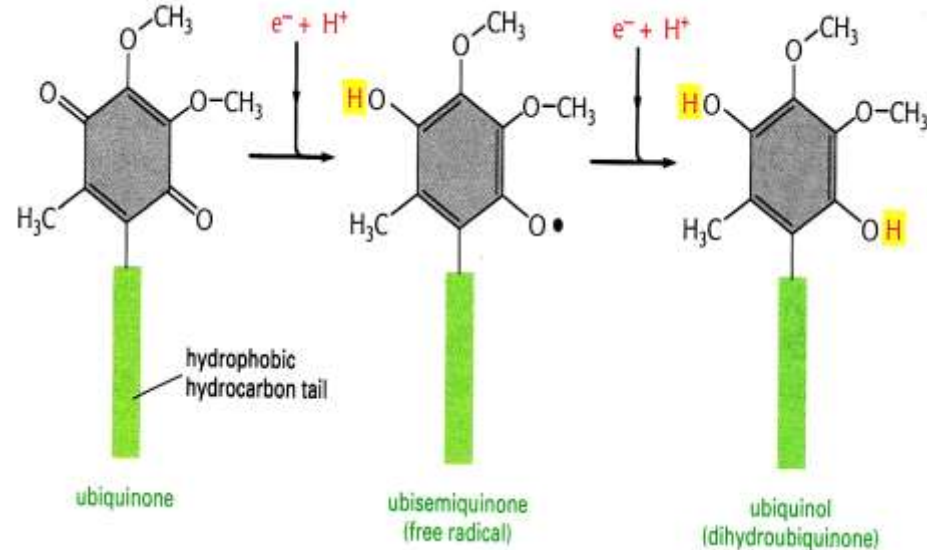
2. Molecule de legatur intre complexe moleculare ale lantului respirator

- **Coenzima Q sau Ubichinona**
- **Citocromul c**

3. Factor de cuplare F1: proteina complexa care intra in componenta ATP sintetazei

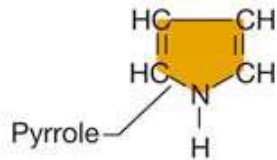
Coenzima Q sau Ubichinona

- Are structura asemanatoare vitaminei K
- Este o chinona legata de un lant hidrofobic cu ajutorul caruia este inserata in stratul lipidic al membranei mitocondriale
- Lantul hidrofobic contine 6 pana la 10 unitati izoprenice
- In celulele umane CoQ contine 10 unitati izoprenice si se noteaza CoQ₁₀

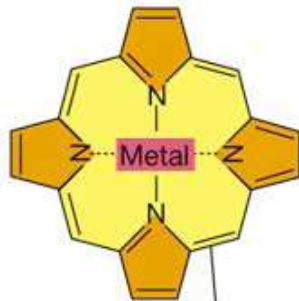


Citocromii

- Sunt reprezentati de o familie de proteine colorate care au in componenta lor gruparea hem
- Exista 4 tipuri de citocromi in lantul respirator
- Gruparile hem sunt diferite in cele 4 tipuri de citocromi, dand fiecarui citocrom afinitate diferita fata de electron

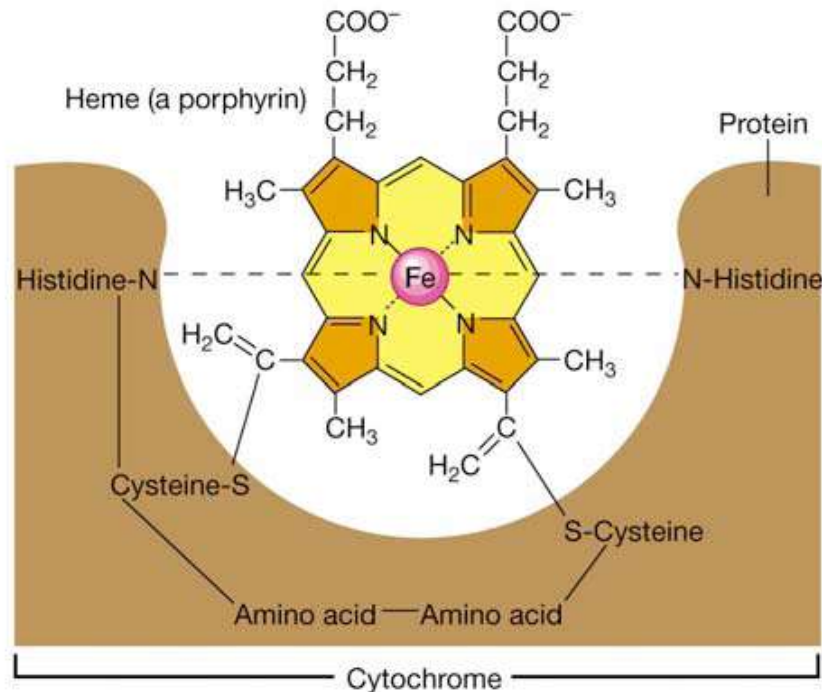


(a)



Porphyrin
(a tetrapyrrole, $C_{20}H_{14}N_4$)

(b)



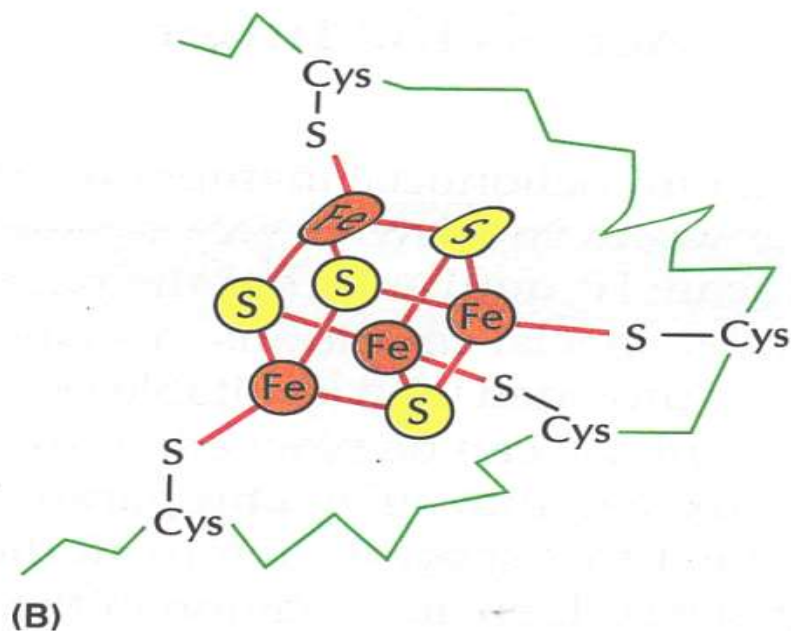
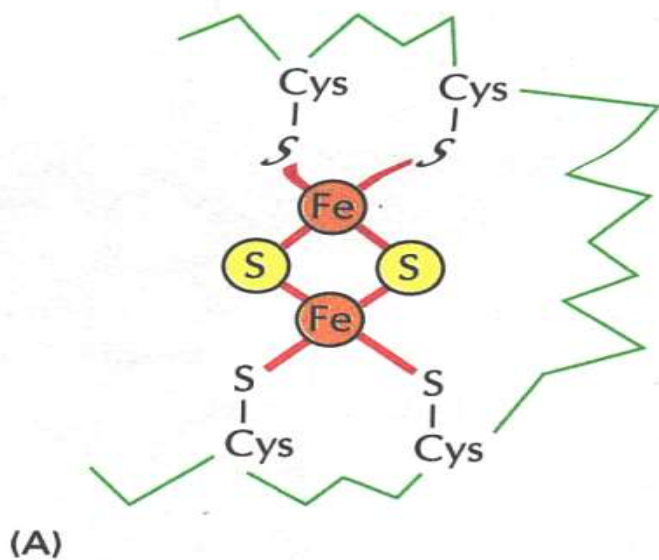
(c)

Citocrom c

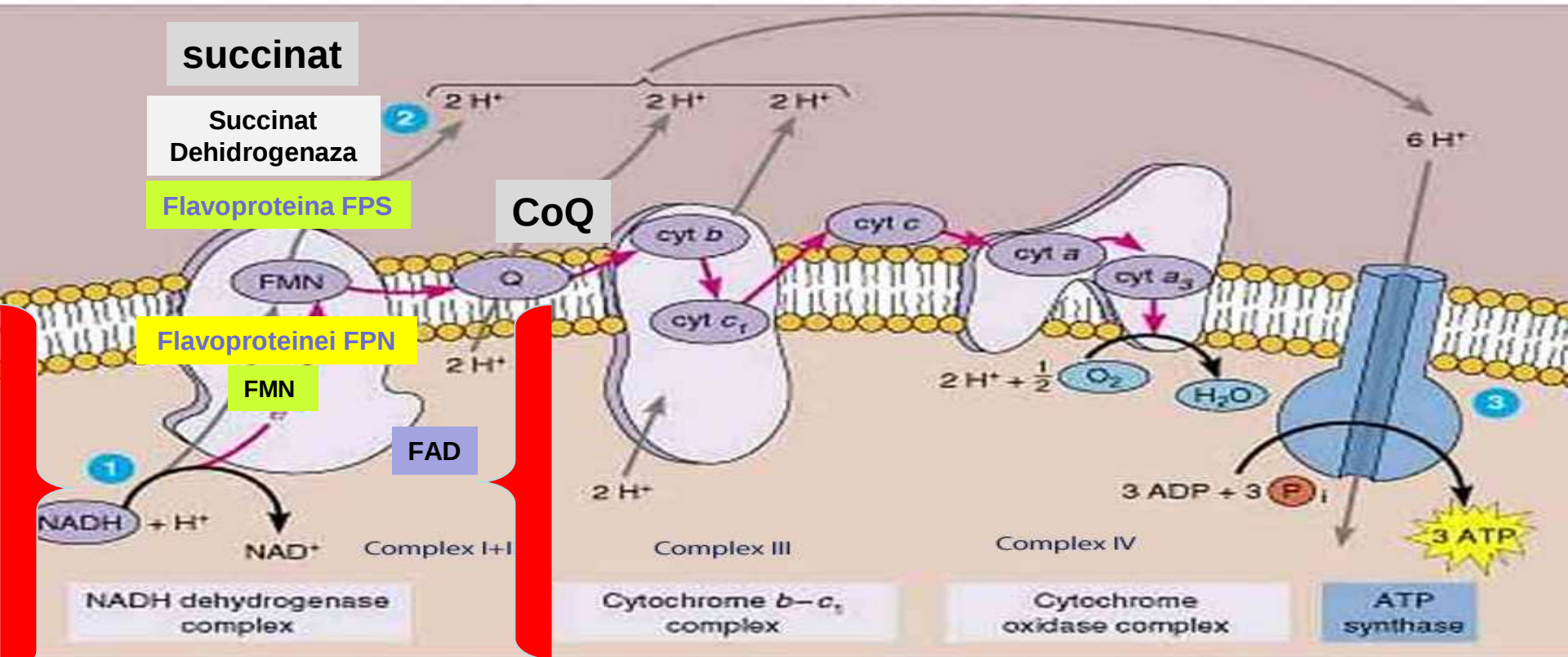


Proteinele fier-sulf

- Se presupune ca exista 7 centrii **fier-sulf** diferiti, inclusi in proteinele care participa in lantul respirator
 - Patru localizate in complexul NADH-dehidrogenazei,
 - Doua asociate cu citocromul b
 - Unul asociat cu citocromului c_1



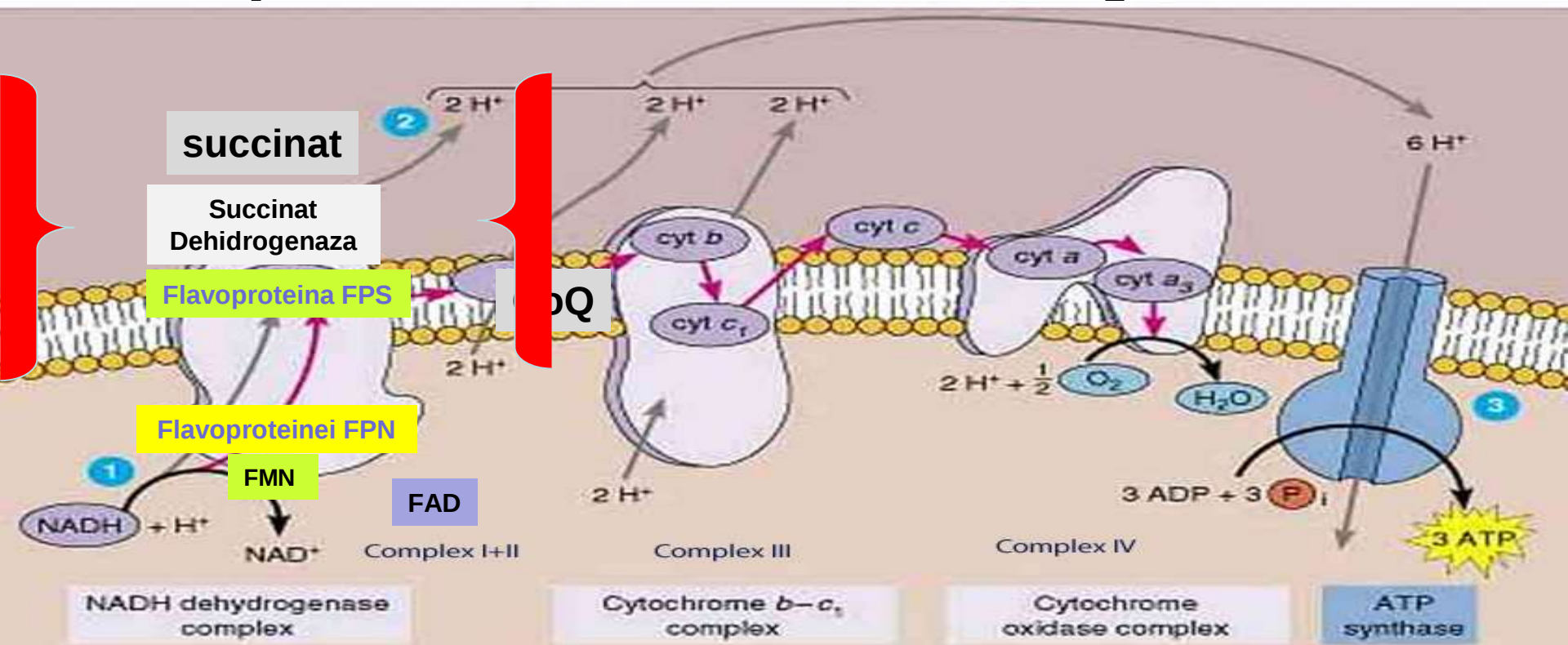
Complexul I sau NADH-coenzima Q reductaza sau NADH-dehidrogenaza



Complex I

- Are funcția de a transfera H⁺ și electronii de la **NADH** la CoQ
- Transferul de H⁺ și electroni se realizează cu ajutorul **NADH Dehidrogenazei** sau **Flavoproteinei FPN**, care participă în reacția de dehidrogenare a NADH, având coenzima **Flavin mononucleotid** (FMN)

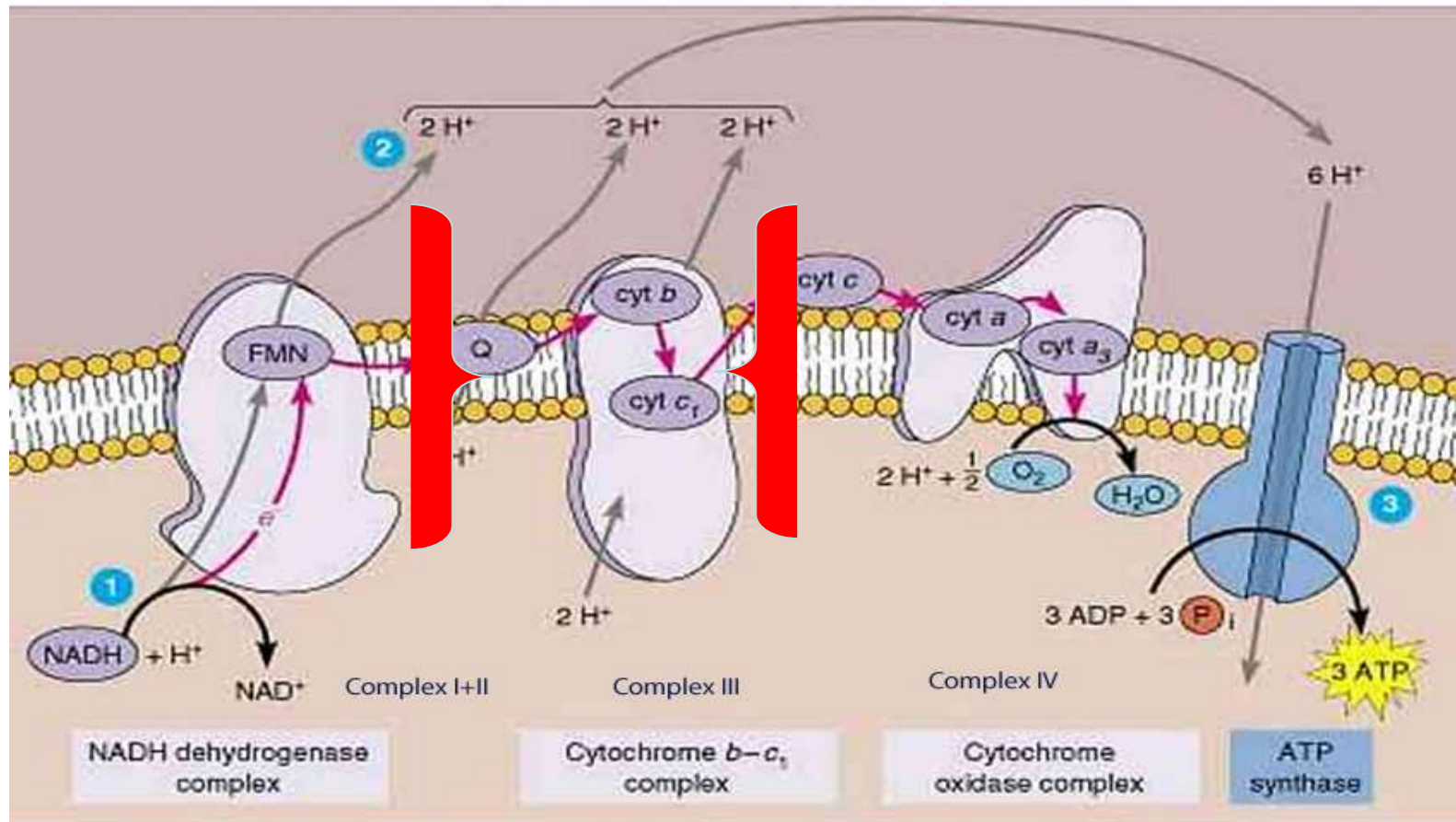
Complexul II sau succinat –CoQ reductaza



Complex II

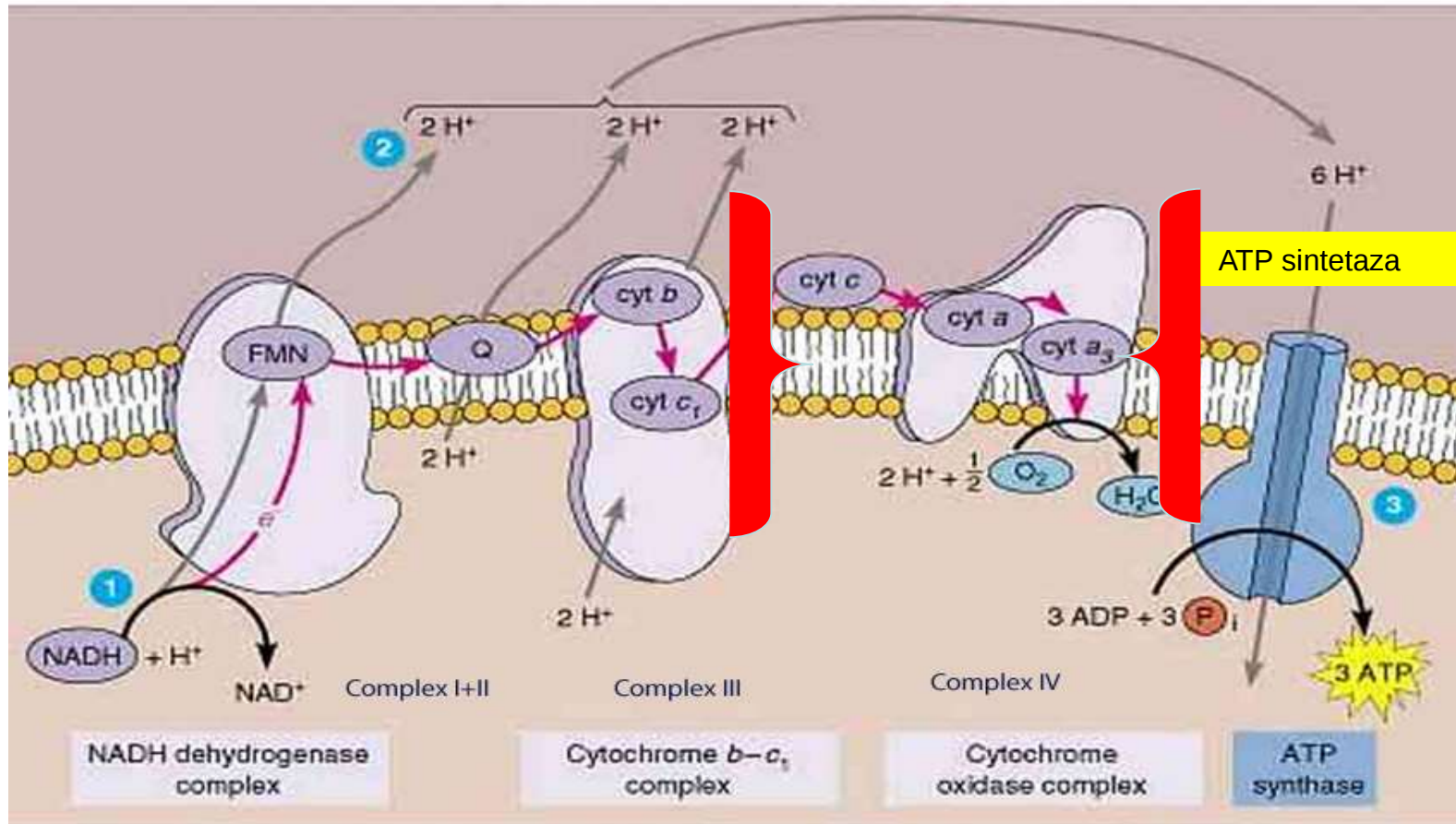
- Are funcția de a transfera H⁺ și electronii de la **succinat** la CoQ
- Transferul de H⁺ și electronii se realizează cu ajutorul **Succinat Dehidrogenazei** sau **Flavoproteinei FPS**, care participă în reacția de dehidrogenare a acidului succinic, având coenzima **Flavin-Adenin-Dinucleotid** (FAD)

Complexul III sau CoQ-citocrom b-c1



- Are functia de a transfera H⁺ si electronii de la CoQ la citocrom c

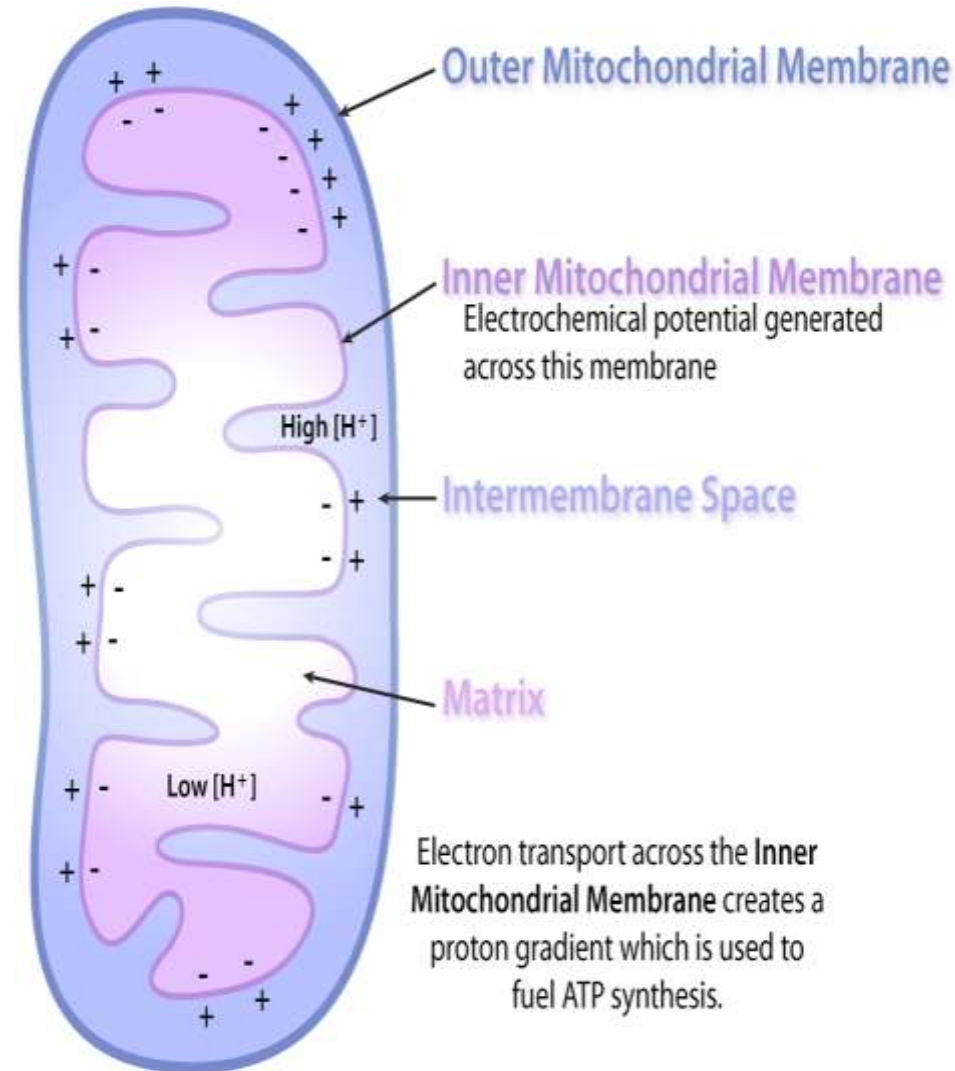
Complexul IV sau citocrom oxidaza sau complexul citocrom aa3



- Accepta electroni de la citocrom c si ii transfera la citocrom a-a₃ si mai departe oxigenului, cu formare de apa

3. Fosforilarea oxidativa

- Prin reactiile de oxidare a NADH si FADH₂ se produce reactia de reduce oxigenului cu formare de apa si se elibereaza energie si protoni.
- Energia eliberata din formarea apei este utilizata pentru expulzarea protonilor din matricea mitocondriala in spatiul intermembrantar, cu formarea unui gradient electric care, cu ajutorul ATP sintetazei (gradientul de protoni pune in functiune ATP sintetaza), impinge electronii inapoi in mitocondrie (lantul respirator) si in final se obtine ATP (fosforilarea oxidativa).

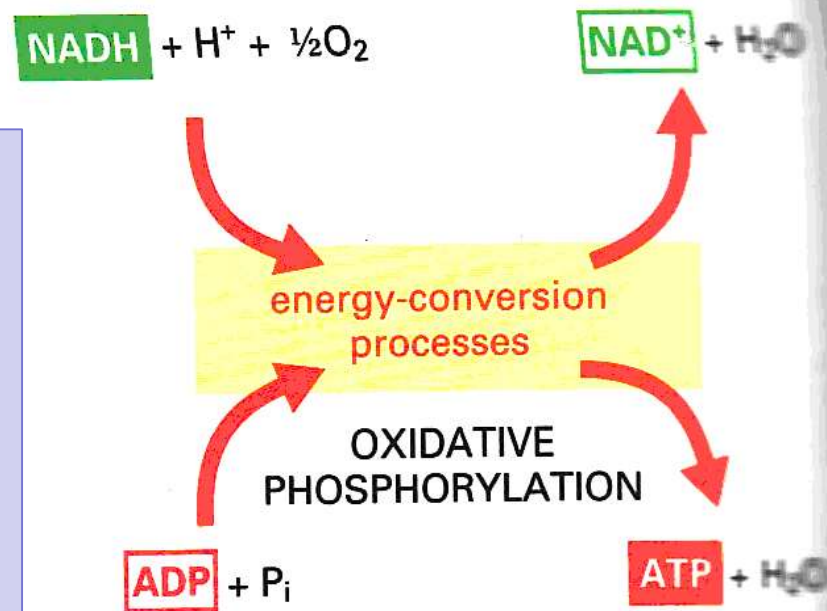


3. Fosforilarea oxidativa

-Formarea apei este însoțită de o mare degajare de energie care se eliberează treptat și este încorporată sub formă de energie chimică în legăturile macroergice ale ATP.

-ATP se formează din ADP și fosfat anorganic:
 $\text{ADP} + \text{P}_a = \text{ATP}$

-Formarea ATP se numește **fosforilare oxidativă**.



- Fosforilarea oxidativă este ultimul stadiu al catabolismului și reprezintă momentul în care majoritatea energiei metabolice este eliberată
- O mare parte din energia eliberată este utilizată pentru formarea de ATP
- Restul energiei este eliminată în mediu sub formă de căldură

Lantul respirator și fosforilarea oxidativă sunt două procese care au loc simultan, de aceea se folosește termenul de “**cuplarea**” catenei de respirație cu fosforilarea oxidativă.

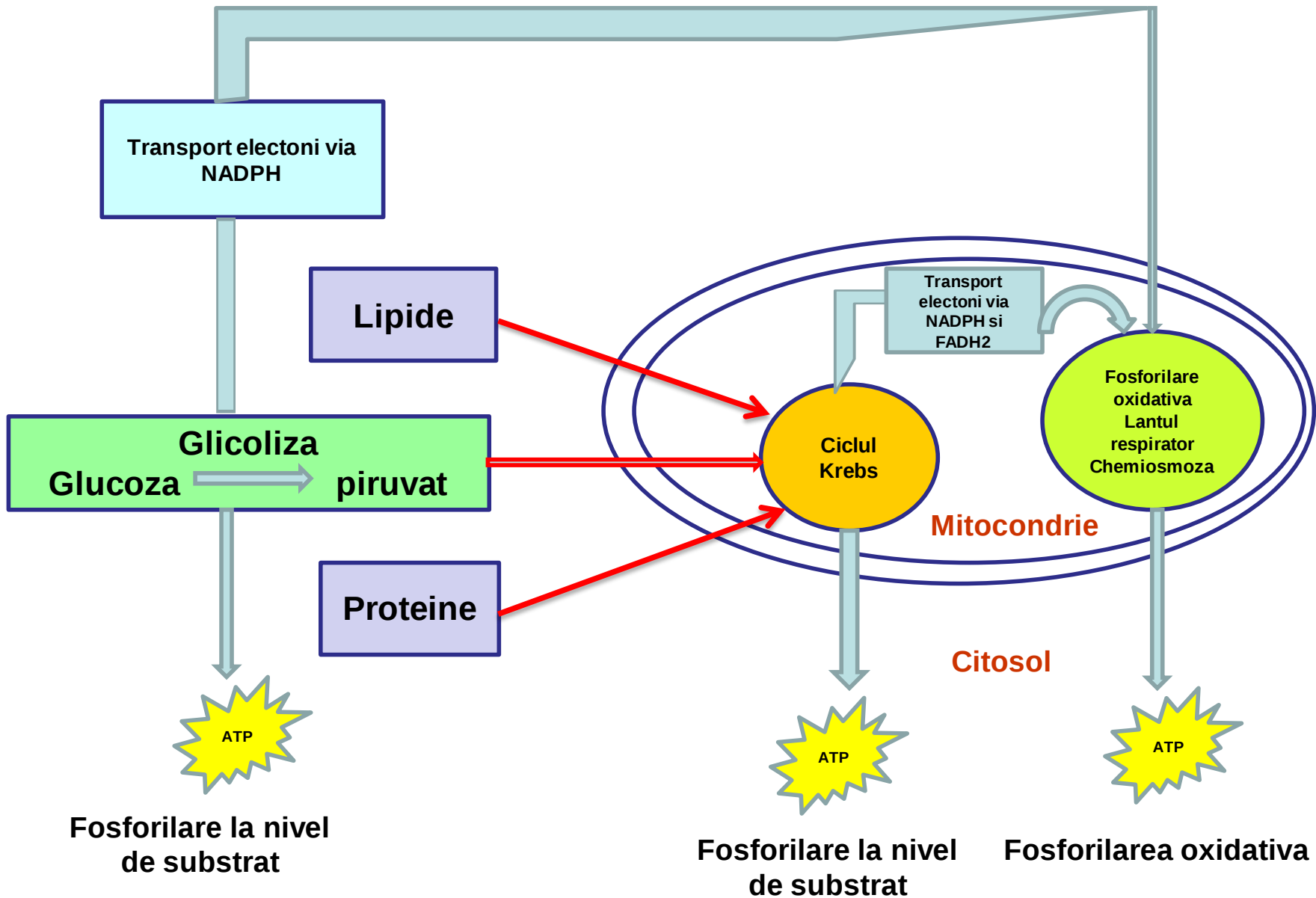
Cele două procese pot decurge și separat (sunt decuplate), dar în acest caz energia rezultată la formarea apei se pierde sub formă de energie termică, nefiind avantajos pentru organism.

Decuplarea catenei de respirație de fosforilarea oxidativă explică supraviețuirea animalelor care hibernează pe timp de iarnă.

Decuplanți ai fosforilării oxidative de catena de respirație: agenții capabili să stopeze utilizarea energiei eliberate în catena de respirație pentru fosforilarea ADP

Decuplanți naturali : **tiroxina, 2,4 -dinitrofenolul**

Sinteza a ATP



Utilizarea ATP

- Procesele consumatoare de energie din organism sunt următoarele:
- **-Lucru chimic:** sinteza moleculelor biologice complexe
- **-Lucru osmotic sau de concentratie (transport activ)**
 - -absorbția nutrienților
 - -procese de eliminare a apei
 - -mecanisme de menținere a echilibrului ionic
- **-Lucru mecanic**
 - -contractia
 - -motilitate celulară

