

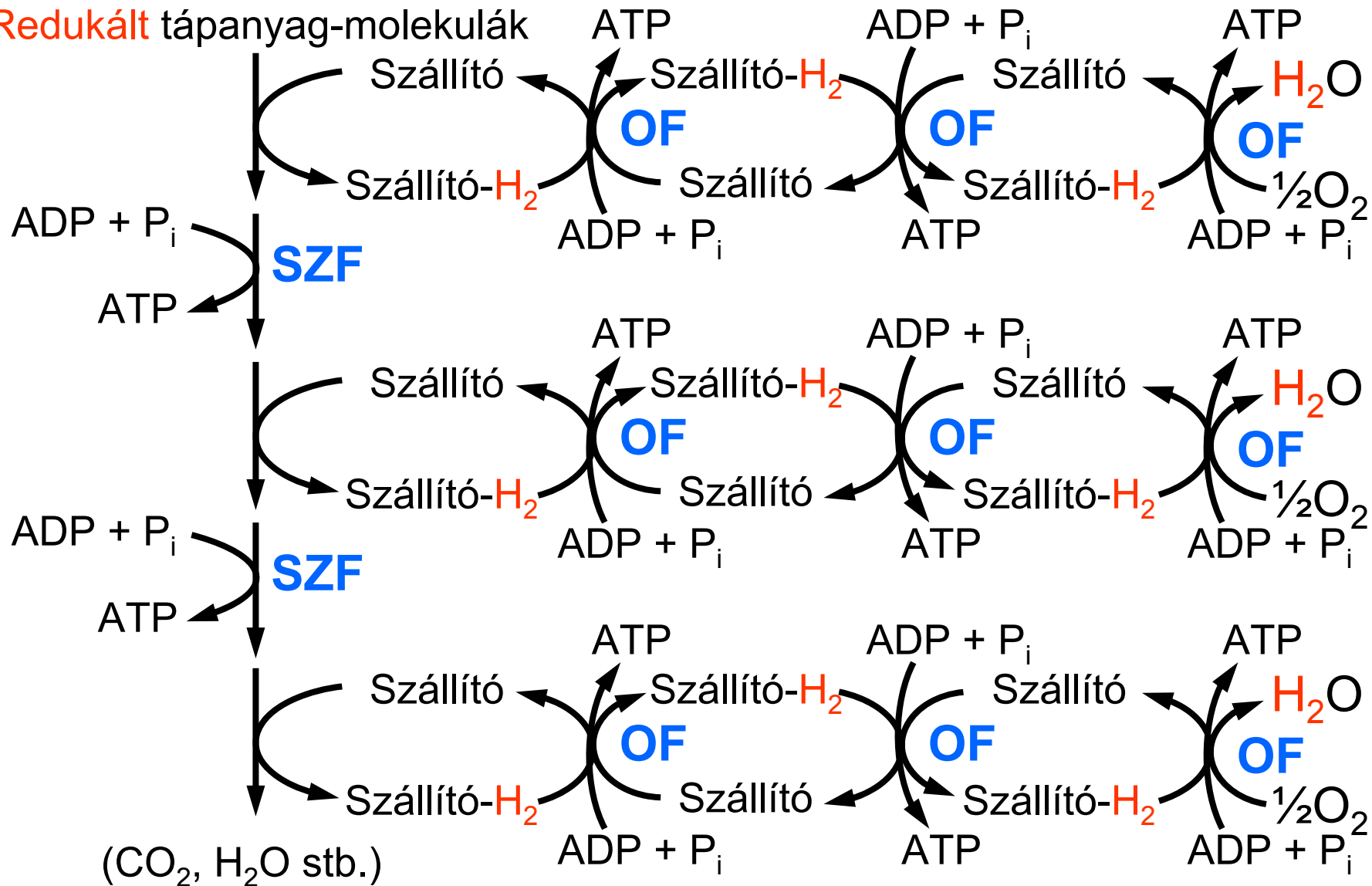
# Glikolízis

Csala Miklós

# Szubsztrát szintű (SZF) és oxidatív foszforiláció (OF)

## katabolizmus

Redukált tápanyag-molekulák



szénhidrátok

fehérjék

lipidek

glukóz

aminosavak

zsírsavak

glikolízis

piruvát

acil-KoA szintetáz

acil-KoA

citoszol

légz. lánc

piruvát

PDH

acetyl-KoA

$\beta$ -oxidáció

acil-KoA

citrát ciklus

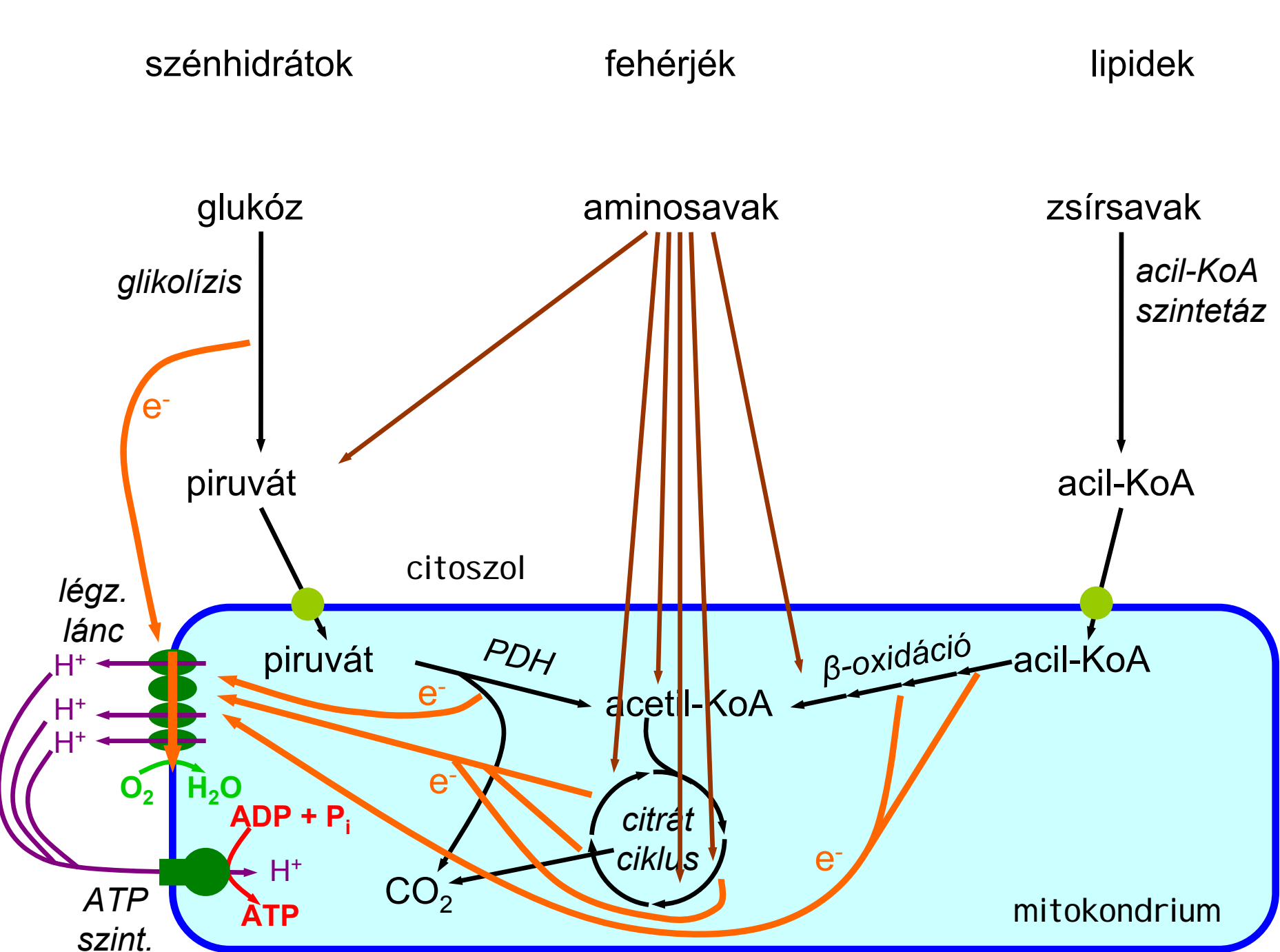
mitokondrium

ATP szint.

ADP + P<sub>i</sub>

ATP

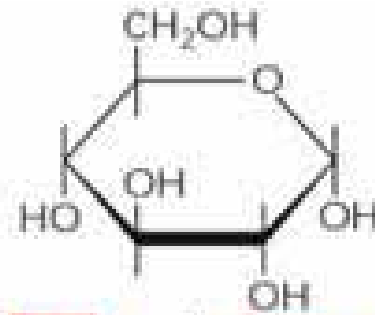
CO<sub>2</sub>



# Glikolízis

## 1. fázis

egy glukóz molekula

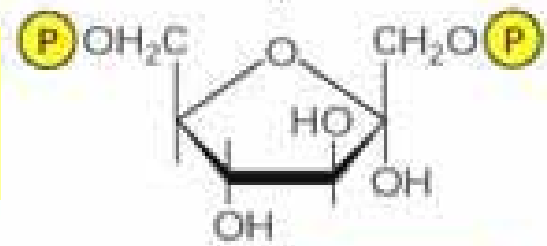


ATP → 1. lépés

↓ 2. lépés

ATP → 3. lépés

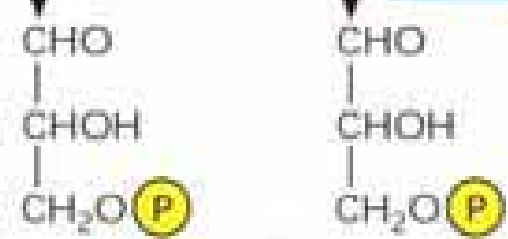
fruktóz-1,6-biszfoszfát



4. lépés

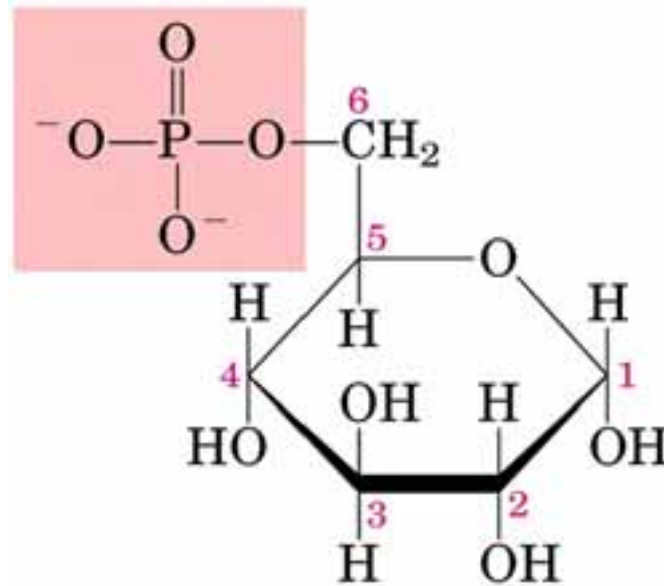
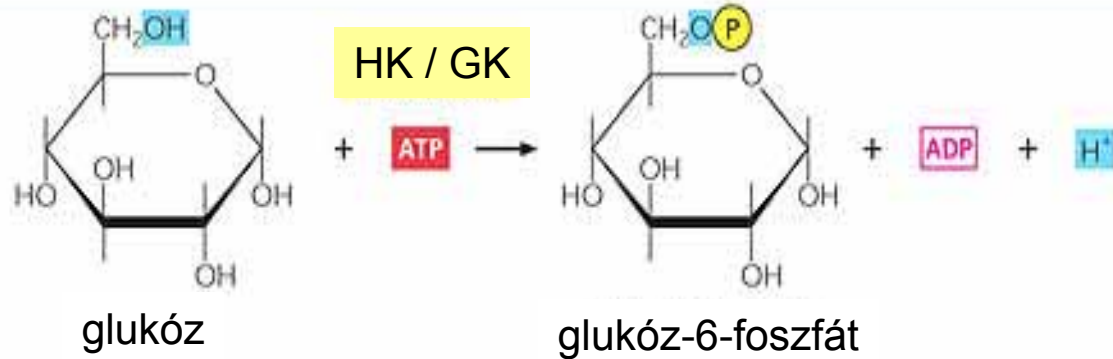
két gliceraldehid-3-foszfát molekula

5. lépés



# Hexokináz - glukokináz

A molekula csapdába ejtése a sejtben. A glukóz-felhasználás elkötelező lépése.

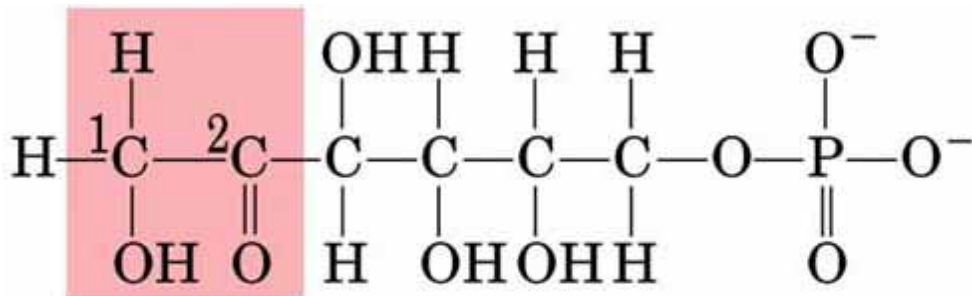
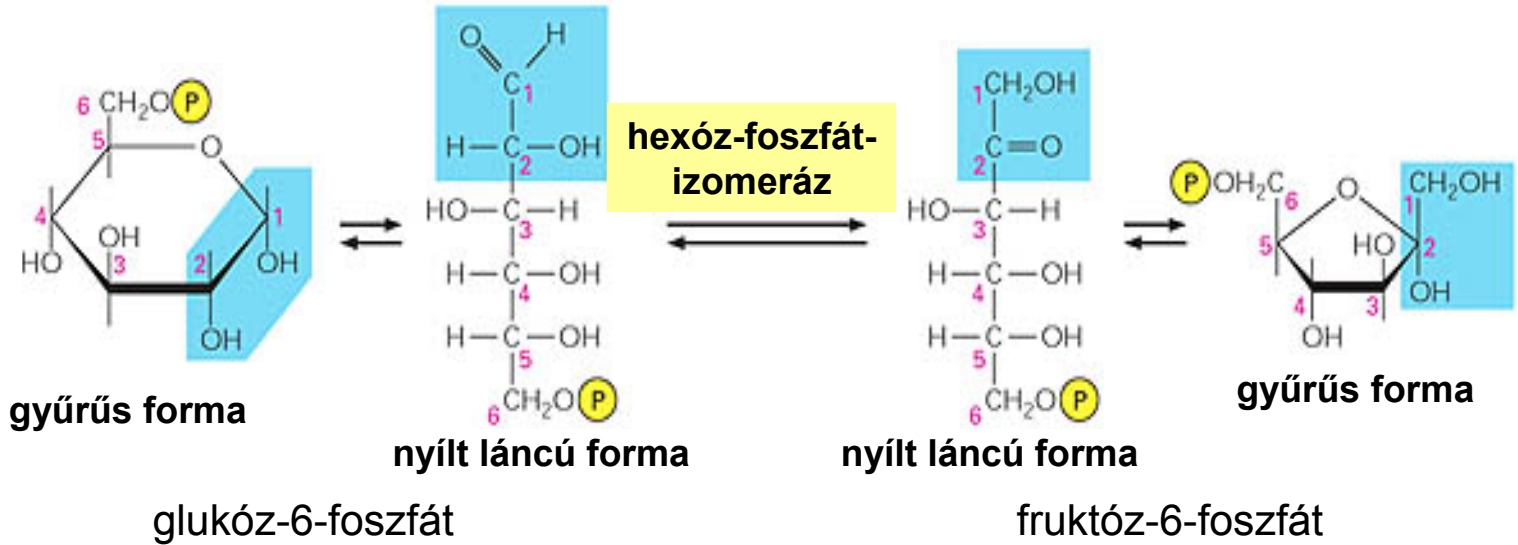


glukóz-6-foszfát

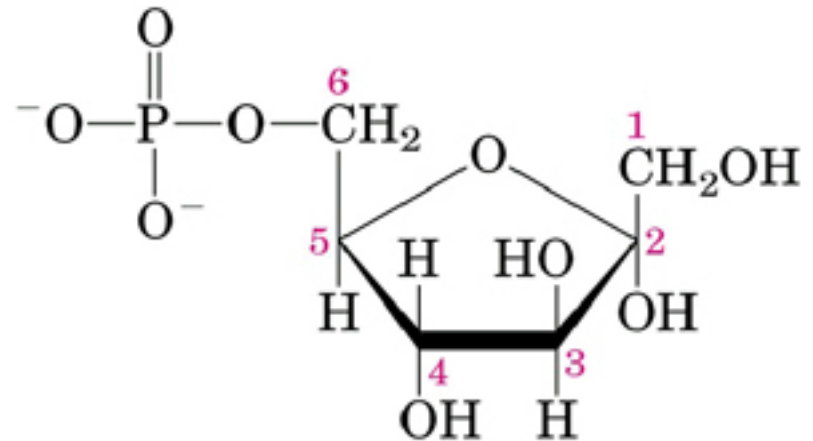
**IRREVERZIBILIS**

# Hexóz-foszfát-izomeráz

Reverzibilis  
aldóz-ketóz  
izomeráció.



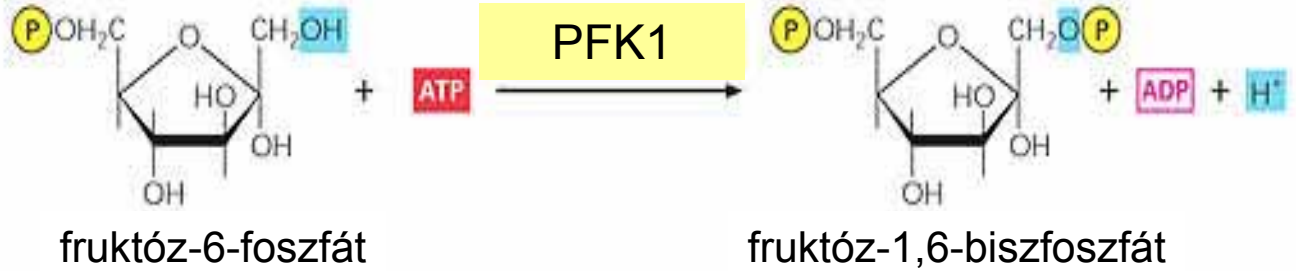
fruktóz-6-foszfát



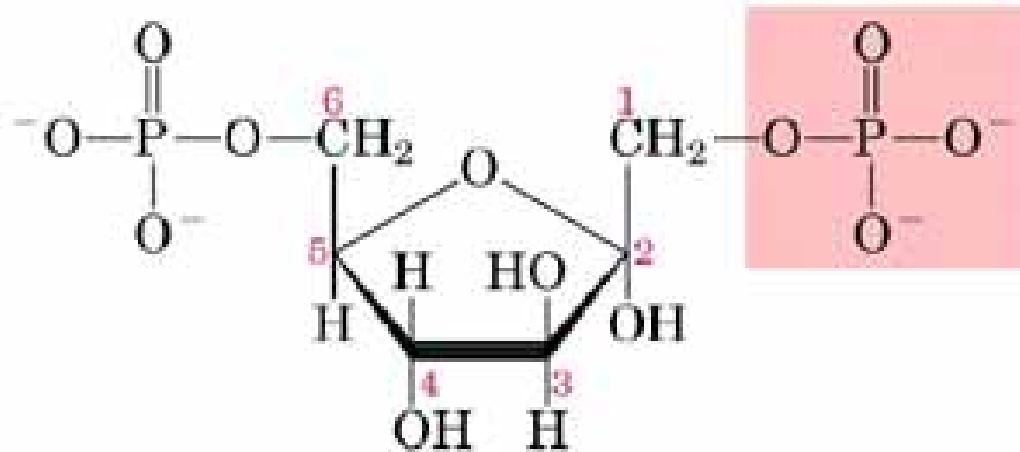
fruktóz-6-foszfát

# Foszfofruktokináz 1

Az újonnan képződött hidroxil csoport foszforilálása, két trióz-foszfát keletkezésének előkészítése. A glikolízis elkötelező lépése.



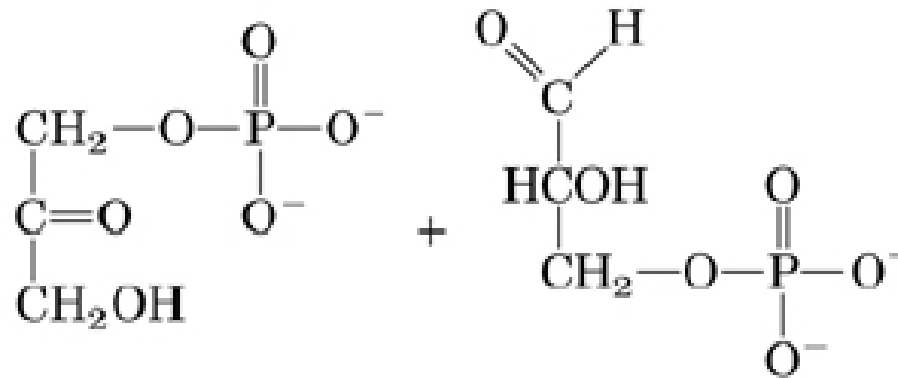
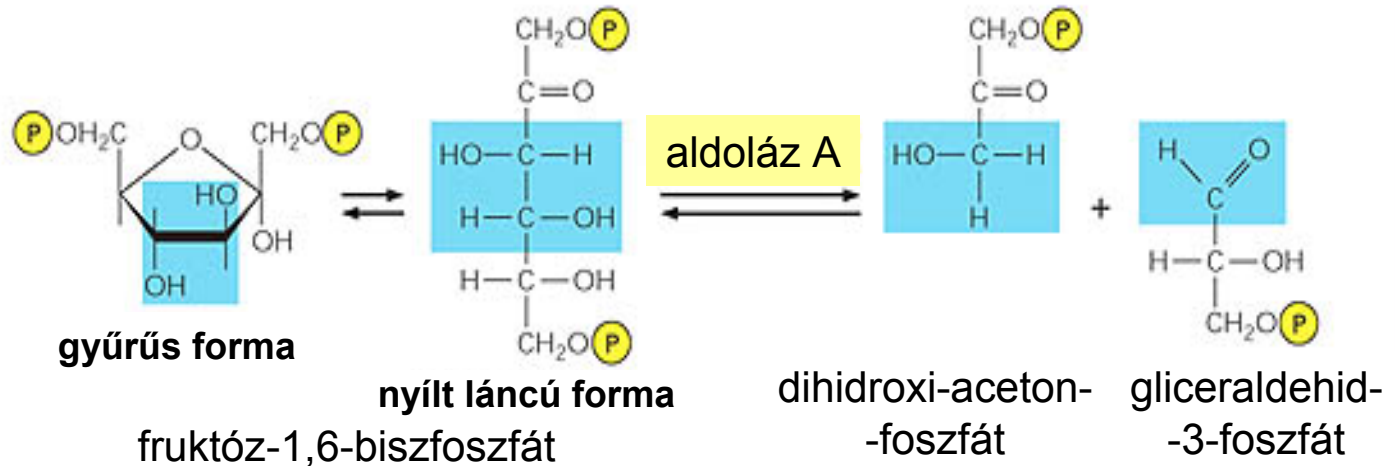
**IRREVERZIBILIS**



fruktóz-1,6-biszfoszfát

# Aldoláz A

A hexóz biszfoszfát reverzibilis hasítása két trióz foszfáttá. A gliceraldehid-3-foszfát már végterméke az első fázisnak, de a dihidroxi-aceton-foszfát még átalakítást igényel.



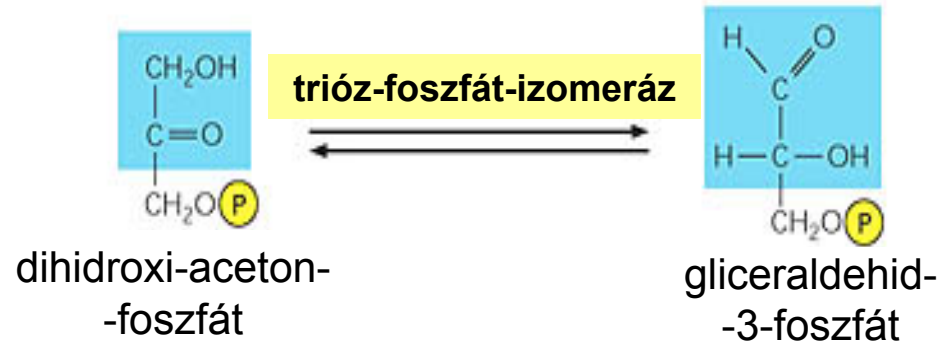
dihidroxi-aceton-foszfát

gliceraldehid-3-foszfát



# Trióz-foszfát-izomeráz

Reverzibilis  
aldóz-ketóz  
izomeráció.

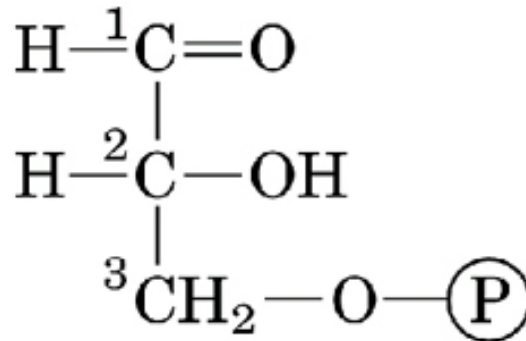


a fruktóz-1,6-biszfoszfát  
melyik szénatomjából

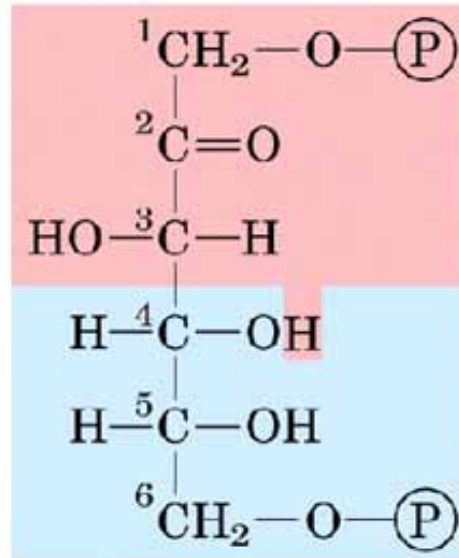
3 vagy 4

2 vagy 5

1 vagy 6

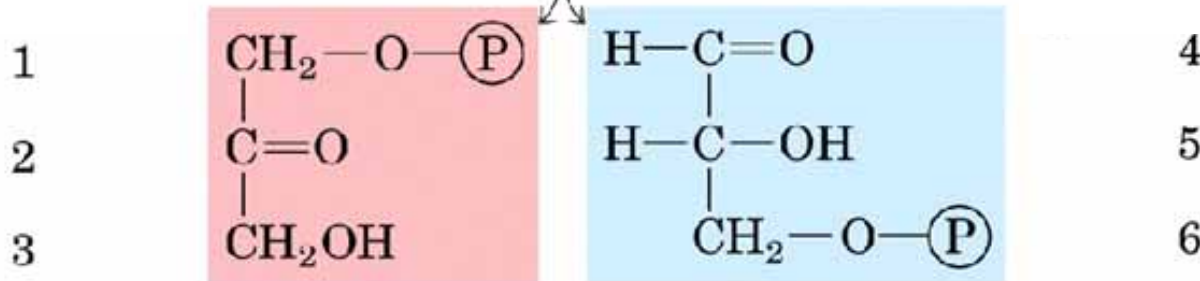


gliceraldehyd-  
-3-foszfát



fruktóz-1,6-biszfoszfát

aldoláz



dihidroxi-aceton-  
-foszfát

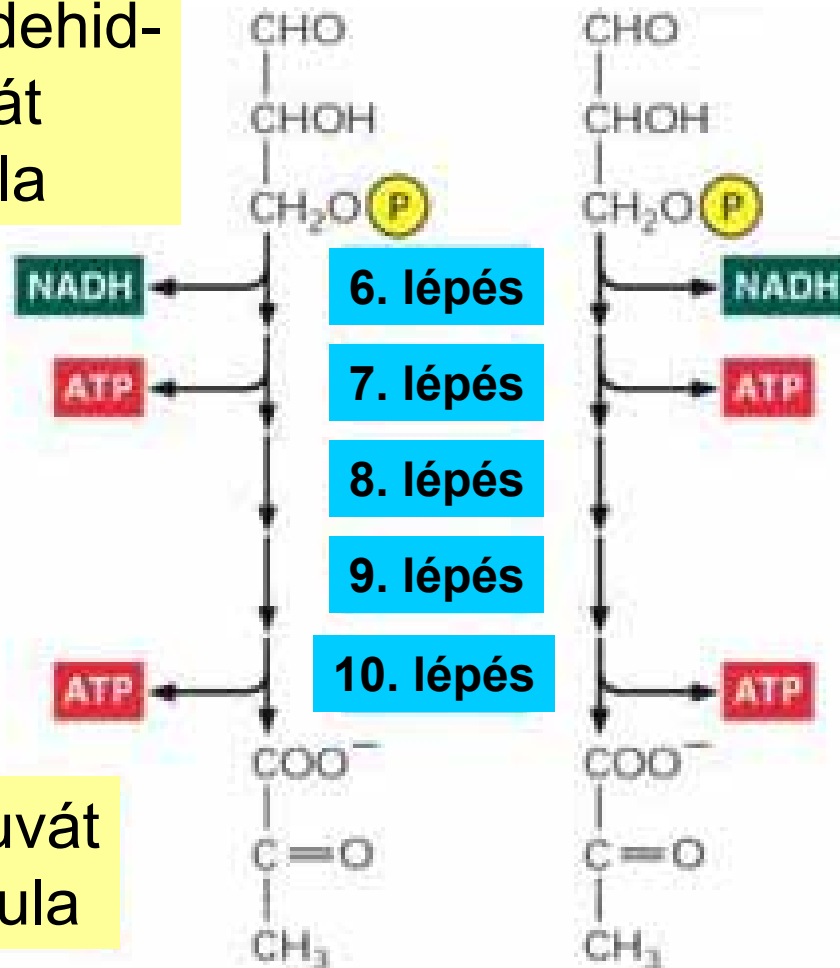
gliceraldehyd-  
-3-foszfát

trióz-foszfát-izomeráz

# Glikolízis

## 2. fázis

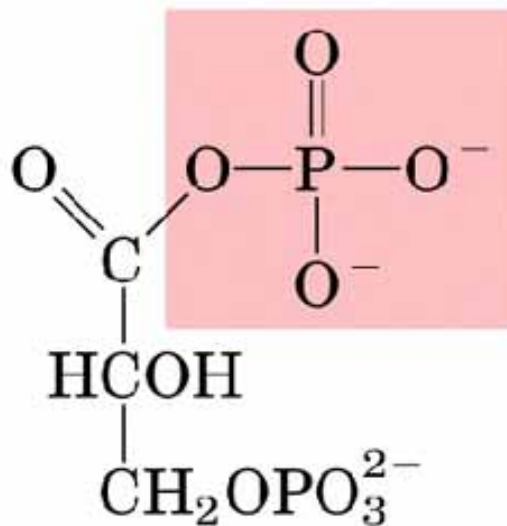
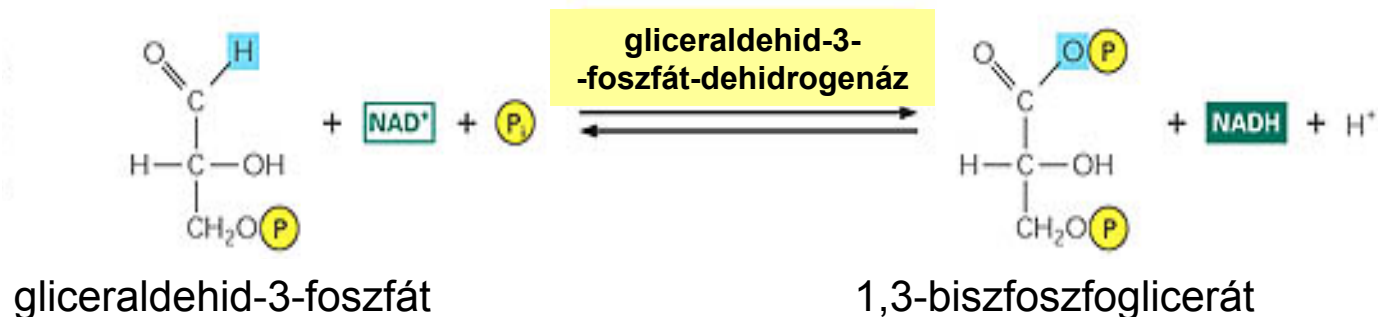
két gliceraldehid-3-foszfát molekula



két piruvát molekula

# Gliceraldehid-3-foszfát-dehidrogenáz

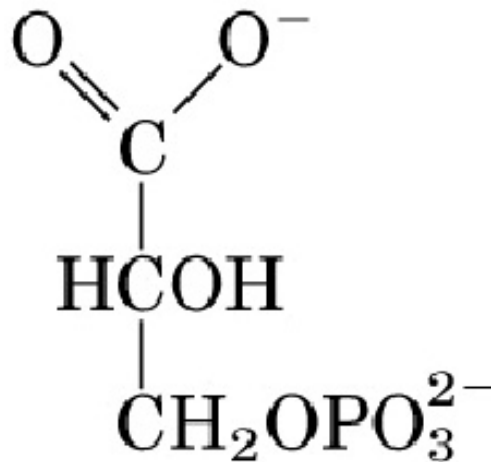
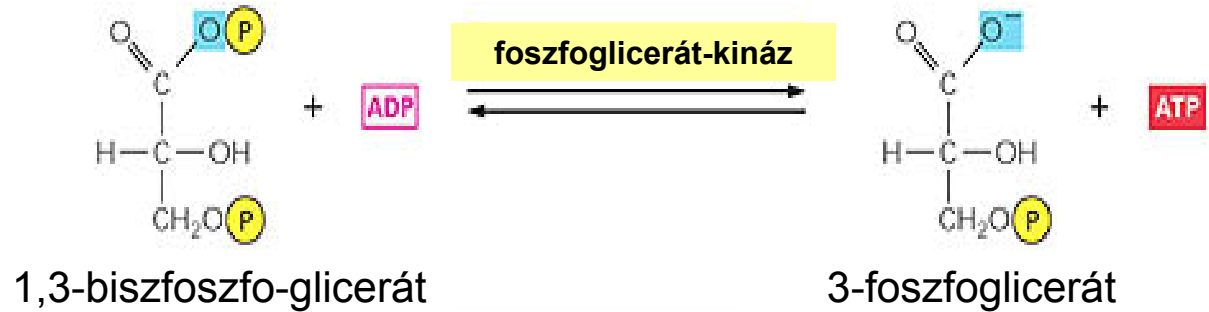
A spontán redox reakcióhoz kapcsoltn magas energiájú foszfát keletkezik. Szubsztrát szintű foszforiláció.



1,3-biszfoszfoglicerát

# Foszfoglicerát-kináz

A magas energiájú foszfát reverzibilisen ADP-re helyeződik át. Az enzim neve a fordított folyamatra utal.

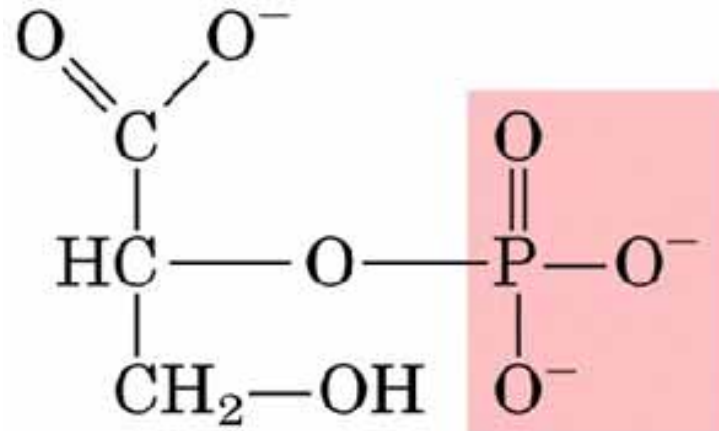
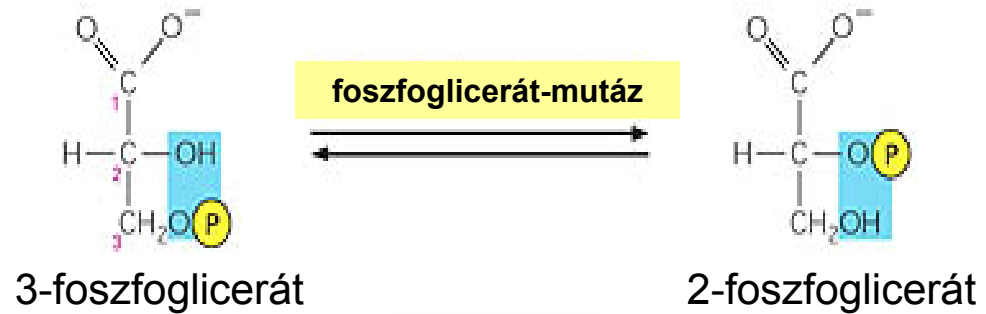


3-foszfoglicerát

szubsztrát szintű  
foszforiláció

# Foszfoglicerát-mutáz

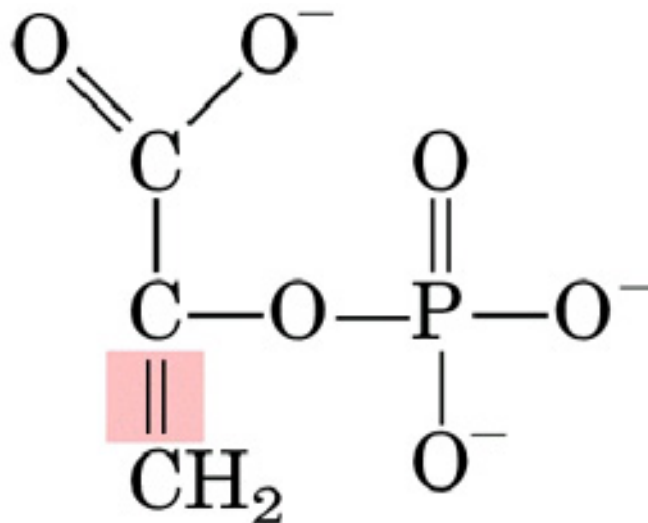
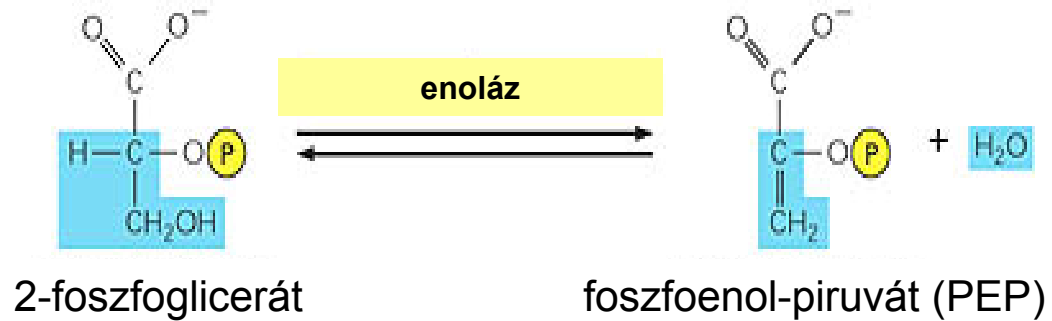
Alacsony energiájú foszfát-észter reverzibilis áthelyezése a molekulán belül (mutáció).



2-foszfoglicerát

# Enoláz

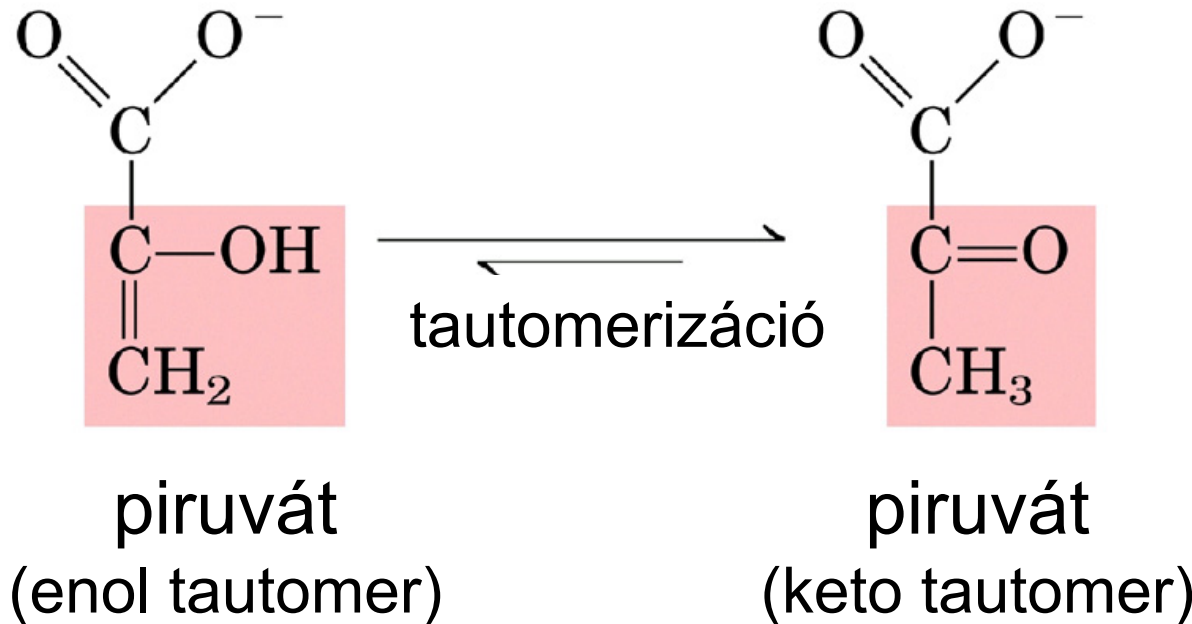
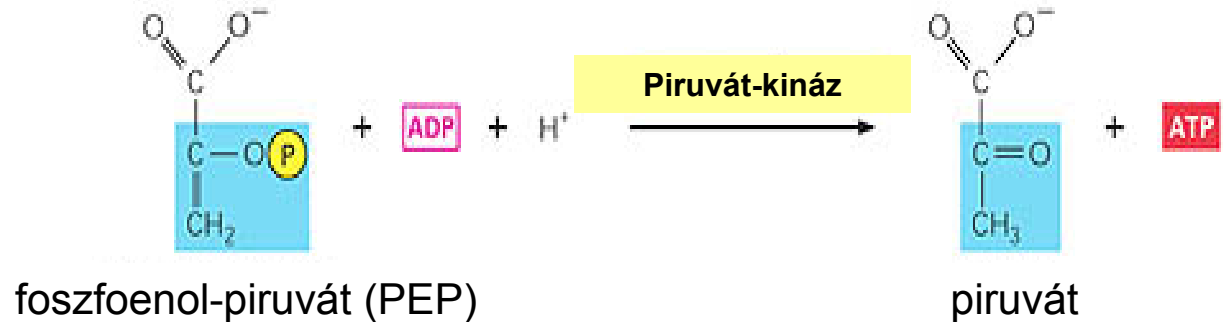
A vízkilépés hatására magas energiájú foszfoenol-észter keletkezik.



foszfoenol-piruvát (PEP)

# Piruvát-kináz

A magas energiájú foszfát irreverzibilisen ADP-re helyeződik át. Az enzim neve a fordított folyamatra utal.

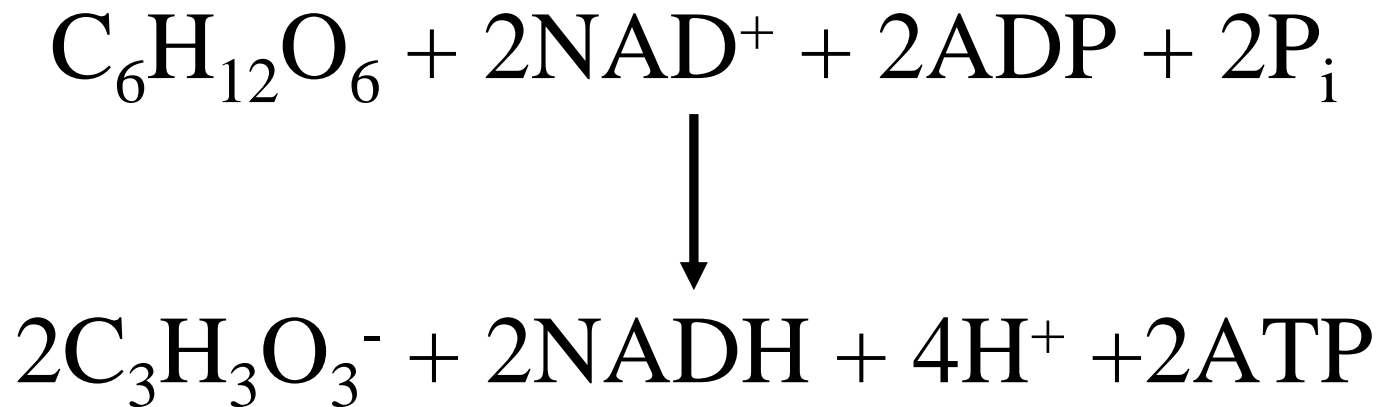
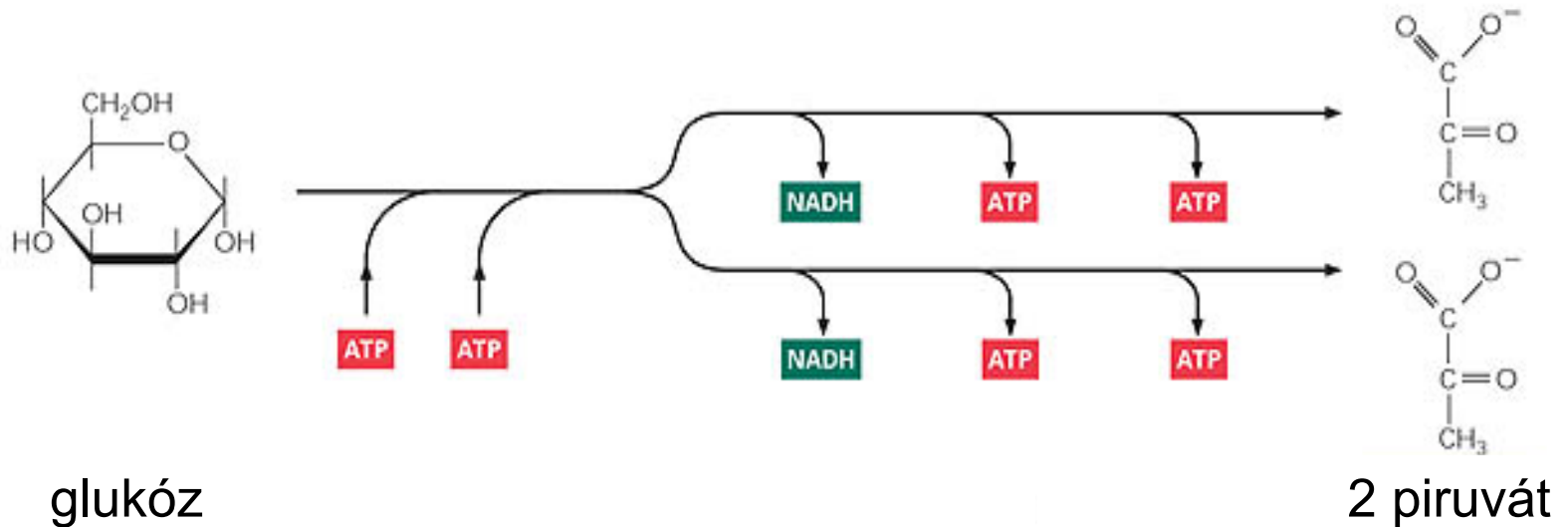


**IRREVERZIBILIS**

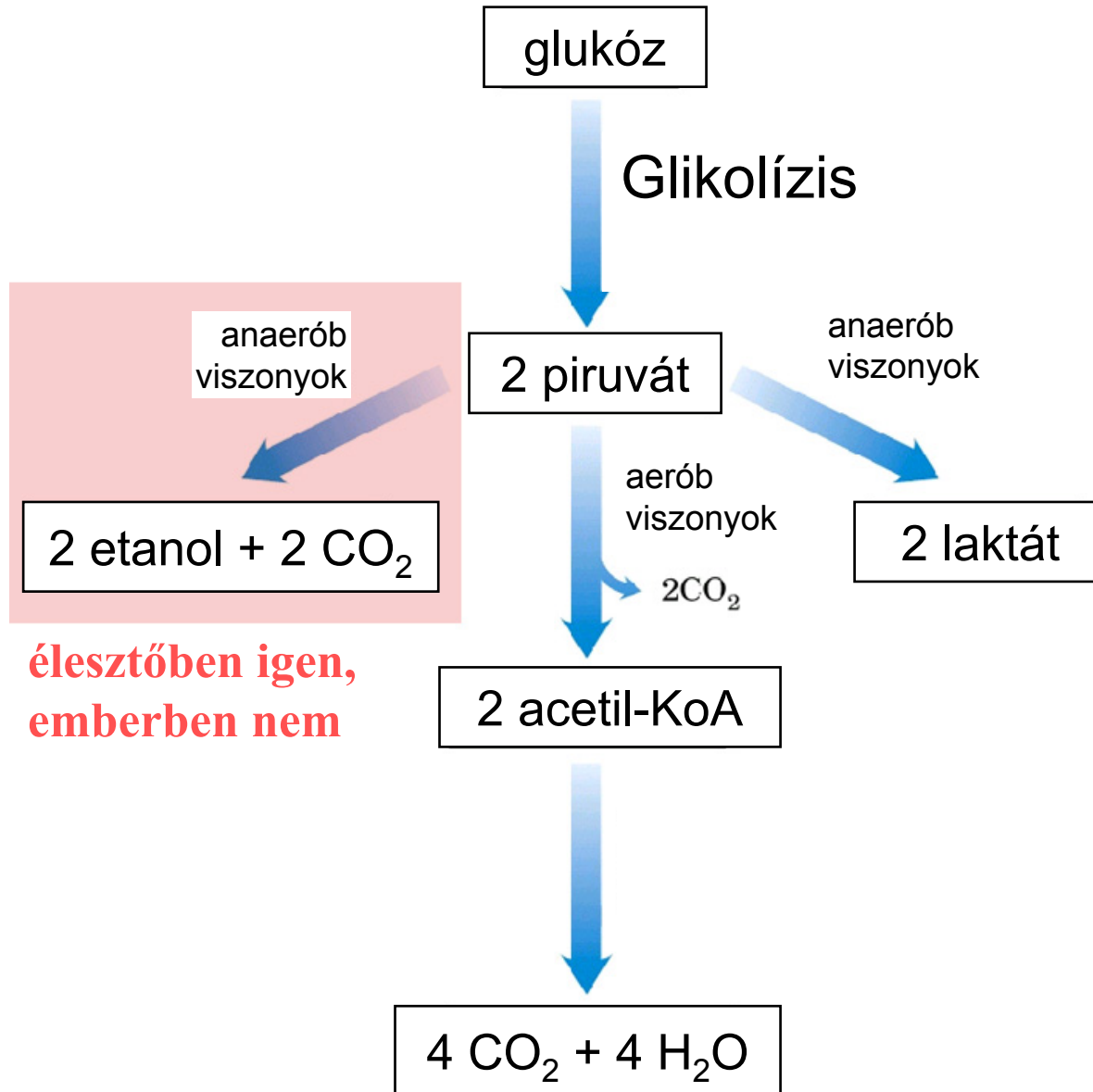
szubsztrát szintű foszforiláció



# Glikolízis: a nettó reakció



# A glikolízis után...



# Anaerób viszonyok

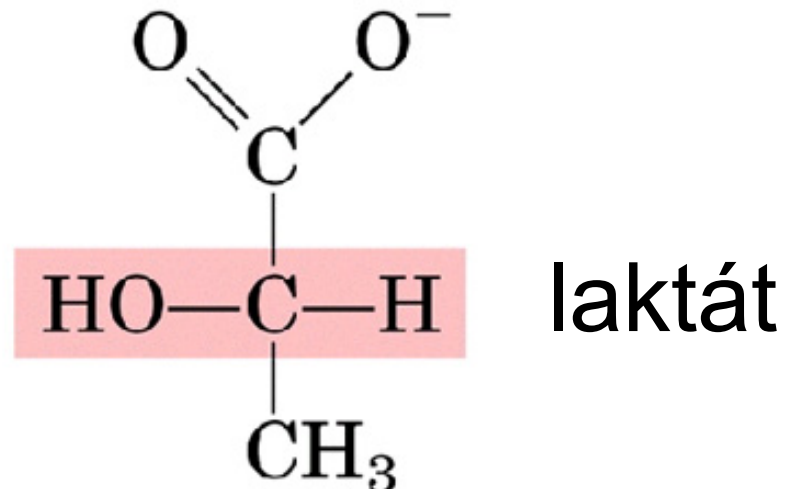
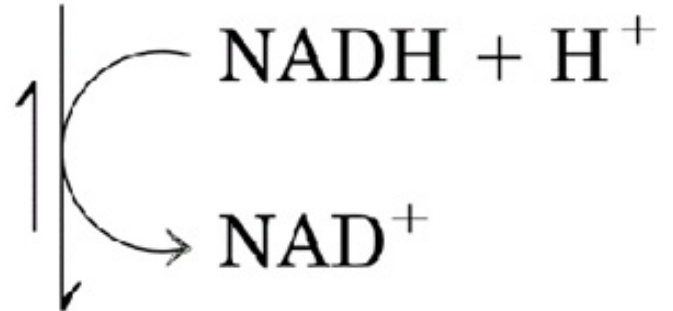
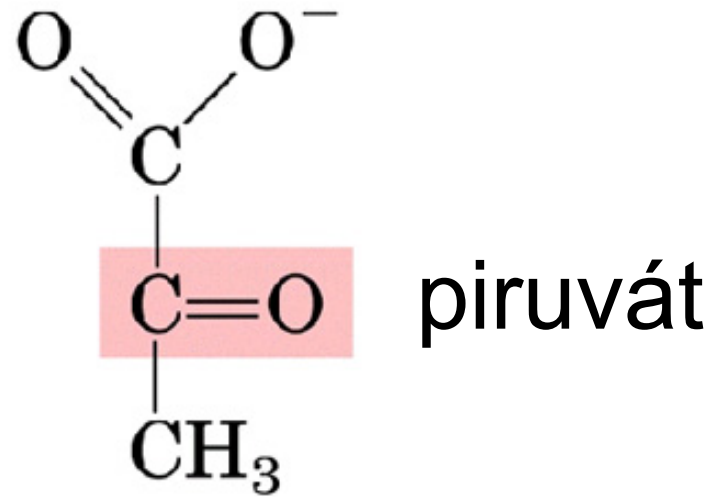
A mitokondriális oxidatív foszforiláció nem tudja fedezni az ATP-szükségletet; Az ATP termelése – legalább részben – fermentációval történik.

- hipoxia vagy anoxia (elégtelen oxigénellátás)  
(különböző légzési vagy keringési kóros állapotok, aszfixia, mérgezés)
- “relatív hipoxia” (extrém mértékű oxigénfogyasztás miatt)  
(intenzíven működő vázizomzat)
- a mitokondriumok hiánya (anaerób sejtek)  
(vvt.)
- ezek kombinációi  
(fehér-izomrost, vese-velőállomány)

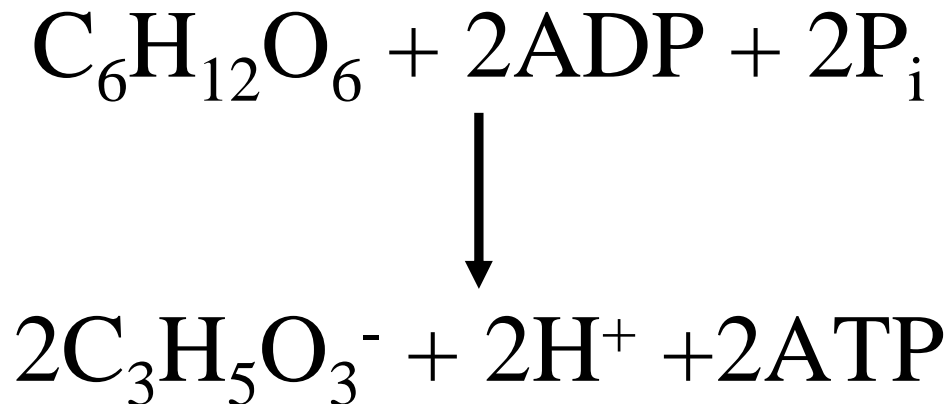
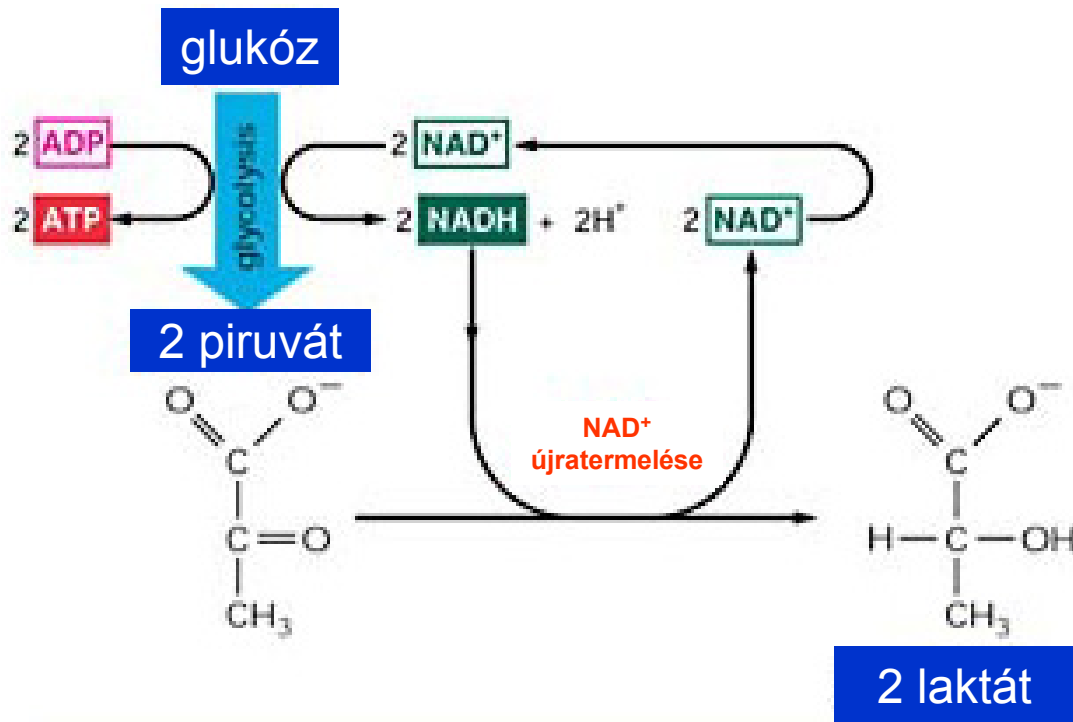
# Laktát- dehidrogenáz (LDH)

A tejcukor (laktóz) bakteriális fermentációja alacsony pH-t eredményez, ami a kazein izoelektromos precipitációját okozza. Így készül a joghurt.

**laktát-  
dehidrogenáz**



# Anaerób glikolízis emberben



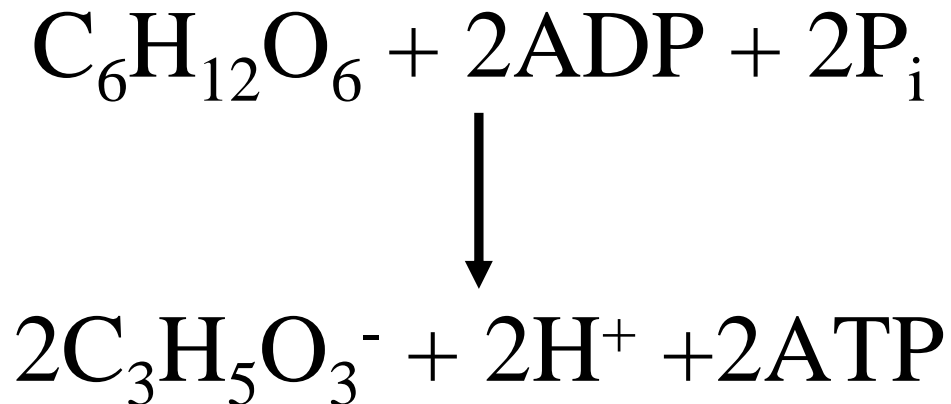
# Anaerób glikolízis emberben

glukóz

Anaerób viszonyok közt az egyetlen ATP-forrás.

A sejtek laktátot (végtermék) szekretálnak a vérbe.

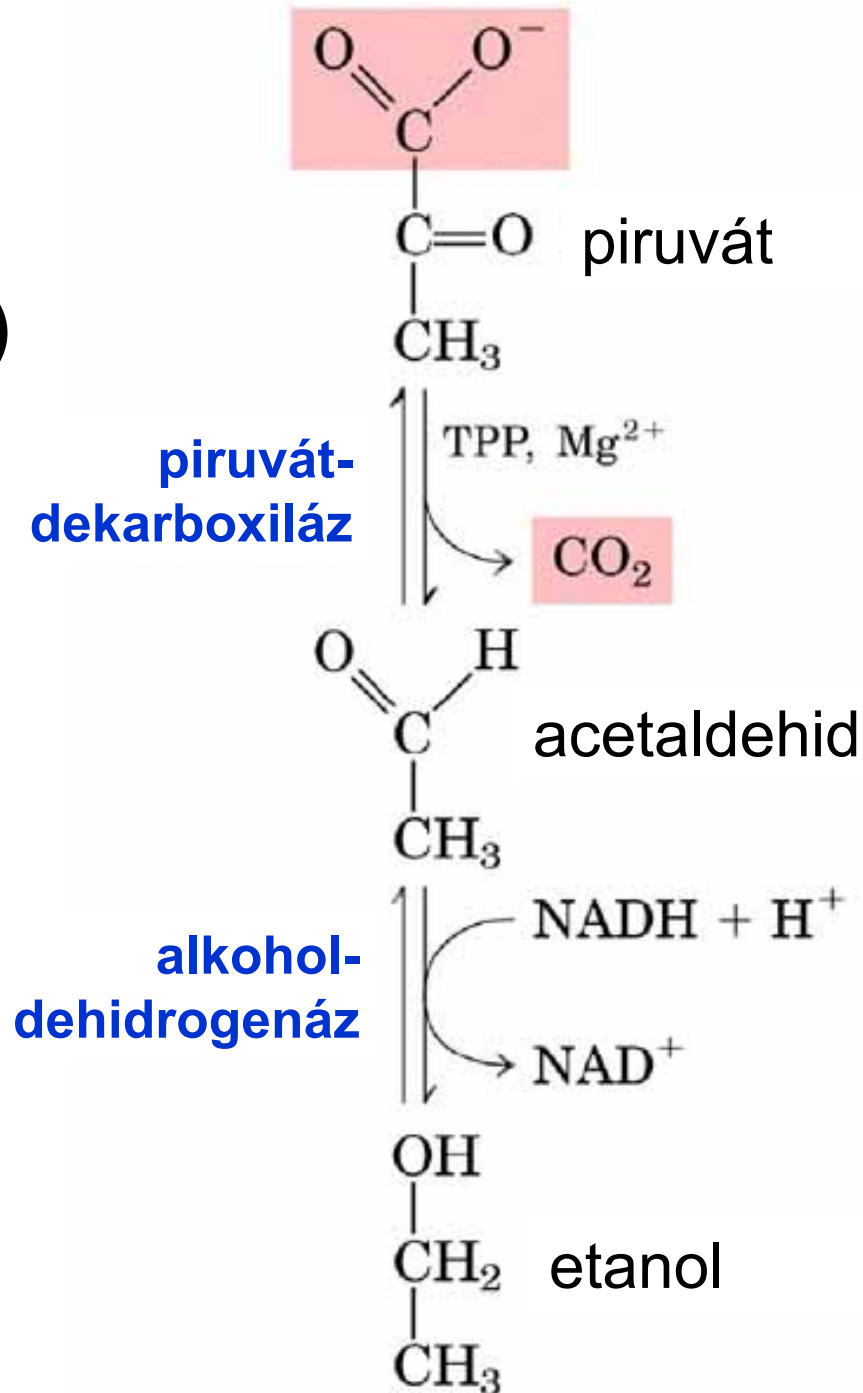
2 laktát



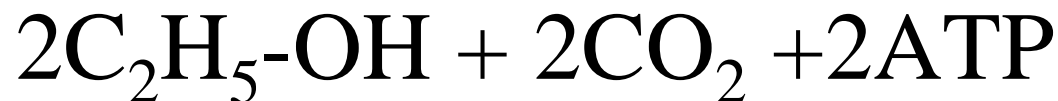
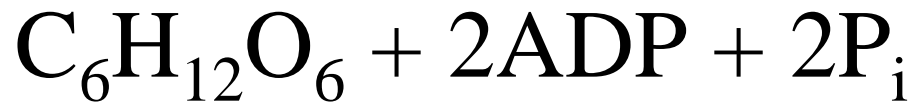
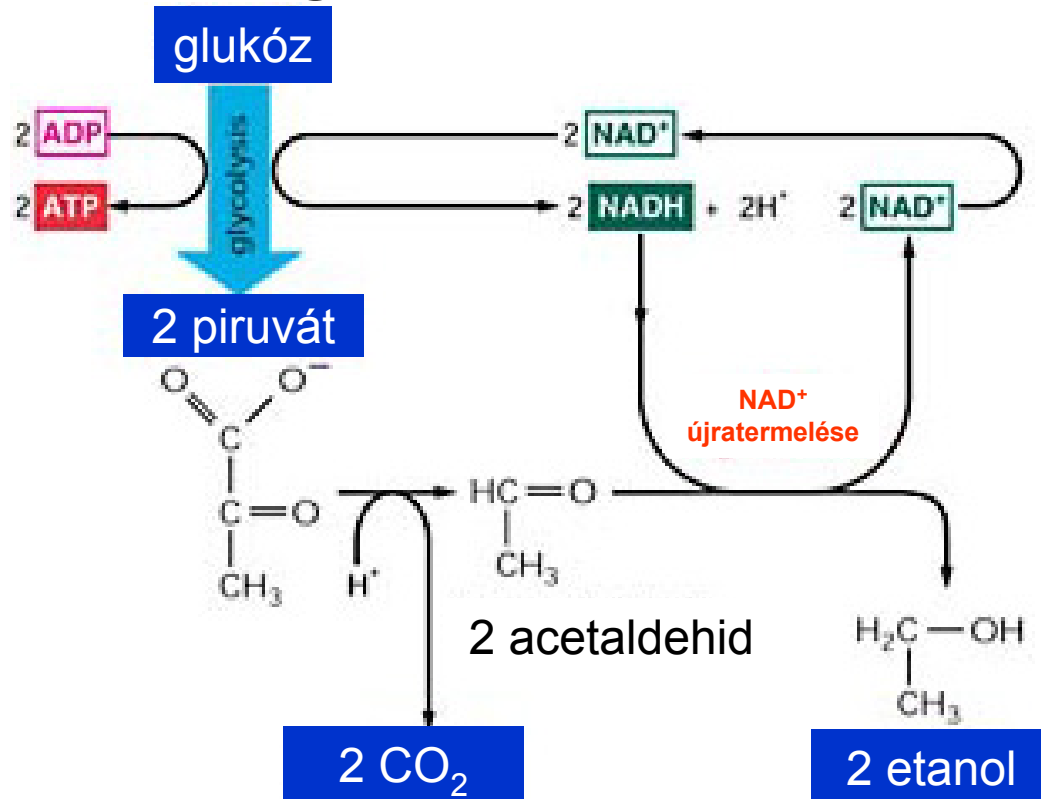
# Piruvát fermentációja élesztő-gombában (*Saccharomyces cerevisiae*)

Előnye az ember számára:  
kelt tészták, kenyér, sör, bor...

előnye az élesztő számára:  
Képes  $O_2$  hiányában életben maradni  
+ az etanol antibiotikumként védi.  
(az élesztő akár 12% etanolt is kibír)



# Anaerób glikolízis élesztőben





# Összefoglalás

- Glikolízis: a **glukóz** katabolizmusa **piruvátig**  
(glykys = édes, lysis = hasítás, görög).
- A **citoszolban** zajlik.
- **Ősi és univerzális.**
- A fő vagy egyetlen **ATP-termelő folyamat** néhány sejtben/szövetben  
(vvt., fehér-izomsejt, vese-velőállomány, agy, here).
- Befejezése (vagy folytatása) lehet  
**ANAERÓB** (csak 2 ATP)                      vagy                      **AERÓB** (36-38 ATP).
- **Két fázisa:**
  1. előkészítő (befizető) 2ATP/glukóz befektetéssel
  2. kifizető 4ATP/glukóz termelésével (+ 2NAD<sup>+</sup>/glukóz redukciójával).

# Két hasonló elem

P (foszfor): vitális és As (arzén): letális

Periodic Table of the Elements 2003

1 H 1.01																	18 He 4.00														
3 Li 6.94	4 Be 9.01											13 B 10.81	14 C 12.01	15 N 14.01	16 O 15.99	17 F 19.00	18 Ne 20.18														
11 Na 22.99	12 Mg 25.31											13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.07	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95														
19 K 39.10	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.87	23 V 50.94	24 Cr 52.00	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.41	31 Ga 69.72	32 Ge 72.64	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.90	36 Kr 83.80														
37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc (98)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.42	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.60	53 I 126.90	54 Xe 131.29														
55 Cs 132.91	56 Ba 137.33	57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.36	63 Eu 151.97	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97															
87 Fr (223)	88 Ra (226)	89 Ac (227)	104 Rf (261)	105 Db (262)	106 Sg (266)	107 Bh (264)	108 Hs (270)	109 Mt (268)	110 Ds (281)																						
																		58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.36	63 Eu 151.97	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97
																		90 Th 232.04	91 Pa 231.04	92 U 238.03	93 Np (237)	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (262)

foszforsav:



arzénsav:



hidrogén-foszfát:

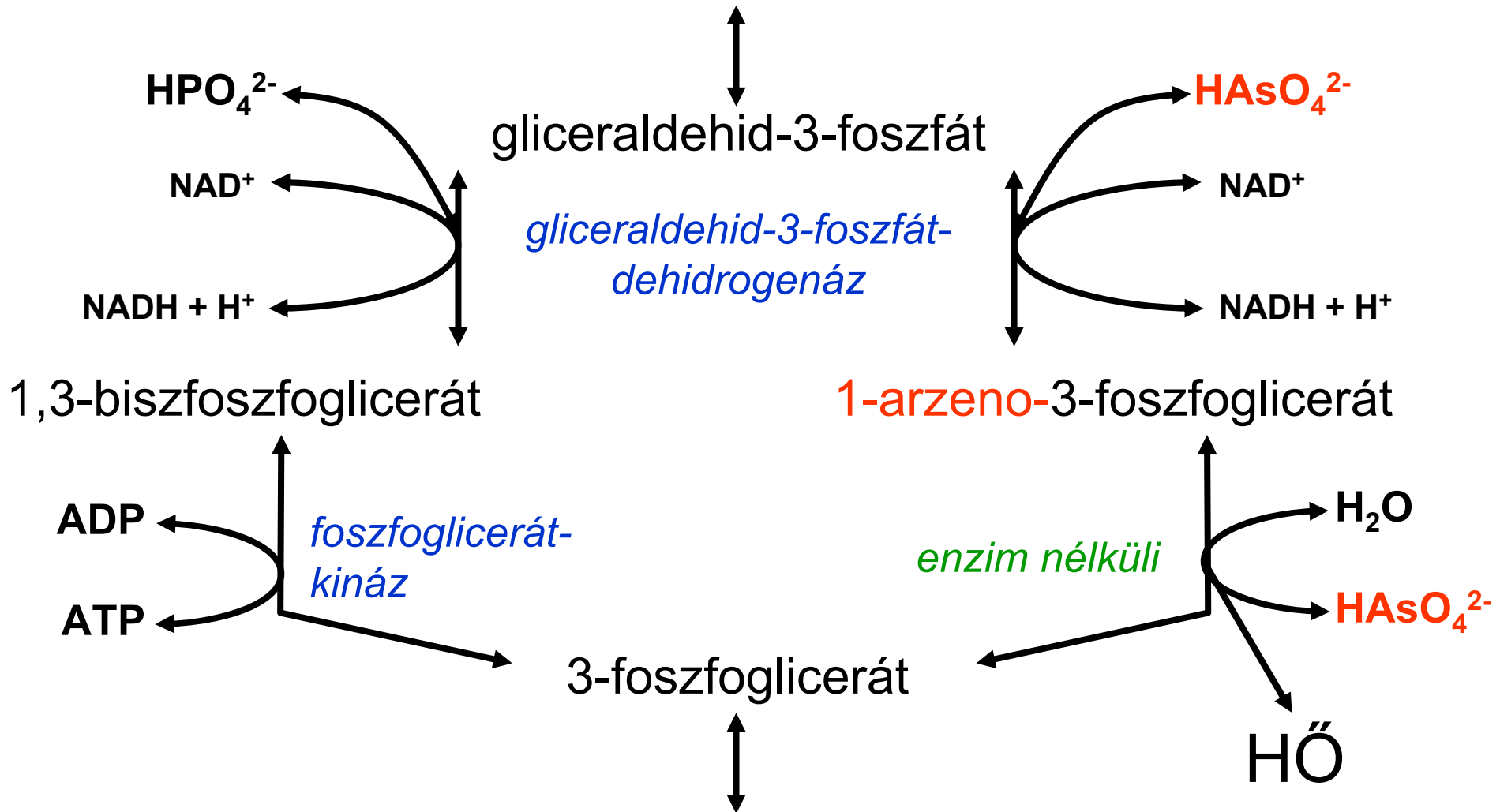


hidrogén-arzenát:



Az arzénsav anhidridjei nem képesek a szabadenergia megőrzésére, mert hidrolízisük aktiválási energája alacsony.

# Oxidáció és foszforiláció szétkapcsolása a glikolízisben



<http://markmyprofessor.com/tanar/adatlap/21777.html>