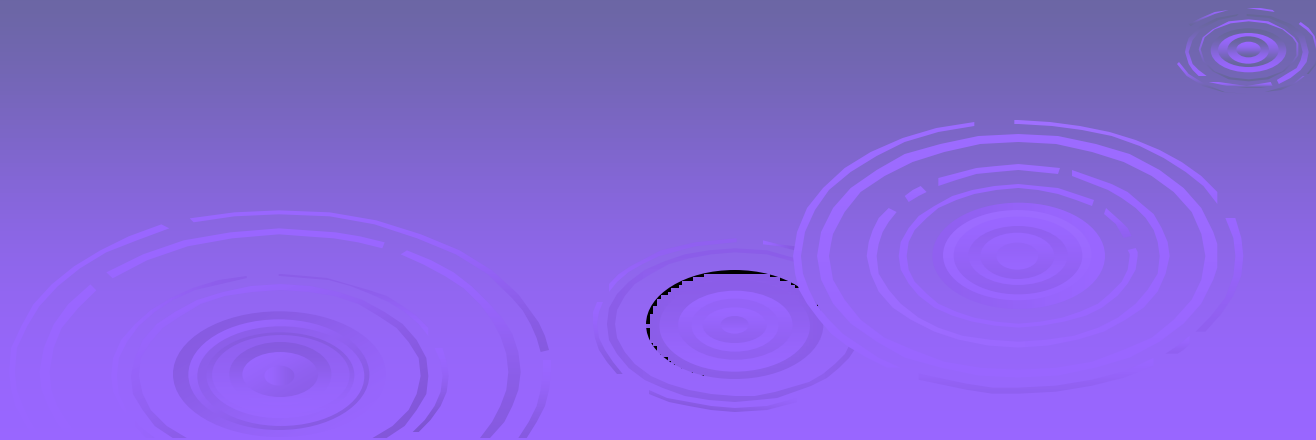


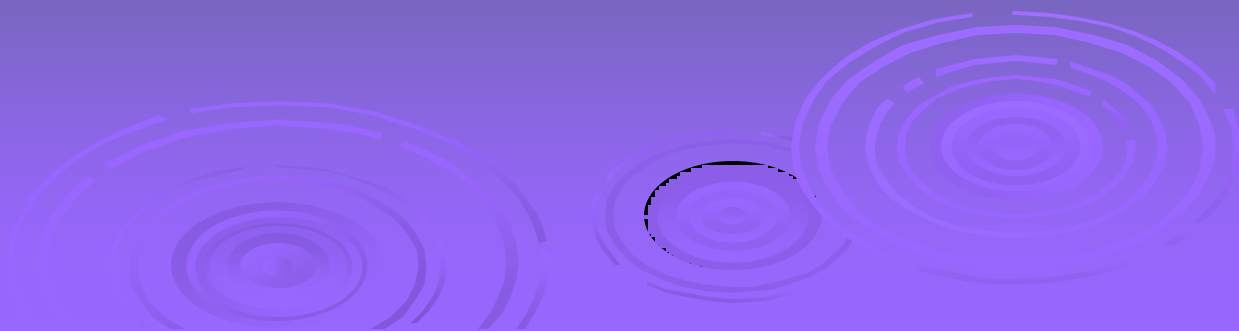
Sacharidy – degradace



Sacharidy – degradace

➤ FOSFORYLACE

- Anaerobní – substrátová
- Aerobní – oxidační
- Fotosyntetická



Sacharidy – degradace

➤ GLYKOLÝZA

- Katabolismus sacharidů
- Anaerobní
- Odbourávání glukosy na pyruvát za uvolnění energie ve formě ATP
- Probíhá v cytoplazmě

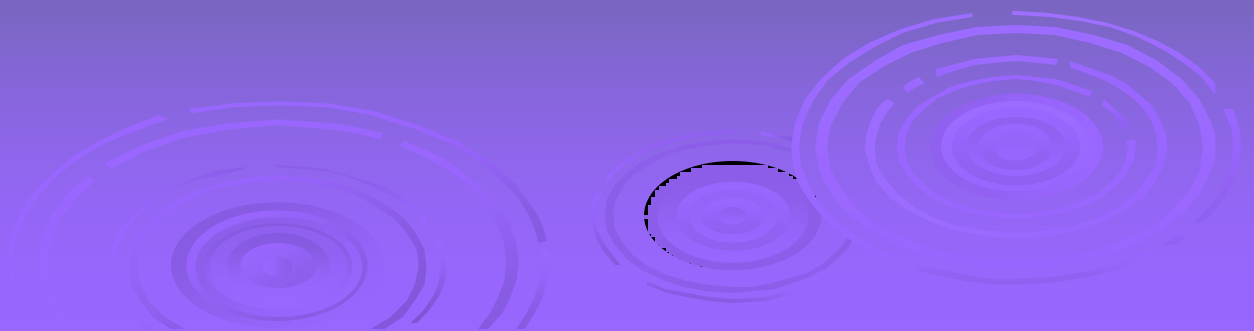
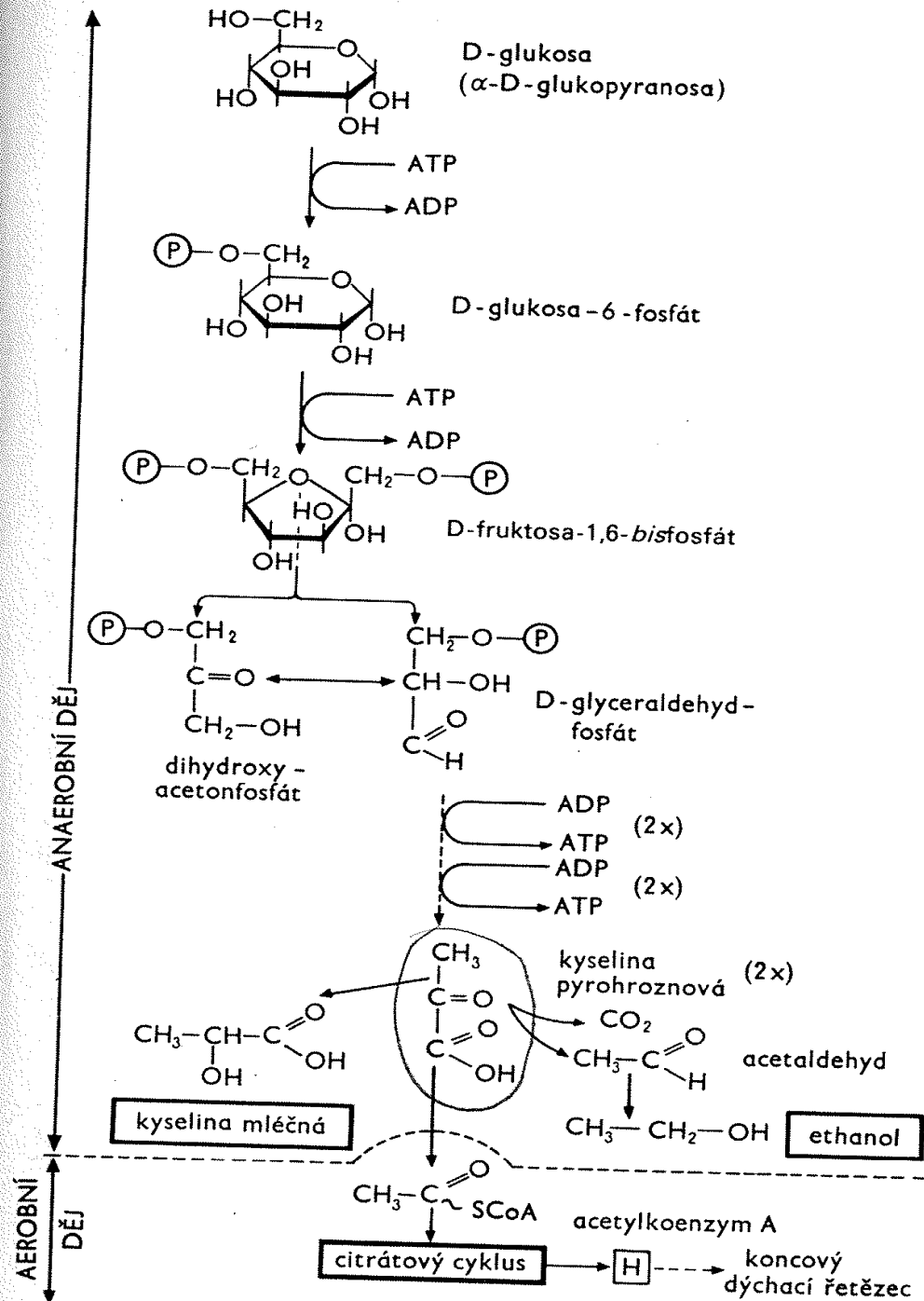
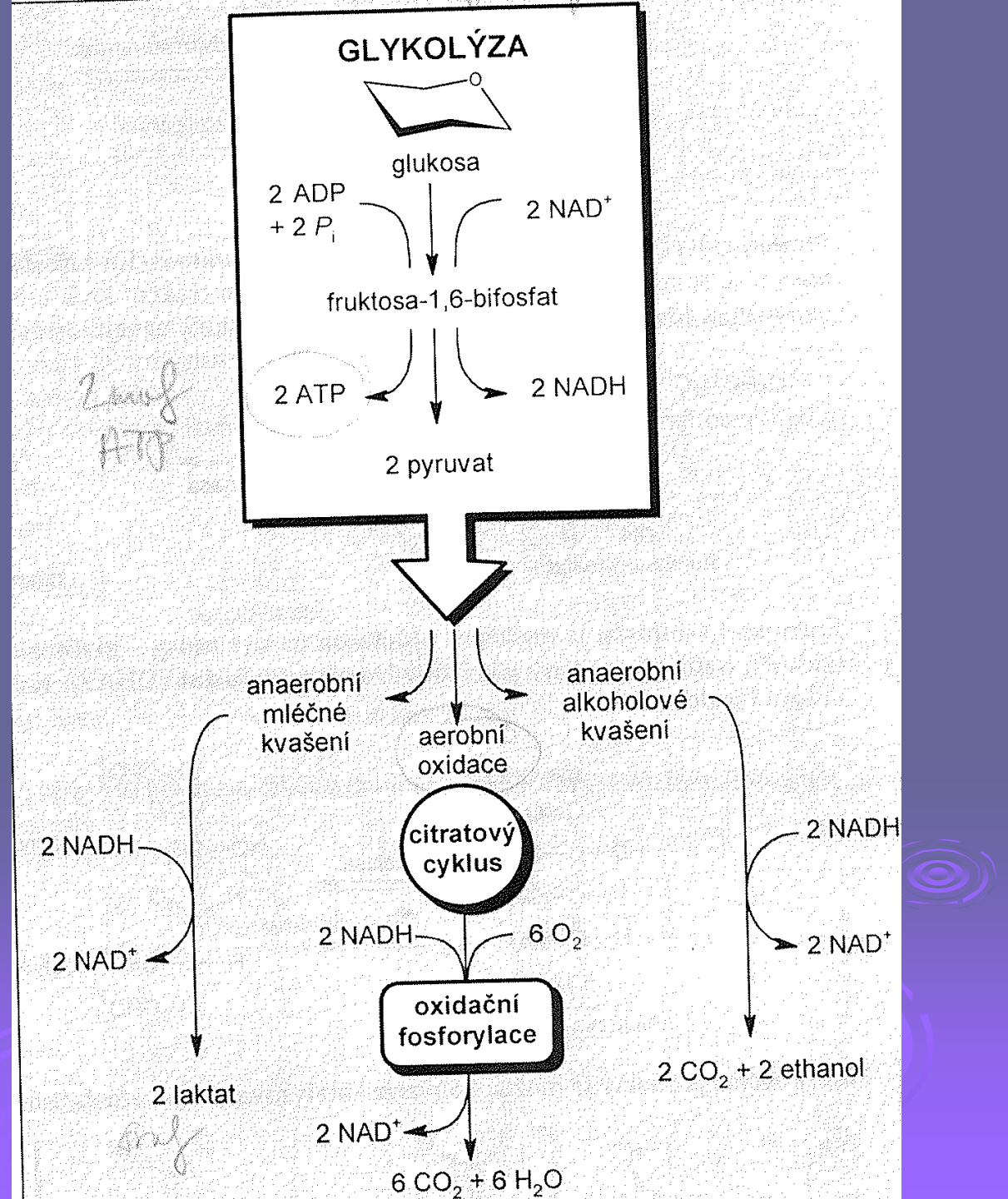


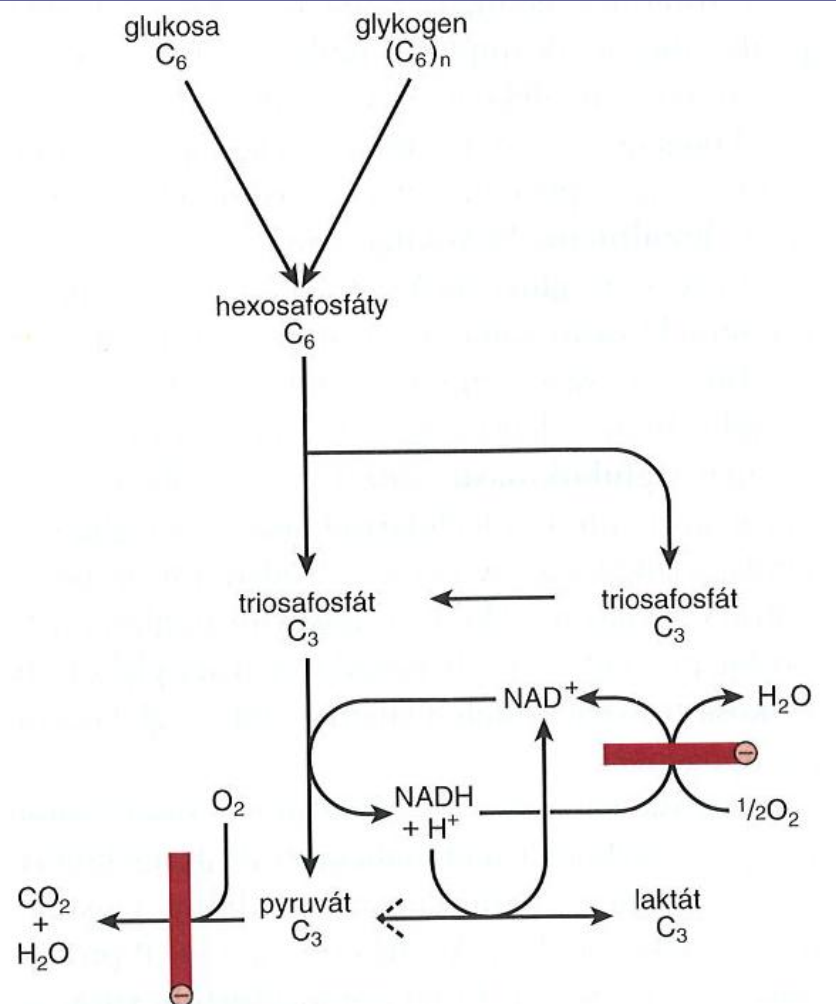
Schéma glykolýzy

- učebnice



Glykolýza jen
předchází celé
metabolické
dráze





OBR. 18-1. Souhrn glykolýzy. (⊖) – blokáda anaerobními podmínkami nebo nepřítomností mitochondrií obsahujících klíčové enzymy buněčného dýchání, jako např. v erytrocytech

Sacharidy – GLYKOLÝZA

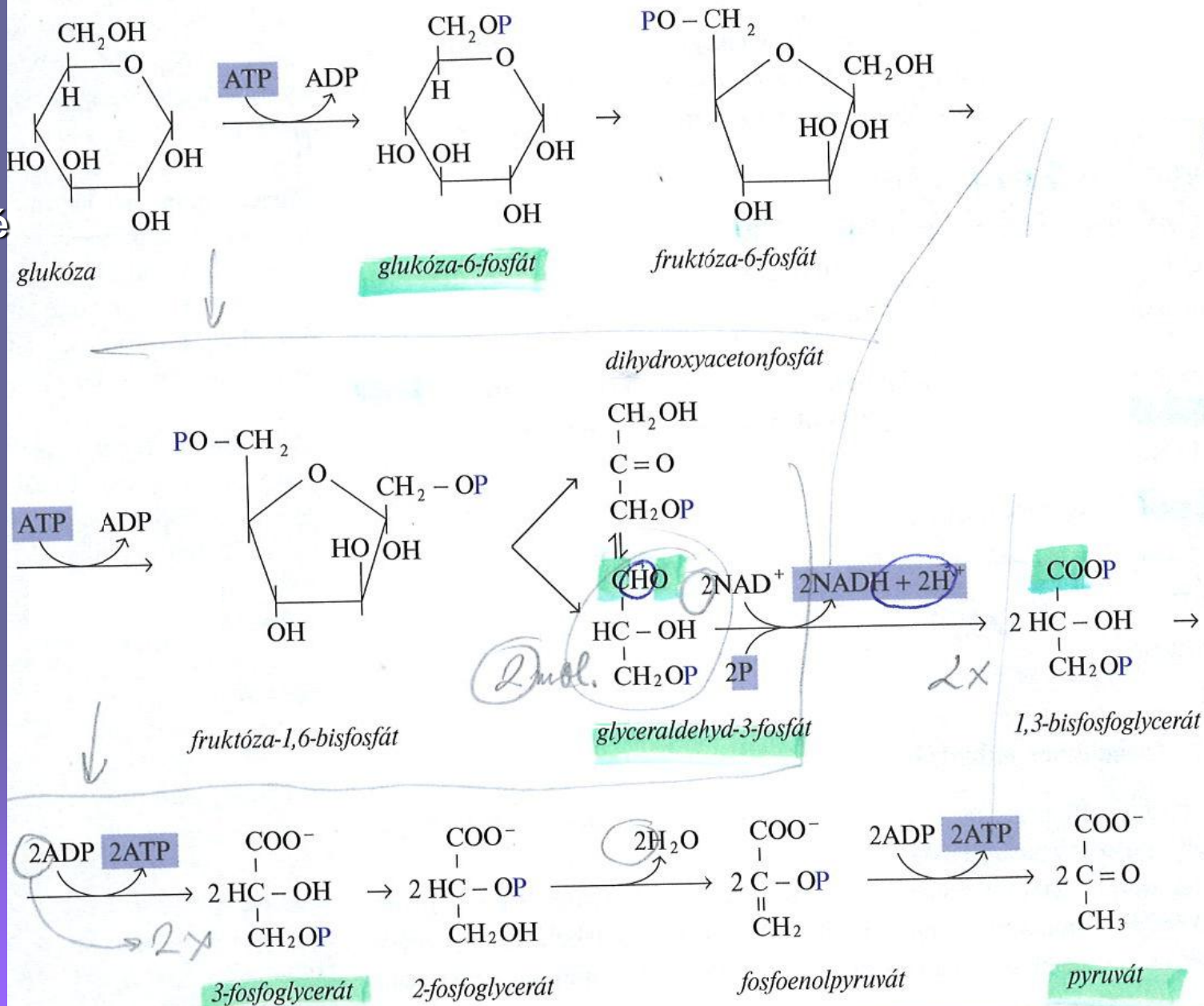
Zjednodušené schéma:

- 1. Aktivace glukosy a její přeměna na triosa-fosfáty
- 2. Dehydrogenace glyceraldehyd-3-fosfátu
- 3. Přeměna 3-fosfoglycerátu na pyruvát

Glykolýza

zjednodušené
schéma:

glykolýza



Glykolýza podrobně: 1.

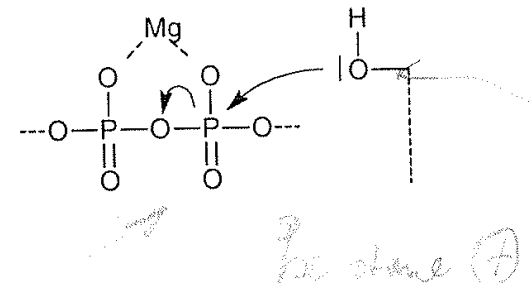
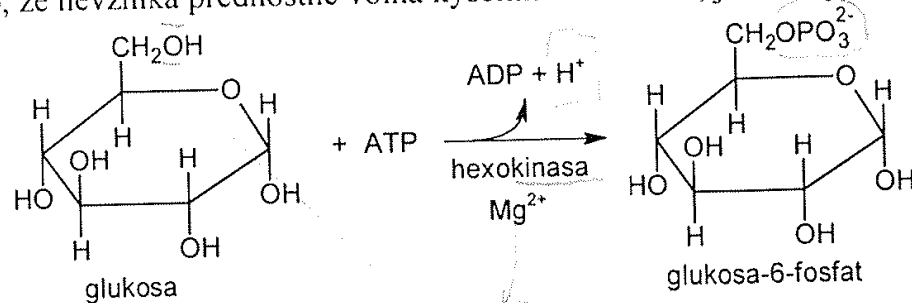
1

Na **glukosu** je přenesena fosfatová skupina z ATP za vzniku **glukosa-6-fosfatu** (Glc-6-P).

Enzymy **kinasy** přenášejí fosfatovou skupinu. **Hexokinasa** je obsažena ve všech typech buněk a katalyzuje fosforylaci různých hexos. Jaterní buňky obsahují specifickou **glukokinasu**, působící jen na glukosu.

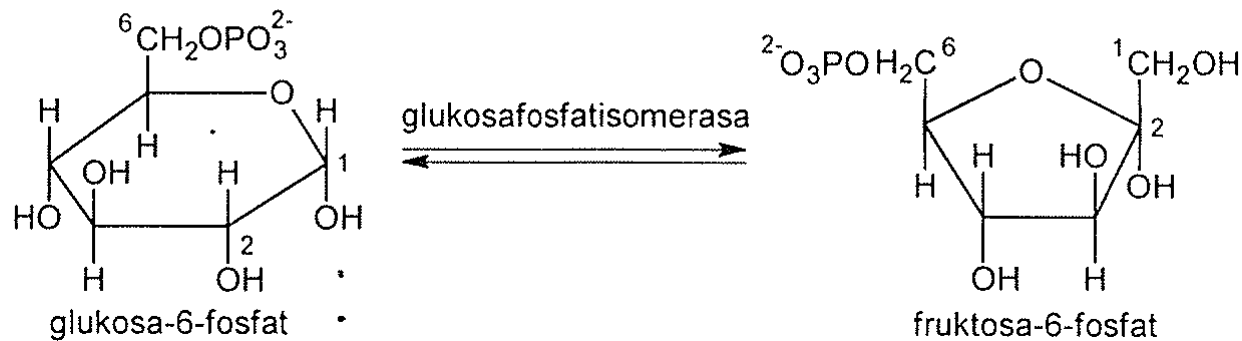
Hořečnatý ion vytváří komplex s ATP a umožňuje nukleofilní atak fosforu ve fosfatu volným elektronovým párem kyslíku hydroxylové skupiny na C₆ glukosy. Hořečnatý ion částečně neutralizuje záporný náboj na fosfatech a snižuje odpuzování zmíněného volného elektronového páru.

To, že nevzniká přednostně volná kyselina fosforečná, je dáno právě působením enzymu.



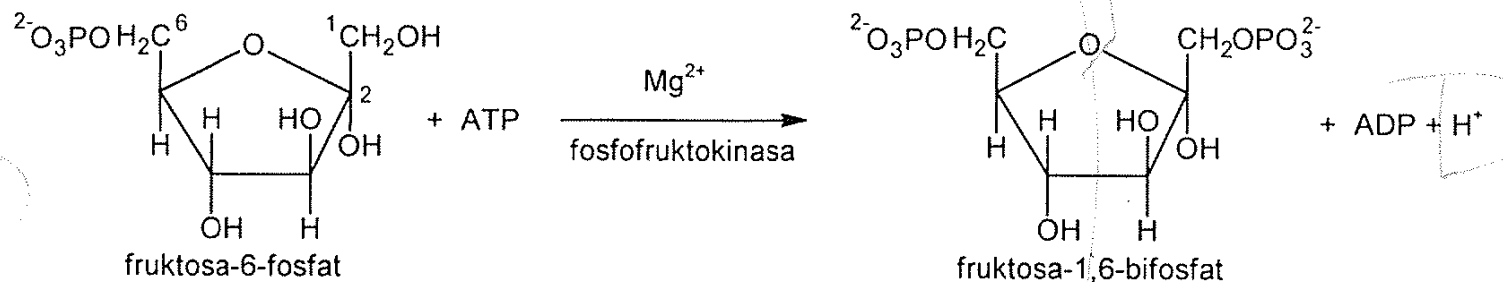
Glykolýza podrobně: 2.

Glukosa-6-fosfat je **glukosafosfatisomerasou** (GPI) přeměněn na **fruktosa-6-fosfat** (Fru-6-P). Při izomeraci je dočasně otevřen kruh sacharidu.



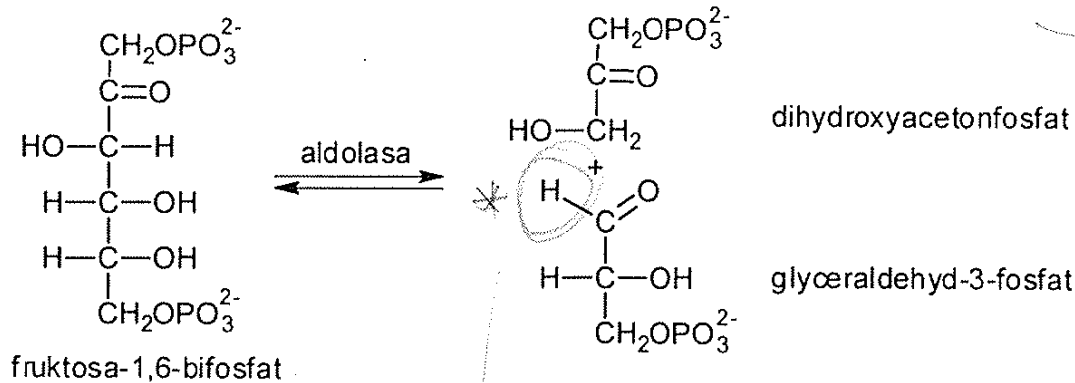
Glykolýza podrobně: 3.

Při třetí reakci, fosforylaci fruktosa-6-fosfatu na **fruktosa-1,6-bifosfat** (Fru-1,6- P_2), katalyzované **fosfofruktokináso**, je spotřebována další molekula ATP. Tento reakční krok určuje rychlost celé glykolýzy a allosterickým ovlivněním fosfofruktokinasy organismus může glykolýzu urychlit či zpomalit.



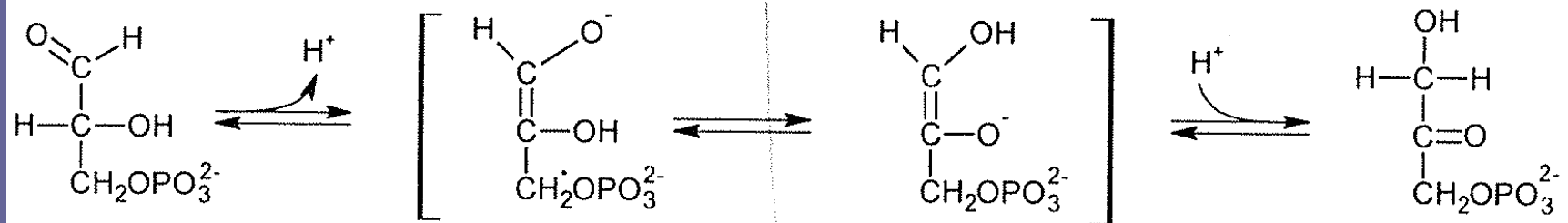
Glykolýza podrobně: 4.

Fruktosa-1,6-bifosfat je rozštěpen **aldolasou** na dvě triosy – **glyceraldehyd-3-fosfat** (Gra-3-P) a **glyceronfosfat** (Grn-P), tradičně uváděný jako **dihydroxyacetonfosfat** (DHAP). Reakce probíhá jako obrácená aldolizace (aldolová kondenzace).



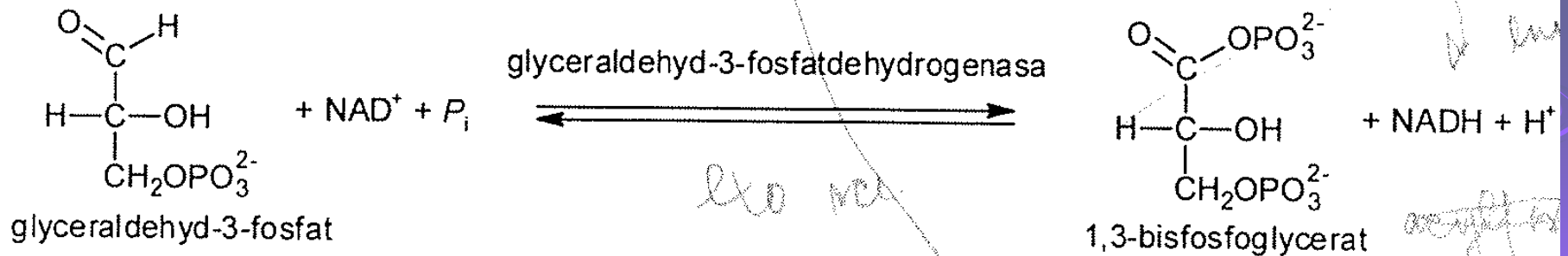
Glykolýza podrobně: 5.

Mezi oběma produkty je možná konverze katalyzovaná **triosafosfatisomerasou** (TIM).



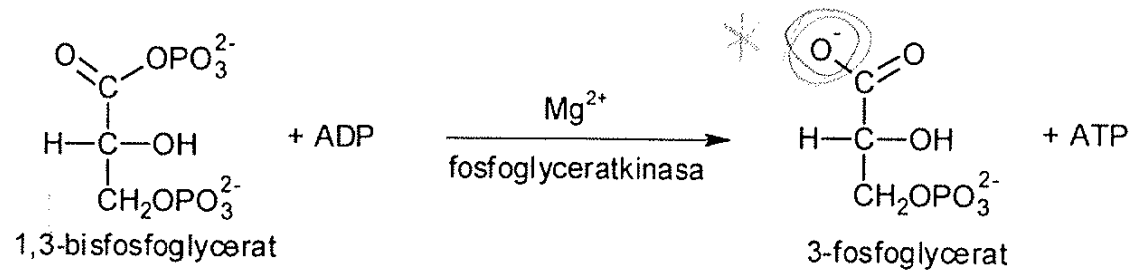
Glykolýza podrobně: 6.

Glyceraldehyd-3-fosfat je zpracován působením **glyceraldehyd-3-fosfatdehydrogenasy** (GADHP) reakcí s NAD^+ a P_i za vzniku **1,3-bisfosfoglyceratu** ($1,3\text{-}P_2\text{-Gri}$), **NADH** a H^+ . V této reakci pohání exergonická oxidace aldehydu syntézu acylfosfatu, tj. 1,3-bisfosfoglyceratu. Povšimněme si, že vodík je na NAD^+ přenášen jako hydridový anion. V reakci vzniká první makroergický produkt glykolýzy (tj. 1,3-bisfosfoglycerát).



Glykolýza podrobně: 7.

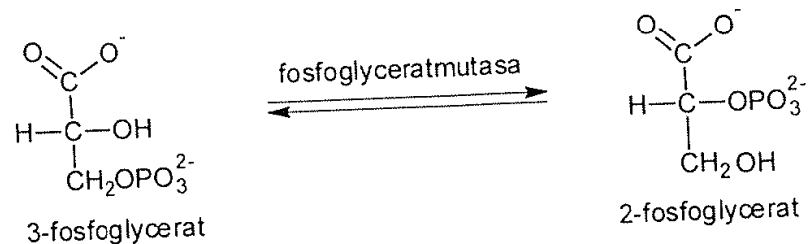
Sedmou reakci glykolýzy katalyzuje **fosfoglyceratkinasa** (PGK). 1,3-Bisfosfoglycerat se mění na 3-fosfoglycerat (3-*P*-Gri) za předání fosfatové skupiny ADP a tvorby první molekuly **ATP**.



Glykolýza podrobně: 8.

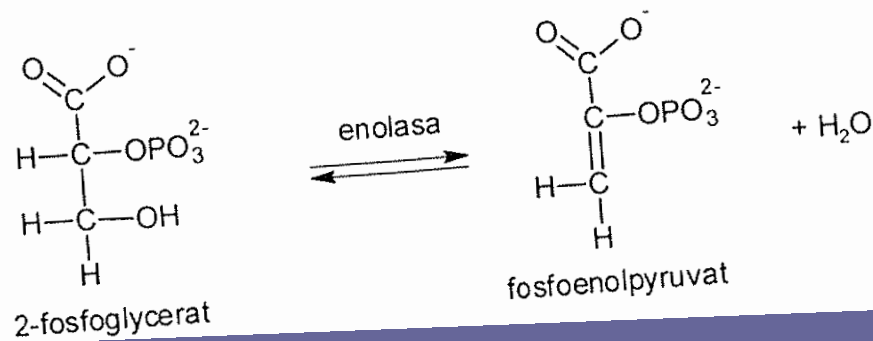
8

3-Fosfoglycerat je enzymem **fosfoglyceratmutasou** (PGM) přeměněn na 2-fosfoglycerat (2-*P*-Gri). Mutasy katalyzují přenos funkční skupiny mezi dvěma polohami. Nejde při tom o přesmyk fosfátu, ale enzym předává molekule svůj vlastní fosfat a pak si z molekuly druhý odebere. Proto je meziproduktem reakce 2,3-bisfosfoglycerat. Jeho katalytické množství je pro reakci nezbytné. Tato látka se specificky váže na deoxyhemoglobin, a tím mění jeho afinitu ke kyslíku. Tak je ovlivňován transport kyslíku.



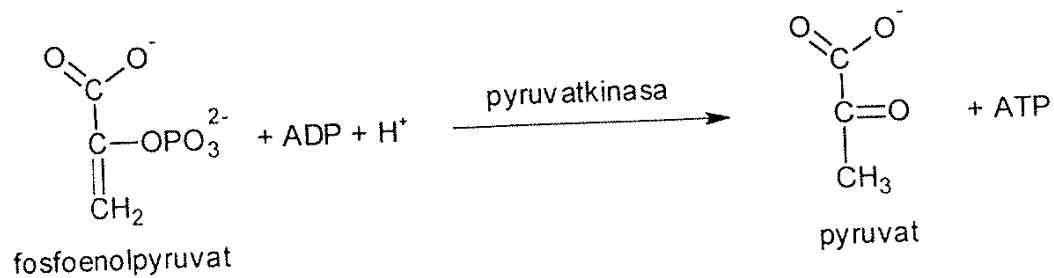
Glykolýza podrobně: 9.

Devátou reakcí je dehydratace katalyzovaná **enolasou** a 2-fosfoglycerat je přeměněn na fosfoenolpyruvat (P-Pyr).



Glykolýza podrobně: 10.

V poslední reakci glykolýzy využívá **pyruvatkinasa** (PK) volnou energii hydrolýzy fosfoenolpyruvatu pro syntézu ATP za současného vzniku pyruvatu.



4E x 2

Sacharidy – GLYKOLÝZA

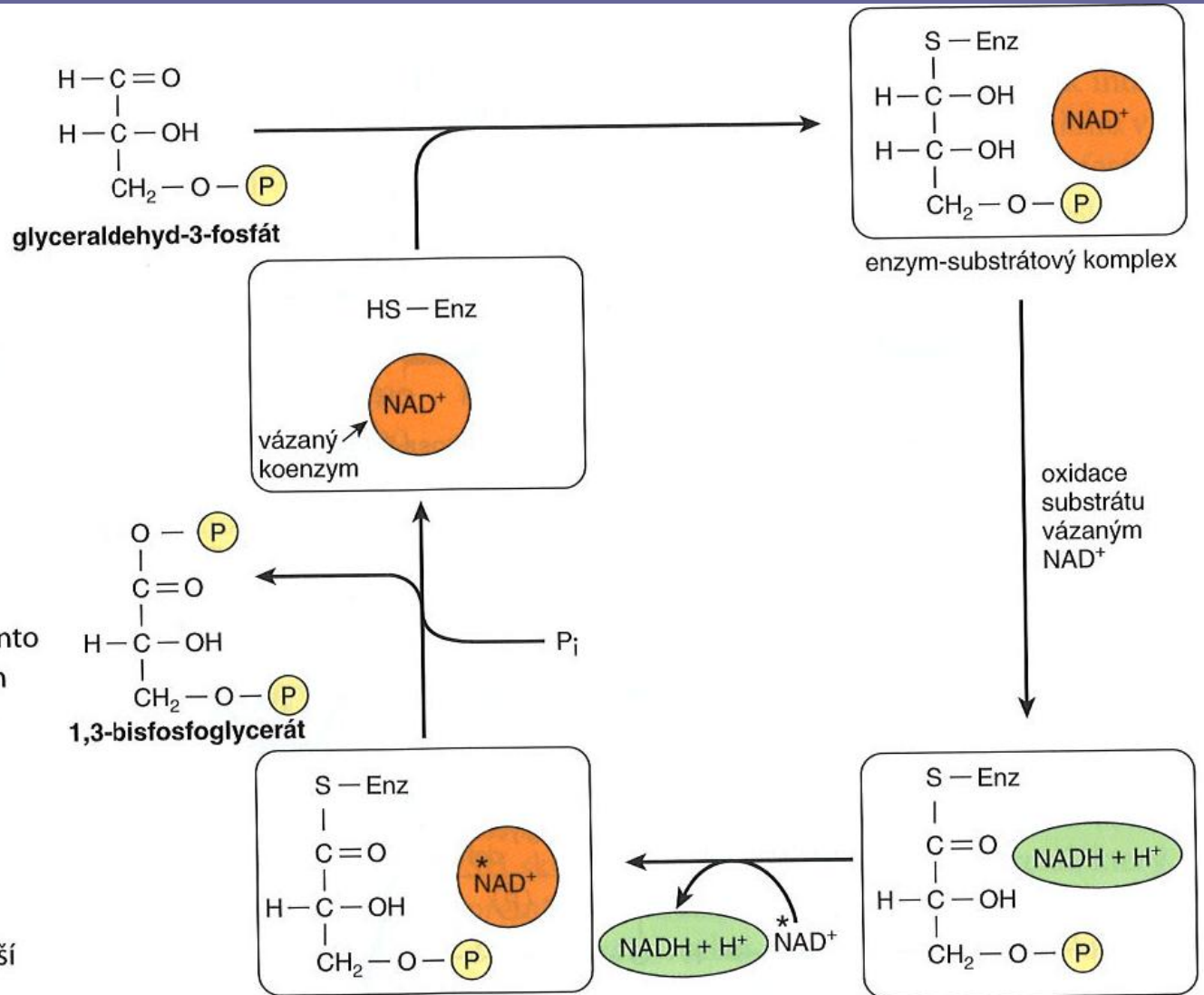
➤ Konečný zisk energie z glykolýzy

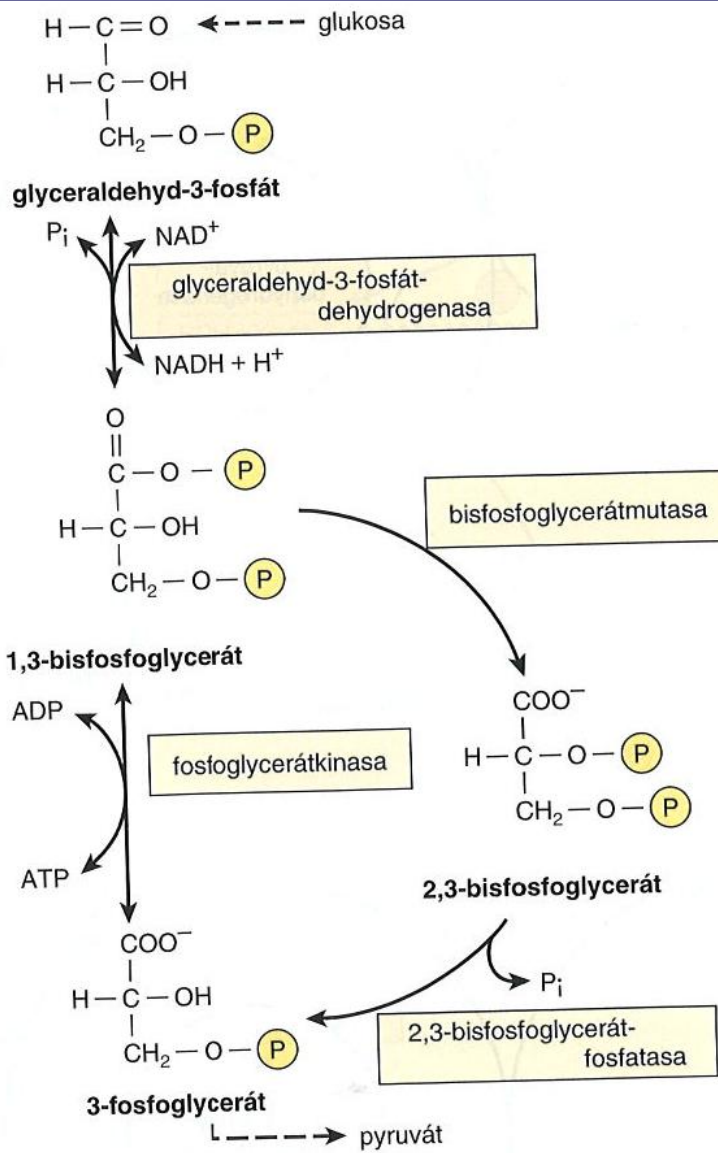
Při celkovém využitelném množství energie 2 872 kJ z 1 molu glukosy a množství 33 kJ uloženého do molu ATP, odpovídá tato energie $33 \cdot 36 \cdot 100 / 2\,872 \approx 40\%$ účinnosti. Účinnost využití energie metabolických dějů tedy převyšuje účinnost, s jakou je využívána energie v různých zařízeních konstruovaných člověkem.

fáze odbourávání	zisk ATP na 1 triosu	
	substrátová fosforylace	oxidační fosforylace
a) glykolýza	1 ATP	1 (NADH + H ⁺) → → 3 ATP – 1 ATP (na transport)
b) oxidační dekarboxylace	–	1 (NADH + H ⁺) → → 3 ATP
c) odbourání acetyl-CoA (citrátový cyklus s dýchacím řetězcem)	1 GTP	11 ATP
Celkem	18 ATP/triosa, tj. 36 ATP/glukosa	

OBR. 18-3.

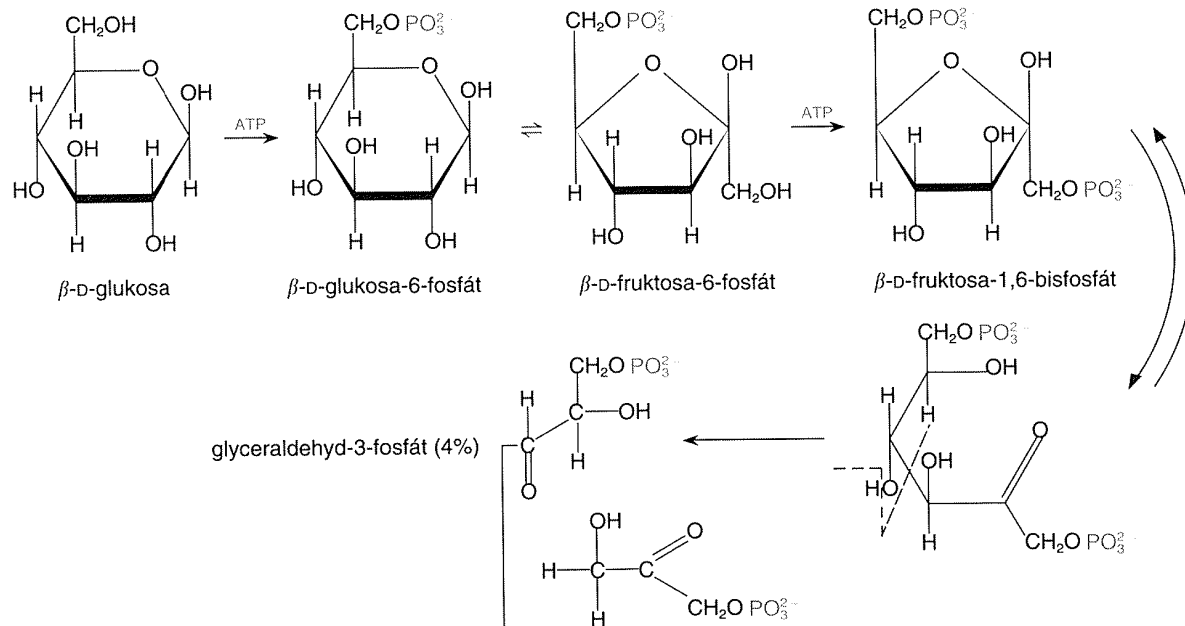
Mechanismus oxidace glycerinaldehyd-3-fosfátu (glycerinaldehyd-3-fosfátdehydrogenasy). Tento enzym je inhibován jedem –SH skupin jodacetátem, který tak může inhibovat glykolýzu. NADH tvořené enzymem není pevně vázáno na enzym jako NAD^+ . Následně je NADH jednoduše nahrazeno další molekulou NAD^+ .



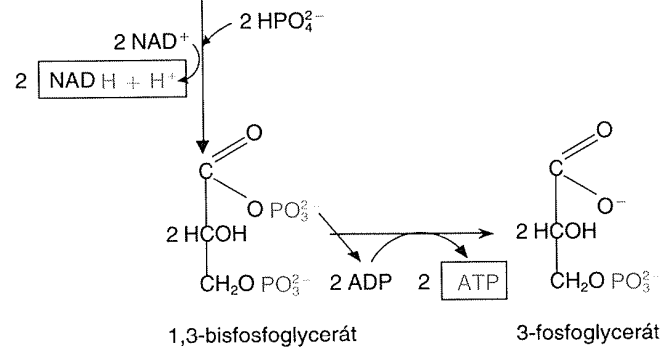


OBR.18-4. Dráha 2,3-bisfosfoglycerátu v erytrocytech

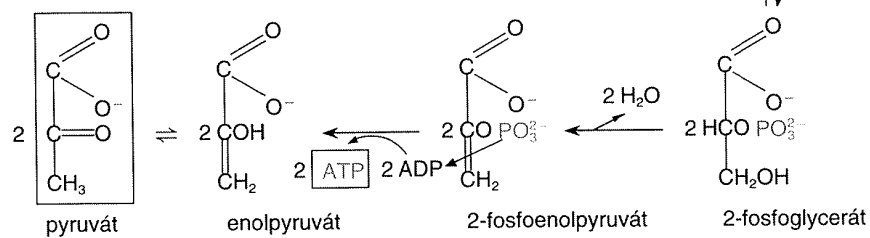
Přeměna glukosy na donor atomů vodíku – glyceraldehyd-3-fosfát

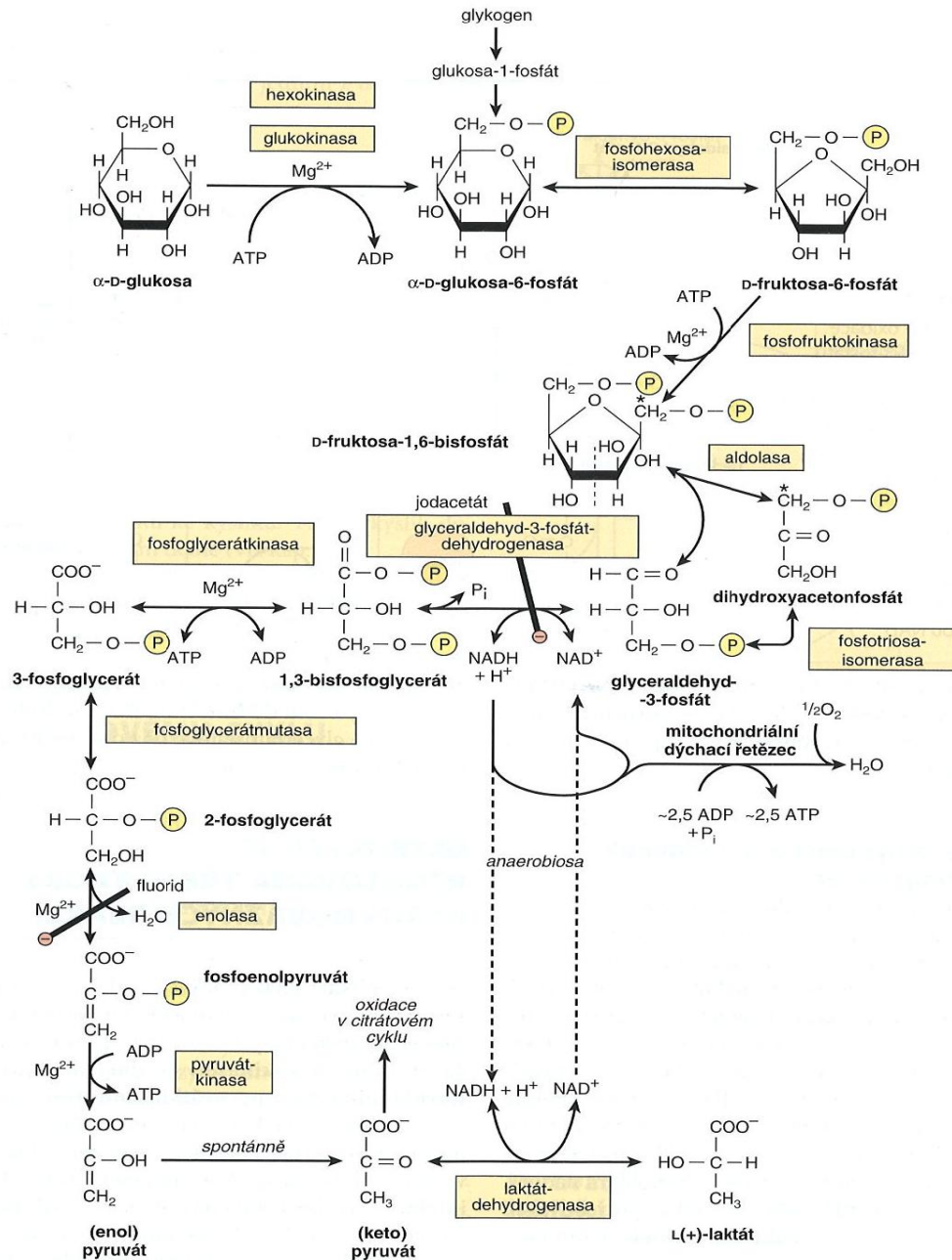


Dehydrogenace glyceraldehyd-3-fosfátu



Vznik pyruvátu





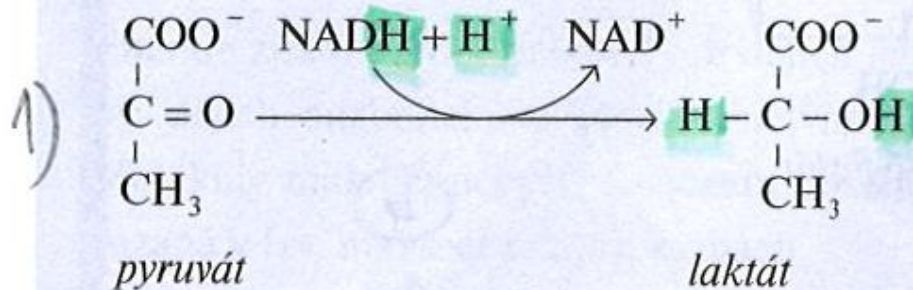
OBR. 18-2. Metabolická dráha glykolýzy. (Ⓟ – P₃; P₁ – HOPO₃²⁻; ⊖ – inhibice.) *Uhlíkové atomy 1–3 fruktosabisfosfátu tvoří dihydroxyacetonfosfát, uhlíky 4–6 tvoří glyceraldehyd-3-fosfát. Označení bis-, jako např. u bisfosfátu, znamená, že fosfátové skupiny jsou odděleny, kdežto difosfát, jako v adenosindifosfátu, znamená, že jsou spojeny.

Další reakce pyruvátu

➤ anaerobní

Pyruvát vstupuje do dalších reakcí:

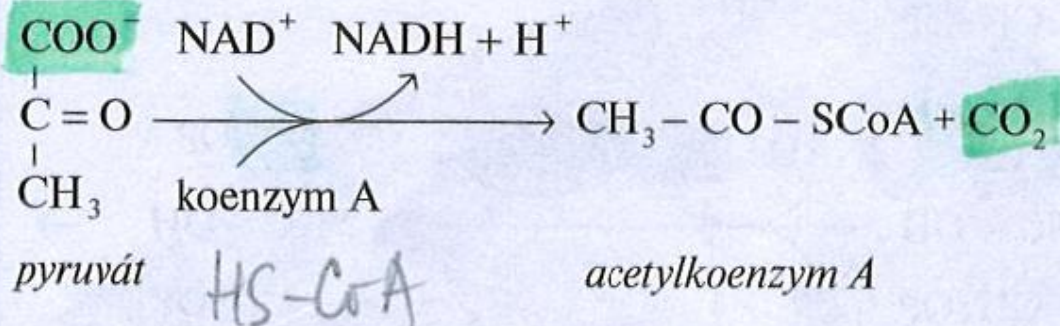
- 2) za anaerobních podmínek se pyruvát redukuje na **LAKTÁT** (kyselina mléčná), který se tvoří ve svalech při intenzivní práci za nedostatku kyslíku (jakmile je dostatek kyslíku, mění se laktát zpět na pyruvát)



Další reakce pyruvátu

➤ aerobní

- O_2
- za aerobních podmínek (při dostatku kyslíku) podléhá pyruvát oxidační dekarboxylaci za vzniku ACETYLKOENZYMU A (acetyl-CoA), který vstupuje do Krebsova cyklu:

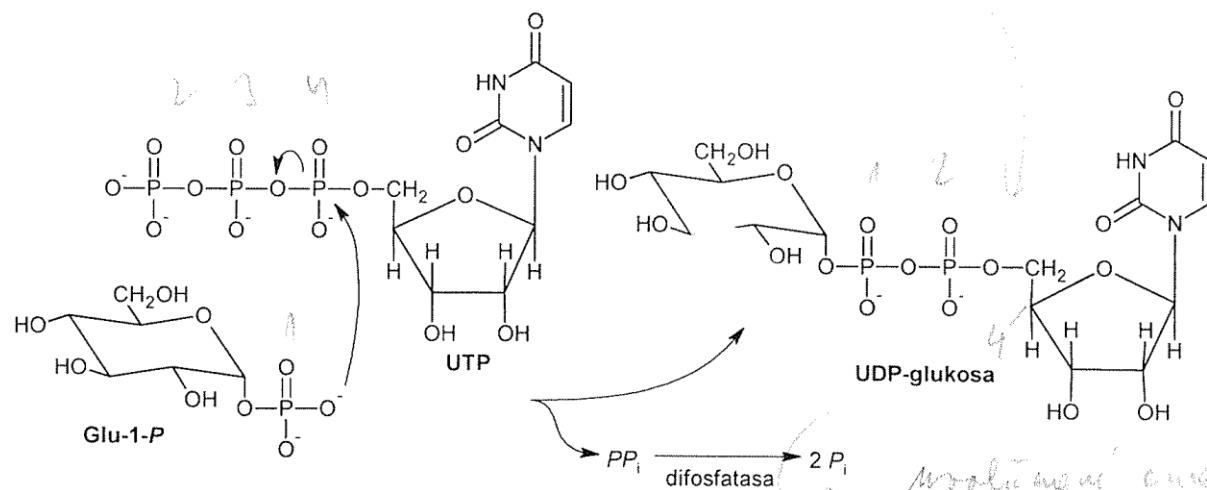


- Pentózofosfátový cyklus
- Metabolismus dalších hexos – např. fruktosy (jedna z cest je, že hexokinasa fosforyluje fruktosu na 6-fosfát a ten vstupuje do glykolýzy), galaktosy (podstupuje epimeraci a mění se na glukosa-6-fosfát a ten vstupuje do glykolýzy)
- Metabolismus glykogenu (dochází k odštěpování glukosy ve vzdálenosti 5 nebo více glukózových jednotek od místa větvení, glykogenfosforyláza provádí fosforolýzu za vzniku glukosa-1-fosfátu....)

Glukoneogeneze (-a)

9.3.2 Biosyntéza glykogenu

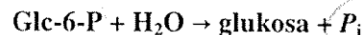
Biosyntéza glykogenu probíhá jinou metabolickou dráhou než jeho degradace. Navázání Glc-1-P na glykogen je endergonickým dějem, který by samovolně neprobíhal. Proto musí být podpořen exergonickou reakcí – navázáním Glc-1-P na uridintrifosfat (UTP) za vzniku uridindifosfoglukosy (UDP-Glc). Děj podporuje **UDP-glukosadifosforylasy**.



Glukosylová jednotka UDP-Glc je přenesena na C₍₄₎ na jednom z neredukujících konců glykogenu. Katalyzátorem je enzym **glykogensynthasa**. UDP, který se při reakci uvolní, je regenerován působením ATP za zprostředkování nukleosid-difosfatkinasy. Pokud by byla zahajována tvorba zcela **nové molekuly glykogenu**, je přímerem protein **glykogenin**, kde se první glukosa váže na **specifickou hydroxylovou skupinu tyrosinu**.

Větvení glykogenu nastává působením **amylo-(1,4→1,6)-transglykosylasy** neboli **větvičho enzymu**. Segmenty o průměrné délce 7 glukosových zbytků existujícího lineárního řetězce jsou přenášeny na C₍₆₎-OH stejného nebo jiného řetězce glykogenu. Tyto oligomery lze odštěpovat z řetězců o délce nejméně 11 jednotek a větvení se objevuje ve vzdálenostech nejméně 4 glukosových jednotek.

Klesne-li koncentrace glukosy v krvi, začne se uvolňovat pankreatický hormon glukagon. Receptory glukagonu v jaterních buňkách reagují vyvoláním zvýšeného rozkladu glykogenu. Vznikající Glc-6-P je hydrolyzován působením **glukosa-6-fosfatasy** na glukosu, která prochází buněčnou stěnou do krve.



Fotosyntéza

37. Fotosyntéza — světelná reakce a reakce ve tmě

