



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Vzdělávací materiál vytvořený v projektu OP VK

Název školy:	Gymnázium, Zábřeh, náměstí Osvobození 20
Číslo projektu:	CZ.1.07/1.5.00/34.0211
Název projektu:	Zlepšení podmínek pro výuku na gymnáziu
Číslo a název klíčové aktivity:	III/2 - Inovace a zkvalitnění výuky prostřednictvím ICT

Anotace

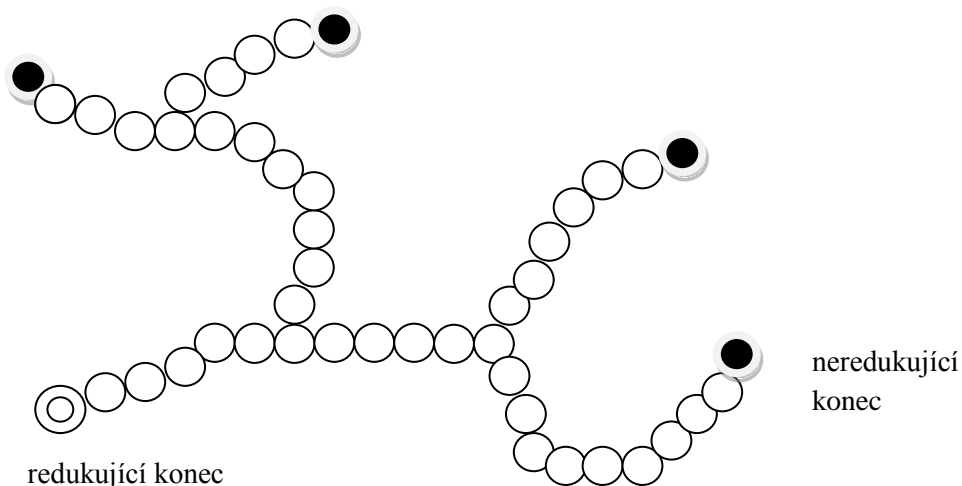
Název tematické oblasti:	Biochemie
Název učebního materiálu:	Metabolismus sacharidů
Číslo učebního materiálu:	VY_32_INOVACE_Ch0216
Vyučovací předmět:	Seminář z chemie
Ročník:	4. ročník čtyřletého studia, 8. ročník osmiletého studia
Autor:	Jana Drlíková
Datum vytvoření:	3. 4. 2013
Datum ověření ve výuce:	4. 4. 2013
Druh učebního materiálu:	pracovní list
Očekávaný výstup:	Uplatnění dosud získaných znalostí z oblasti obecné, organické chemie, biochemie a biologie na vyvozování nového učiva v probíraném tématu.
Metodické poznámky:	Pracovní list studenta je doplněn vypracovanou verzí pro učitele. Ve výuce je pracovní list používán jako text, na jehož základě je procvičováno již probrané učivo, jsou vyvozovány nové poznatky a řešeny drobné problémové úlohy ze zadaného tématu.

Metabolismus sacharidů

pracovní list

A) Odbourávání glykogenu

Glykogen je.....
.....
.....

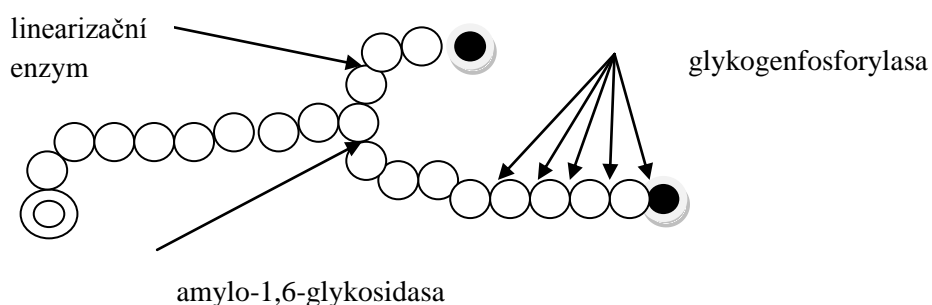


Proč je k ukládání energie kromě tuků používán polysacharid glykogen?

-
- vyšší mastné kyseliny uvolňované z tuků nemohou být odbourávány anaerobně
- živočichové nejsou schopni přeměňovat mastné kyseliny na prekurzory Glu, metabolismus tuků tedy není schopen udržovat stálou hladinu Glu v krvi

Tkáně s nevyšším obsahem glykogenu jsou Ve svalu je glykogen přeměňován na glukosa-6-fosfát, který je pak odbouráván v glykolytické dráze. Výsledkem této části metabolismu je pak V játrech iniciuje nízká hladina krevní Glu štěpení na glukosa-6-fosfát, který je následně hydrolyzován na Glu, jež pak vstupuje do krevního oběhu.

Glukosové jednotky se odštěpují působení enzymu glykogenfosforylasy pouze od neredukujícího konce. Vysoká míra větvení glykogenu má tedy fyziologický význam.
.....

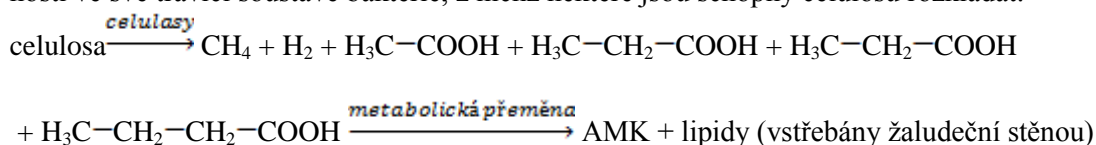


B) Odbourávání škrobu

Polysacharidy obsažené ve škrobu jsou odbourávány sledem katabolických dějů, které jsou katalyzovány enzymy ze skupiny hydrolas (.....), **amylasami**. α -amylasy (dextrogenní amylasy) katalyzují hydrolytické štěpení α -(1 \rightarrow 4) glykosidické vazby uvnitř makromolekuly a jsou odštěpovány fragmenty o 6-8 Glu jednotkách (.....) a ty jsou dále štěpeny a vznikají 2 Glu jednotky (maltosa) a α -glukosa. Př.: slinná α -amylasa pankreatické α -amylasy, bakteriální α -amylasy, α -amylasy v klíčících semenech (sladu). β -amylasy (sacharogenní) katalyzují hydrolytické štěpení α -(1 \rightarrow 4) glykosidické vazby od neredukujícího konce řetězce a odštěpují se 2 Glu jednotky amylosy, která se dále rozpadá na β -glukosu. Př.: některé amylasy rostlin γ -amylasy (glukoamylasy) katalyzují hydrolýzu polysacharidového řetězce od neredukujícího řetězce a odštěpuje se molekula β -Glu. Př.: střevní amylasa.

C) Odbourávání celulosy

Metabolické využití celulosy (.....) je podmíněno schopností jej rozštěpit na menší využitelné molekuly. Enzymy, katalyzující toto se označují jako a schopnost jejich syntézy mají některé mikroorganismy (bakterie, prvoci nebo kvasinky), z živočichů někteří Býložravci hostí ve své trávicí soustavě bakterie, z nichž některé jsou schopny celulosu rozkládat:

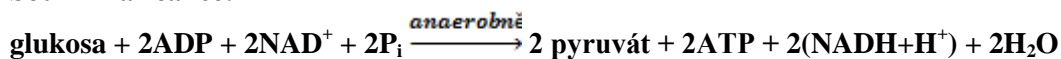


D) Glykolýza

Název dráhy je odvozen z řeckých slov glykos = sladký a lysis = uvolňování.

U většiny organismů je z glykolýzy kryta podstatná část potřebné energie a jde o klíčovou dráhu energetického metabolismu. Zkoumání této části metabolismu začalo studii L. Pasteura o vztahu mikroorganismů a kvašení v letech 1854-1864 a bylo završeno úplným objasněním glykolýzy v r.1940.

Souhrnná reakce:

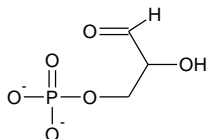
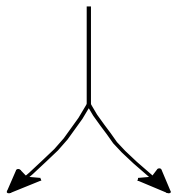
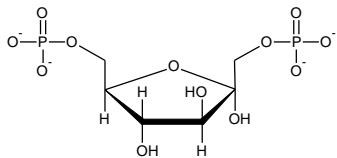
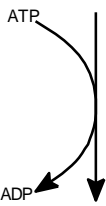
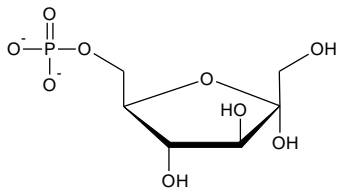
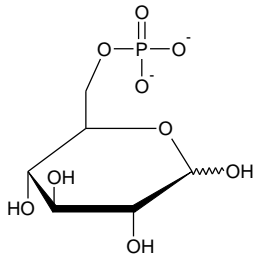
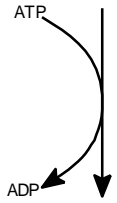
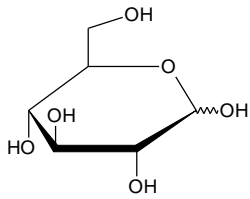


Jde o 10 enzymově katalyzovaných reakcí, glykolytické enzymy jsou součástí cytosolu. Celkový energetický zisk je 2 ATP na 1 molekulu Glu, což reprezentuje jen asi 5% využitelné energie Glu. Glykolýza je využívána pro **rychlou**, byť poněkud „marnotratnou“ produkci ATP. Oxidační fosforylace (dýchací řetězec) získá z 1 molekuly Glu 38 molekul ATP, ale glykolýza je asi 100x rychlejší.

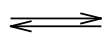
(Kosterní svalstvo se skládá ze 2 typů vláken:

- vlákna s pomalou kontrakcí obsahují hodně mitochondrií a většina energetické potřeby je kryta oxidační fosforylací
- vlákna s rychlou kontrakcí jsou téměř bez mitochondrií a většina ATP se získává glykolýzou.)

vzorec



triosafosfát isomerasa



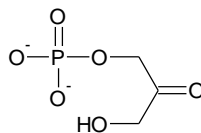
enzym, aktivace

....., Mg^{2+}

.....

....., Mg^{2+}

aldolasa



název látky

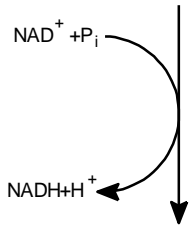
.....

.....

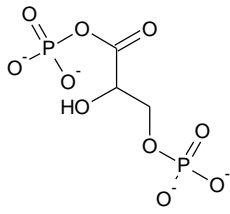
.....

.....

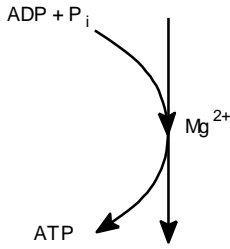
.....



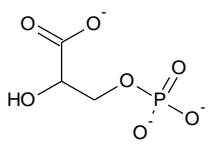
glyceraldehyd-3-
fosfátdehydrogenasa



1,3-bis(fosfo)glycerát

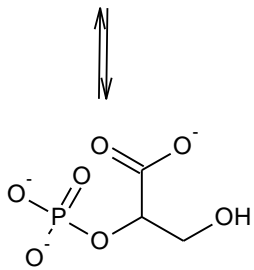


.....



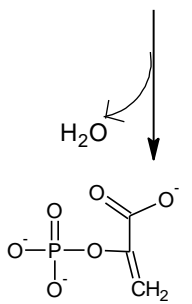
.....

fosfoglycerátmutasa

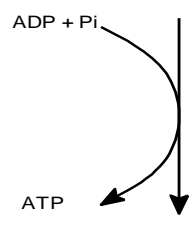


.....

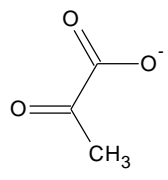
enolasa, Mg^{2+}



fosfoenolpyruvát



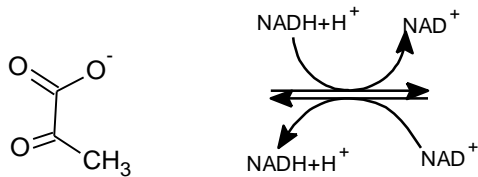
..... Mg^{2+} , K^+



.....

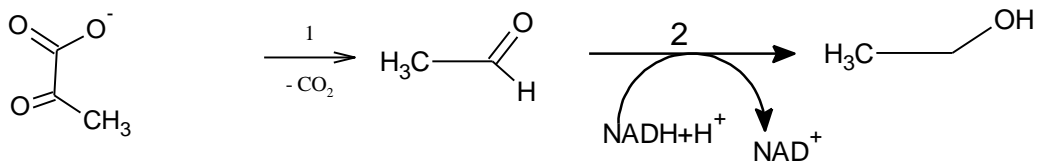
**Metabolický osud produktů glykolýzy:
PYRUVÁT**

a) mléčné kvašení



- probíhající metabolická dráha (např.: při práci „na kyslíkový dluh“, při mléčném kvašení zelí a ostatní zeleniny)
- jde o jednu z cest jak regenerovat NAD^+ v anaerobních podmínkách
- enzym:
- využití laktátu: ze svalů se vyplavuje do krve a v játrech je substrátem glukoneogeneze

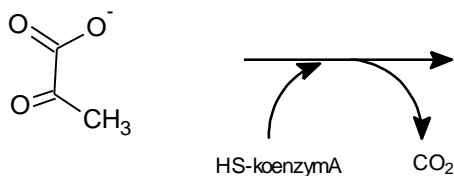
b) alkoholové kvašení



..... 1: 2:

- dráhu zajišťují enzymy kvasinek alkoholového kvašení
- opačný průběh reakce 2 je část metabolismu ethanolu v těle

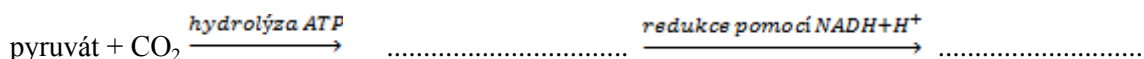
c) oxidační dekarboxylace



pyruvát acetylkoenzymA

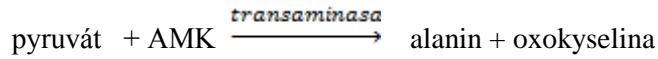
- enzym: multienzymový komplex
- využití acetylkoenzymuA:
- využití $\text{NADH} + \text{H}^+$:

d) karboxylace



- využití oxalacetátu: resyntéza Glu, Krebsův cyklus
- využití malátu: Krebsův cyklus
- enzym:

e) transaminace



ATP

-

NADH+H⁺

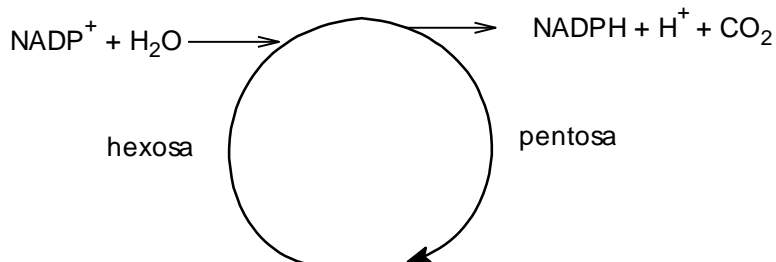
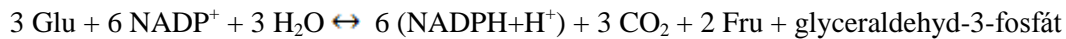
-

E) Pentosový cyklus

Pentosový cyklus byl objasněn v r.1953. Umožňuje úplnou oxidaci glukosy na CO₂ bez zahrnutí citrátového cyklu a dýchacího řetězce, v procesu vznikají z hexos pentosy a NADPH + H⁺. Jde o děj, v němž kromě odbourávání vznikají biochemicky významné látky, chápeme jej jako amfibolický.

Neprobíhá ve všech buňkách. Na enzymy pentosového cyklu je bohatý cytosol tkání, které se zúčastňují biosyntézy lipidů a cholesterolu.....

Celková bilance:



využití NADPH + H⁺:

využití pentos:

F) Glukoneogeneze

Význam Glu:

.....
.....

Při hladovění musí být většina Glu doplněna syntézou z necukerných zdrojů, protože v játrech může být uskladněno množství glykogenu, které postačí pro mozek asi na půlden.

Lokalizace glukoneogeneze:, v menším rozsahu

Necukerné prekurzory převoditelné v dráze glukoneogeneze na Glu:

produkty glykolýzy: pyruvát a laktát

meziprodukty Krebsova cyklu

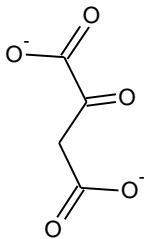
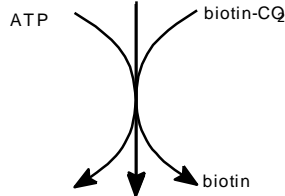
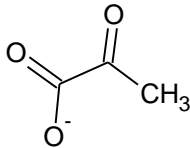
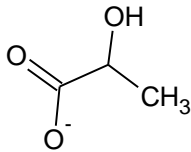
většina AMK (převoditelných na oxalacetát)

glycerol, u rostlin i vyšší karboxylové kyseliny uvolněné hydrolyzou lipidů

mitochondrie

cytosol

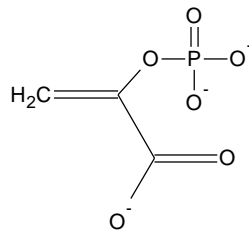
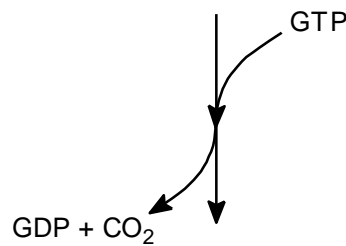
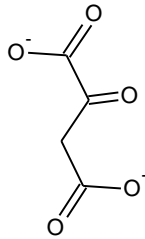
přeměna pyruvátu nebo
meziproduktů citrátového cyklu
na oxalacetát



přeměna oxalacetátu na
fosfoenolpyruvát

.....

u myši a krys pouze
v cytosolu, u holuba a
králíka jen v mitochondriích,
u morčete a lidí rovnoměrně
v obou oddílech

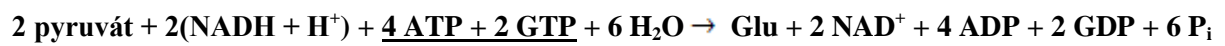


Pyruvátkarboxylasa je allostericky aktivována acetyl-CoA, bez navázání acetyl-CoA je zcela inaktivní.

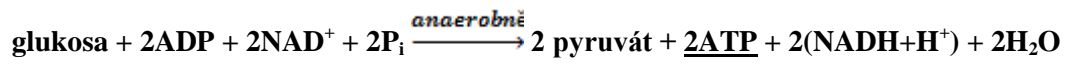
Většina enzymů této fáze glukoneogeneze a glykolýzy je společná, pouze tři dílčí reakce jsou katalyzovány odlišnými enzymy, což umožňuje nezávislou regulaci obou drah a obě dráhy mohou být termodynamicky výhodné.

Souhrnná reakce:

glukoneogeneze:



glykolýza:

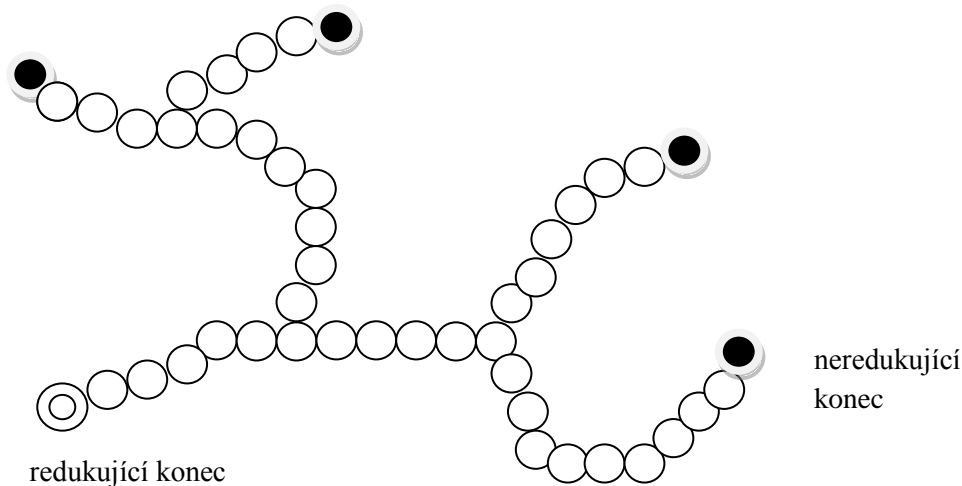


Metabolismus sacharidů

pracovní list – vyplněná verze

A) Odbourávání glykogenu

Glykogen je rozvětvený zásobní polysacharid živočichů, tvořený α -D-glukopyranosou vázanou v lineárních částech řetězce α -(1 \rightarrow 4) glykosidickou vazbou, v místě větvení α -(1 \rightarrow 6) glykosidickou vazbou.

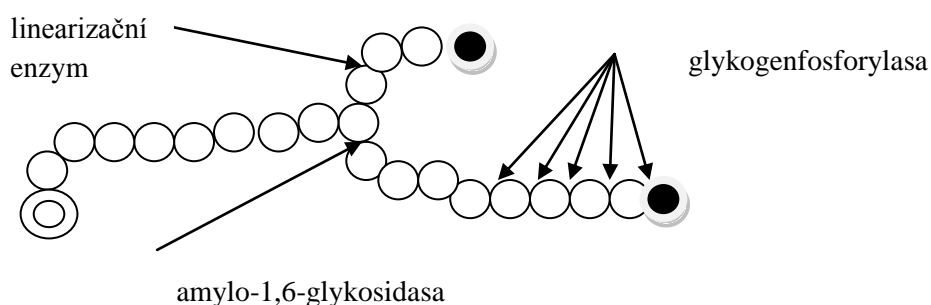


Proč je k ukládání energie kromě tuků používán polysacharid glykogen?

- lipidy nemohou být mobilizovány tak rychle
- vyšší mastné kyseliny uvolňované z tuků nemohou být odbourávány anaerobně
- živočichové nejsou schopni přeměňovat mastné kyseliny na prekurzory Glu, metabolismus tuků tedy není schopen udržovat stálou hladinu Glu v krvi

Tkáně s nevyšším obsahem glykogenu jsou **svaly a játra**. Ve svalu je glykogen přeměňován na glukosa-6-fosfát, který je pak odbouráván v glykolytické dráze. Výsledkem této části metabolismu je pak **ATP**. V játrech iniciuje nízká hladina krevní Glu štěpení na glukosa-6-fosfát, který je následně hydrolyzován na Glu, jež pak vstupuje do krevního oběhu.

Glukosové jednotky se odštěpují působení enzymu glykogenfosforylasy pouze od neredukujícího konce. Vysoká míra větvení glykogenu má tedy fyziologický význam. Umožňuje rychlé uvolňování molekul glukosy z více neredukujících konců glykogenu současně.



B) Odbourávání škrobu

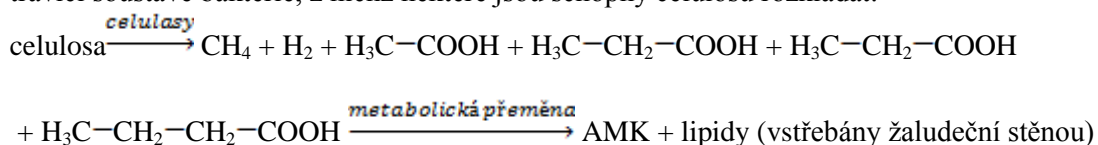
Polysacharidy obsažené ve škrobu jsou odbourávány sledem katabolických dějů, které jsou katalyzovány enzymy ze skupiny hydrolas (katalyzují hydrolytické štěpení vazeb), **amylasami**. α -amylasy (dextrogenní amylasy) katalyzují hydrolytické štěpení α -(1 \rightarrow 4) glykosidické vazby uvnitř makromolekuly a jsou odštěpovány fragmenty o 6-8 Glu jednotkách (**dextriny**) a ty jsou dále štěpeny a vznikají 2 Glu jednotky (maltosa) a α -glukosa. Př.: slinná α -amylasa **ptyalin**, pankreatické α -amylasy, bakteriální α -amylasy, α -amylasy v klíčících semenech (sladu).

β -amylasy (sacharogenní) katalyzují hydrolytické štěpení α -(1 \rightarrow 4) glykosidické vazby od neredukujícího konce řetězce a odštěpují se 2 Glu jednotky amylosy, která se dále rozpadá na β -glukosu. Př.: některé amylasy rostlin

γ -amylasy (glukoamylasy) katalyzují hydrolýzu polysacharidového řetězce od neredukujícího řetězce a odštěpuje se molekula β -Glu. Př.: střevní amylasa.

C) Odbourávání celulosy

Metabolické využití celulosy (**polysacharid, v němž jsou molekuly D - Glu poutány β -(1 \rightarrow 4) glykosidickou vazbou**) je podmíněno schopností jej rozštěpit na menší využitelné molekuly. Enzymy, katalyzující toto se označují jako **celulasy** a schopnost jejich syntézy mají některé mikroorganismy (bakterie, prvoci nebo kvasinky), z živočichů někteří **plži, korýši a hmyz**. Býložravci hostí ve své trávicí soustavě bakterie, z nichž některé jsou schopny celulosu rozkládat:

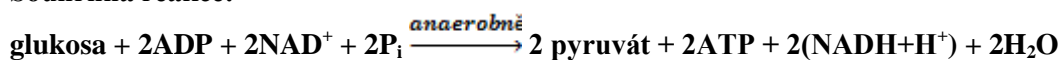


D) Glykolýza

Název dráhy je odvozen z řeckých slov glykos = sladký a lysis = uvolňování.

U většiny organismů je z glykolýzy kryta podstatná část potřebné energie a jde o klíčovou dráhu energetického metabolismu. Zkoumání této části metabolismu začalo studiemi L. Pasteura o vztahu mikroorganismů a kvašení v letech 1854-1864 a bylo završeno úplným objasněním glykolýzy v r.1940.

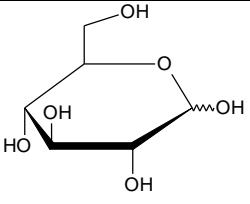
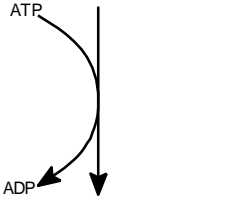
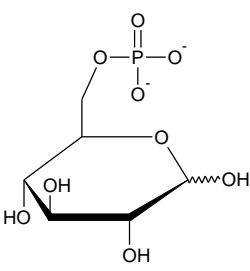

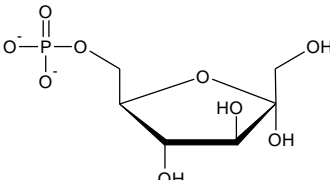
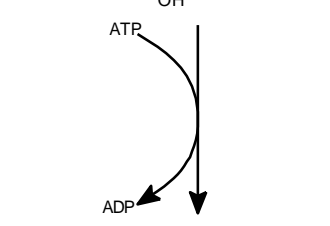
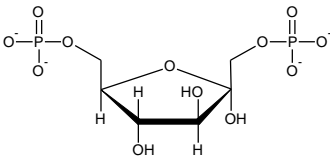
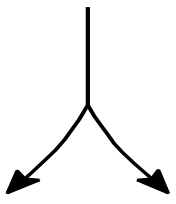
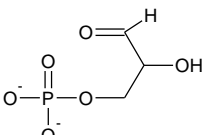
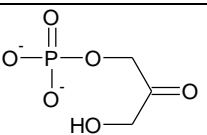
Souhrnná reakce:

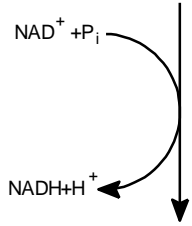
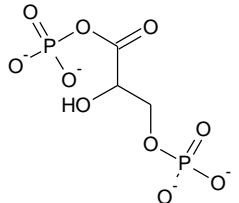
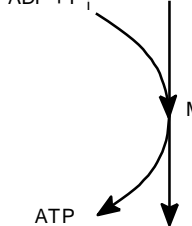
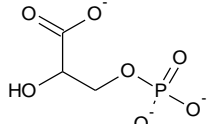

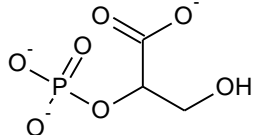
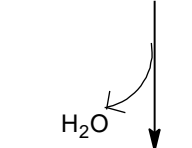
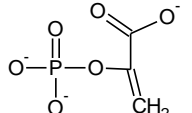
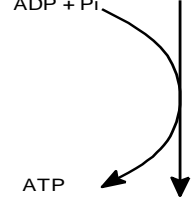
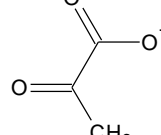


Jde o 10 enzymově katalyzovaných reakcí, glykolytické enzymy jsou součástí cytosolu. Celkový energetický zisk je 2 ATP na 1 molekulu Glu, což reprezentuje jen asi 5% využitelné energie Glu. Glykolýza je využívána pro **rychlou**, byť poněkud „marnotratnou“ produkci ATP. Oxidační fosforylace (dýchací řetězec) získá z 1 molekuly Glu 38 molekul ATP, ale glykolýza je asi 100x rychlejší.

(Kosterní svalstvo se skládá ze 2 typů vláken:

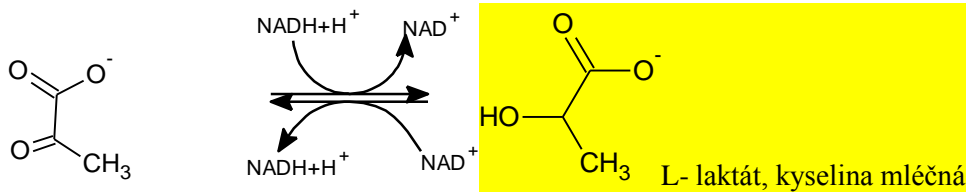
- vlákna s pomalou kontrakcí obsahují hodně mitochondrií a většina energetické potřeby je kryta oxidační fosforylací
- vlákna s rychlou kontrakcí jsou téměř bez mitochondrií a většina ATP se získává glykolýzou.)

vzorec	enzym, aktivace	název látky
		glukopyranosa
	hexokinasa, Mg^{2+}	
		glukopyranosa-6-fosfát
	glukosafosfátisomerasa	
		fruktofuranosa-6-fosfát
	fosfofruktokinasa, Mg^{2+}	
		fruktofuranosa-1,6-bisfosfát
	aldolasa	
	triosafosfát isomerasa	glyceraldehyd-3-fosfát
		dihydroxyaceton fosfát

<p>$\text{NAD}^+ + \text{P}_i$</p>  <p>$\text{NADH} + \text{H}^+$</p>	<p>glyceraldehyd-3-fosfátdehydrogenasa</p>	
		<p>1,3-bis(fosfo)glycerát</p>
<p>$\text{ADP} + \text{P}_i$</p>  <p>Mg^{2+}</p> <p>ATP</p>	<p>fosfoglycerátkinasa</p>	
		<p>3-fosfoglycerát</p>
	<p>fosfoglycerátmutasa</p>	
		<p>2-fosfoglycerát</p>
 <p>H_2O</p>	<p>enolasa, Mg^{2+}</p>	
		<p>fosfoenolpyruvát</p>
<p>$\text{ADP} + \text{P}_i$</p>  <p>ATP</p>	<p>pyruvátkinasa, Mg^{2+}, K^+</p>	
		<p>pyruvát</p>

**Metabolický osud produktů glykolýzy:
PYRUVÁT**

a) mléčné kvašení



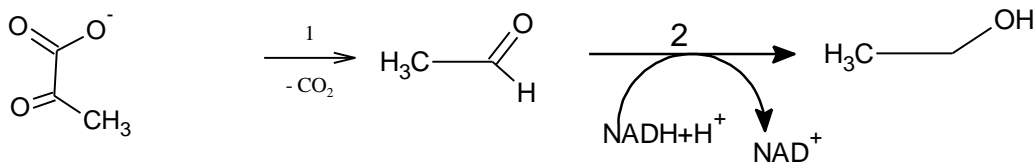
- **anaerobně** probíhající metabolická dráha (např.: při práci „na kyslíkový dluh“, při mléčném kvašení zelí a ostatní zeleniny)

- jde o jednu z cest jak regenerovat NAD^+ v anaerobních podmínkách

- enzym: **laktátdehydrogenasa**

využití laktátu: ze svalů se vyplavuje do krve a v játrech je substrátem glukoneogeneze

b) alkoholové kvašení

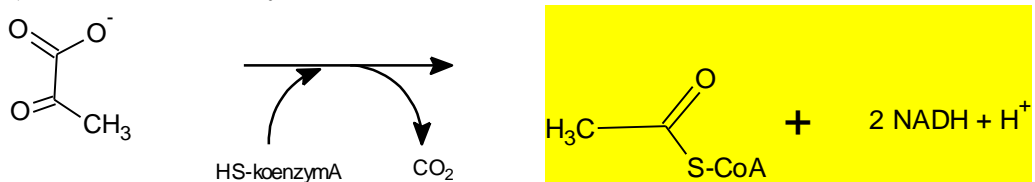


pyruvát 1: pyruvátdekarboxylasa **acetaldehyd** 2: alkoholdehydrogenasa **ethanol**

- dráhu zajišťují enzymy kvasinek alkoholového kvašení

- opačný průběh reakce 2 je část metabolismu ethanolu v těle

c) oxidační dekarboxylace



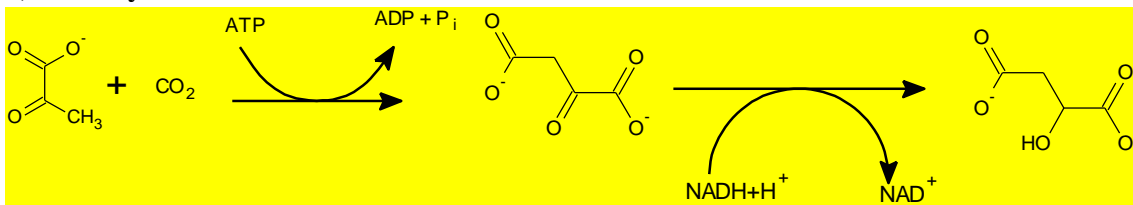
pyruvát

- enzym: multienzymový komplex **pyruvátdehydrogenasy**

- využití acetylkoenzymuA: **syntéza mastných kyselin, odbourávání v Krebsově cyklu**

- využití $\text{NADH} + \text{H}^+$: **redukce a hydrogenace, v dýchacím řetězci vznik energie**

d) karboxylace



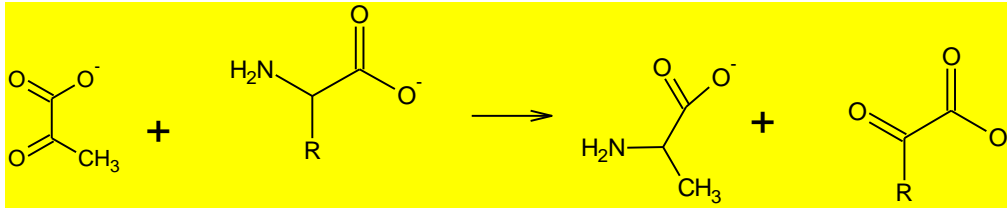
pyruvát + CO_2 $\xrightarrow{\text{hydrolyza ATP}}$ **oxalacetát** $\xrightarrow{\text{redukce pomocí NADH+H}^+}$ **malát**

- využití oxalacetátu: resyntéza Glu, Krebsův cyklus

- využití malátu: Krebsův cyklus

- enzym: **pyruvátkarboxylasa**

e) transaminace



pyruvát + AMK $\xrightarrow{\text{transaminasa}}$ alanin + oxokyselina

ATP

- zdroj energie

NADH+H⁺

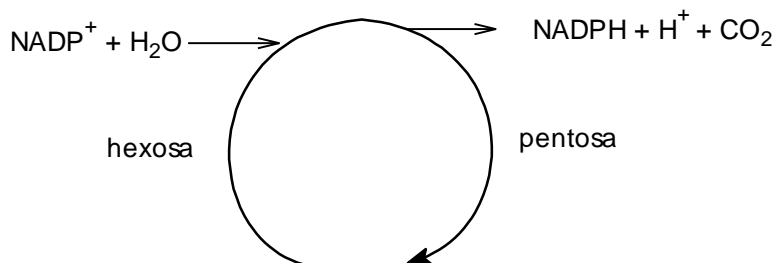
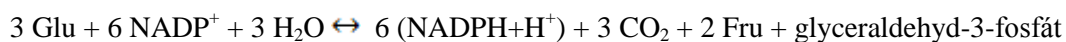
- redukční a hydrogenační činidlo, odbourání H₂ v dýchacím řetězci a s tím spojený vznik ATP

E) Pentosový cyklus

Pentosový cyklus byl objasněn v r.1953. Umožňuje úplnou oxidaci glukosy na CO₂ bez zahrnutí citrátového cyklu a dýchacího řetězce, v procesu vznikají z hexos pentosy a NADPH + H⁺. Jde o děj, v němž kromě odbourávání vznikají biochemicky významné látky, chápeme jej jako amfibolický.

Neprobíhá ve všech buňkách. Na enzymy pentosového cyklu je bohatý cytosol tkání, které se zúčastňují biosyntézy lipidů a cholesterolu: **játra, mléčná žláza, tuková tkáň, kůra nadledvin.**

Celková bilance:



využití NADPH + H⁺: **redukční biosyntézy, např.: biosyntéza karboxylových kyselin**

využití pentos: **syntéza nukleových kyselin, nukleosidů**

F) Glukoneogeneze

Význam Glu:

zdroj energie: buňky mozku a erytrocyty jsou téměř výhradně závislé na Glu jako zdroji energie

prekursor látek: oligosacharidy, polysacharidy, vitamín C a další

Při hladovění musí být většina Glu doplněna syntézou z necukerných zdrojů, protože v játrech může být uskladněno množství glykogenu, které postačí pro mozek asi na půlden.

Lokalizace glukoneogeneze: játra, v menším rozsahu ledviny

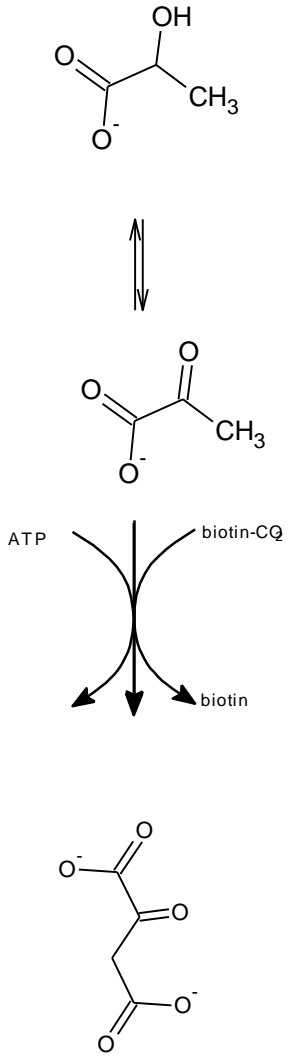
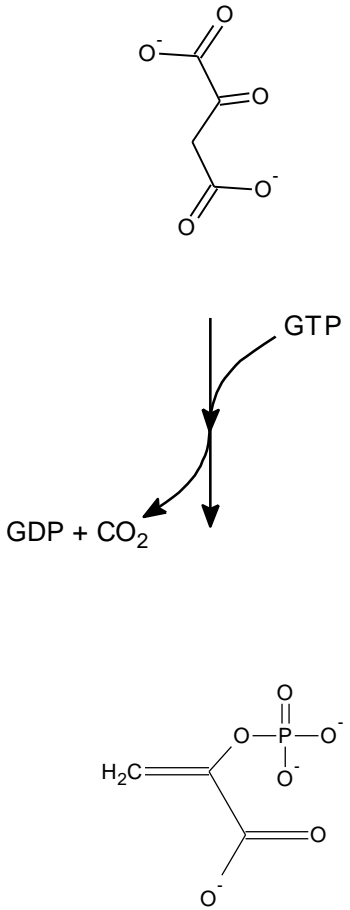
Necukerné prekurzory převoditelné v dráze glukoneogeneze na Glu:

produkty glykolýzy: pyruvát a laktát

meziprodukty Krebsova cyklu

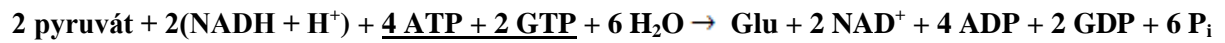
většina AMK (převoditelných na oxalacetát)

glycerol, u rostlin i vyšší karboxylové kyseliny uvolněné hydrolyzou lipidů

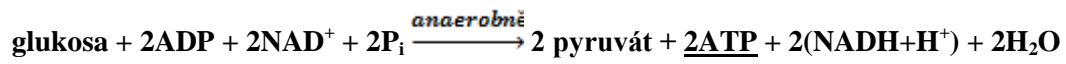
mitochondrie		cytosol
<p>přeměna pyruvátu nebo meziproduktů citrátového cyklu na oxalacetát</p> 	<p>přeměna oxalacetátu na fosfoenolpyruvát druhově specifické</p> <p>u myši a krys pouze v cytosolu, u holuba a králíka jen v mitochondriích, u morčete a lidí rovnoměrně v obou oddílech</p> 	<p>přeměna fosfoenolpyruvátu na Glu v podstatě zvratem glykolýzy</p>
<p>Pyruvátkarboxylasa je allostericky aktivována acetyl-CoA, bez navázání acetyl-CoA je zcela inaktivní.</p>	<p>Většina enzymů této fáze glukoneogeneze a glykolýzy je společná, pouze tři dílčí reakce jsou katalyzovány odlišnými enzymy, což umožňuje nezávislou regulaci obou drah a obě dráhy mohou být termodynamicky výhodné.</p>	

Souhrnná reakce:

glukoneogeneze:



glykolýza:



zdroje: archiv autorky

