

SROVNÁVACÍ FYZIOLOGIE OBRATLOVCŮ

(Podpořeno FRVŠ 1555/2009)

E-mail: jipa@sci.muni.cz

Tel: 532 146 223

Vnější prostředí:

atmosféra

procentuální zastoupení jednotlivých plynů

barometrický tlak (poměrný tlak jednotlivých plynů je konstantní)

teplota, záření

voda

salinita (osmomolarita), iontové složení, Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-}

obsah rozpuštěných plynů, zejména O_2 a $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$

(voda je přirozeně slabě alkalická, je však pufrovaná H^+ ionty za vzniku HCO_3^-)

teplota

hydrostatický tlak

koncentrace molekul => koncentrační gradienty, rychlost chem. reakcí

teplota => rychlost chemických reakcí a tekutost/viskozita tekutin,

lipidů (stabilita membrán)

tlak => mechanický stres, transport, saturace,..

proudění ~ tepelná i látková výměna

záření ~ chemické reakce

Vnitřní prostředí:

Extracelulární (mezibuněčné) x Intracelulární (uvnitř buněk)

Všichni obratlovci aktivně (dynamická rovnováha) regulují parametry svého vnitřního prostředí a zachovávají ho tak prakticky konstantní. Toto udržování stabilního vnitřního prostředí se nazývá homeostáza. Nejpozději vyvinutí živočichové, jako jsou savci a ptáci, regulují homeostázi nejdokonaleji (nejkomplikovaněji).

Homeostáza

nemusí být ale přesně regulována pouze fyziologickými mechanismy (aktivně), ale i vnějším prostředím.

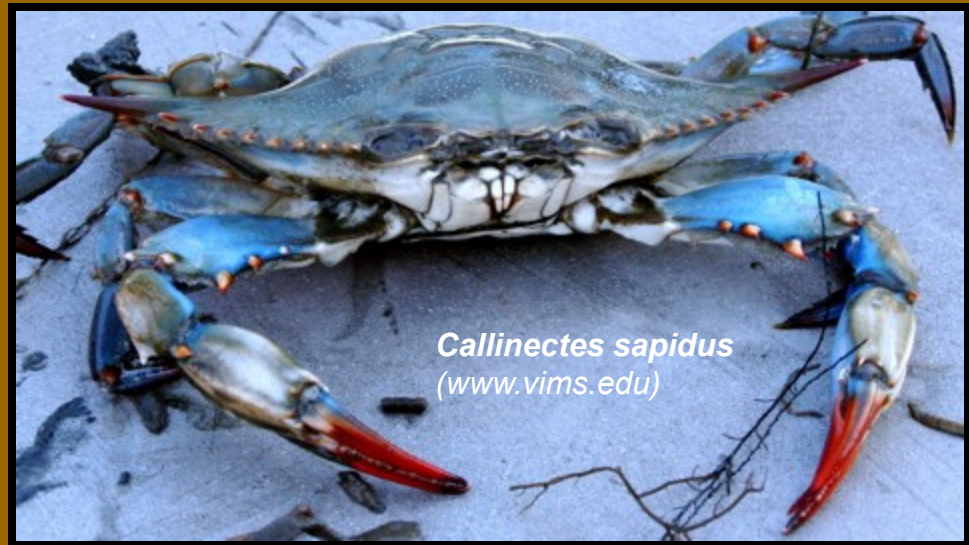
Např. některé ryby žijící v ledovém oceánu antarktidy mají stejnou teplotu těla jako okolní voda (-1,9 °C). Jak teplota vody, tak jejich těl se nemění v průběhu roku o více jak 1 °C, což je srovnatelné či i méně než teplota lidského těla v průběhu dne.

Zachovat stabilní všechny parametry nemusí být u různých druhů stejně důležité, např. teplota.

Vedle homeostáze existuje ještě enantiostasis, což je stav kdy je určitá funkce zachována změnou několika fyziologických proměných.

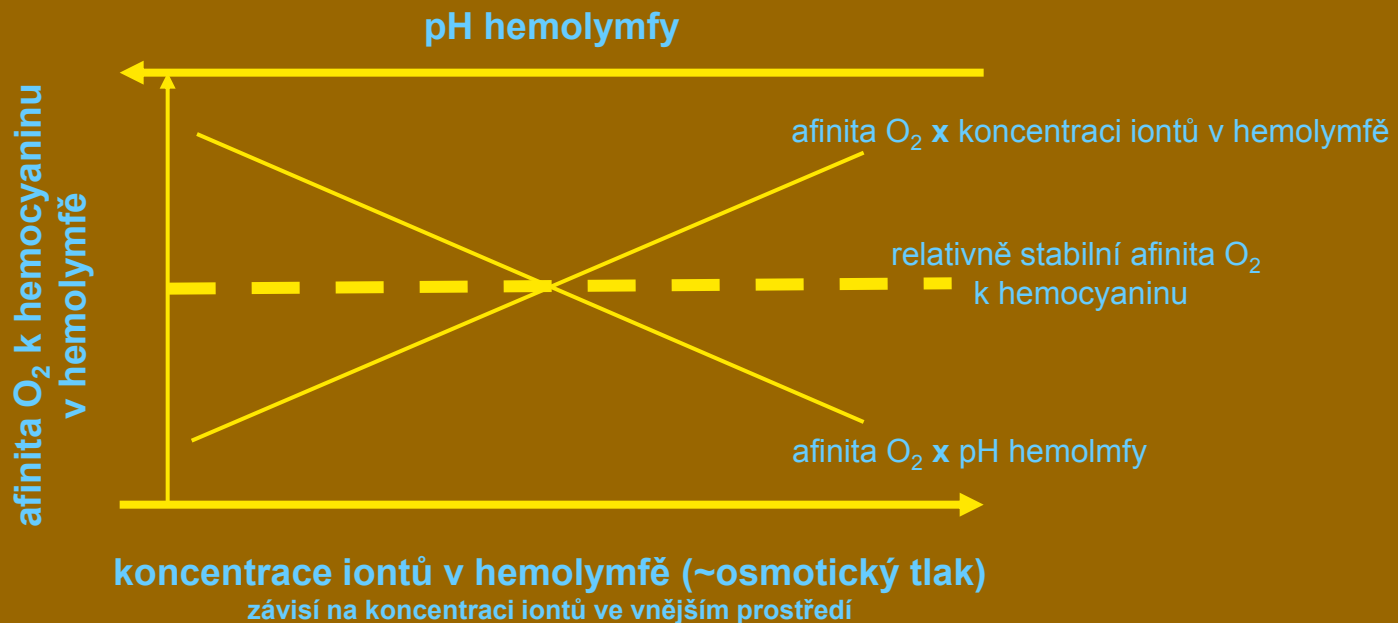
Enantiostasis

zachování metabolických a fyziologických funkcí při změně vnějších podmínek



Příklad enantiostasis – přenos kyslíku u kraba (*Callinectes sapidus*)

Někteří krabi při přenosu z mořské vody do brakické sníží koncentraci iontů a osmotický tlak svých tělních tekutin, tím se zvýší hladina amoniaku a tím pádem i pH jeho hemolymfy. A ačkoliv za nízké koncentrace solí v hemolymfě jejich respirační barvivo (hemocyanin) má nižší afinitu ke kyslíku, tak vyšší pH tuto afinitu zvyšuje a celkově tak zůstane úroveň transportu kyslíku hemolymfou během přenosu z mořské vody do brakické nezměněna.



ADAPTACE

Adaptace – evoluční adaptace

- > výsledkem jsou možnosti fyziologické adaptace, rozsah (plasticita) tolerance a rezistence
 - > cílem pak přežít a mít potomky (fitness)
 - > jednotlivé vlastnosti nemusí vždy vypadat jako nejlepší řešení, je třeba zachovat jejich celkovou souhru
 - > všichni obratlovci jsou relativně velcí živočichové (většina v dospělosti > 10g), z toho plyne i jejich značná strukturní složitost a nutnost kvalitního řízení
 - neuroendokrinní systém s centrální jednotkou (integrace vnějších a vnitřních signálů)
- (nejmenší obratlovci – ~ 7-8mm, ≤ 1mg)



Užívané předpony

poikilo –, veličina se mění

homeo -, veličina se nemění

Př. s tělní teplotou: V obou případech se může uplatňovat jak regulace (aktivně řízeno organismem), tak přizpůsobení vnějšímu prostředí. Člověk je homeotermní s termoregulací, ryby antarktických vod jsou homeotermní přizpůsobením se danému prostředí. Tyto předpony tedy nevypovídají o fyziologické regulaci dané veličiny. Člověk je však endotermní a většina ryb ektotermní.

ekto -, vnější

ento -, vnitřní

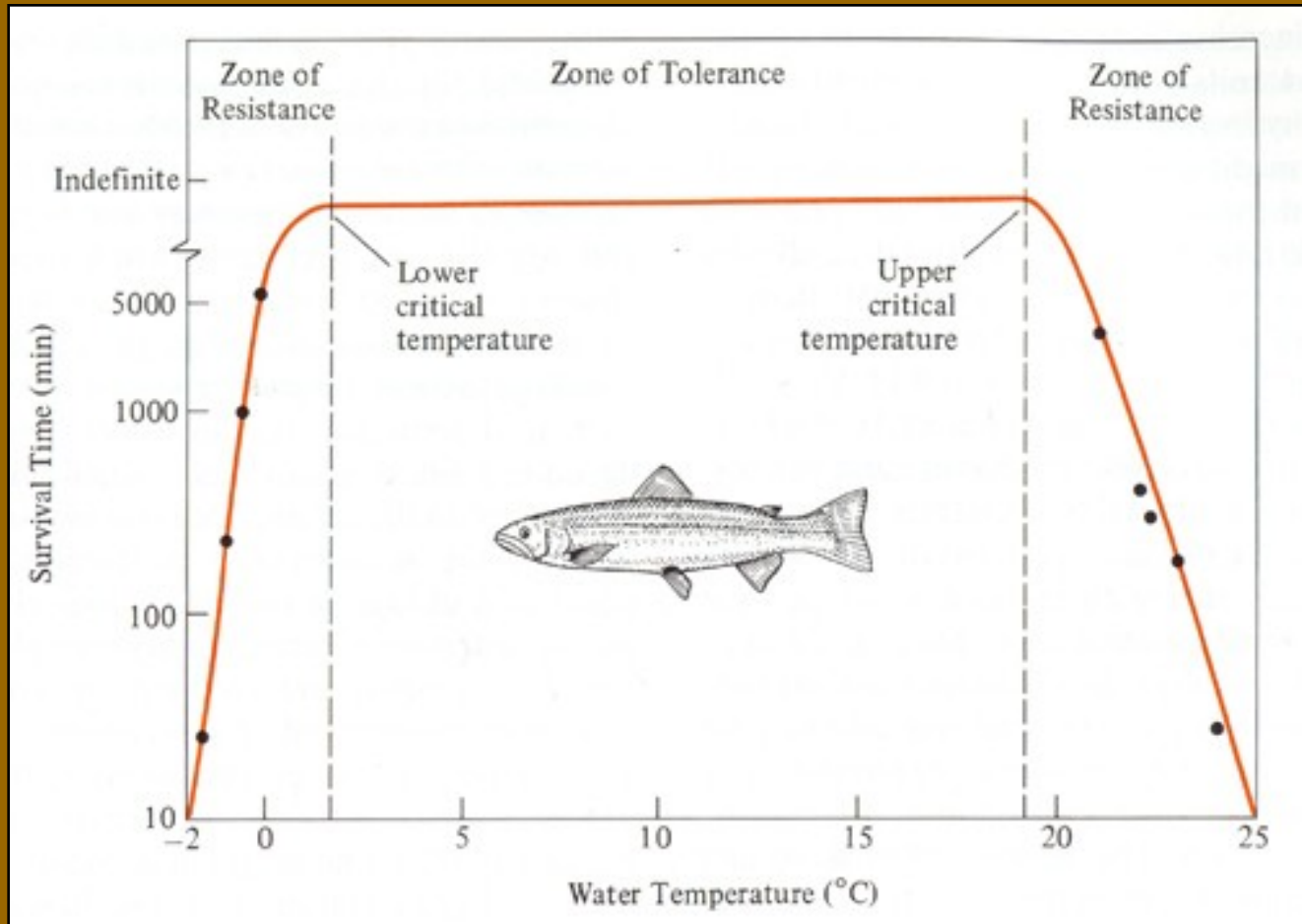
eury -, široká míra tolerance pro danou veličinu

steno -, úzká míra tolerance pro danou veličinu

Tolerance x Rezistence

tolerance - rozpětí parametrů prostředí, kdy organismus přežívá

rezistence – rozpětí parametru prostředí mezi dolní a horní hranicí tolerance a okamžitou smrtí jedince

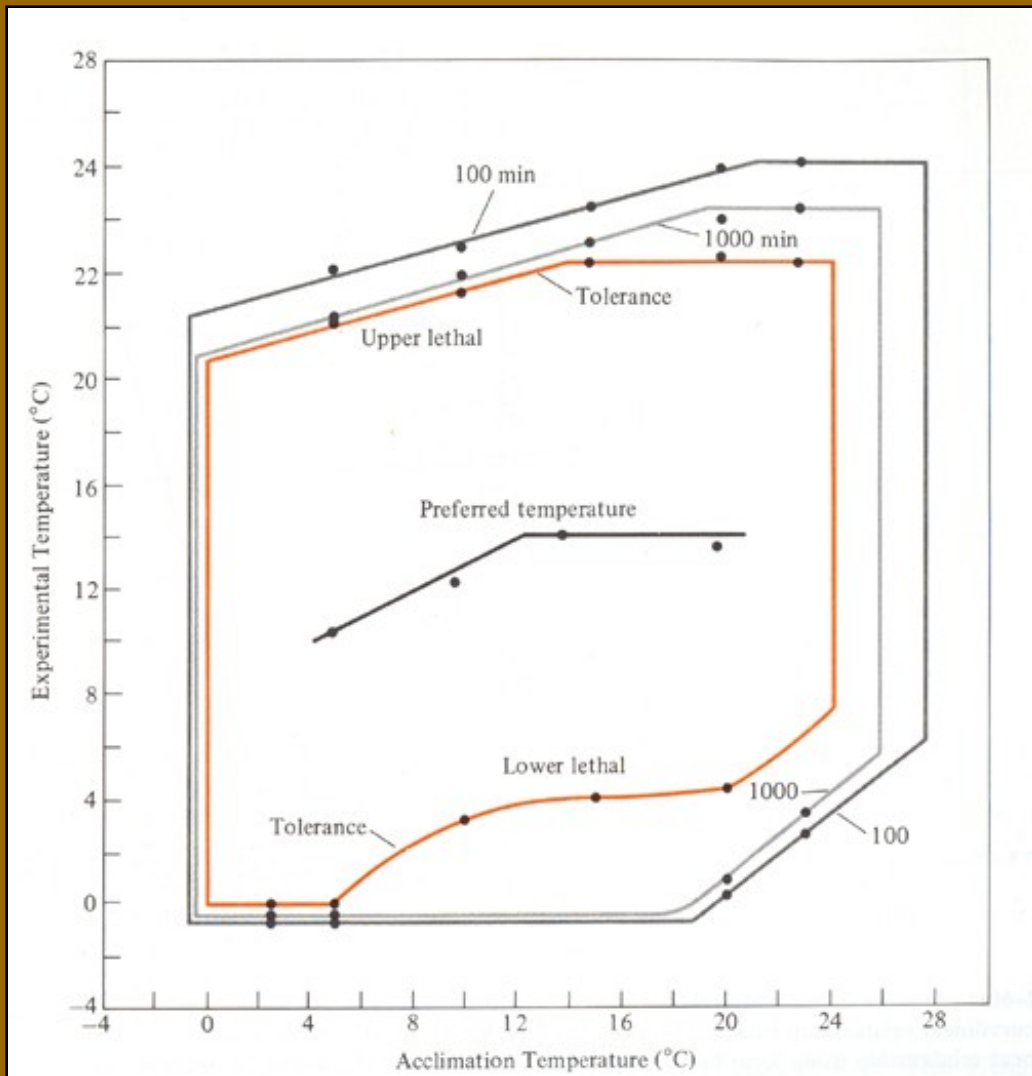


Př. : Tolerance a rezistence pstruha na teplotu vody

Fyziologická adaptace – aklimatizace (+ aklimace)

Aklimatizace – posunutí hranic tolerance, např. v důsledku sezóních změn

Aklimace – aklimatizace v kontrolovaných laboratorních podmínkách (často změna jen jednoho parametru)



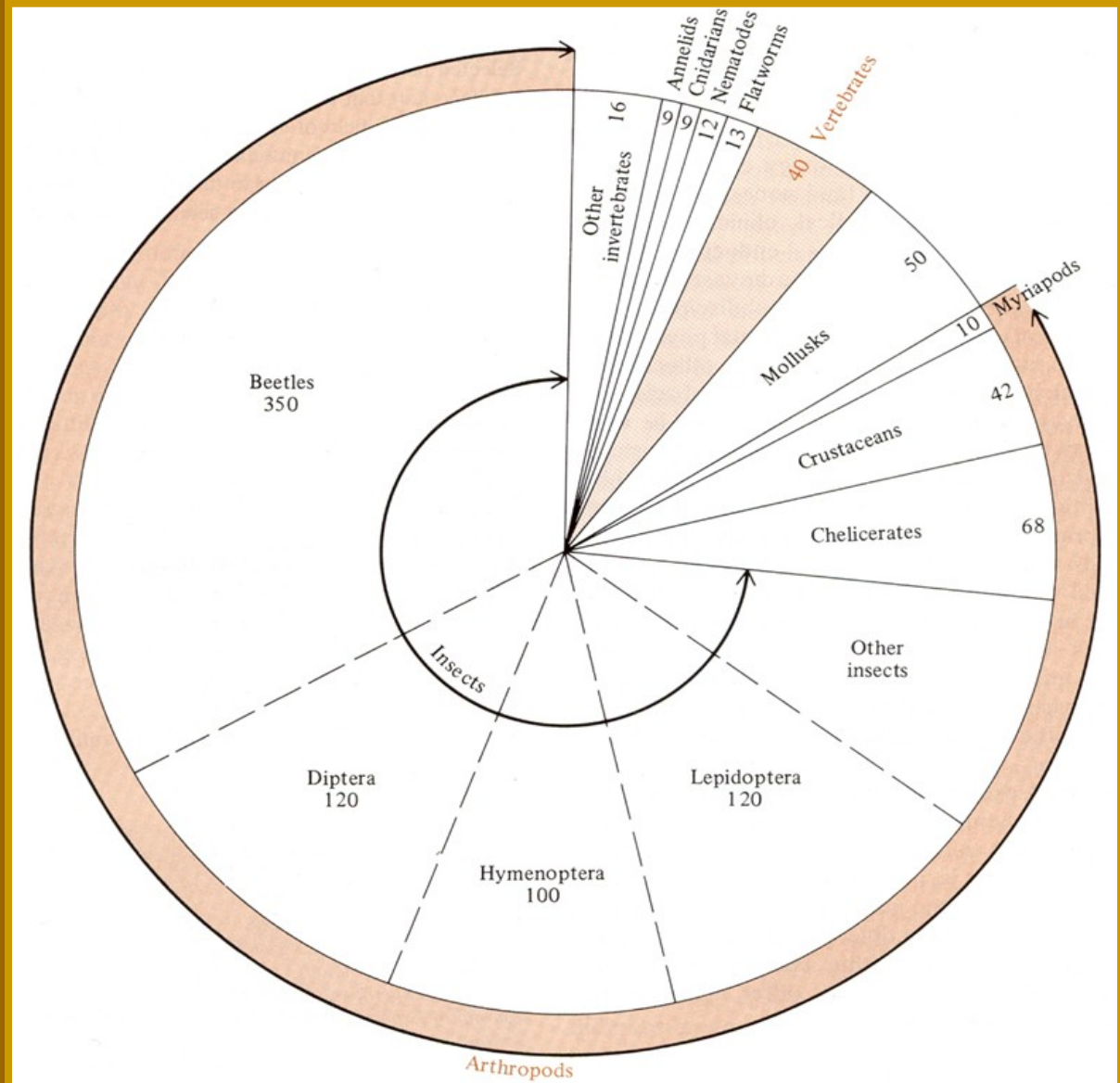
Př.: Polygon teplotní tolerance pstruha aklimovaného na různou teplotu v rozsahu 0 – 24°C.

Srovnání počtu druhů u jednotlivých živočišných skupin (v tisících)

Obratlovci – 3,7%

Bezobratlí – 96,3%

Členovci – 86%

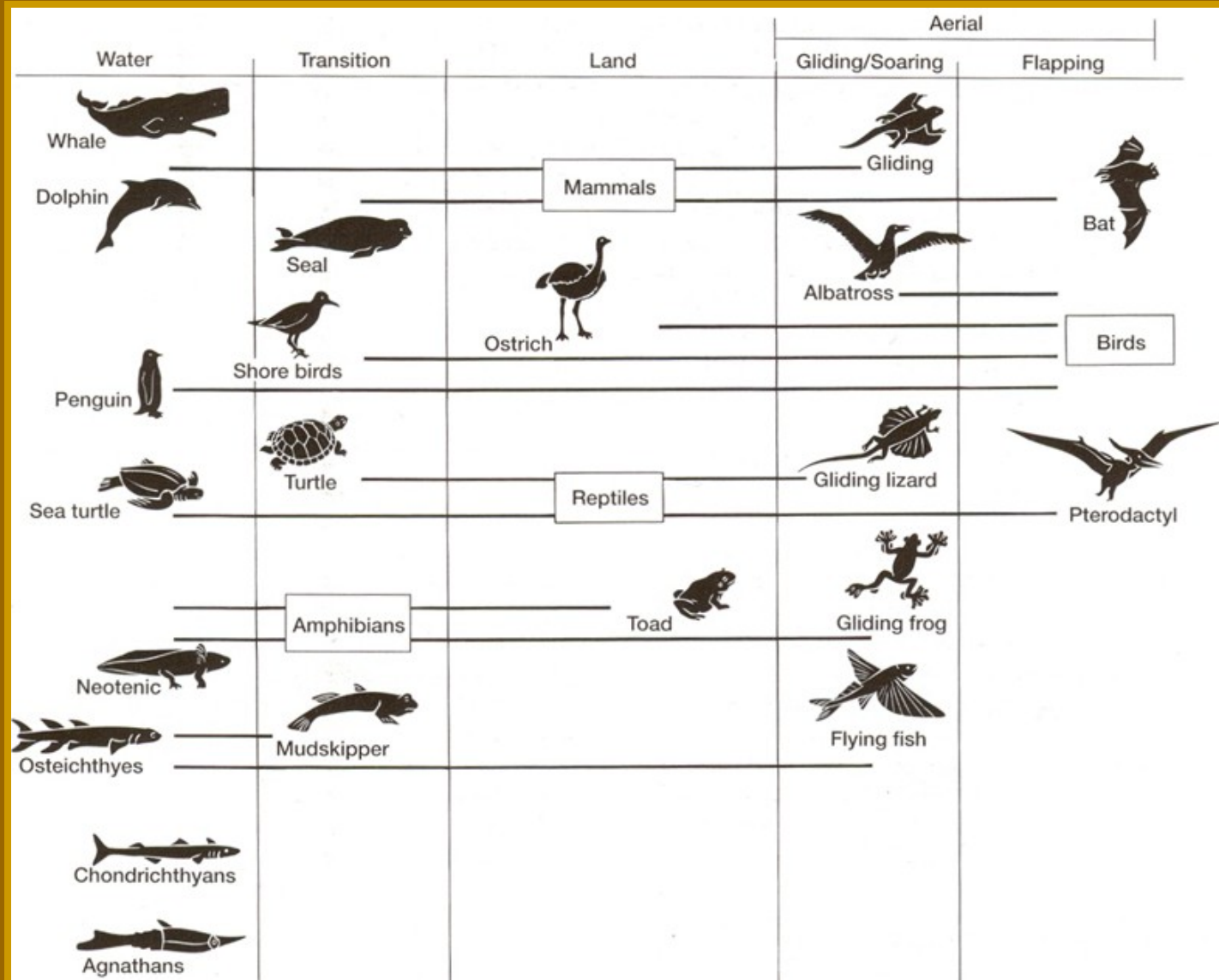


Fylogenetická četnost jednotlivých skupin obratlovců



Convergence tvarů u obratlovců

- v souladu s fyzikálními zákony



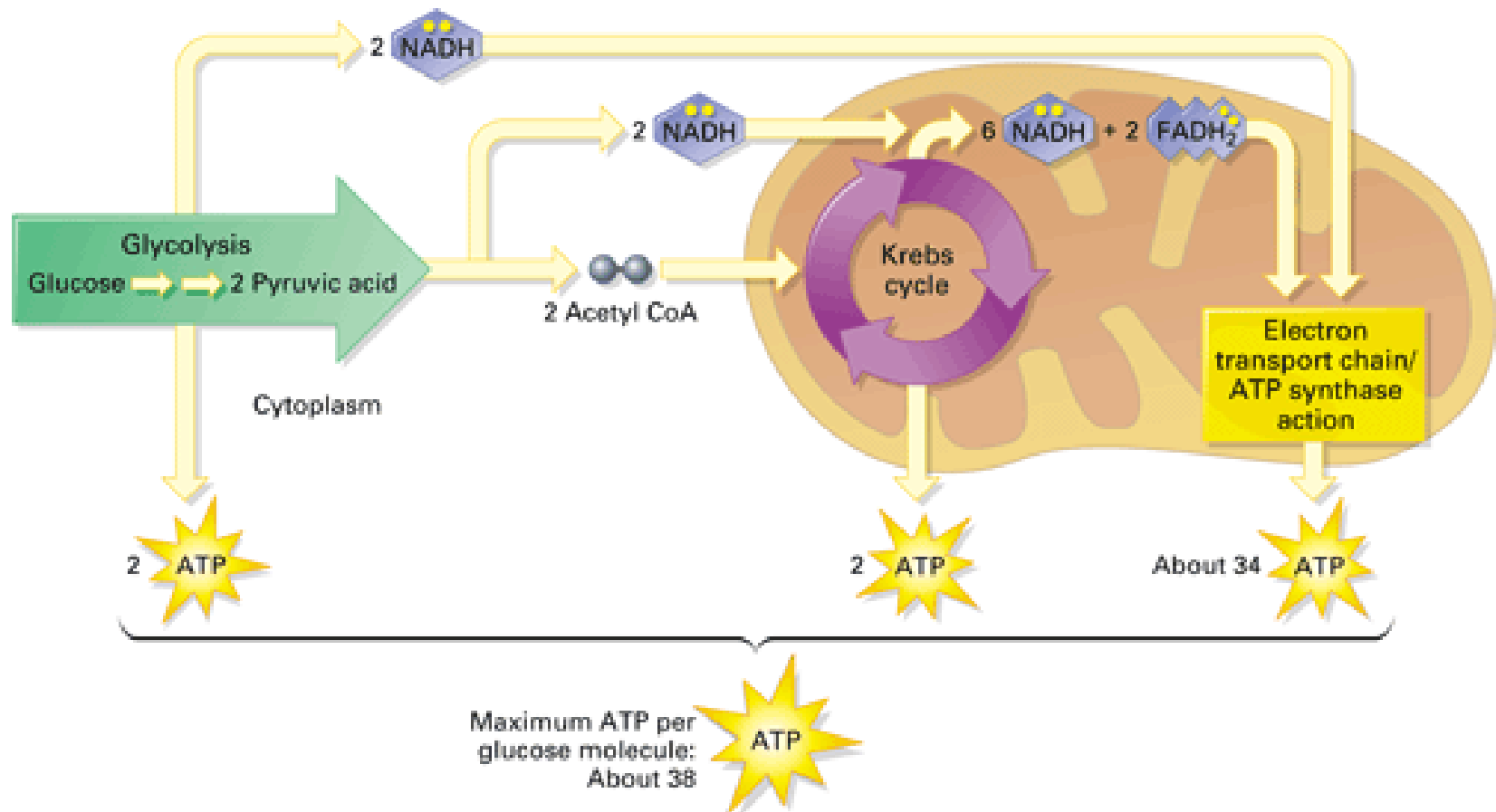
2. ENERGETIKA & METABOLIZMUS

- soustavný tok energie, zajišťující dostatek univerzálního energetického přenašeče a donoru – ATP využívaném v celkovém metabolismu
=> zajištění membránových gradientů (Na^+/K^+ , Ca^{2+} pumpy), pohybu, metabolismu proteinů, sacharidů, lipidů,....+ *produkce tepla*
- část chemické energie je uchovávána také v ADP, AMP a kreatin fosfátu
- metabolismus všech obratlovců je závislý na kyslíku a chemické energii získané oxidací vhodných substrátů - aerobní metabolismus.

Aerobním metabolismem je vytvářeno 95 % ATP (*mitochondrie*)

Anaerobní metabolismu tvoří jen 5% ATP (*v cytoplasmě buněk*)

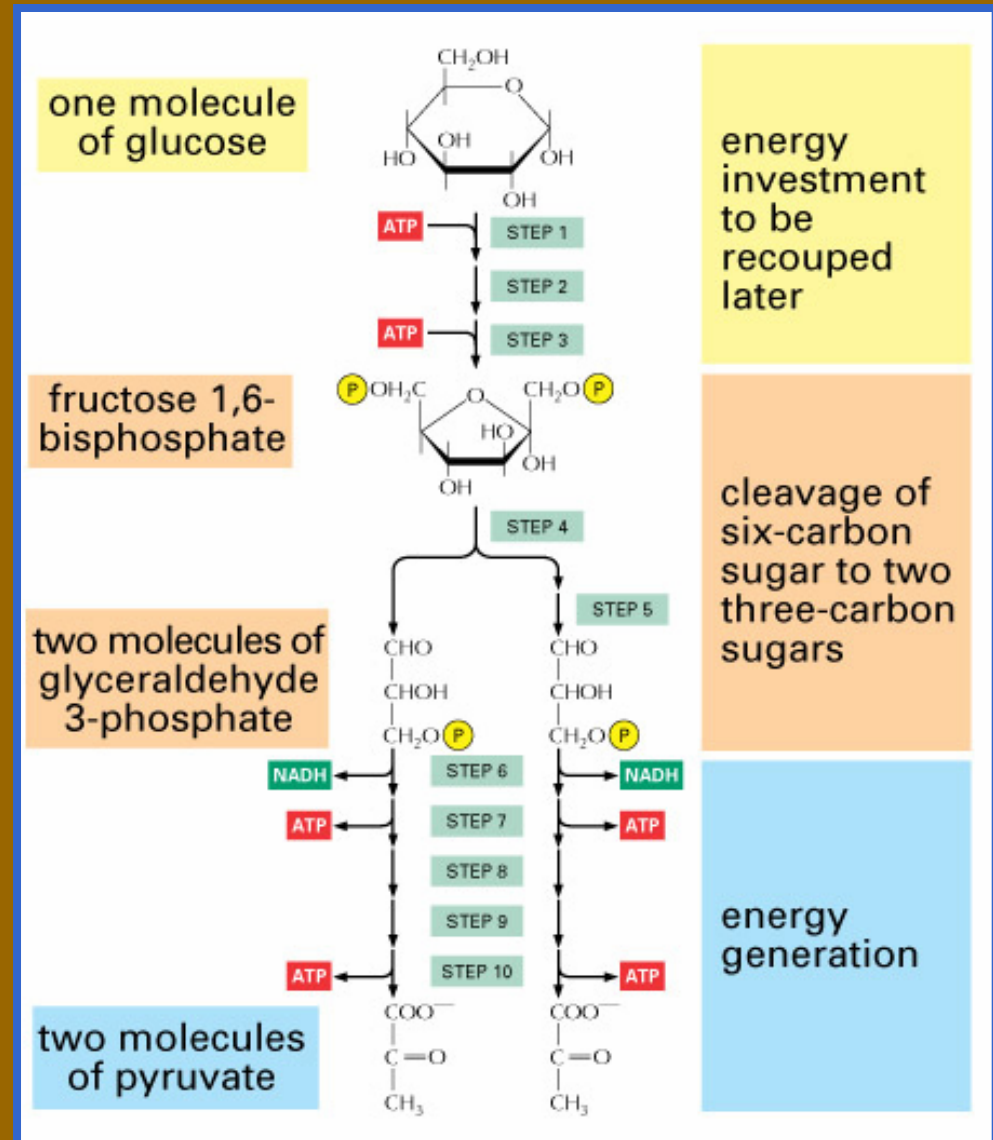
Základní schéma energetického metabolismu buňky (AEROBNÍHO)

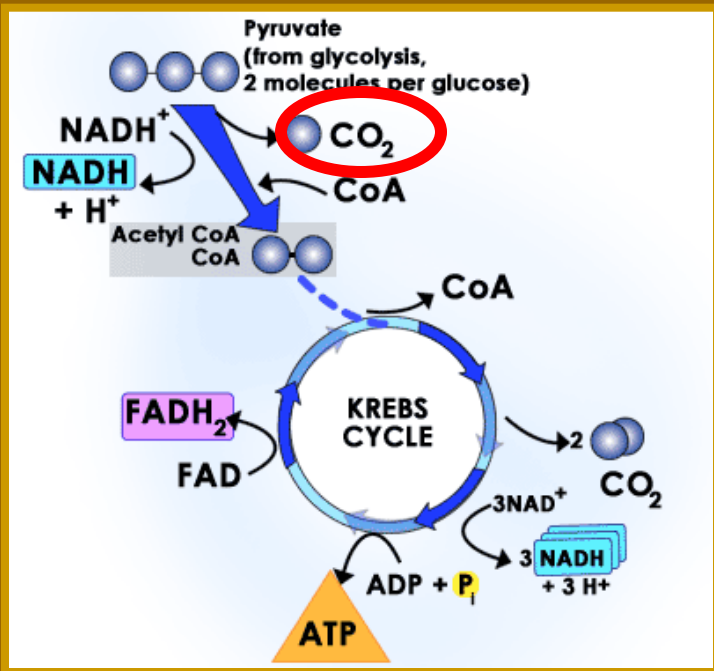


GLYKOLÝZA

(Embden-Meyerhofova dráha)

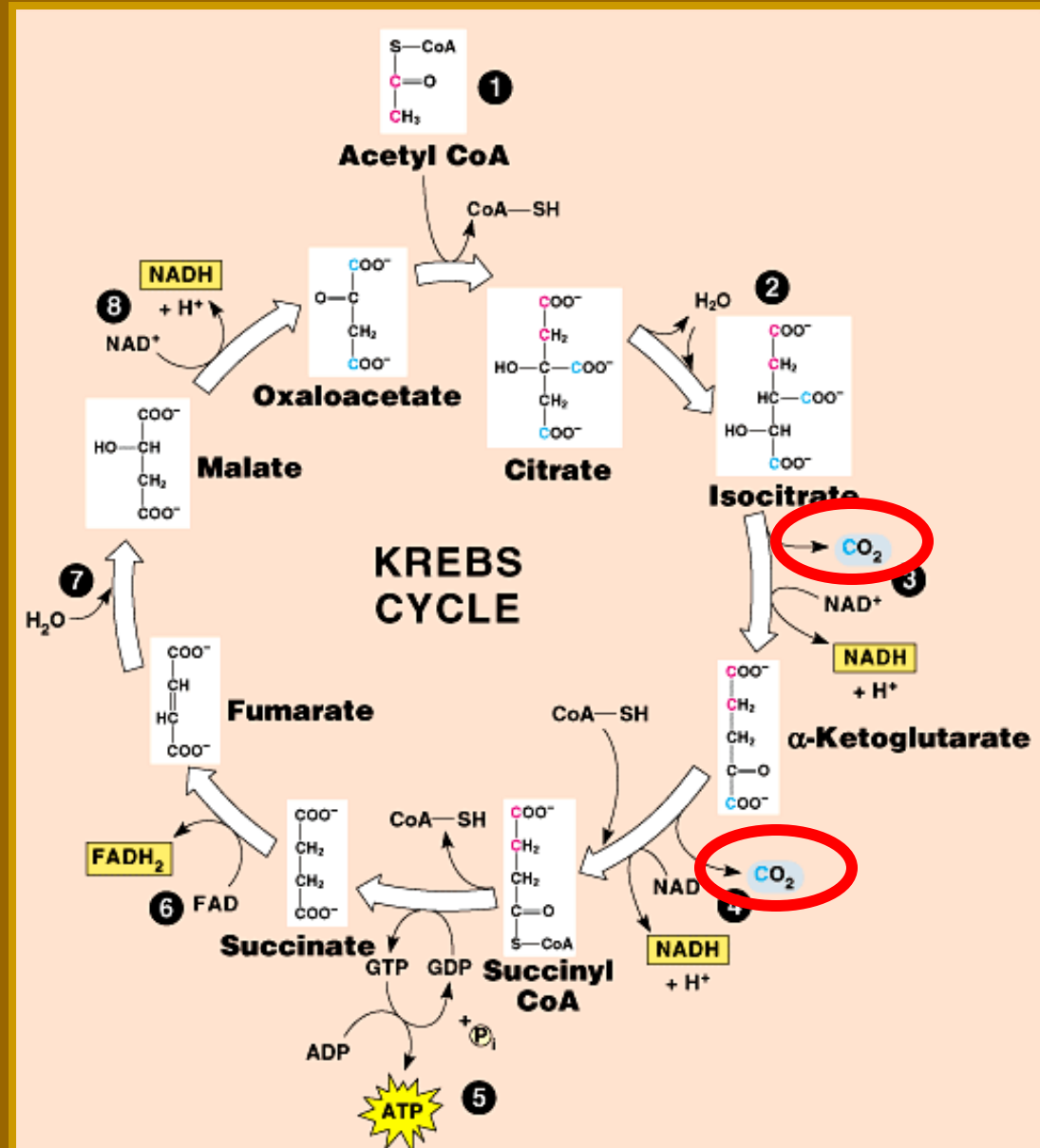
- ❖ substrát glukóza
- ❖ produkt pyruvát (~> laktát)
(laktát inhibuje glykolýzu)
- ❖ nespotřebovává se kyslík
=> anaerobní proces
neprodukuje se CO₂
(Krebsův cyklus)

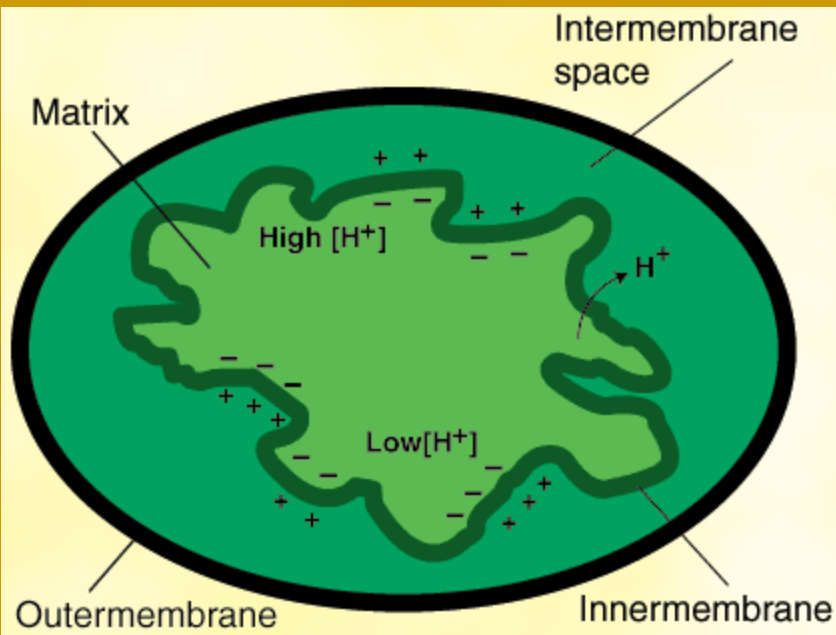




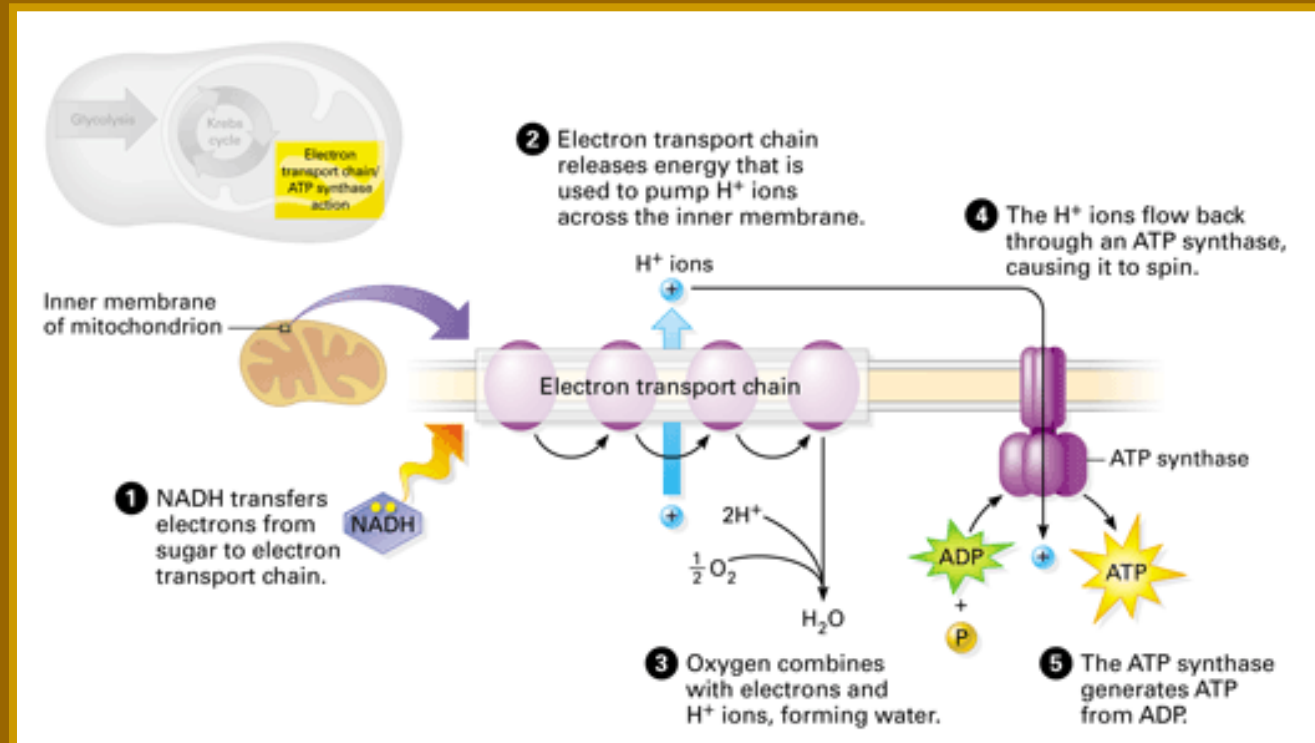
Krebsův (citrátový) cyklus

1xATP + 3xNADH + 1xFADH

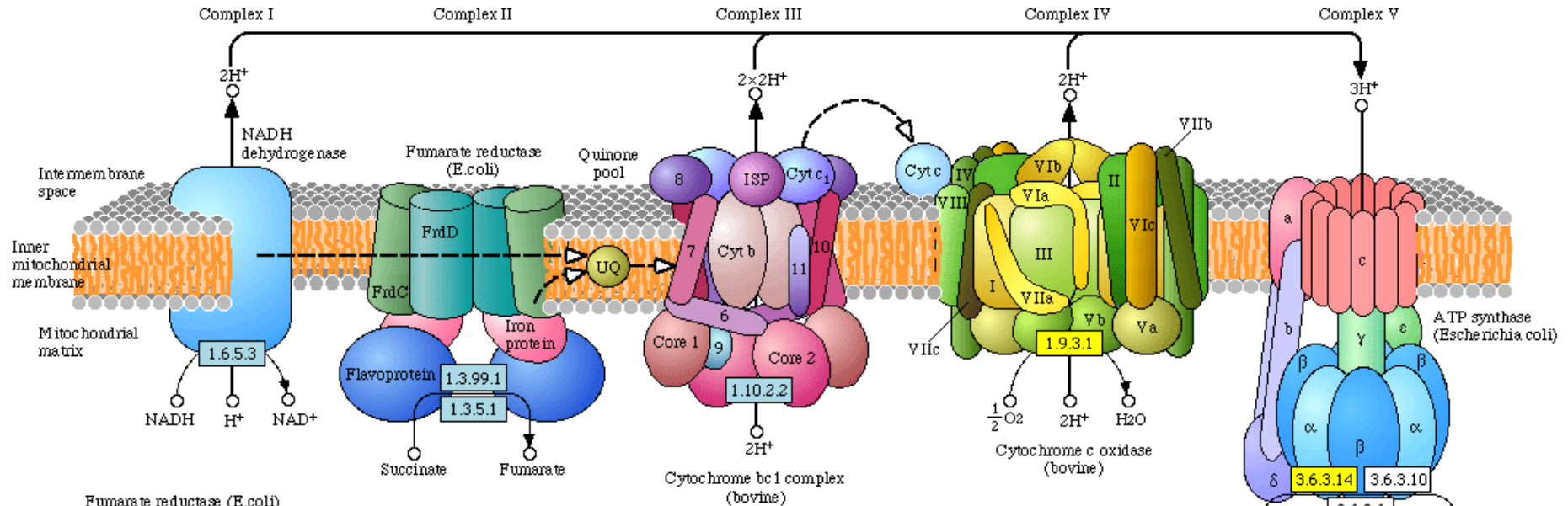




❖ **Krebs. cyklus** => dostatek NADH a $FADH_2$ pro tvorbu protonového gradientu v mitochondriích jako pohonu ATPsyntetáz



OXIDATIVE PHOSPHORYLATION



Fumarate reductase (E.coli)

B/A	SdhC	SdhD	SdhA	SdhB				
			FrdA	FrdB	FrdC	FrdD		
E	SDHC	SDHD	SDHA	SDHB				

Cytochrome bc1 complex (bovine)

B/A/E	ISP	Cyt b	Cyt c1							
E				COR1	QCR2	QCR6	QCR7	QCR8	QCR9	QCR10

Cytochrome c oxidase

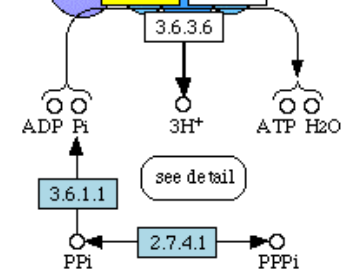
E	COX10	COX3	COX1	COX2	COX4	COX5A	COX5B	COX6A	COX6B	COX6C	COX7A	COX7B	COX7C	COX8
B/A	CyoE	CyoD	CyoC	CyoB	CyoA									
		CoxD	CoxC	CoxA	CoxB									
		QoxD	QoxC	QoxB	QoxA									

Cytochrome c oxidase, cbb3-type

B	I	II	IV	III
---	---	----	----	-----

Cytochrome bd complex

B/A	CydA	CydB
-----	------	------



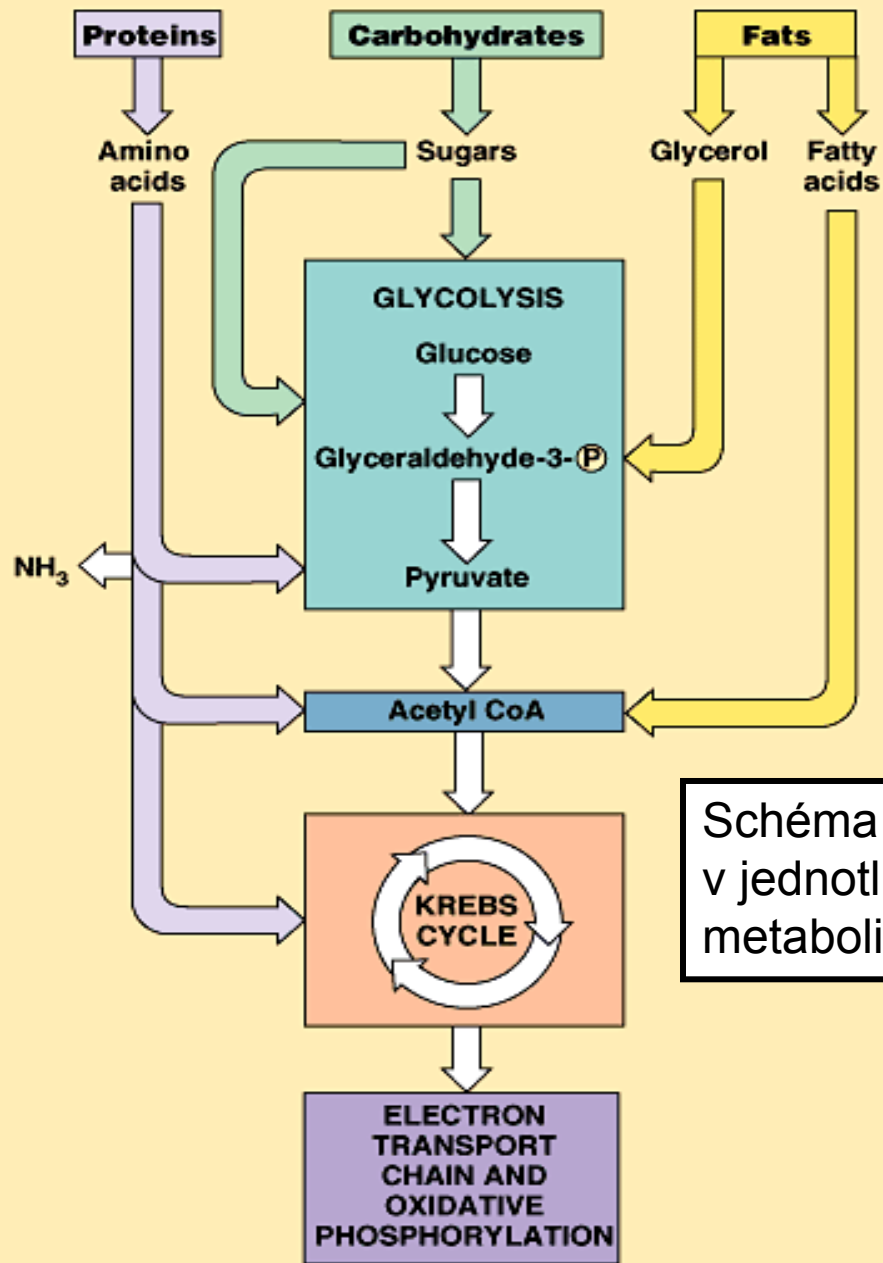
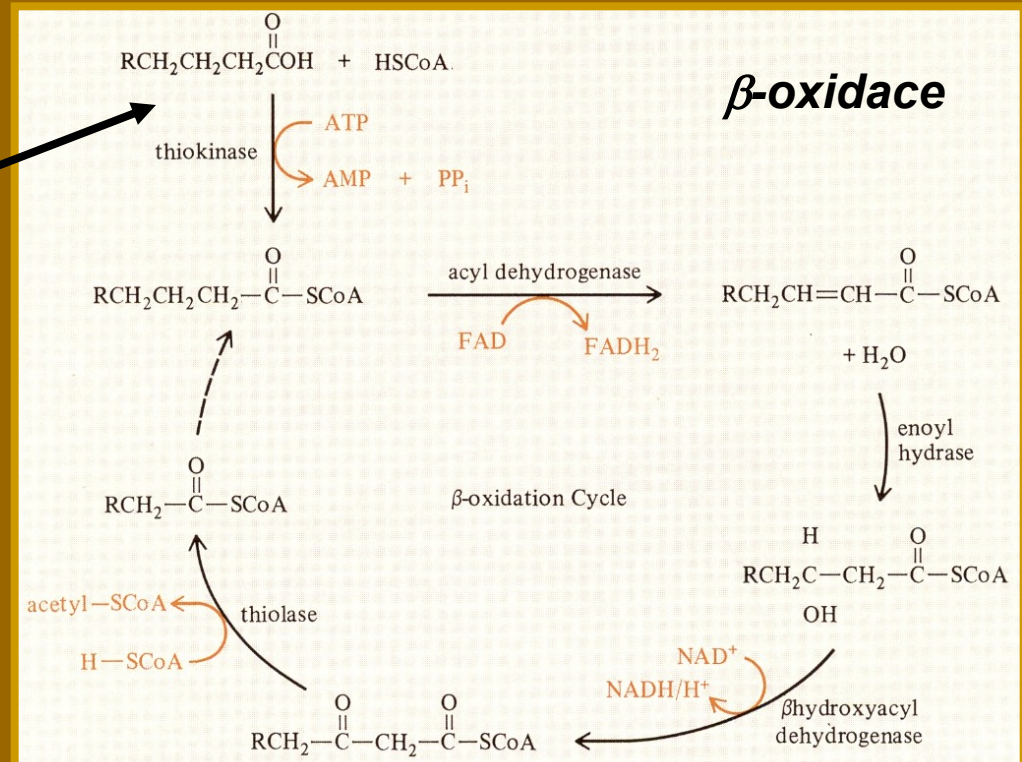
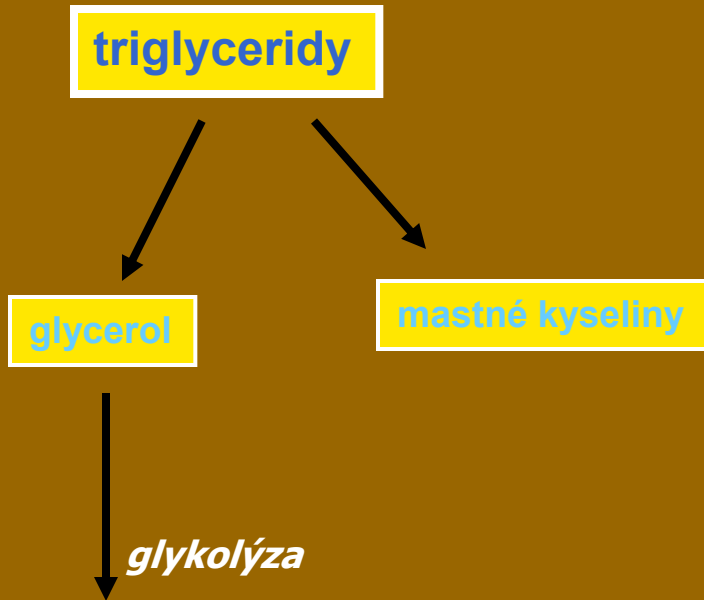


Schéma zapojení proteinů a lipidů v jednotlivých krocích energetického metabolismu

Lipidy jako substrát pro energetický metabolismus



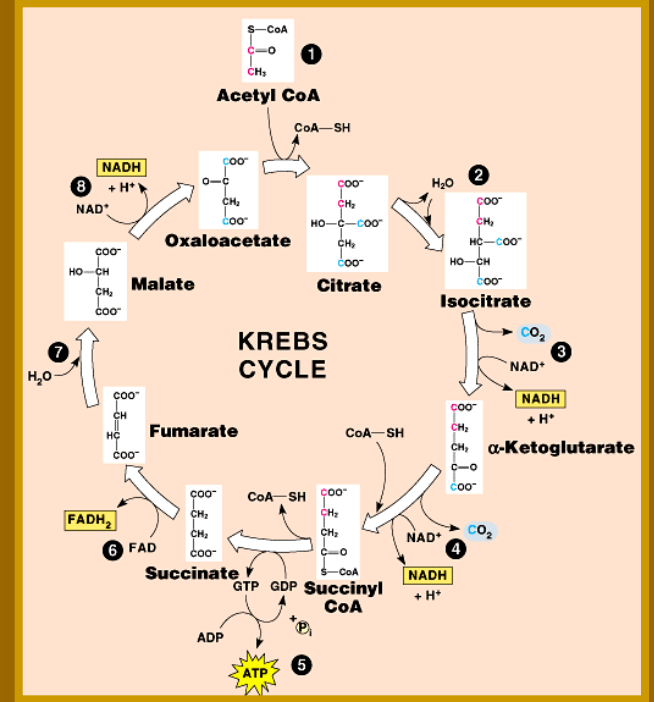
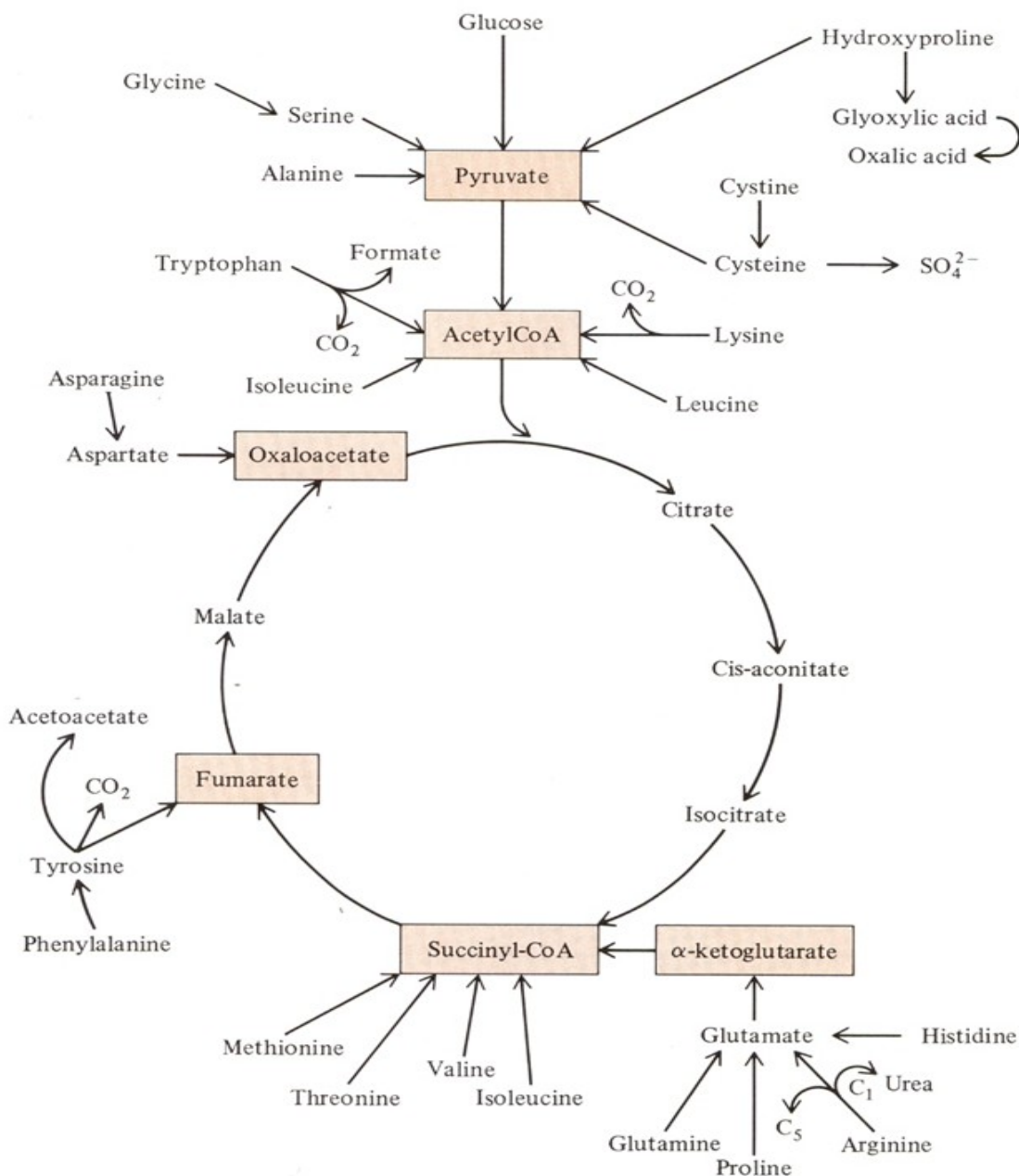
β -oxidation of Palmitic Acid $(\text{CH}_2)_{15}\text{COOH}$; 7 turns of cycle

palmitic acid	----->	palmitoyl-SCoA	-1 ATP, -1 PP _i
7 FADH ₂ + 7 NADH/H ⁺ + 7 O ₂	----->	7 FAD + 7 NAD + 14 H ₂ O	+ 35 ATP
8 acetyl-SCoA + 16 O ₂	----->	16 CO ₂ + 16 H ₂ O	+ 96 ATP

			$\Delta G^{\circ'}$
palmitic acid + 23 O ₂ + 129 ADP	----->	16 CO ₂ + 16 H ₂ O + 129 ATP	-5851
palmitic acid + 23 O ₂	----->	16 CO ₂ + 16 H ₂ O	-9791

β -oxidace probíhá v mitochondriích, vazba na děje elektornového transportu na mitochondriální membráně

Aminokyseliny (proteiny) jako substrát pro energetický metabolismus



	Intermediates	Products	ATP
ALANINE	Pyruvate	CO_2	18
	$NADH/H^+$		3
	NH_3	$\frac{1}{2}$ urea	-2
			19
TRYPTOPHAN	Alanine	Formate	0
	Acetyl-CoA	$CO_2, \frac{1}{2}$ urea	19
	NH_3	CO_2	30
		$\frac{1}{2}$ urea	-2
			47
CYSTEINE	Pyruvate	SO_4^{2-}	1
	NH_3	CO_2	18
		$\frac{1}{2}$ urea	-2
			17
MEAT PROTEIN	Amino acids	4.11 CO_2 0.70 urea 0.034 SO_4^{2-}	22.2

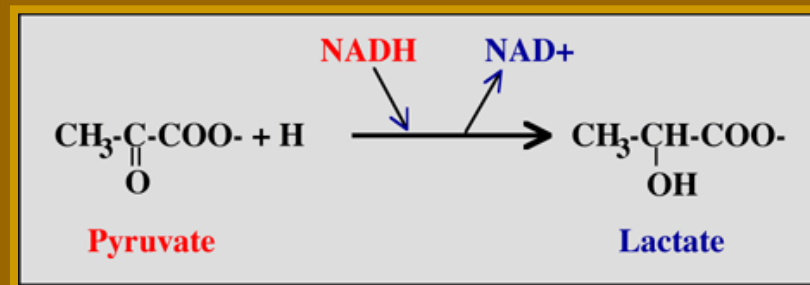
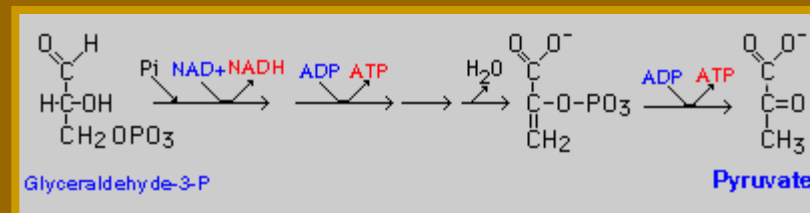
ANAEROBNÍ METABOLIZMUS

Nedostatek kyslíku: hypoxie ---> anoxie

(nejen nedostatek v prostředí, ale i v tkáních např. v důsledku větší spotřeby kyslíku při zvýšené námaze)
=> alternativní metabolické dráhy

Samotná glykolýza je nejvýznamnější dráha anaerobní syntézy ATP u obratlovců

- neodbouraný pyruvát je snadno přeměněn na laktát, vysoká koncentrace laktátu způsobuje akumulaci pyruvátu a tím zastavení glykolýzy.

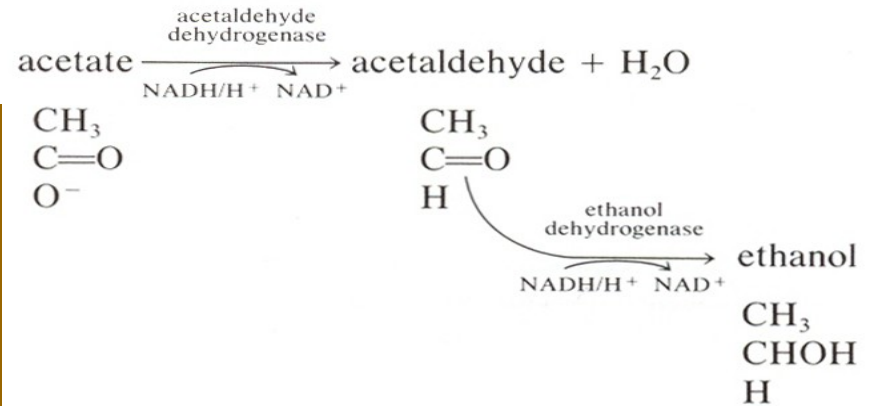
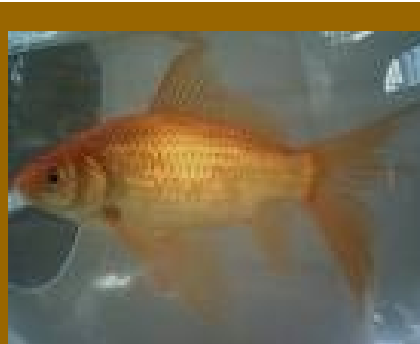
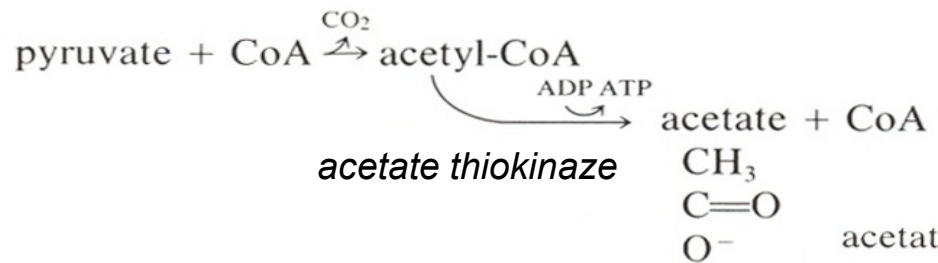


=> pro co největší využití nutná schopnost odstranit/odbourat laktát
nebo zvýšit rezistenci k jeho vysoké koncentraci

Obratlovci obecně malé možnosti ve využití anaerobních metabolických drah pro celkovou produkci energie

(nejlépe vyvinuto pravděpodobně u ryb)

A. U některých ryb (kaprovití) prokázána schopnost metabolizovat acetyl-CoA na acetát → acetaldehyd → etanol



Obraty klíčových látek anaerobní glykolýzy v tkáních karase

Svaly / mozek
glukóza -> LAKTÁT

Glukóza
(krevním oběhem)



LAKTÁT
(krevním oběhem)

Coriho cyklus

Játra
LAKTÁT ->-> EtOH
LAKTÁT ->> glukóza -> glykogen

EtOH
(krevním oběhem)

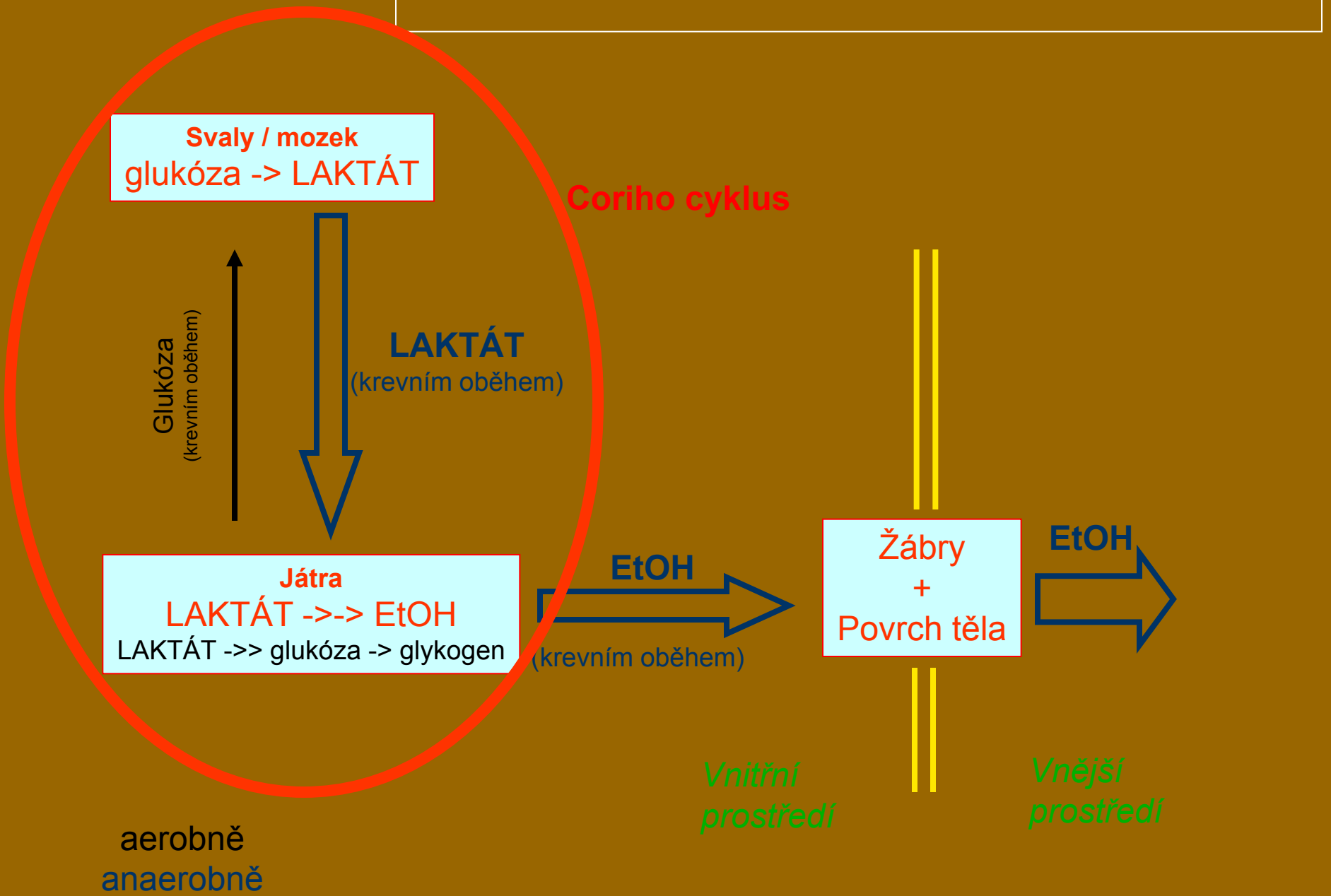
**Žábry +
Povrch těla**

EtOH

*Vnitřní
prostředí*

*Vnější
prostředí*

aerobně
anaerobně

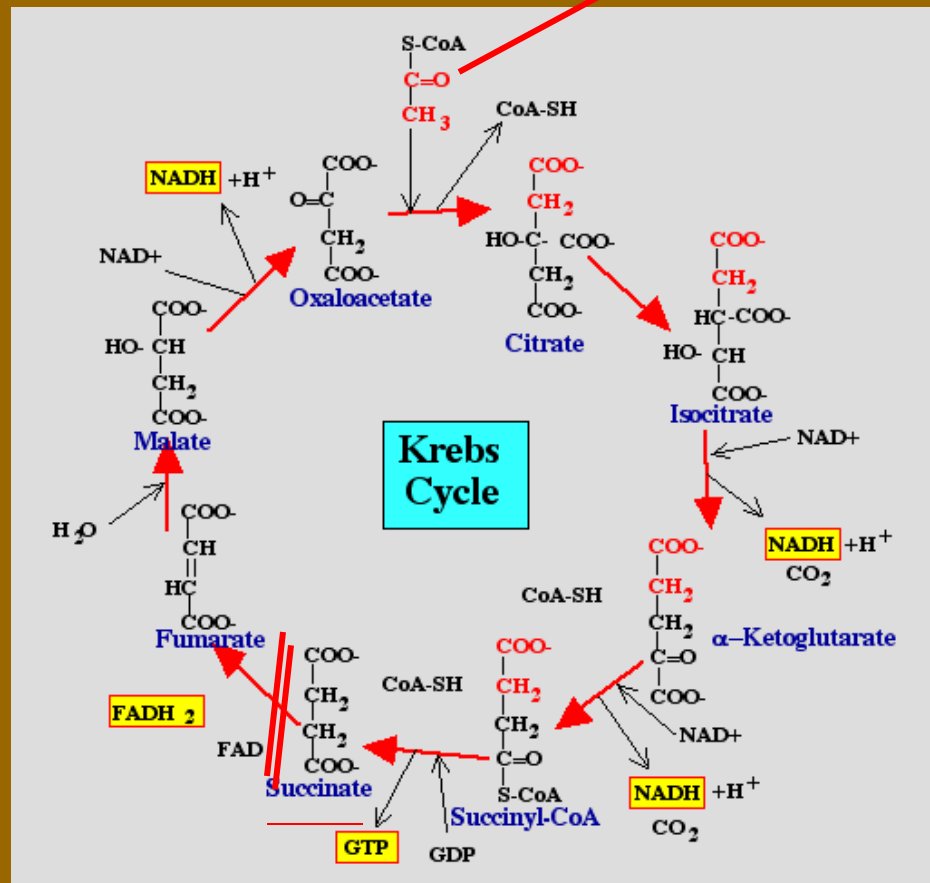


B. Různé koncové metabolity

- **succinát**

- **lipidy** (*elongace acetylCoA*)

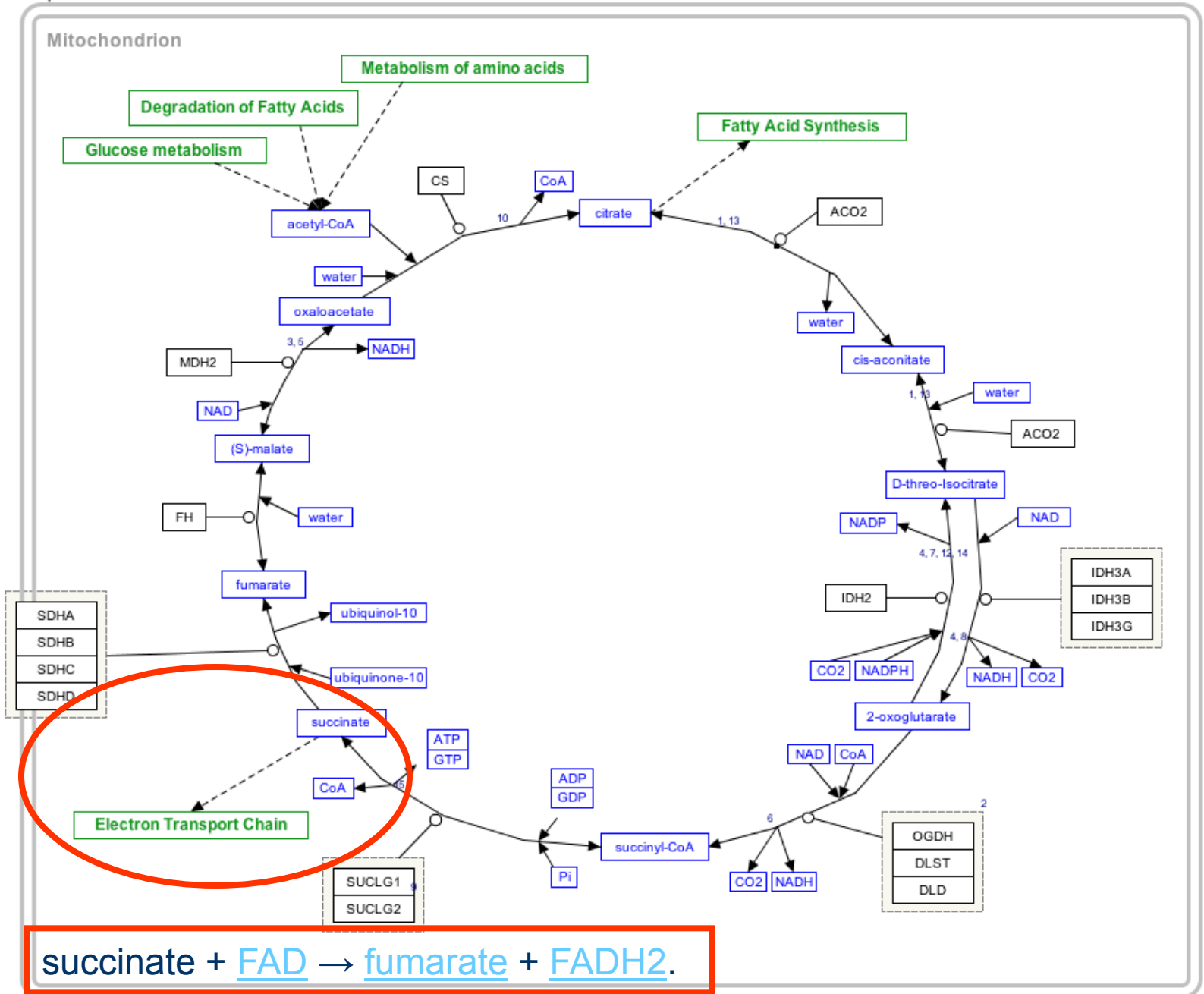
(Opačný proces k β -oxidaci, probíhá však v cytoplasmě)



- **amoniak** (*deaminace aminokyselin ve spřažených reakcích*)

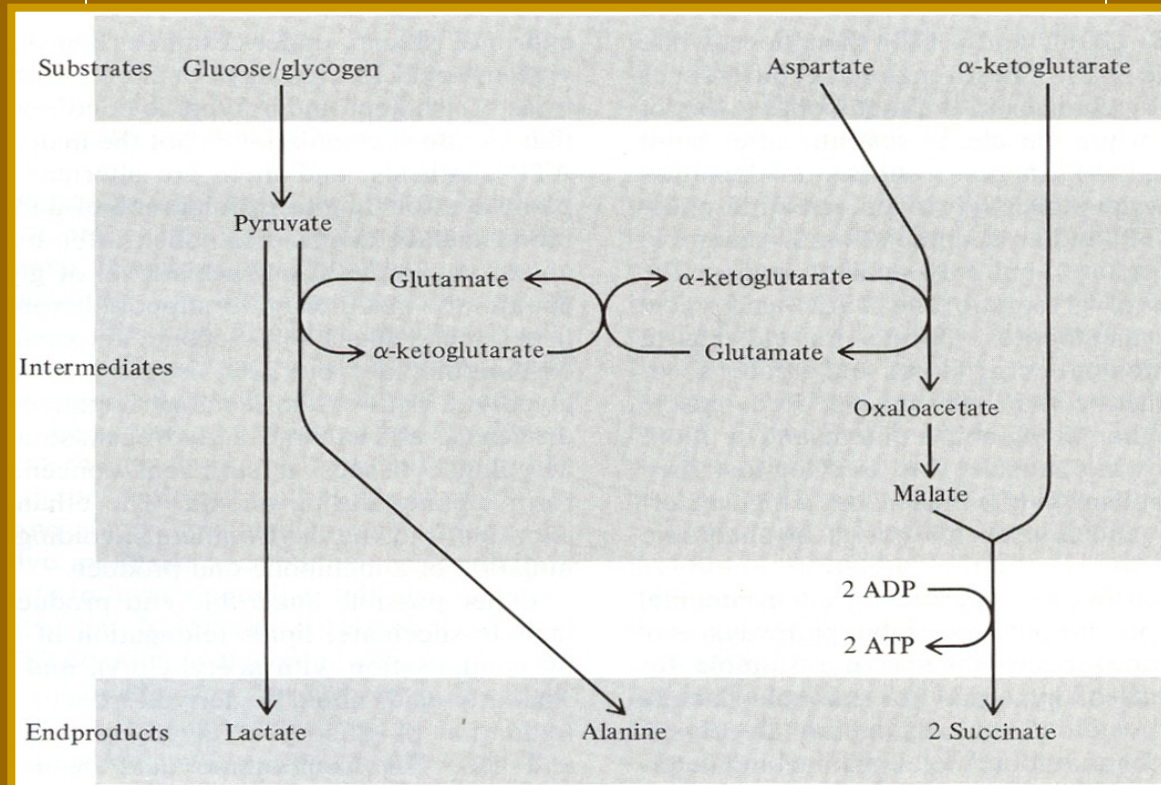


*) Vázáno na možnost vyloučit amoniak do vnějšího (vodního) prostředí.



Ostatní obratlovci (obojživelníci, plazi, ptáci a savci) jsou odkázáni prakticky pouze na energii z glykolýzy. Jiné koncové produkty než laktát (např. sukcinát, alanin, etanol) se objevují jen v minimální míře.

Schéma metabolismu substrátů na koncové produkty v průběhu anaerobního metabolismu vyšších obratlovců



C. Variabilita koncentrace enzymů glykotýzy a Krebsova cyklu a rezistence ke zvýšené koncentraci laktátu v červených a bílých svalových fibrilách.

Arapaima x tuňák (Euthynnus)



	BF	ČF	BF	ČF
Anaerobní				
<i>pyruvát kináza</i>	103	134	1295	195
<i>Lactát dehydrogenáza</i>	260	263	5492	514
Aerobní				
<i>citrát syntáza</i>	1,7	3,3	2,1	20,6
<i>malát dehydrogenáza</i>	140	221	718	723
<i>glutamát dehydrogenáza</i>	1,3	3,1	3,0	5,9
<i>glutamát-oxaloacetát transamináza</i>	11,2	54,4	43	102
jednotky enzymové aktivity				

červená svalovina / pomalá

- převažují menší tmavé fibrily
- s množstvím mitochondrií a myoglobinu
- vytrvalost a stabilita

bílá svalovina / rychlá

- převažují větší bílé fibrily
- s menším množstvím mitochondrií a myoglobinu
- rychlé kontrakce
- vysoká ATPasová a glykolytická aktivita ale malé zásoby a rychle se unaví

**Změny v koncentraci metabolitů v červené a bílé svalovině
po nástupu svalové aktivity tuňáka**
(μM na g živé váhy)

Kreatin fosfát	-1,73	-12,90	
ATP	-0,87	-2,60	
Glykogen	-1,70	-22,80	
Glukóza	-0,13	+2,01	Glykolýza
Glukóza-6-fosfát	+0,41	+2,30	
Fruktóza-6-fosfát	-0,21	-0,45	
Fruktóza-1,6-fosfát	-0,06	-0,34	
Di(OH)acetonfosfát	-0,05	-0,02	
Glyceraldehyd-3-fosfát	-0,04	-0,01	
Citrát	+0,08	-0,05	Citrátový cyklus
α -Ketoglutarát	-0,02	-0,07	
Malát	+0,13	+0,12	
Laktát	+5,9	+70,95	

Periferní tkáně s menším prokrvením a nižším krevním tlakem, (např. bílá svalovina) produkují zejména laktát, ten pak difunduje do tkání s větším prokrvením a tím i snadnější dostupností kyslíku (např. játra, červená a srdeční svalovina) kde je dále oxidován na další anaerobní produkty jako je etanol nebo mastné kyseliny. Předpokládá se, že v játrech jsou tyto pochody navíc spřaženy s anaerobním metabolismem aminokyselin.

Srovnání hladin laktátu v jednotlivých tkáních, zásob glykogenu a pH krve u neaktivní a vysílené žáby (*Xenopus laevis*)

	<i>neaktivní</i>	<i>vysílená</i>
Jaterní glykogen (g%)	10,4	9,3
Svalový glykogen (<i>Gastrocnemius</i> , g%)	1,8	0,7
Celkový laktát (mg%)	11	213
Laktát v krvi (mg%)	42	177
Laktát v játrech (mg%)	29	144
Laktát ve svalu (<i>Gastrocnemius</i> , mg%)	98	289
pH krve	7,62	6,89



Někteří obojživelníci a plazi dlouhodobě snášejí hypoxii / anoxii, což je dáno velkou tolerancí k vysokým koncentracím laktátu v tkáni, a to zejména tolerancí k narušení acidobasické rovnováhy, která vede až k uvolňování Ca^{2+} iontů z kostí do plasmy.

Želva (*Chrysemys*) ponořená 180 dní do vody sycené N_2 .

	<i>normoxie</i>	<i>anoxie</i>
laktát v krvi	~50mM	>200mM
Ca^{2+} v plasmě	4mM	>120mM



Až 2/3 Ca^{2+} jsou vázány na laktát. Předpokládá se, že takto vysoká koncentrace Ca^{2+} v plasmě ovlivňuje i přenos nervového vzruchu a regulaci kontrakce svaloviny (U této želvy *in vitro* prokázáno, že zvýšení hladiny Ca^{2+} zvyšuje srdeční kontrakci).

Změny v zastoupení jednotlivých metabolitů v krvi tuleňě (μM) před a po vynoření

μM	před potopením	po vynoření	změna
Aspartát	96	73	-23
α-Ketoglutarát	200	110	-90
Succinát	40	280	+240
Alanin	300	650	+350
Laktát	9 000	16 000	+7000



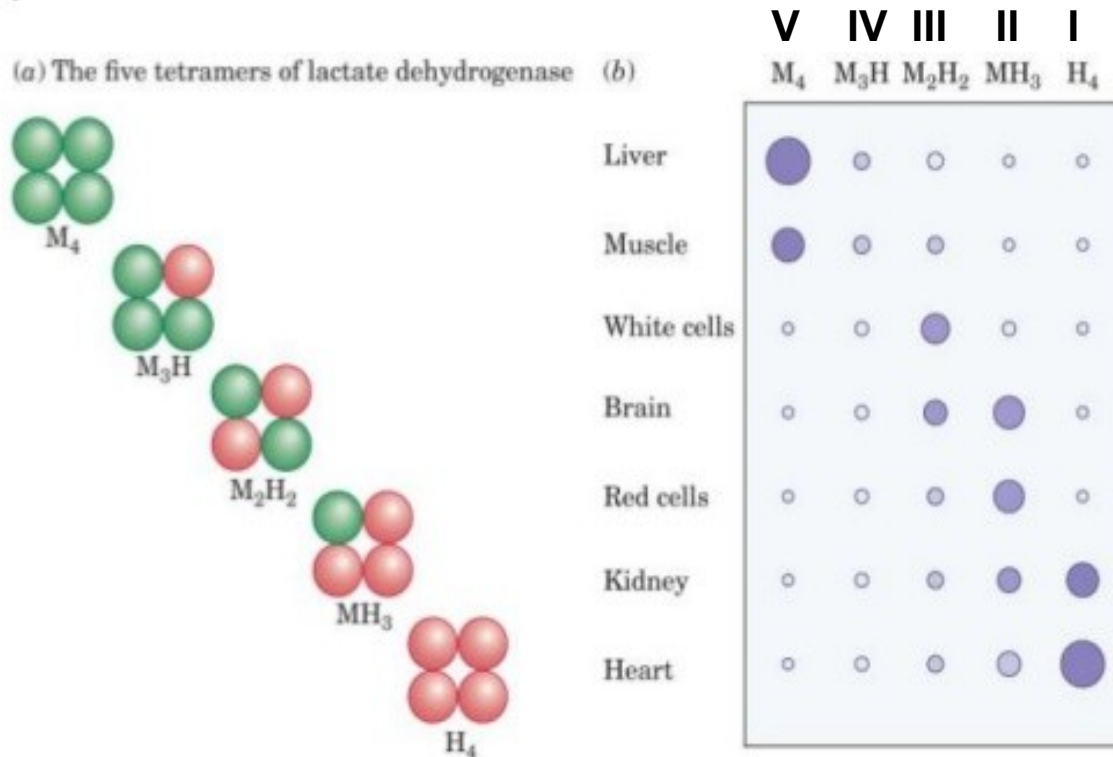
U těchto ploutvonožců bylo také zjištěno využívání metabolismus aminokyselin k získání energie, odhaduje se však že jeho energetický přínos představuje 1-2% energie získané anaerobně, většina energie je získána z glykolýzy.

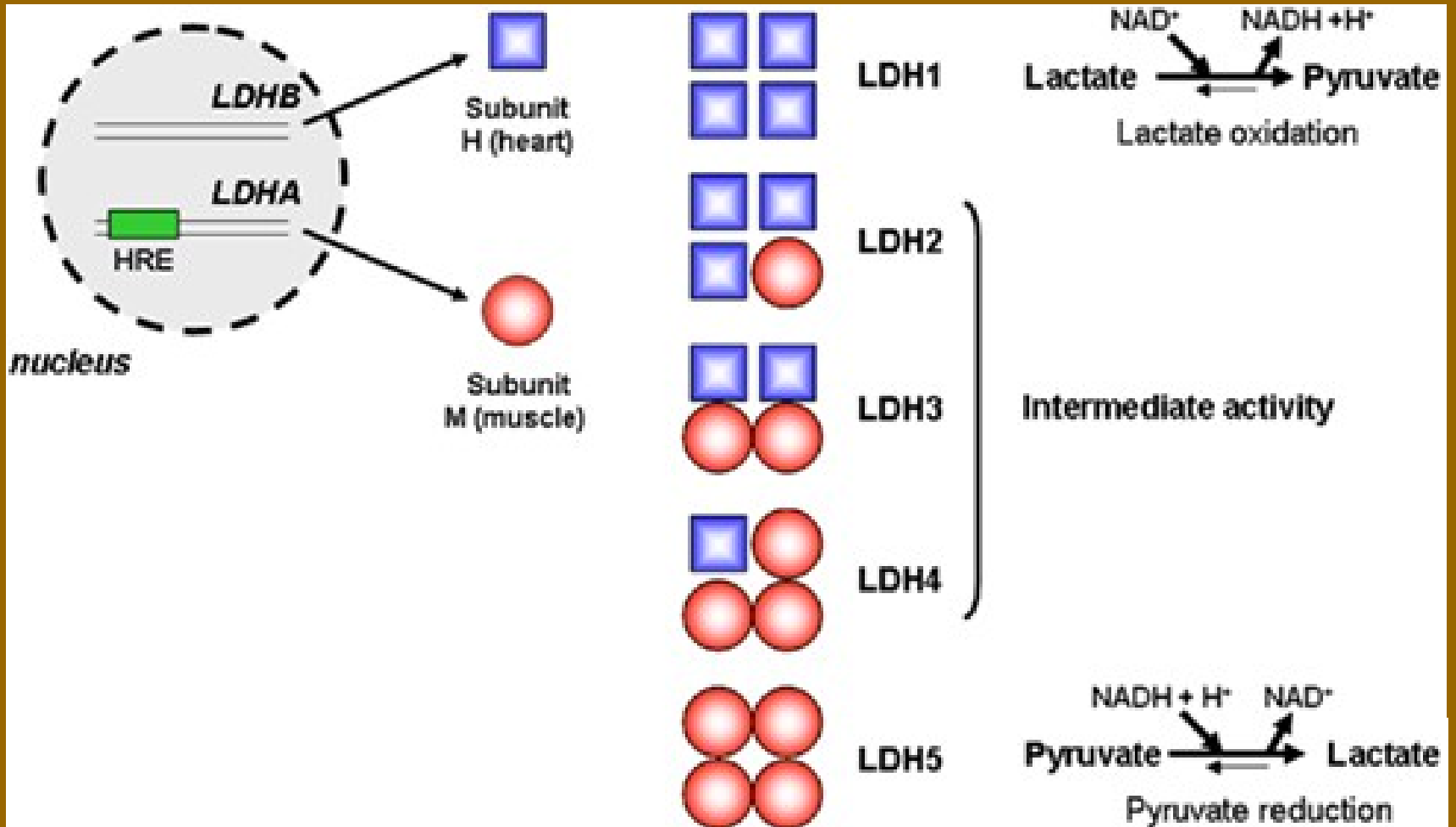
	Koncentrace laktátu v krvi (mM)		Navýšení koncentrace laktátu	Zisk ATP (mM)	ATP tuleň / ATP člověk
	normal	potopení/ anaerobní práh			
tuleň	9	16	1.8x	7	9-14x
člověk	2	2.5-3	1.25-1.5x	0.5 - 0.75	

LDH a laktát \rightleftharpoons pyruvát na tkáňové úrovni u savců

Enzyme Regulation

The isozymes of lactate dehydrogenase (LDH). The electrophoresis gel depicts the relative isozyme types found in different tissues.





Organ	LDH activity (U/g)	% Activity of isozymes					
		LDH-X	LDH-V	LDH-IV	LDH-III	LDH-II	LDH-I
Liver ^b	451 ± 100		96.2	3.6			
Heart	426 ± 180		10.8	21.8	29.9	28.1	10.5
Kidney	364 ± 93		10.1	19.8	30.3	28.5	11.2
Brain	113 ± 15		9.4	24.4	28.5	22.6	14.8
Spleen ^b	75 ± 21		95.8	4.1			
Testis	66 ± 13	32.5	4.9	5.2	12.4	28.3	16.1
Serum	2.7 ± 0.9 ^c		97.1	1.9	0.7	0.1	

Srovnání klidové spotřeby kyslíku, produkce laktátu při aktivitě a čas potřebný k jeho odbourání

	mlok	potkan
<i>Aerobní metabolismus</i>		
ml O ₂ za hodinu	3,9	120
mmoly ATP za hodinu	1,09 (3,58)	33,6 (3,57)
<i>Anaerobní metabolismu</i>		
akumulovaný laktát (mg)	153	90
ATP z laktátu (mmoly)	2,6 (58,85)	1,5 (60,00)
<i>Aerobní odbourání laktátu</i>		
ATP z odbouraného laktátu (mmoly)	30,6	18
potřebný čas (minuty)	1680	32

Produkce ATP jak při aerobním tak anaerobním metabolismu je relativně stejná jak u mloka tak potkana, mlok ale více toleruje laktát a tak si může dovolit vytvořit více ATP v anaerobní fázi glykolýzy.

SHRNUTÍ

Univerzálním donorem energie v živém systému je molekula ATP.

Pro obratlovce je prakticky jediným významným zdrojem energie (ATP) za anearobních podmínek glykolýza. Limitujícím faktorem pro její plné využití je hromadění laktátu, který

a) inhibuje vlastní glykolýzu => STOP produkce ATP

b) narušuje acidobasickou rovnováhu organismu.

Laktát se akumuluje při svalové práci (nedostatečně rychlý přísun kyslíku) a nebo během hypoxie a anoxie. K odbourání laktátu jsou pak nutné aerobní podmínky, kromě svaloviny se velká část laktátu odbourává a nebo přeměňuje zpět na glukózu v játrech a vrací se krevním oběhem zpět do mozku a svalů (**Coriho cyklus**). U člověka je hladina laktátu v krvi relativně stabilní až do 70% pracovní zátěže (anaerobní / hyperlaktémický práh (*threshold*)) , se zvyšující zátěží se pak hladina laktátu lineárně zvyšuje.

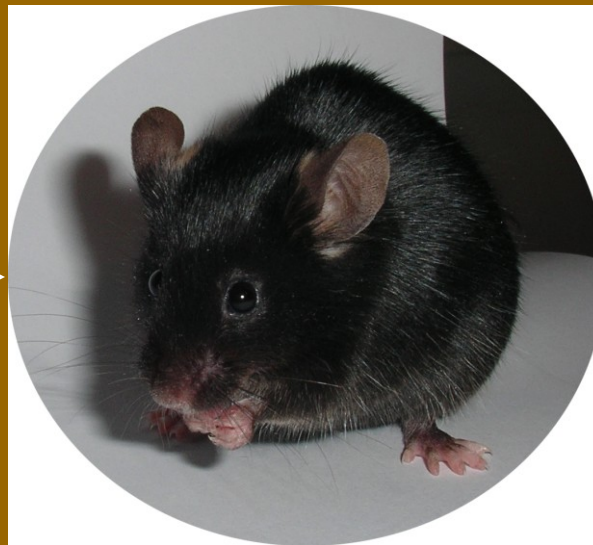
U homiotermních regulátorů (savci, ptáci), je tento zisk z hlediska jejich energetické bilance celkově nedostatečný a uplatňuje se zejména krátkodobě při svalové práci.

3. CELKOVÁ ENERGETIKA & METABOLIZMUS

Chemická energie

- Teplo
- Chemická energie
- Práce

O₂



CO₂

Přímá a nepřímá
kalorimetrie

teplo

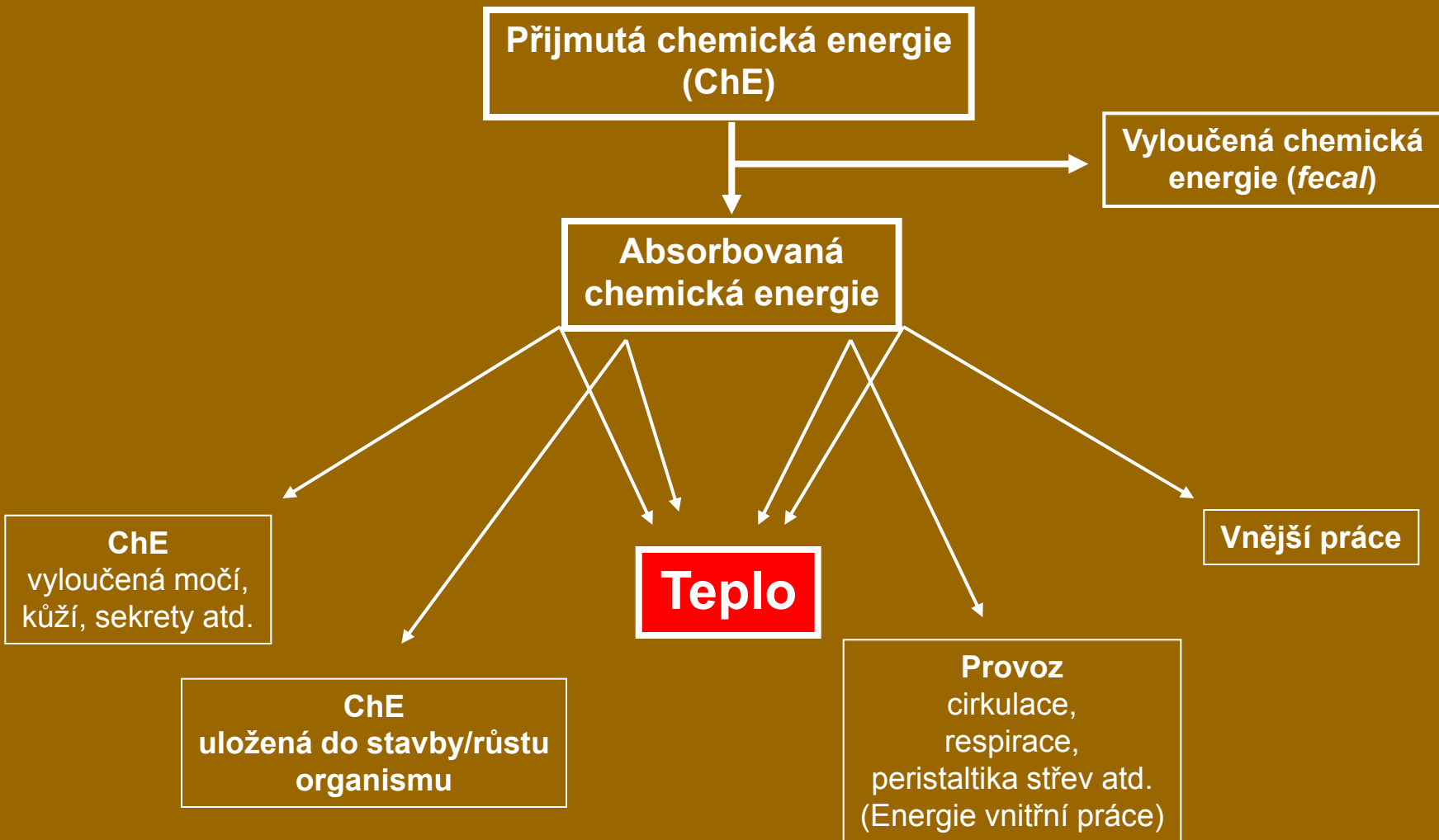
Respirační kv(q)ocient – RQ

vydaný CO₂ na přijatý O₂

cukry – 1

lipidy – 0,7

proteiny – 0,84 (je třeba započítat i dusík)



Přijmutá chemická energie (ChE)

Vyloučená chemická energie (fecal)

Absorbovaná chemická energie

ChE
vyloučená močí,
kůží, sekrety atd.

Teplo

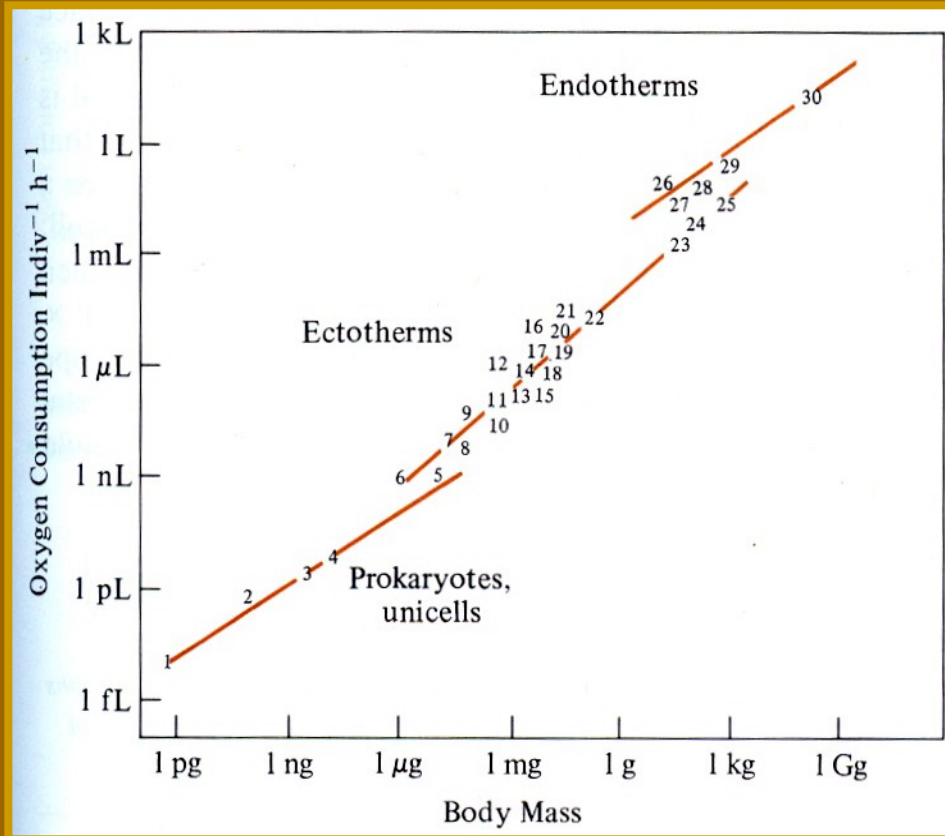
ChE
uložená do stavby/růstu
organismu

Provoz
cirkulace,
respirace,
peristaltika střev atd.
(Energie vnitřní práce)

Vnější práce

Srovnání spotřeby O₂ (intenzita metabolismu) a velikosti těla u různých skupin organismů

3 hlavní kategorie organismů – jednobuněční, mnohobuněční ektotermové a endotermové



- Se zvyšující se složitostí, se zvyšují i energetické nároky

- Metabolismus je úměrný celkovému povrchu buněk (skok z jednobuněčných k mnohobuněčným organismům)

1 bacteria; 2 fungi, 3 flagellates, 4 ciliates, 5 rhizopods, 6 nematodes, 7 microcrustaceans, 8 acari, 9 collembolans, 10 isopteran larvae, 11 enchytraeids, 12 coleopteran larvae, 13 isopteran adults, 14 formicid workers, 15 lumbricid cocoons, 16 phalangiids, 17 diplopods, 18 araneans, 19 isopods, 20 mollusks, 21 coleopteran adults, 22 lumbricid adults, 23 macrocrustaceans, 24 fish, 25 reptiles, 26 small mammals, 27 chiropterans, 28 birds, 29 primitive mammals, and 30 large mammals. Data for unicells are corrected to 10° C, and data for endothermic animals are corrected to 39° C.

Nárůst u endotermů je dán i dalšími faktory

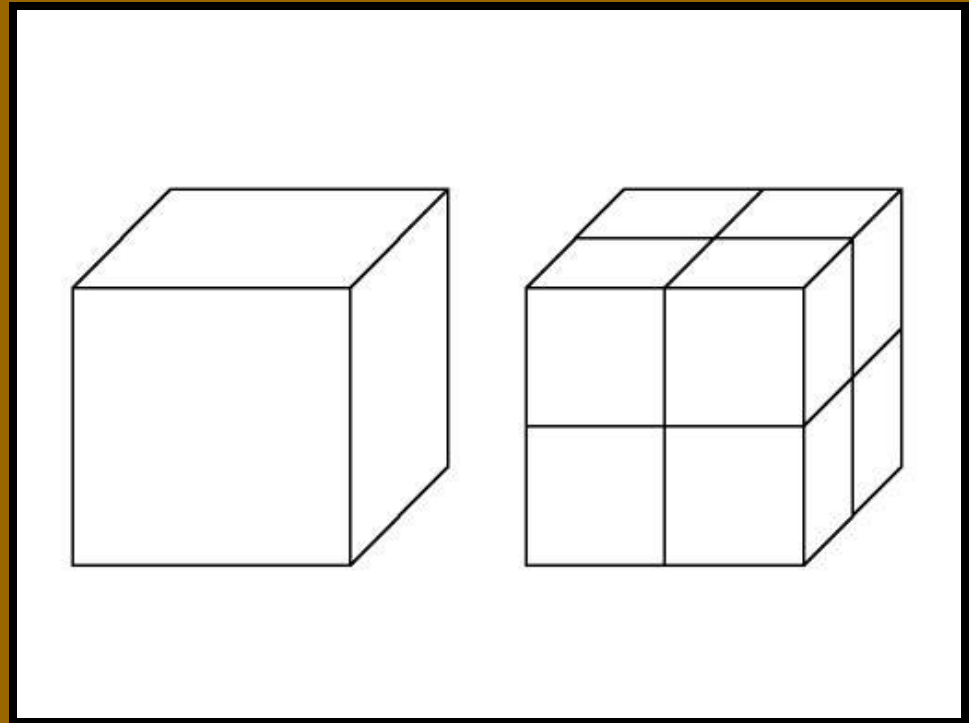
Např. Rubnerův povrchový zákon se zvětšováním povrchu u homoiotermních regulátorů se zvětšuje i jejich metabolismus

Model zvětšení povrchů pro stejnou velikost
jednobuněčného x mnohobuněčného organismu

jednobuněční (1m, pro krychli)
povrch – 6m^2 ($6 \times 1 \times 1$)

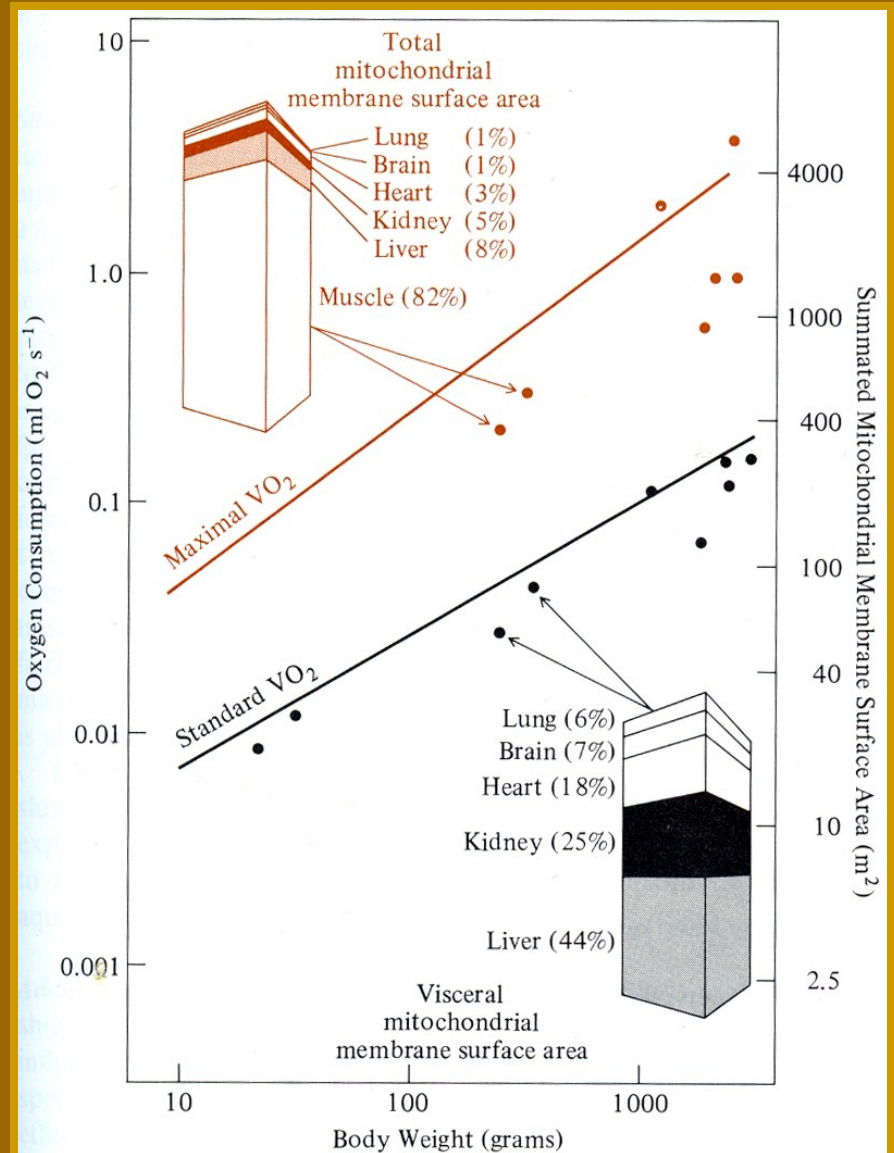
mnohobuněční (1m, pro krychli, 1000
buněk)
povrch – 60m^2 ($1000 \times (6 \times 0,1 \times 0,1)$)

=> ~ 10x (9,8x) větší metabolismus

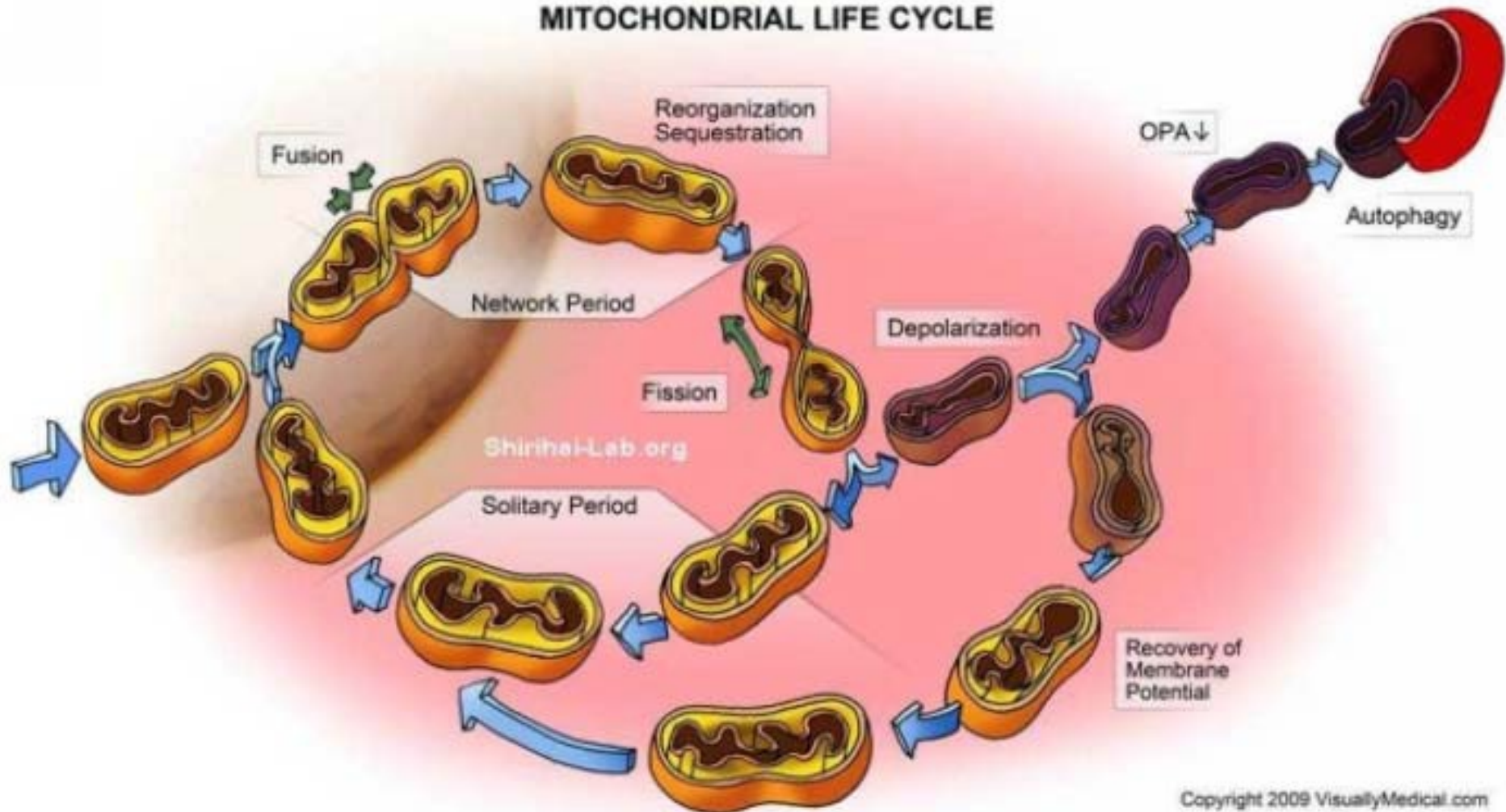


Jedním z neklíčovějších parametrů korelujících s intenzitou metabolismu je celková plocha membrán mitochondrií. I při podobné morfologii a biochemizmu mají savci o něco větší (i plocha crist) a četnější mitochondrie než ostatní endotermové. Proporcionální zastoupení v jednotlivých tkáních/ orgánech je si ale celkově velice podobné.

Proporce mezi spotřebou kyslíku, velikostí těla a plochou mitochondriálních membrán pro různé tkáně (plíce, mozek, srdce, ledviny, játra, kosterní svaly) u savců.



MITOCHONDRIAL LIFE CYCLE



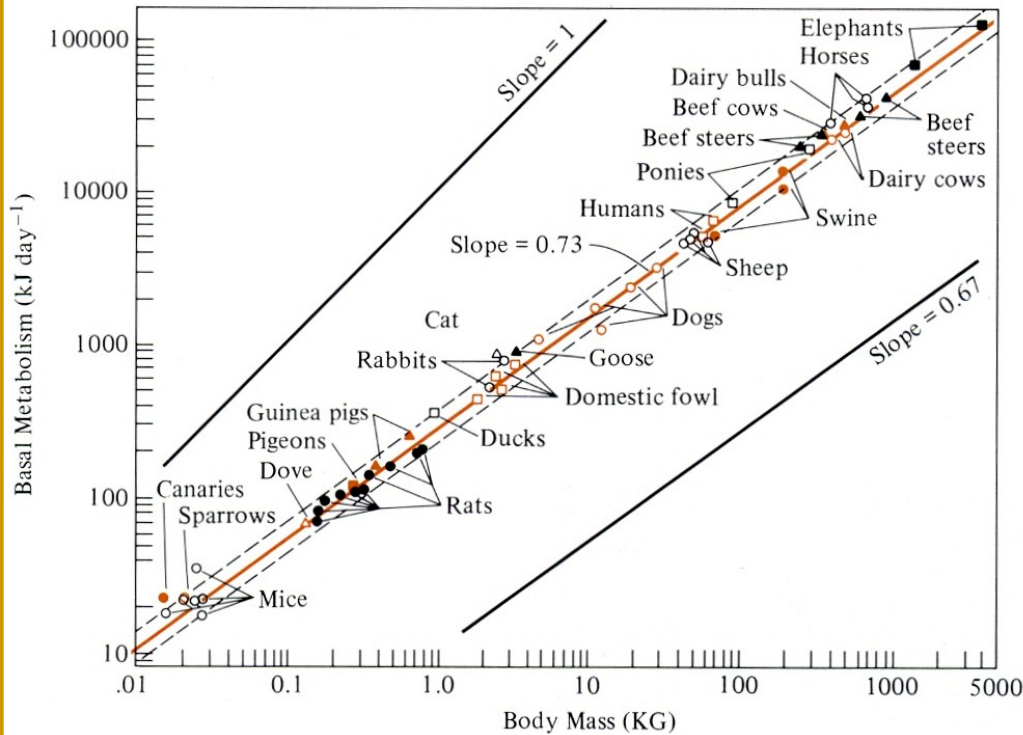
Na buněčné úrovni je množství a maturace mitochondrií regulována také aktuální dostupností kyslíku -> částečně i ochrana před ROS
-> hospodárnost systému

Srovnání tělní teploty, velikosti orgánů, standardního / basálního metabolismu celkového a jater, a náročnosti jaterního Na⁺ transportu u ještěrky (*A. nuchalis*) a myši (*M. musculus*).



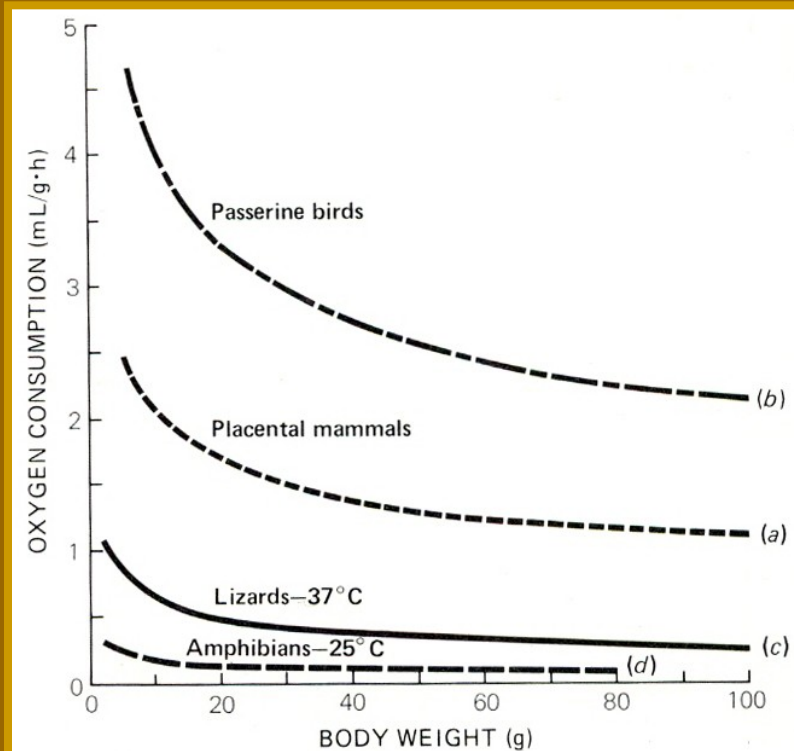
	ještěrka	myš	poměr myš/ještěrka
hmotnost těla (g)	34,3	32,1	1,1
teplota těla (°C)	37,0	36,8	1,0
velikost jater (% celkem)	10,7	20,7	1,9
velikost ledvin (% celkem)	1,9	5,9	3,1
velikost srdce (% celkem)	1,1	2,8	2,5
velikost mozku (% celkem)	1,7	5,5	3,3
VO₂ (ml O₂ / g h)			
celkem	0,2	1,62	8,1
játra (in vitro, per gram)	0,9	4,59	5,1
Na ⁺ transport (in vitro, per gram)	0,22	1,97	9,0
objem mitochondrií (%)	12,4	16,0	1,3
mitochondriální povrchy			
total (m ²)	3,4	10,2	3,0
cristae (m ² /g)	15,5	22,9	1,5
vnitřek (m ² /g)	0,79	1,34	1,7
cytochrom oxidáza (nmol O ₂ /mg min)	11,2	30,0	2,7

Celkově je intenzita metabolismu lineárně úměrná velikosti organismu



relativně, však menší organismy mají intenzitu metabolismu vyšší.

Pro endotermní regulátory jsou ~1.5 - 2g pravděpodobně mezní hmotností pro zachování homeostáze (netopýrek thajský, bělozubka nejmenší a kolibřík (*Mellisuga helenae*)).



Intenzita bazálního a standardního metabolismu u ekto- a endotermních obratlovců



watt / kg	normální teplota (°C)	normální metabolismus	metabolizmus při 38 °C (korekce)
Savci	38	3,34	3,34
ježura <i>Zaglossus</i>	32	0,86	1,53
ježura <i>Tachyglossus</i>	32	0,98	1,81
ptakopysk <i>Ornithorhynchus Edentata</i>	32	2,21	3,8
<i>Marsupialia</i>	33	1,69	2,66
<i>Insectivora</i> (primitivní)	35	2,37	3,00
zlatokrt	35	2,76	3,63
bělozubky	35	2,86	3,76
rejsci	36	6,7	8,0
	38	13,4	13,4
Ptáci			
nelétaví/běžci	37	2,10	2,31
ptáci obecně	40	4,05	3,37
pěvci	41	7,40	5,62
Plazi			
želvy	20	0,15	0,58
ještěři	30	0,40	1,02
hadi	30	0,48	1,02
krokodýli	23	0,29	1,06
Obojživelníci			
beznozí (červoři)	25	0,15	0,25
mloci	20	0,06	0,33
bezplicí mloci	20	0,07	0,36
žáby	20	0,21	1,07

Intenzita metabolismu x aktivita organismu

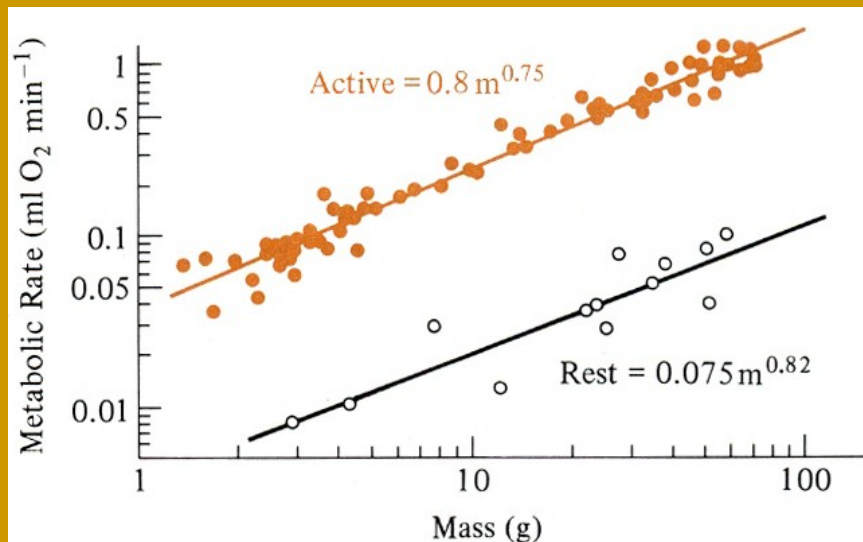
savci mají schopnost zvýšit metabolismus (spotřeba O_2 při maximální aktivitě oproti spotřebě O_2 pro bazální metabolismus)

- < 4 kg, ~ 8.3x
- větší savci (pes, člověk, kůň) ~ 11.5x

ektotermové mají schopnost zvýšit metabolismus 5 – 10x



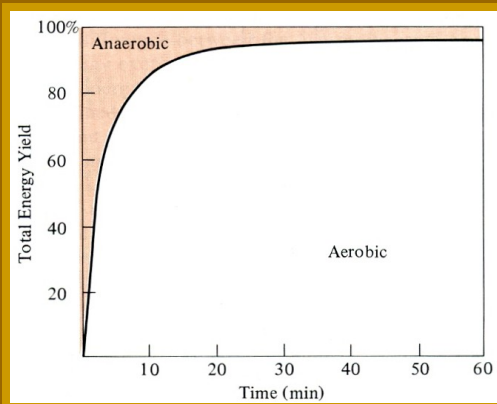
Intenzita metabolismu u ropuchy *Bufo boreas* v klidu a v průběhu aktivity v závislosti na její velikosti



Human basal metabolic rate and metabolic rate with various forms of graded activity. Values are $J \text{ min}^{-1}$. (Data from Passmore and Durnin 1955.)

Basal	4.2
Lying at ease	6.3
Sitting at ease	6.7
Standing at ease	7.1
Walking: 1 km hr ⁻¹	8.4
Driving car	11.7
Walking: 4 km hr ⁻¹	14.2
Walking: 6 km hr ⁻¹	20.9
Cricket batting	25.1
Walking: + 15% incline/3 km hr ⁻¹	26.4
Tennis	29.7
Walking: 8 km hr ⁻¹	33.5
Rapid marching	40.6
Squash	42.7
Climbing vertical ladder	48.1
Walking in loose snow: 20 kg load	84.5
Ax work: 51 blows min ⁻¹	100.9
Carrying 60 kg upstairs	128.4

Nástup aktivity a zastoupení anaerobního a aerobního metabolismu u člověka.

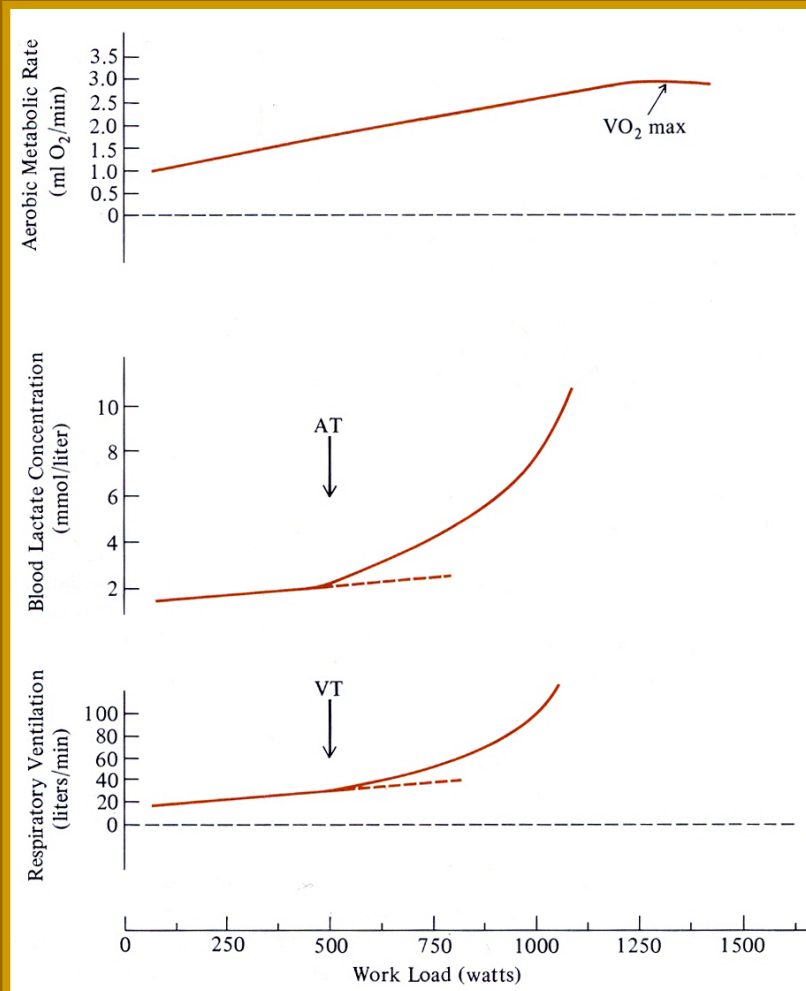


Metabolismus obratlovců je limitován dostupností kyslíku a energetických zdrojů (a enzymovou kapacitou)

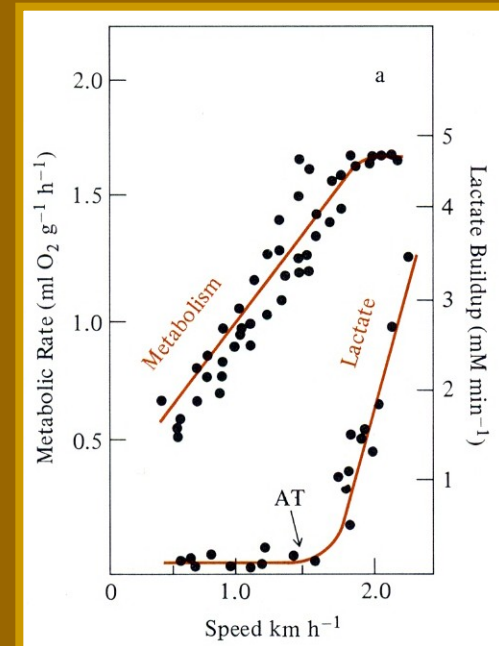
		produkce ATP $\mu\text{mol} / \text{g min}$				
	aktivita	aerobně	anaerobně	celkově	% anaerobně	
Savci						
	hraboš	30 sec	23,2	12,6	35,8	35 %
Hadi						
	chřestýš	5 min	2,1	3,2	5,4	60%
Ještěrka						
	<i>Aniella</i>	2 min	2,0	7,1	9,2	78%
Obojživelníci						
	skokan	3 min	2,9	0,8	3,7	21%

Nástup anaerobního prahu u člověka a varana.

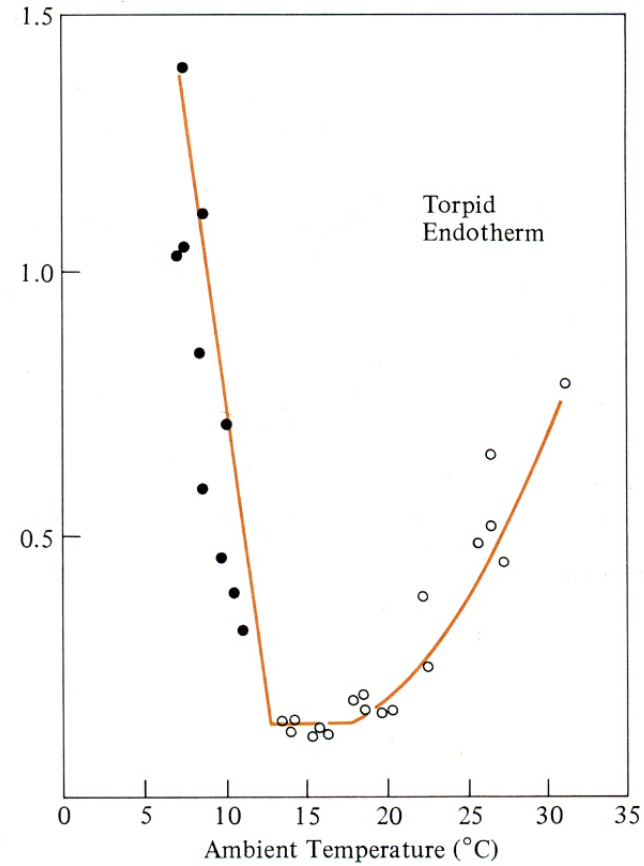
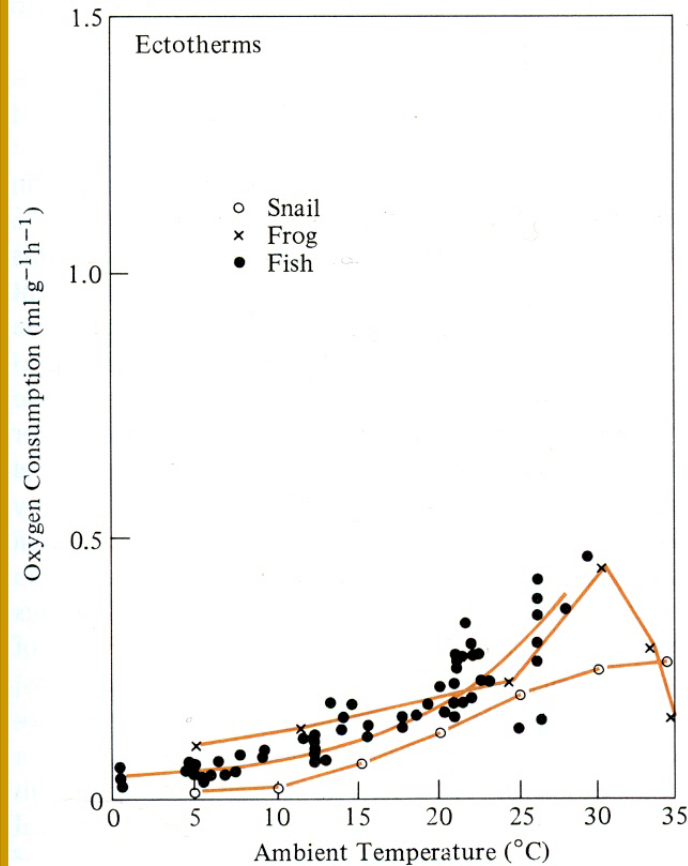
Poměry mezi prací (watt) aerobním metabolismem (spotřeba O_2), koncentrací laktátu v krvi a respirací u atleta.



Anaerobní práh / treshold u varana (*V. exanthematicus*).



Závislost intenzity metabolismu a teploty prostředí



Intenzita metabolismu se mění i s příjmem potravy (dostupnost substrátů)
a s dostupností kyslíku:

a) **metaboličtí regulátoři** (většina obratlovců)

b) **metaboličtí konformeréři** (většina bezobratlých a někteří vodní obratlovci)

- intenzita metabolismu odpovídá dostupnosti O_2 z prostředí