

Metabolismus a energetické krytí při sportu

Pohybová zátěž

⇒ vyvolává změny v organismu:

A) Akutní - reakce (odpověď) na jednorázovou zátěž
– např. ↑ SF

B) Chronické - adaptace při opakování zátěži
- např. ↓ SF klidové a ↓ SF při stejné zátěži

Svalová činnost je spojena se zvýšením energetických nároků.
- pokles ATP, zvýšení ADP (↓ATP:ADP)

Resyntéza ATP:

- Anaerobně (ADP+ADP, ADP+CP) – rychlá, malý výnos
- Aerobně (O₂) – pomalejší, energeticky výnosnější

Zdroje energie pro pohybovou činnost

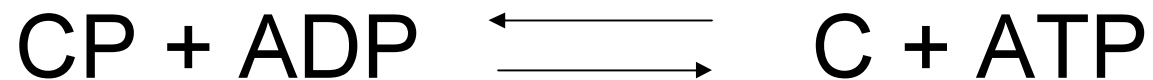
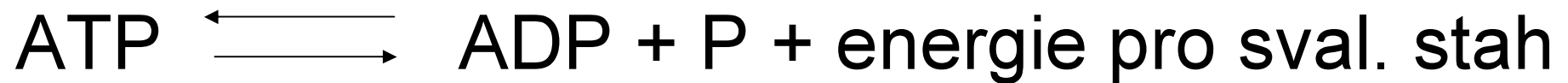
- glycidy, lipidy, proteiny
- Štěpí, eventuálně transformují v produkty intermediárního metabolismu, získáváme z nich ATP
- Při málo intenzivní práci čerpána energie ze všech zdrojů
- Při intenzivní svalové činnosti jsou hlavním zdrojem cukry

- zásoby ATP na několik vteřin (21-33kJ)
- ATP se neustále obnovuje z CP a z štěpení živin – glycidy, tuky, bílkoviny
- Zásoby:
 - cukry (glykogen 350g – 550g)
 - tuky (5 – 20g)
 - bílkoviny (jako zdroje výjimečně)

Pásma energetické krytí

intenzita zatížení	trvání výkonu	převážné využití	tvorba laktátu	svalová vlákna
rychlostní (max.)		Anaerobní alaktátové	malá	II B
rychlostně-vytr. (submaximální)	15 – 50 s	ATP, CP, anaerobní	maximální	II B a II A
krátkodobá	do 120 s	Anaerobní laktátové anaerobní a aerobní gl.	submax.	II B a II A
střední	do 10 min	aerobní glykolýza	střední a <	II A
dlouhodobá	nad 10 min	Aerobní alaktátové aerobní gl., později tuky	malá	I

Alaktátový neoxidativní způsob



Laktátový neoxidativní způsob

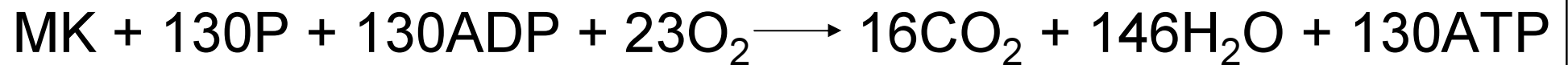
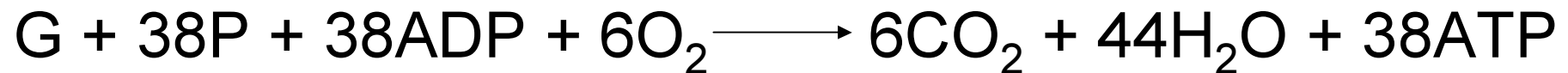


G....glykogen

- metabolická acidóza
- hladina LA v krvi

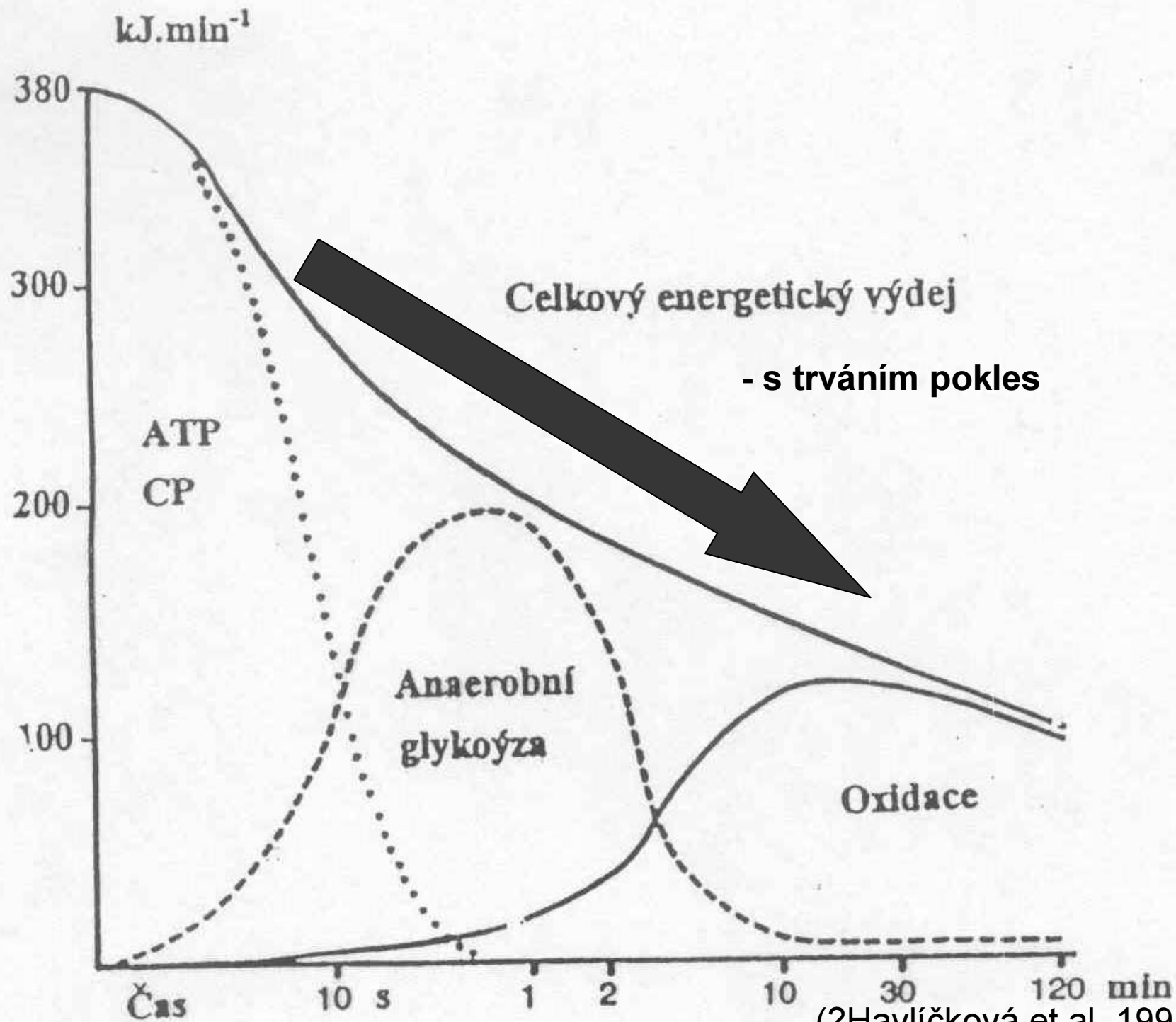
Oxidativní způsob

- nedochází k tvorbě laktátu



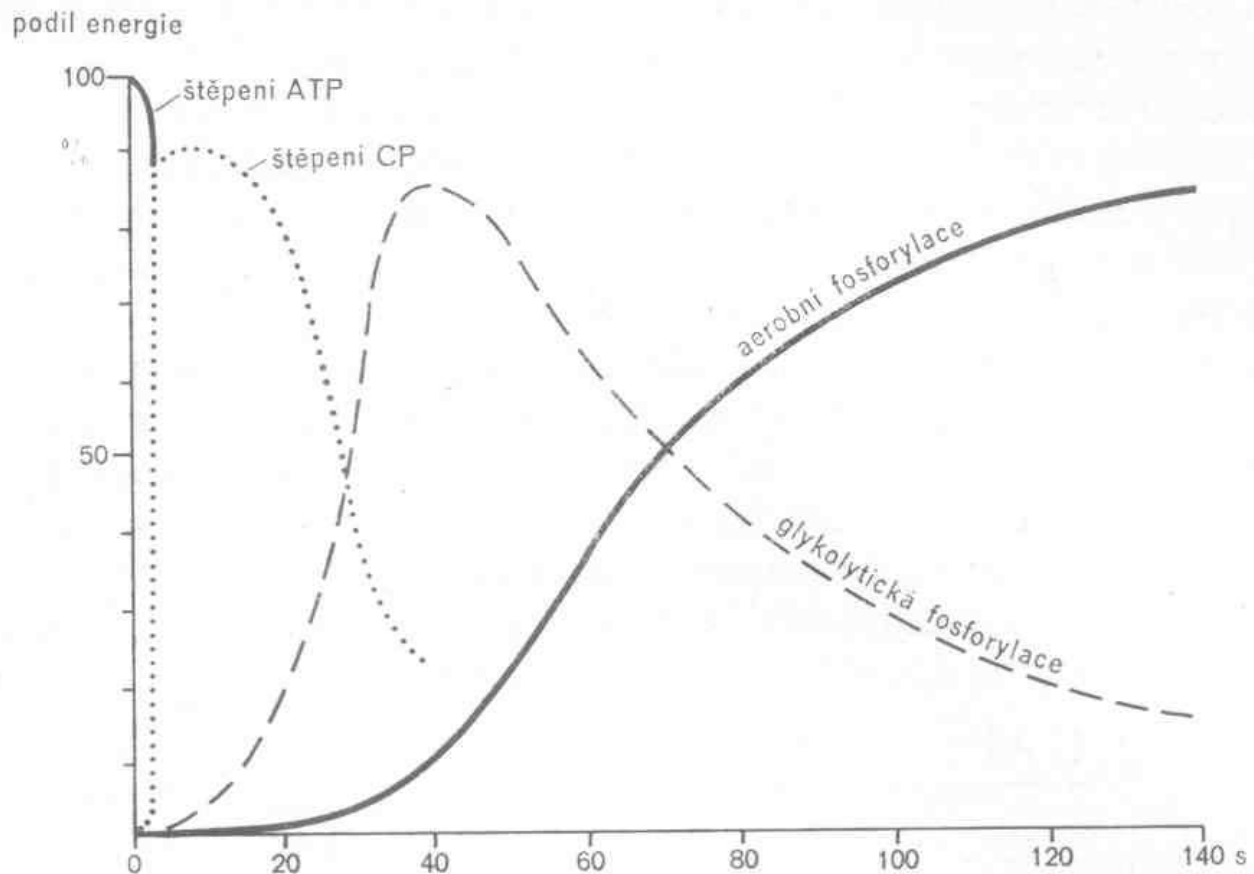
Tabulka 9: Podíl energetických systémů (%) na činnosti různé doby trvání a relativně maximální intenzity = po uvedenou dobu co možná nejvyšší (podle Mac Dougall a kol. 1982)

Doba činnosti	ATP-CP	LA	O ₂
5 s	85	10	5
10 s	50	35	15
30 s	15	65	20
1 min.	8	62	30
2 min.	4	46	50
4 min.	2	28	70
10 min.	1	9	90
30 min.	1	5	95
1 hod.	1	2	98
2 hod.	1	1	99



(?Havličková et al, 1991)

Podíl energetického krytí v závislosti na trvání zátěže [%]



čas	10s	30s	60s	2m	4m	10m	30m	60m	120m
ANA %	90	80	70	50	35	15	5	2	1
AE %	10	20	30	50	65	85	95	98	99

(Placheta et al., 2001)

Zdroje energetického krytí při zvyšující se intenzitě

Respirační kvocient = poměr mezi vydýchaným oxidem uhličitým a spotřebovaným kyslíkem

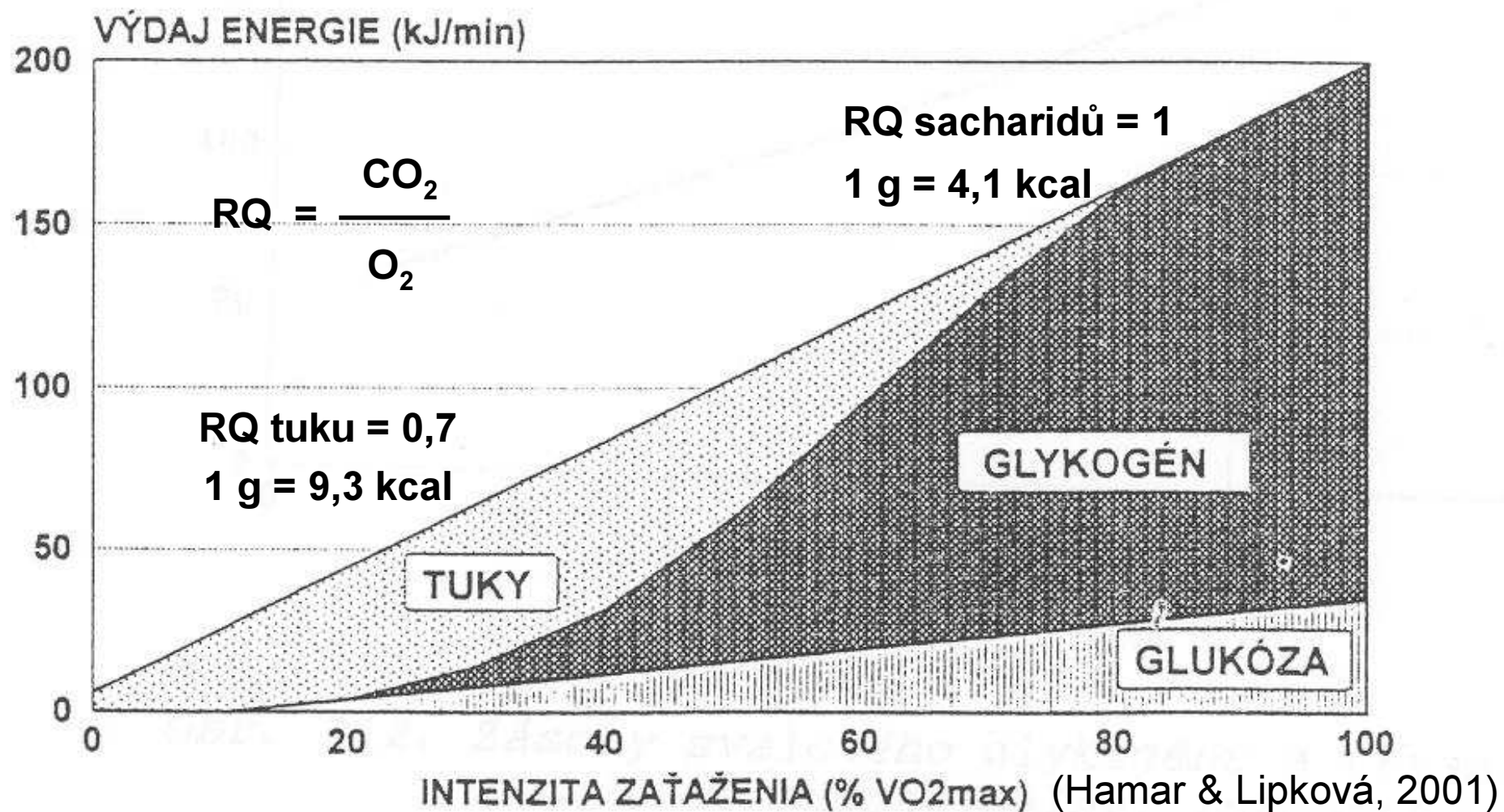
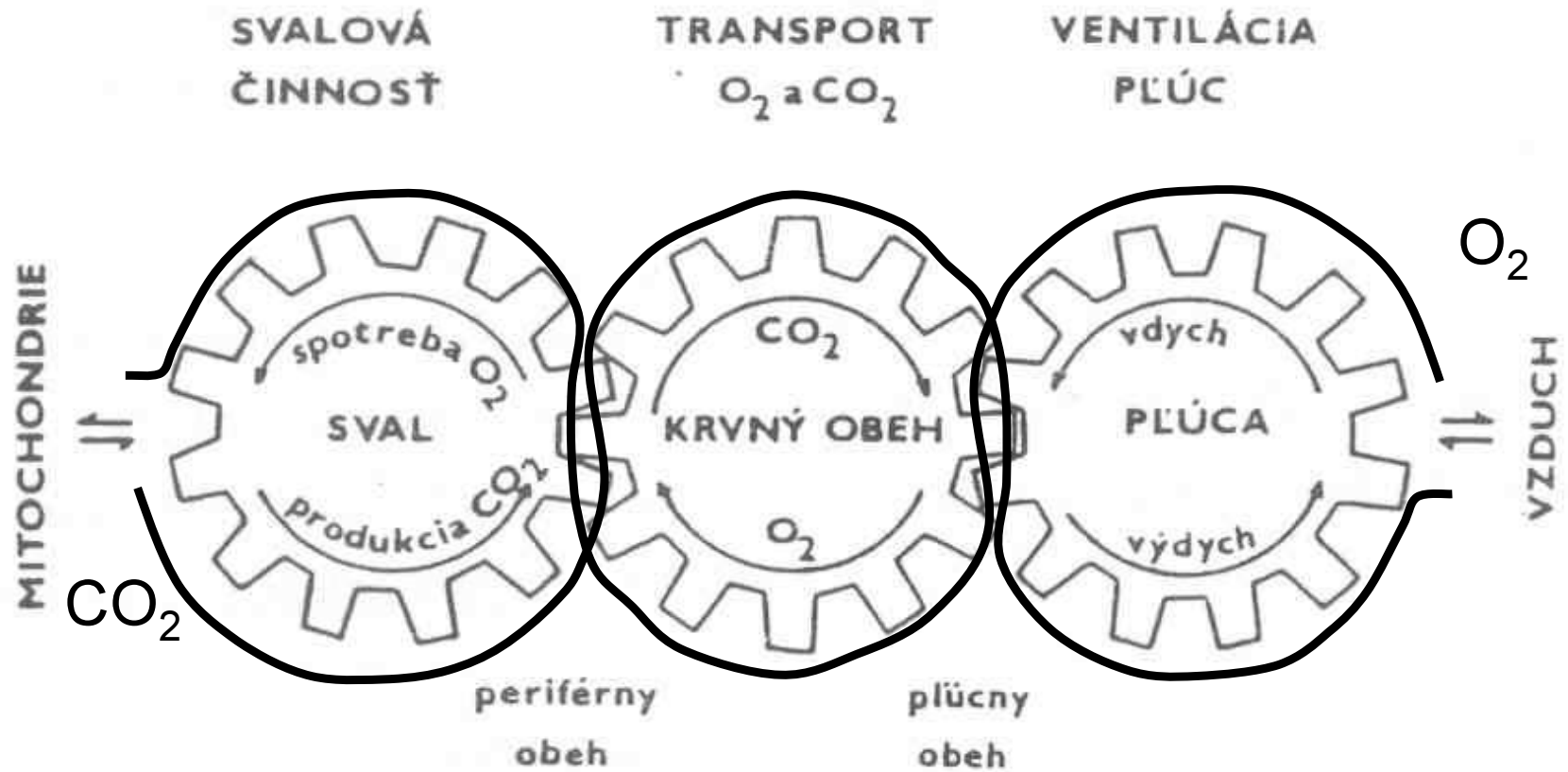


Schéma transportu O₂ a CO₂



(Wasserman, 1999)

Intenzita při **dlouhodobé aktivitě** (30 minut a víc) nesmí být nad úrovní AnP.

- 1) Před započítím (předstartovní stav)
 - zvýšení spotřeby O_2 (emoce, podmíněné reflexy)
- 2) Iniciální fáze zátěže (do 5 minut)
 - zvyšování spotřeby kyslíku na úroveň odpovídající intenzitě zatížení
 - mrtvý bod, druhý dech
- 3) Setrvalý (rovnovážný)stav
 - požadavky pracujících svalů na dodávku O_2 jsou plněny, jsou odváděny metabolity
 - spotřeba O_2 se nemění
 - SF pohyb v rozsahu ± 4 tepy (pravý setrvalý stav)

Přeměna energie-energetický výdej

- BM = bazální metabolismu
- KM = klidový metabolismus
(110 - 120% BM)
- PM = pracovní metabolismus
(130 – 30 000%BM)

Tabulka 8: Příklady energetického výdeje v kJ a podle intenzity zatížení v % nál. BM

vrhy, hody , skoky	14 000 kJ
sportovní hry	18 000 kJ
dlouhé běhy (atletika, lyžování)	23 000 kJ
etapové závody cyklistiky	27 000 kJ a více
sprinty (sekundy)	20 000 – 30 000 % nál. BM
atletické běhy (desítky sekund)	10 000 % nál. BM
sportovní hry (minuty, desítky minut)	5 000 – 1 000 % nál. BM
dlouhé běhy (hodiny)	500 % nál. BM

Tabulka 8: Příklady energetického výdeje v kJ a podle intenzity zatížení v % nál. BM

vrhy, hody , skoky	14 000 kJ
sportovní hry	18 000 kJ
dlouhé běhy (atletika, lyžování)	23 000 kJ
etapové závody cyklistiky	27 000 kJ a více
sprinty (sekundy)	20 000 – 30 000 % nál. BM
atletické běhy (desítky sekund)	10 000 % nál. BM
sportovní hry (minuty, desítky minut)	5 000 – 1 000 % nál. BM
dlouhé běhy (hodiny)	500 % nál. BM

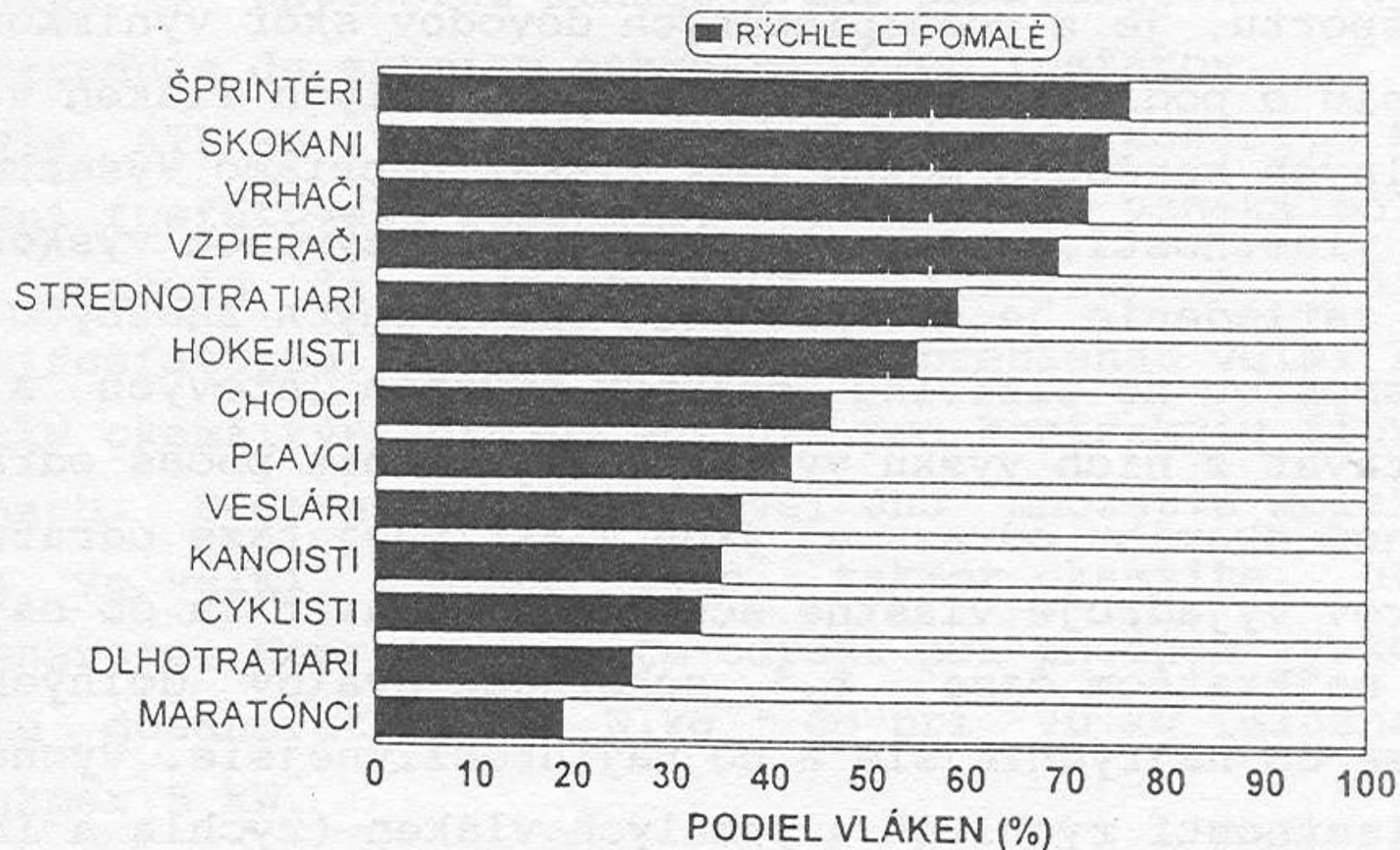
Typy svalových vláken

- FG, bílé vlákno, II B
unavitelné, rychlé glykolitické vlákno
- FOG, červené vlákno, II A
rezistentní k unavitelnosti, rychlé
oxidativně-glykolitické vlákno
- SO, červené vlákno, I
rezistentní k unavitelnosti, pomalé
oxidativní vlákno

ZÁKLADNÉ VLASTNOSTI SVALOVÝCH VLÁKEN

VLASTNOSTI	Typ I pomalé červené pomalé oxidatívne	Typ IIa rýchle červené rýchle oxidatívne	Typ IIb rýchle biele rýchle glykolytické
Rýchlosť kontrakcie	pomalá	rýchla	rýchla
Sila kontrakcie	nizka	stredná	vysoká
Odolnosť voči únave	vysoká	stredná	vysoká
Obsah glykogénu	nizky	vysoký	vysoký
Priemer	malý	stredný	veľký
Hustota mitochondrií	vysoká	vysoká	nizka
Hustota kapilár	vysoká	vysoká	nizka
Aktivita ATP-ázy	nizka	vysoká	vysoká
Glykolytická kapacita	nizka	vysoká	vysoká
Koncentrácia myoglobínu	vysoká	nizka	nizka
Afinita troponinu ku Ca	nizka	vysoká	vysoká
Prah dráždivosti	nizky	stredný	vysoký

Obr. 2.6. Základné charakteristiky rýchlych a pomalých vlákien



Obr. 2.9. Priemerný podiel rýchlych a pomalých vláken u športovcov rôznych špecializácií

vlastnosti	typ svalových vláken		
	I (SO)	IIA (FOG)	IIB (FG)
A) histochemické (m.vastus lat.):			
aktivita myozinové ATPázy (pH 9,4)	nízká	vysoká	vysoká
aktivita glykolytických enzymů	nízká	střední	vysoká
aktivita oxidativních enzymů (SDH)	vysoká	střední	nízká
obsah myoglobinu (barva)	červená	růžová	bílá
B) strukturní (m.vastus lat.):			
příčná plocha vlákna (μm^2) ⁺	5310	6110	5600
počet krevních kapilár na jedno vlákno	4,2	4,0	3,2
šířka Z linie (μm)	75,5	63,1	56,2
denzita interfibrilárních mitochondrií (%)	2,9	2,3	1,9
denzita lipidových inkluzí (%)	0,27	0,09	0,05
C) funkční:			
doba izometrické kontrakce (ms)	99-140	40-88	
maximální tenze (g)	12	25	
unavitelnost	pomalá	rychlá	
D) biochemické (m.vastus lat.) obsah substrátů ($\mu\text{mol.g}^{-1}\text{v.h.}$):			
ATP	4,9	5,3	4,9
CP	12,6	14,5	14,8
glykogen	77,8	83,1	89,2
triglyceridy	7,1	4,2	
aktivita enzymů ($\mu\text{mol.g}^{-1}\text{.min}^{-1}$)			
fosfofruktokináza	7,5	13,7	17,5
citrátsyntáza	10,8	8,6	6,5
hydroxyacyl-KoA-dehydrogenáza	14,8	11,6	7,1

SDH = sukcinátdehydrogenáza, ⁺ mužské pohlaví, v.h. = vlhká hmota

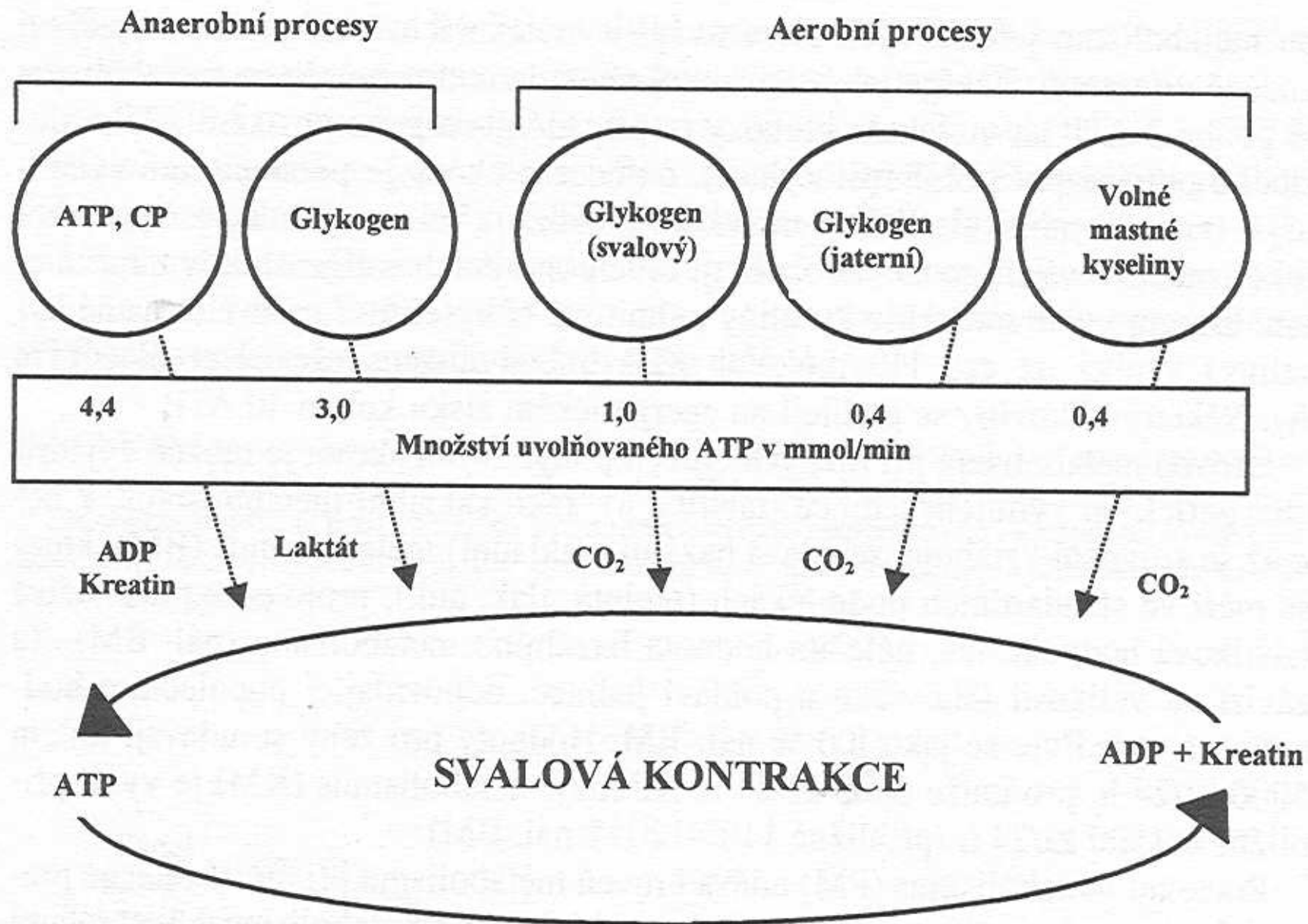
Tab.12. Procentuální zastoupení rychlých a pomalých svalových vláken u sportovců různých disciplín (Melichna, 1990)

sportovní (výkon)	disciplína	sval	pohlaví	N	typ svalových vláken (%)		
					typ I	typ II A	typ II B
cyklistika							
-sprint		m.VL	M	9	56,4	18,7	24,9
-silnice		m.VL	M	5	70,6	18,8	10,6
atletika							
-sprint (100m 10,9s)		m.VL	M	5	29,8	42,8	26,8
-800 m (1:51,7 min)		m.G	M	7	51,9		
-maraton (2,44 h)		m.VL	M	5	58,6	32,8	8,6
		m.G	Ž		60,7	36,9	2,4
-hody, vrhy							
(disk 61,1 m, koule 19,3 m)		m.G	M	4	37,7		
lyžování							
-alpské			M	12	57,0		
-běhy		m.VL	M	14	61,8	30,7	7,5
plavání							
-100 m		m.VL	M	5	47,8	3,6	48,6
-400 m		m.VL	M	7	62,5	31,9	5,6
a více		m.D	M	4	61,5	30,0	8,5
		m.LD	M	4	56,5	33,5	10,0
orientační běh		m.G	M	8	67,1	28,9	1,9 (2,1 IIC)
		m.D	M	8	68,3	14,3	17,4
sportovní gymnastika		m.VL	Ž	4	46,1	22,7	31,2
sportovní hry							
-lední hokej		m.VL	M	15	52,4	15,2	32,4
-odbíjená		m.VL	M	9	53,1		
veslování		m.VL	M	8	54,6	14,4	31,0
zápas		m.VL	M	9	48,3	6,2	45,5
-volný styl		m.D	M	6	44,3	7,1	48,6

m.D = m.deltoideus, m.G = m.gastrocnemius, m.LD = m.latissimus dorsi, m.VL = m.vastus lateralis. M = muži. Ž = ženy

Tab.10. Zdroje energie v kosterním svalu při různě dlouhém zatížení organismu, unavitelnost a zapojení motorických jednotek. (Modifikováno podle Keula (1961), Seligera a Choutky (1982) a Melichny (1990))

druh zatížení (intenzita)	trvání výkonu	využití substrátu (převážně)	tvorba kyseliny mléčné	unavitelnost (příčina)	zapojení různých typů motorických jednotek
rychlostní (velká až supramaximální)	do 15 s	ATP,CP	střední	rychlá, (nervosvalový přenos?)	typ II B převážně
rychlostně-vytrvalostní (maximální)	15-50 s	ATP,CP, glykogen (glykolýza)	velmi vysoká (maximální)	rychlá, akumulace kys.mléčné, acidóza	typ II B a II A
vytrvalostní - krátkodobé (submaximální)	do 120 s	glykogen (glykolýza a oxidace)	velmi vysoká	rychlá akumulace kys.mléčné, acidóza	typ II B a II A
- střední (submaximální)	do 11 min	glykogen (oxidace)	střední až malá	méně rychlá, vyčerpání rezerv glykogenu	typ II A
- dlouhodobá (submaximální)	více než 60 min	glykogen později lipidy(oxidace), také extra-celulární zdroje	žádná (velmi malá)	pomalá, vyčerpání rezerv glykogenu ze svalu, iontové změny?	typ I



Obr. 16. Množství ATP (mmol/min) připadající při svalové kontrakci na jednotku času – informuje o rychlosti resyntézy ATP z ADP podle různých zdrojů a způsobů uvolňování energie a tím o rychlosti poskytování energie různými energetickými systémy (podle Neumann a kol. 1998)