



MASARYKOVA UNIVERZITA

Pohybový systém

MUDr. Kateřina Kapounková



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Inovace studijního oboru Regenerace a výživa
ve sportu (CZ.107/2.2.00/15.0209)



Pohybový systém

- Svalová tkáň a
- Pojivové tkáně : **vazivo, chrupavka, kost**

Složené z buněk + vláken + mezibuněčné hmoty + ...

Vazivové tkáně

Vazivo: **buňky** vaziva (fibrocyty, tukové buňky)
vlákny (kolagen, elastin, retikulární) a
mezibuněčná **hmota**

Tuhé vazivo: vazy, šlachy
Řídké vazivo: mezitkáňové prostory
Elastické vazivo: vazy páteře, žeber
Tukové vazivo: podkoží
Lymfoidní vazivo: mízní uzliny

Chrupavka

Chrupavka: **buňky**- chondrocyty
vlákna (kolagen, elastin)
mezibuněčná **hmota**

hyalinní — tvrdá, porcelánově bílá, křehká,
obs.chondrocyty+beztvarou hmotu+jemné maskované kolagenní vlákna.
- na povrchu kloubů a v dýchacích cestách

elastická — pružná, ohebná, žlutavá, převládají elastická vlákna
- nos, boltec

vazivová — mechanicky odolná na tlak a tah, matně bílá,
- převládají silná kolagenní vlákna — meziobratlové ploténky, meniskus

Kost

Pevná pojivová tkáň, s mineralizovanou základní hmotou – minerální látky činí až 65% objemu kosti !!!

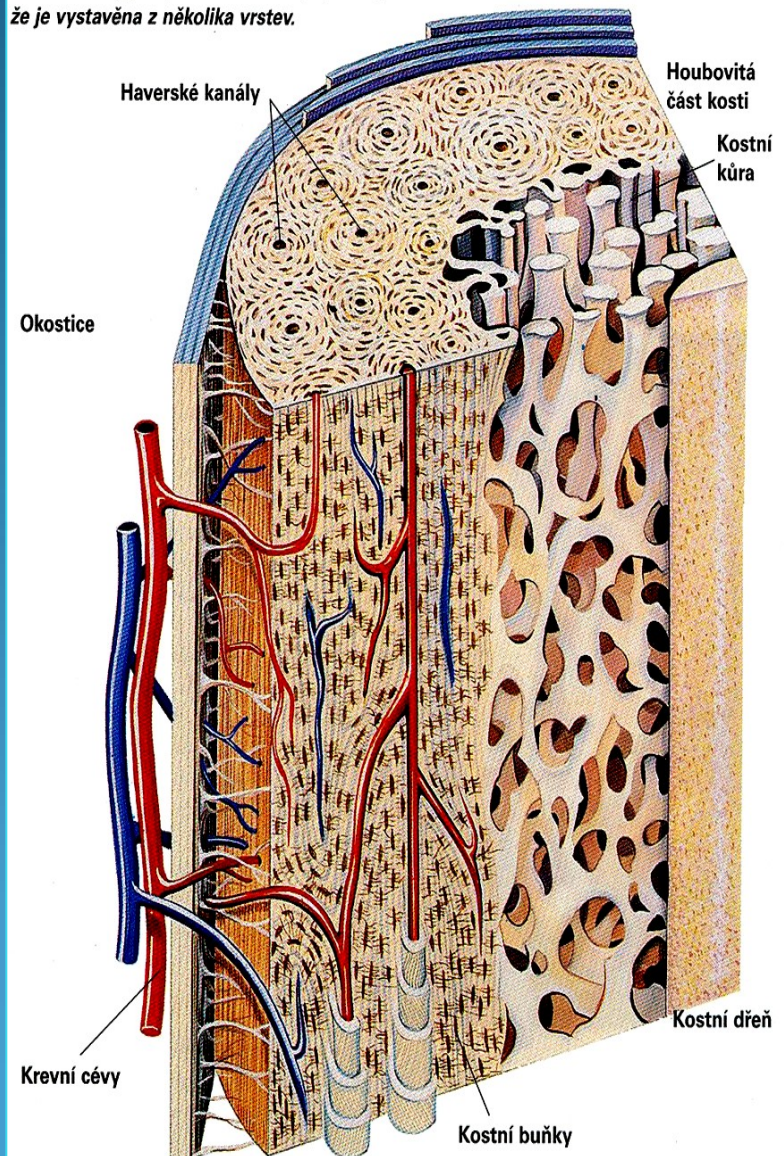
buňky - osteocyty

vlákna - kolagenní jako pletivo či lamely
kolem vyživovací cévy = vzniká **osteon** = zákl.
funkční jednotka kosti
- elastická ...

minerály (Ca, P, Mg, Na, F..)

Kostní dřev – erythropoetická tkáň

že je vystavěna z několika vrstev.



Sval

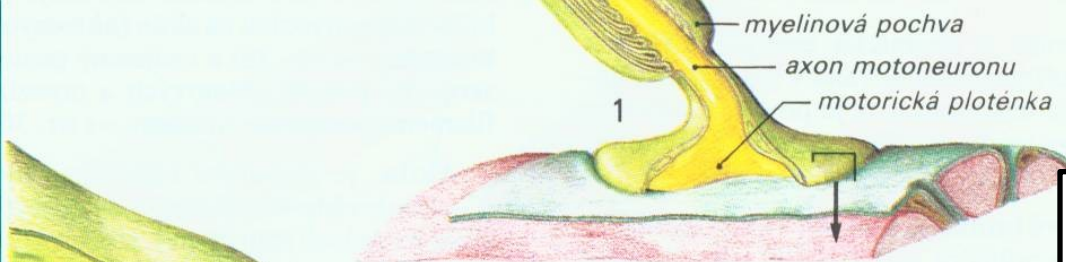
vzrušivá a stažlivá tkáň, reaguje na elektrickou stimulaci

- **hladký sval** – kontrahuje se **svalová buňka** (střevo, průdušky, cévy..) v cytoplasmě buněk jsou smrštění schopná vlákna – **myofibrily**
- **příčně pruhovaný sval** – kontrahuje se **svalové vlákno** - myofibrily
 - kosterní sval - biceps, záda...
 - srdeční sval

Sval.vlákno (tvořeno) :
myofibrily (několik set)
sarkoplazma
jádro
mitochondrie+glykogen

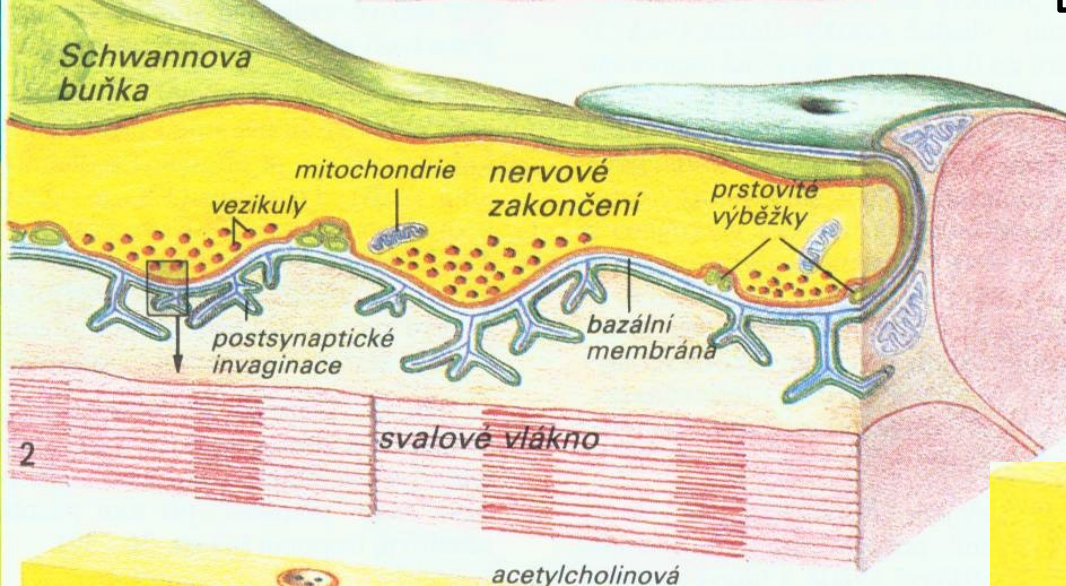
.... vše obalené membránou sarkolemou.

Myofibrily jsou to 2 bílkoviny schopné kontrakce, **aktin a myosin**, které se při kontrakci do sebe zasouvají...



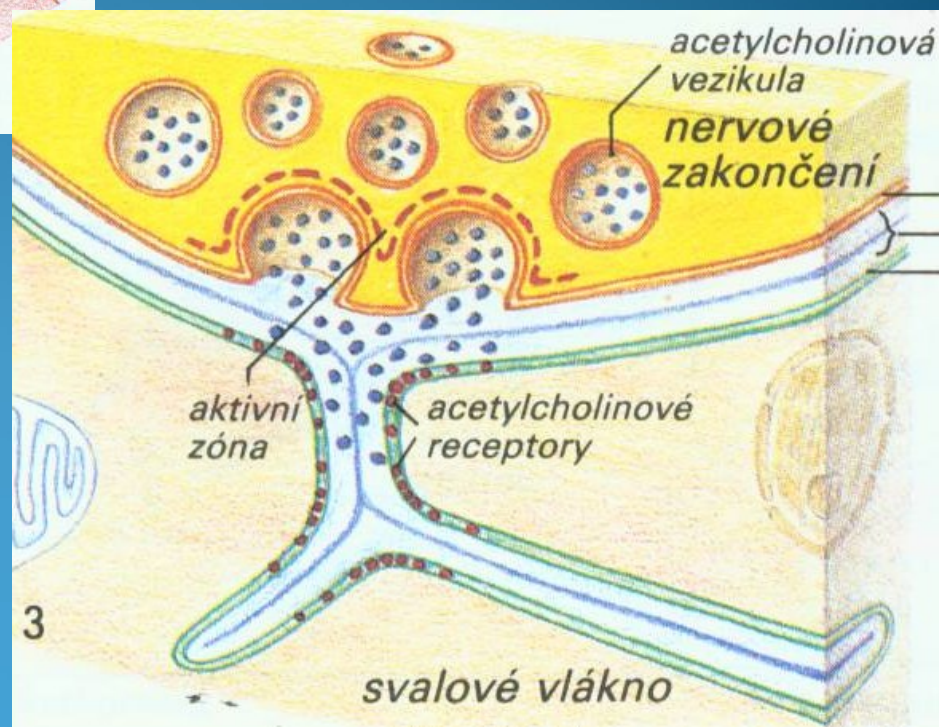
MOTORICKÁ JEDNOTKA

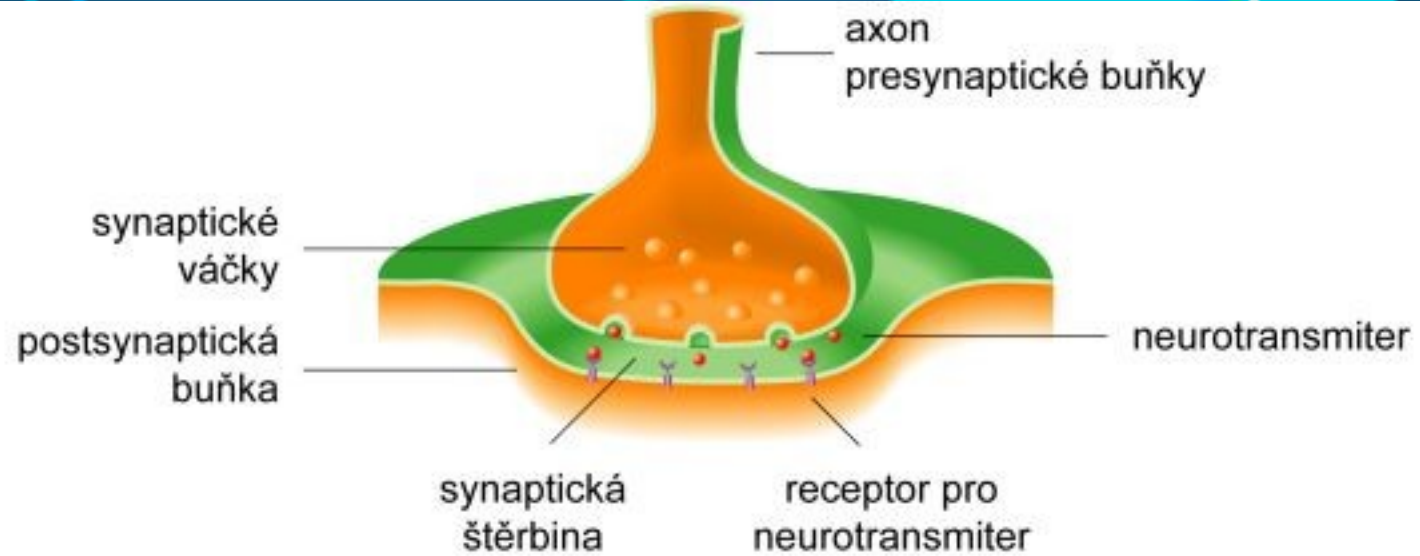
počet svalových vláken inervovaných jedním motoneuronem



MOTORICKÁ PLOTÉNKA (synapse)

přenos vzruchu motoneuronu na svalové vlákno





klidový stav



uvolnění acetylcholinu a následná depolarizace postsynaptické membrány



depolarizace vytváří akční potenciál podél buněčné membrány

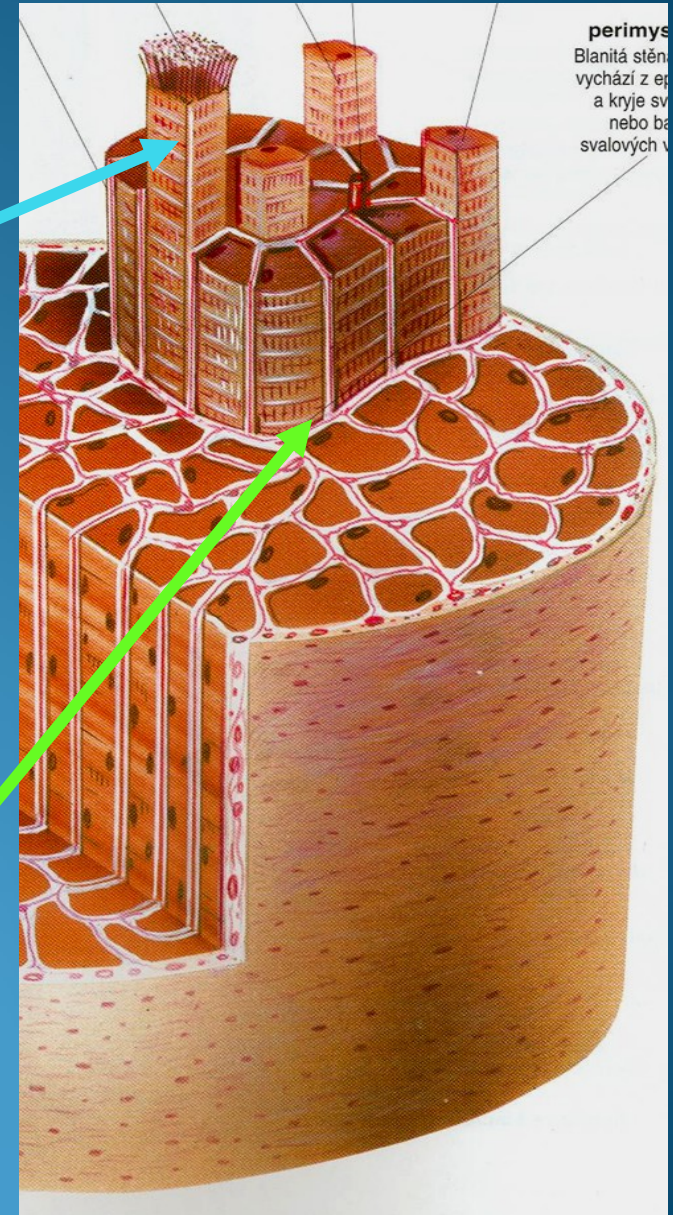
Svalová inervace

- Inervace svalu je zajištěna několika druhy nervových vláken
- Silná **motorická vlákna** typu **alfa** končí na nervosvalových ploténkách a vzruchy jimi vedené vedou ke **stahu extrafuzálních vláken** svalu
- **Gama vlákna** jsou zakončena u motorických plotének **intrafuzálních vláken**

Příčně pruhovaný sval

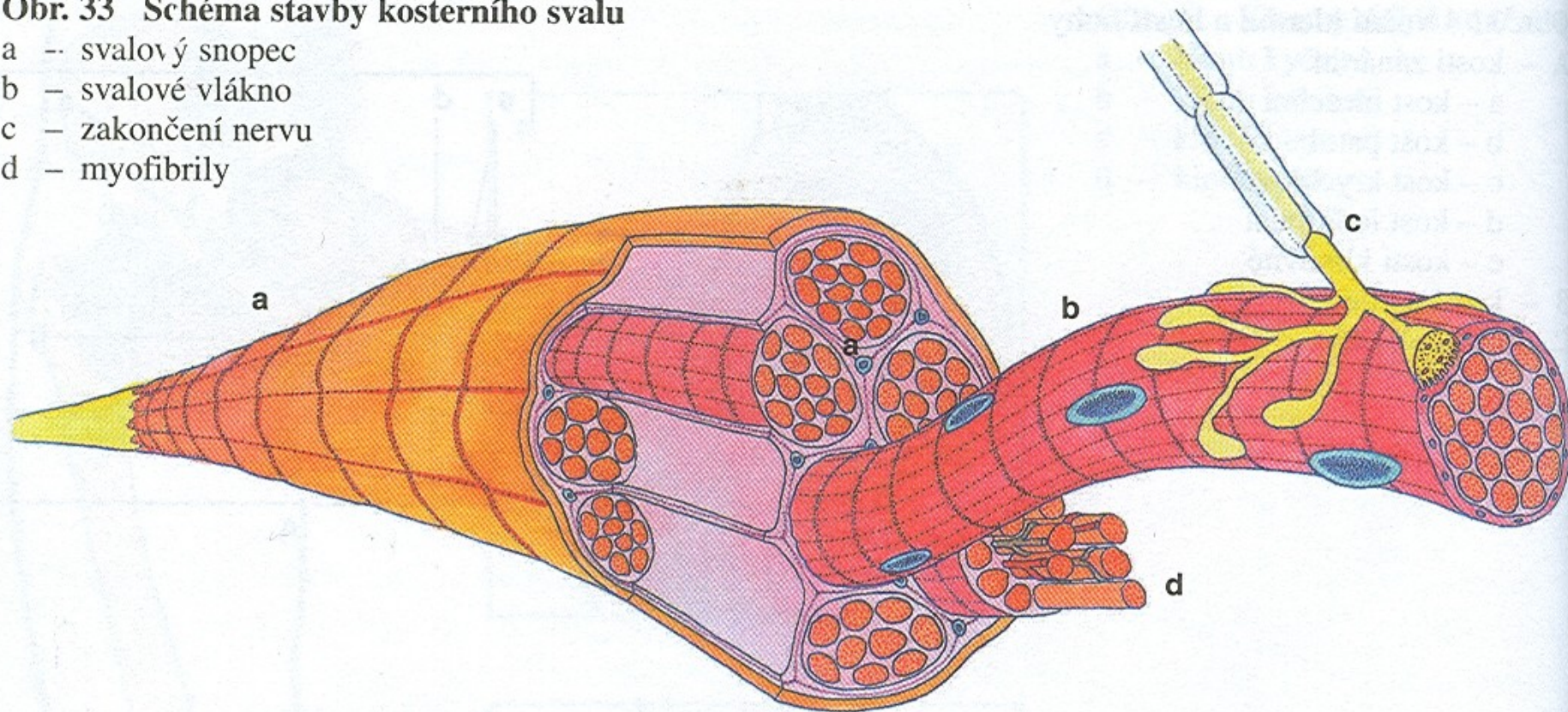
Myofibrily 1-2 μm , stovky -tisíce v každém sval.vlákně jsou složeny z **aktinu** a **myosinu**
– v elektronovém mikroskopu dávají pruhovaný vzhled

Základní jednotkou svalu je **svalové vlákno**
dlouhé několik cm



Obr. 33 Schéma stavby kosterního svalu

- a -- svalový snopec
- b -- svalové vlákno
- c -- zakončení nervu
- d -- myofibrily



Vlastnosti

EXCITABILITA - schopnost svalu odpovědět na stimul vytvořením a vedením akčního potenciálu

KONTRAKTILITA - schopnost svalu se stahovat a vyvíjet napětí za současného výdeje energie

EXTENSIBILITA - schopnost svalu být natažen

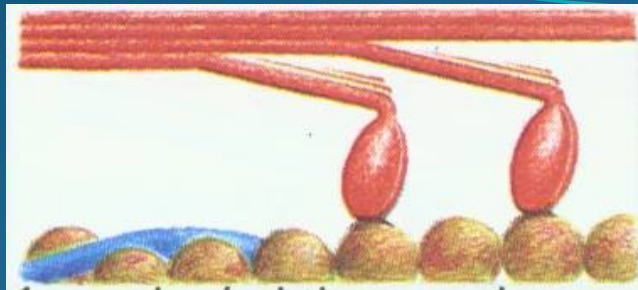
ELASTICITA - schopnost svalu se vrátit do klidové délky buď po natažení nebo zkrácení

Reaktivní změny

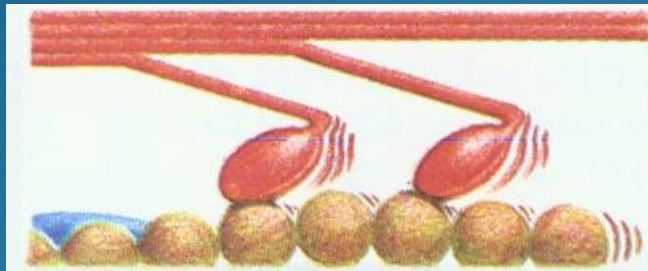
= svalová kontrakce

- Při svalovém stahu dochází ke štěpení ATP pomocí myozinové ATPázy
- Pro excitaci kontrakce - uvolnění iontů vápníku ze sarkoplazmatického retikula k **myofilamentům-Ca-aktomyozinový komplex** (mústek), což je doprovázeno štěpením ATP na ADP
- V procesu relaxace svalu, tj. zániku mústek dochází naopak k reabsorpci vápníku pomocí Ca^{2+} - pumpy do sarkoplazmatického retikula, přičemž tento proces je podmíněn **resyntézou ATP**

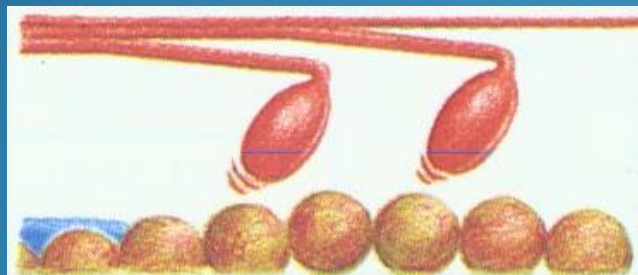
spojení
aktin-
myozin



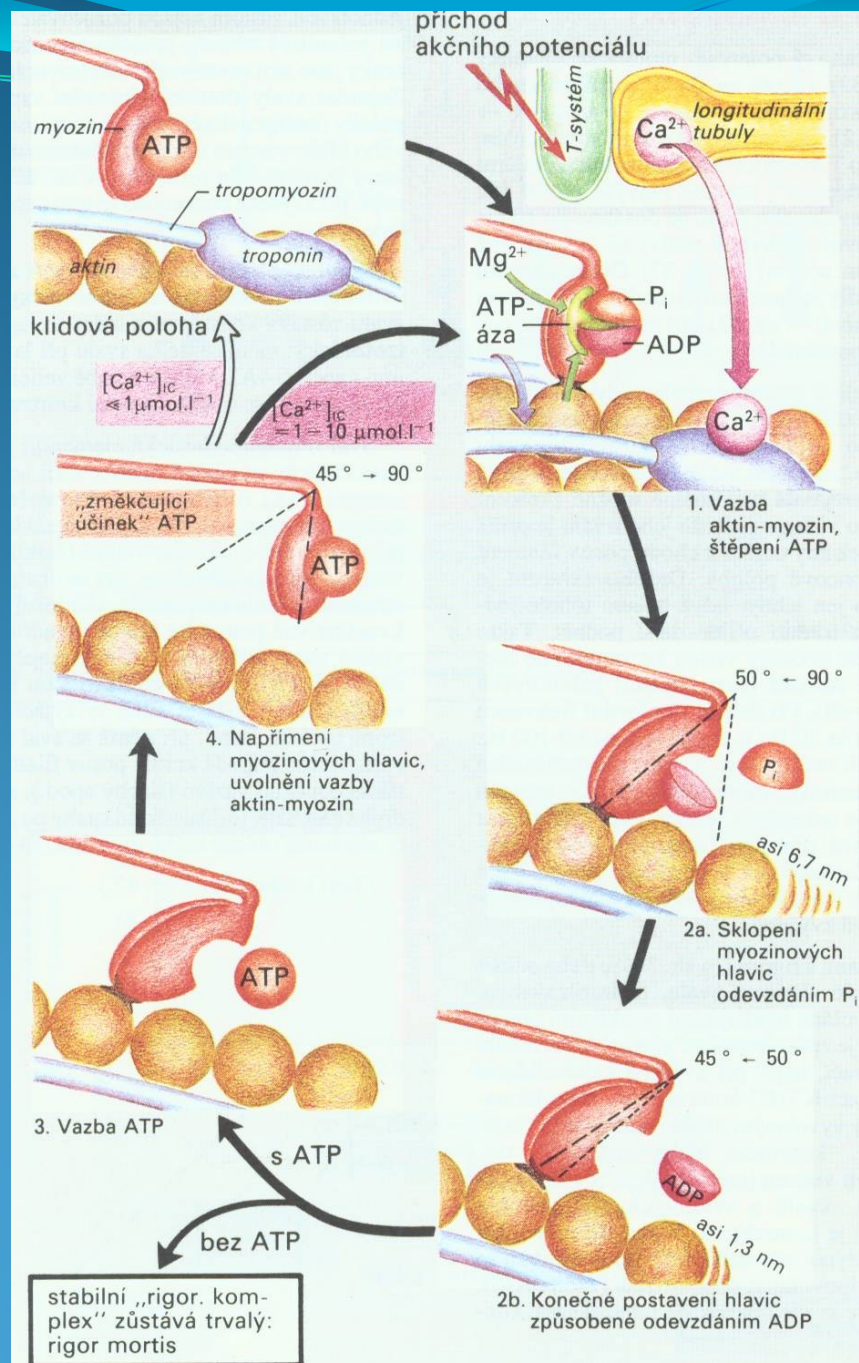
klouzavý
pohyb

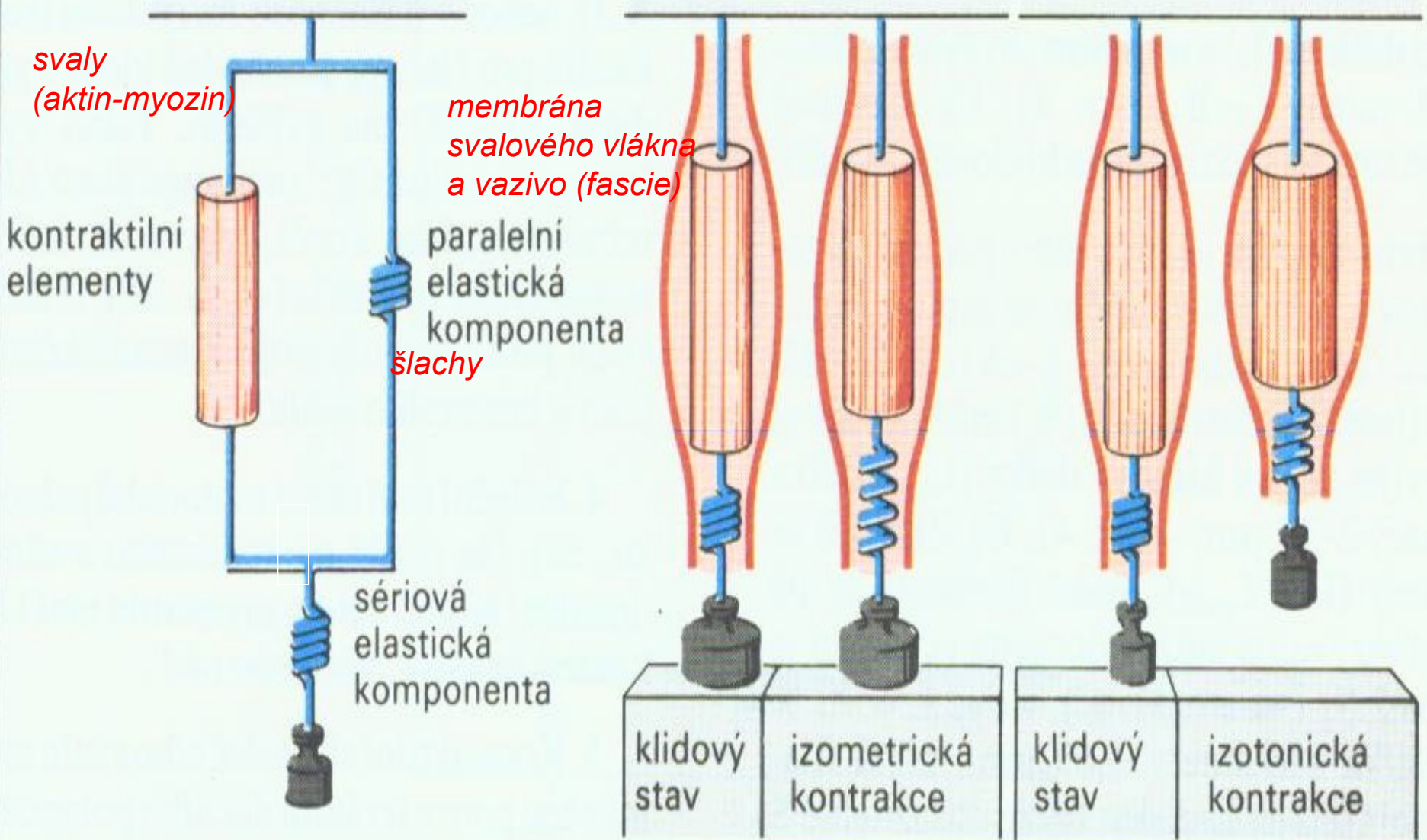


odpojení
hlavic



narovnání
hlavic





Biochemie svalové kontrakce

- Z hlediska biochemie svalové kontrakce je energie potřebná k funkční činnosti kosterního svalu pro **resyntézu ATP** z ADP poskytována typy reakčních procesů:
 - 1) tvorbou ATP ze 2 molekul ADP
 - 2) tvorbou ATP z CP
 - 3) tvorbou ATP při anaerobní glykolýze glycidů za vzniku kys. mléčné
 - 4) tvorbou ATP v aerobním cyklu kys. Citronové, kdy konečnými produkty jsou voda a CO_2

METABOLISMUS SVALU

- *restituce ATP*

MYOKINÁZOVÁ REAKCE



LOHMANNOVA REAKCE



GLYKOLYTICKÁ FOSFORYLACE (anaerobní)

Při odbourávání glukózy bez spotřeby kyslíku je uvolněna energie



OXIDAČNÍ FOSFORYLACE (aerobní)

Při odbourávání látek (*glukóza, laktát, volné mastné kys., aminokyseliny*) za přítomnosti kyslíku je uvolněna energie



Alaktátový neoxidativní způsob



Laktátový neoxidativní způsob



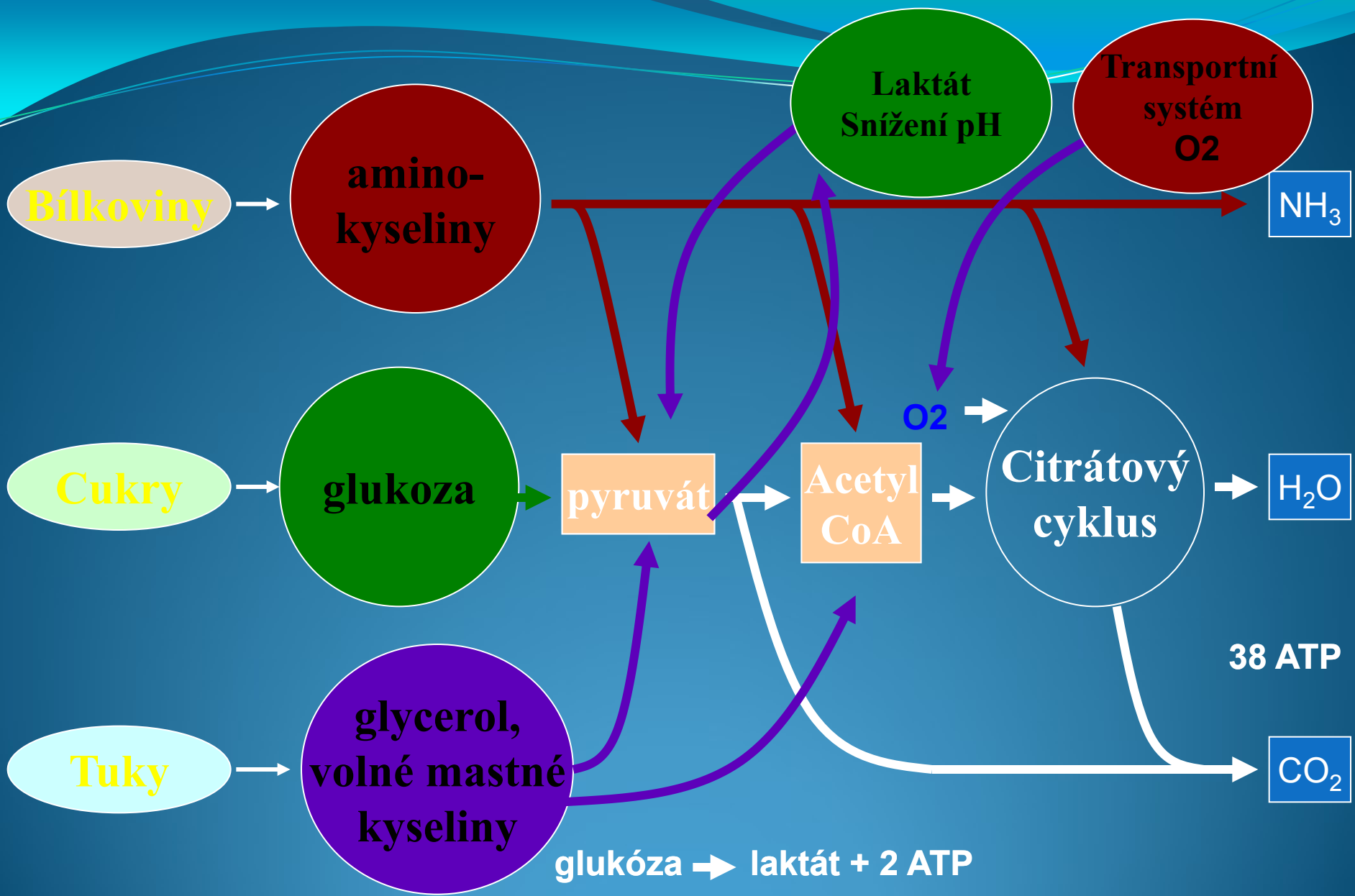
G....glykogen

- metabolická acidóza
- hladina LA v krvi

Oxidativní způsob

- nedochází k tvorbě laktátu





ENERGETICKÉ ZÁSoby SVALU

Tvorba ATP

Kosterní svaly	ATP	10 kJ	4,5 mol/min
	CrP	30 kJ	3,0 mol/min
	Glykogen	6 600 kJ	
	-anaerobně	600 kJ	2,0 mol/min
	-aerobně	6 000 kJ	0,75 mol/min
	TAG	11 000 kJ	0,4 mol/min
	proteiny	160 000 kJ	0,01 mol/min
Krev	glukóza	300 kJ	0,75 mol/min
	NEMK	15 kJ	0,4 mol/min
	TAG	150 kJ	0,1 mol/min
Játra	glykogen	1 500 kJ	0,75 mol/min
Tuková tkáň	lipidy	560 000 kJ	0,40 mol/min

TYPY SVALOVÝCH VLÁKEN

rezistentní k
unavitelnosti

červené vlákno

typ I.

pomalé oxidativní
vlákno
(SO)

rezistentní k
unavitelnosti

červené vlákno

typ II. A

rychlé oxidativně-
glykolytické vlákno
(FOG)

unavitelné

bílé

typ II. B

rychlé glykolytické
vlákno
(FG)

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	vyšoká
Odolnosť voči únave	vyšoká	stredná	nizká
Obsah glykogénu	nizky	vyšoký	vyšoký
Priemer	malý	stredný	veľký
Hustota mitochondrií	vyšoká	vyšoká	nizka
Hustota kapilár	vyšoká	vyšoká	nizka
Aktivita ATP-ázy	nizka	vyšoká	vyšoká
Glykolytická kapacita	nizka	vyšoká	vyšoká
Koncentrácia myoglobínu	vyšoká	nizka	nizka
Afinita troponínu ku Ca	nizka	vyšoká	vyšoká
Prah dráždivosti	nizky	stredný	vyšoký

Obr. 2.6. Základné charakteristiky rýchlych a pomalých vláken

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

TYPOLOGIE SVALOVÝCH VLÁKEN

rezistentní k
unavitelnosti

červené vlákno

typ I.

pomalé oxidativní
vlákno



- vysoký obsah myoglobinu
- bohatá na mitochondrie
- *obsahují méně glykogenu*
- obsahují více triacylglycerolů
- bohatá kapilární síť
- trvání kontrakce po impulsu až 100 ms

VYTRVALOSTNÍ ZÁTĚŽ

TYPOLOGIE SVALOVÝCH VLÁKEN

unavitelné

bílé vlákno

typ II. B

rychlé glykolytické vlákno



- *nízký obsah myoglobinu*
- *nižší počet mitochondrií*
- *bohatá na glykogen*
- *nízký obsah triacylglycerolů*
- *řidší kapilární síť*
- *trvání kontrakce po impulsu 10 - 40 ms*

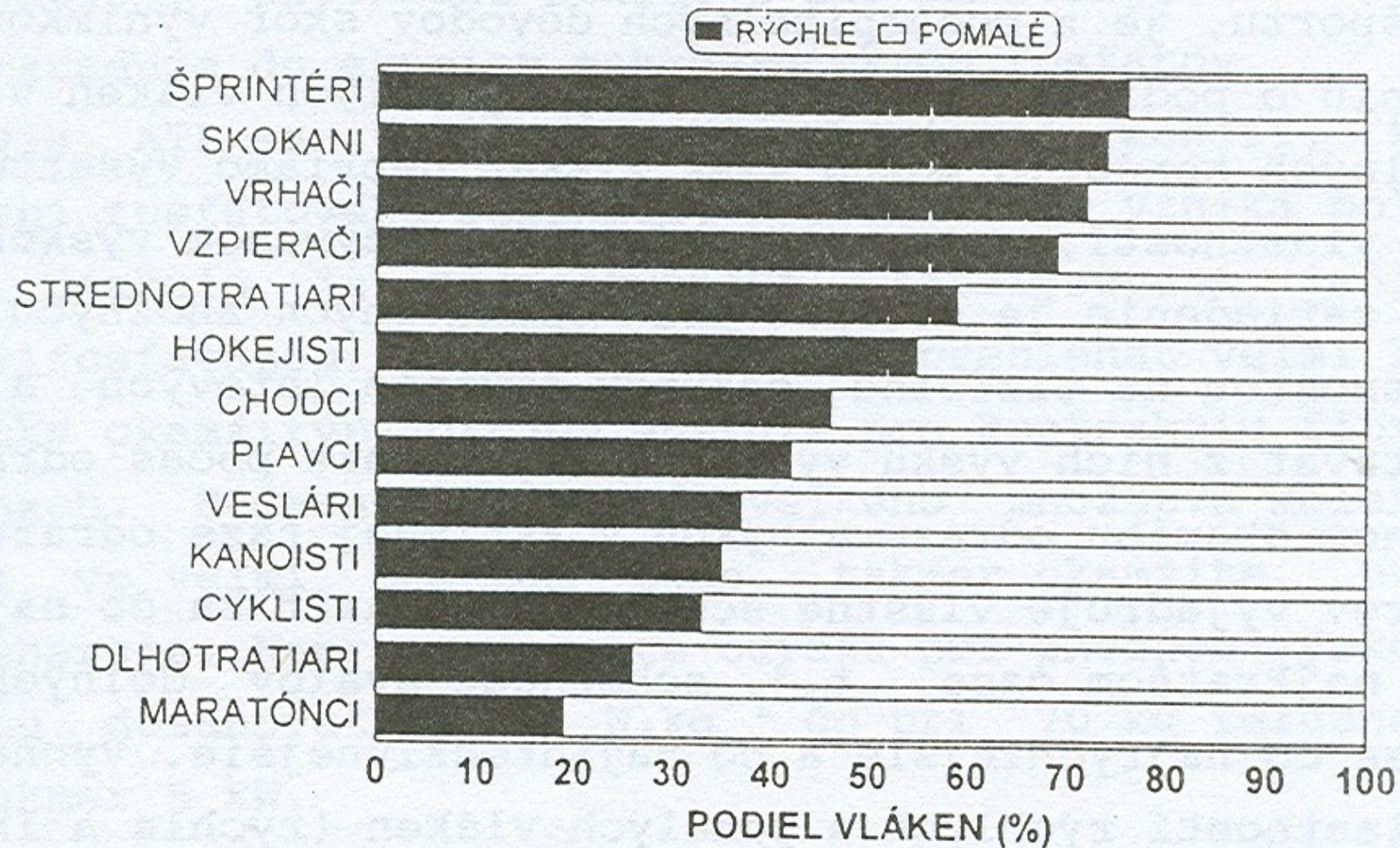
RYCHLOSTNÍ ZÁTĚŽ

rychlé silové kontrakce nedlouhého trvání

Tab.8. Procentuální zastoupení jednotlivých typů svalových vláken v lidských svalech v průběhu ontogenetického vývoje a v dospělosti (Melichna, 1981, 1990, Essen - Gustafsson a Borges, 1986)

sval	typy svalových vláken (%)			
	I	IIA	IIB	IIC
A) ontogenetický vývoj m.gastrocnemius nebo m.vastus lateralis				
- novorozenec	50-60	20	5	15-20
- 1 rok	60	30	10	0
- 6 roků	59	21	20	0
- 25 roků	35-60	20-30	20-35	1-2
- 70 roků	48-62	21-34	13-15	-
B) dospělost				
m.vastus lateralis	46	20	34	
m.gastrocnemius	52	16	31	
m.soleus	64 (100)	17	19	
m.biceps brachii	48-49	51-52		
m.deltoideus	42	58		

IIC = nediferencované ("embryonální") svalové vlákno s vysokou aktivitou myosinové ATPázy při různém pH



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

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

Svalový metabolismus při zatížení

- Využívání zdrojů energie ve svalu je závislé na **intenzitě a době trvání výkonu**
- Při **vysoce intenzivní pracovní činnosti** -především rychlé motorické jednotky s vysokým obsahem ATP a CP
- Při **práci vytrvalostního charakteru** jsou do činnosti zapojovány převážně **pomalé motorické jednotky**

DRUHY SVALOVÉ ČINNOSTI

ČINNOST STATICKÁ

převažuje svalová síla ve výdrži s *minimální změnou* svalové délky

ČINNOST DYNAMICKÁ

rytmické *střídání* kontrakce a relaxace se změnou *svalové délky*, s různou účastí svalového působení

DRUHY DYNAMICKÉ SVALOVÉ ČINNOSTI

ČINNOST SILOVÁ

pohybová činnost se zdůrazněnými *silovými* nároky, kdy *trvání kontrakce je delší než trvání relaxace*

ČINNOST RYCHLOSTNÍ

pohybová činnost s velmi *rychlým střídáním* kontrakcí a relaxací

ČINNOST OBRATNOSTNÍ

pohybová činnost, kde je důležitá *jemná koordinace* svalové činnosti

ČINNOST VYTRVALOSTNÍ

pohybová činnost, kde se klade důraz na *dlouhodobou* svalovou činnost

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

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
	Anaerobní laktátové			
krátkodobá	do 120 s	anaerobní a aerobní gl.	submax.	II B a II A
střední	d	Aerobní alaktátové		dní a <
dlouhodobá	nad 10 min	aerobní gl., později tuky	malá	I

STATICKÁ SVALOVÁ ČINNOST

kontrakce malé síly
do 15% max. kontrakční síly



převážně
oxidační fosforylace

kontrakce střední síly
15% - 60% max. kontrakční síly



↓ **oxidační fosforylace**
↑ **glykolytická fosforylace**

kontrakce velké síly
nad 60% max. kontrakční síly



pouze
glykolytická fosforylace

Adaptační změny

Ve svalech trénovaných jedinců (typ zatížení)

1. **strukturální změny** (mitochondrie, hypertrofie, vaskularizace)
2. **metabolická reakce** při zatížení (glykogen, enzymy,..)

Tab.11. Vliv odlišného řízení pohybové aktivity (tréninkového režimu) na strukturní a metabolické vlastnosti kosterního svalu (Howald,1982)

vlastnosti	typ řízené pohybové aktivity (tréninkového režimu)		
	vytrvalostní	rychlostní	silový
strukturní:			
- transformace typu svalových vláken	II C - I	I - II C	-
- počet krevních kapilár na svalové vlákno	zvyšuje se	?	?
- povrch mitochondriálních membrán	zvětšuje se	zvětšuje se	snižuje se
- příčná area svalových vláken	variabilní	zvětšuje se	zvětšuje se
- denzita tubulárního systému	nemění se	?	?
-Ca ²⁺ transportní kapacita	snižuje se	?	?
metabolické:			
- ATP + CP	zvyšuje se	zvyšuje se	zvyšuje se
- glykogen	zvyšuje se	zvyšuje se	zvyšuje se
- triglyceridy	zvyšují se	zvyšují se	zvyšují se
- myoglobin	zvyšuje se	zvyšuje se	zvyšuje se
- štěpení makroergních fostátů	?	rychlejší	rychlejší
- glykolýza	snižuje se	zvyšuje se	zvyšuje se
- oxidace glycidů	zvyšuje se	zvyšuje se	zvyšuje se
- oxidace volných mastných kyselin	zvyšuje se	?	?
- syntéza glykogenu	zvyšuje se	?	?
- tvorba alaninu z kys. pyrohroznové	zvyšuje se	?	?

ADAPTACE NA ZÁTĚŽ

ČINNOST SILOVÁ

hypertrofie vláken II B, ↑ aktivita myokinázy

ČINNOST RYCHLOSTNÍ

↑ obsahu a utilizace ATP a CP, hypertrofie vláken II B

ČINNOST RYCHLOSTNĚ–VYTRVALOSTNÍ (~2min)

↑ aktivita glykolytického systému, ↑ utilizace glykogenu,
↑ pufrovací kapacity

ČINNOST VYTRVALOSTNÍ

↑ mitochondrií, ↑ aktivita enzymů dýchacího řetězce,
↑ kapilarizace, hypertrofie I, možná konverze z II → I(?),
↑ hladiny svalového glykogenu o 100%, ↑ aktivita lipázy

Kost

- Fyzické zatěžování organismu podporuje **růst kostí**
- Kost je po celou dobu života metabolicky aktivní (**zvyšuje** se obsah minerálních látek – **Ca**)
- Trénink zvyšuje (i snižuje) **hmotnost kostí** (vlivem působení parathormonu)
- **Dlouhodobě neúměrně vysoká intenzita tréninkové zátěže produkuje pokles kostní denzity (osteoporózu)**
- Úměrná intenzita produkuje vyšší denzitu diafýz

Poznámka: Intenzivní zatížení mladého rostoucího organismu však vede v některých případech snad vlivem androgenů z nadledvinek k omezení růstu dlouhých kostí do délky předčasnou osifikací chrupavčitých růstových zón mezi hlavicemi a tělem kostí. Kosti jsou potom širší a kratší

Šlachy, vazy, klouby

- Zvyšuje se obsah kolagenu a aktivita enzymů
- Pojivová tkáň je dosti adaptivní
- Zatížení mění pozitivně tj. posiluje kosti, šlachy i vazy