KT I

Vytrvalost - determinanty

Vytrvalostní schopnosti - charakteristika

Schopnost udržet požadovanou intenzitu pohybu po delší dobu bez snížení efektivity

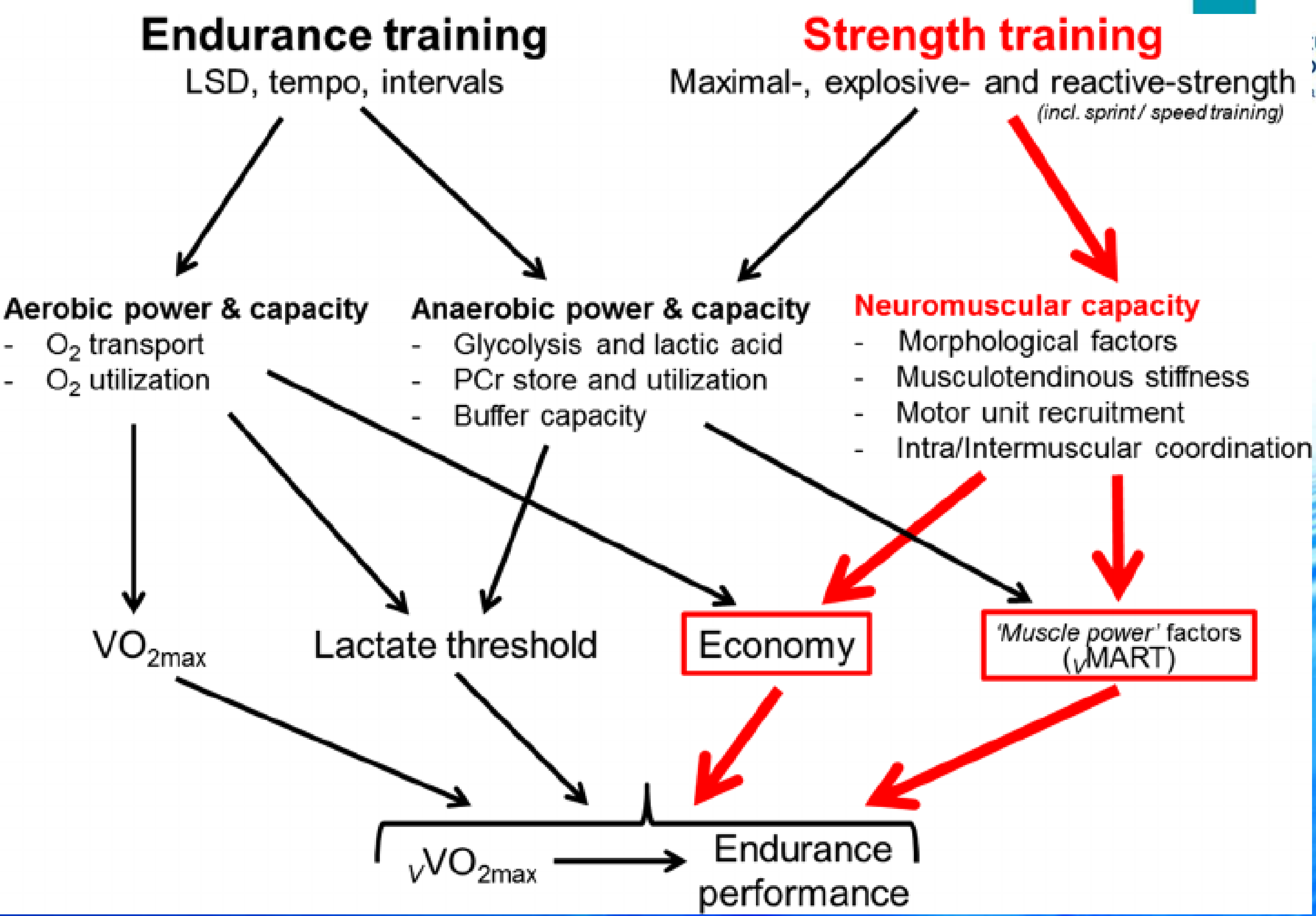
Široké uplatnění – běžný život

↑funkční a metabolické ukazatele

- kardio systém
- ↑šířka funkčního rozsahu = výkon

- Uplatnitelnost ve sportech
- Víceboje, více kolové soutěže
- Koord - Stabilita techniky
- Zvýšení intenzit a zatížení
- Rychlejší regenerace

Předpoklad provádět cvičení nižší intenzitou co nejdéle nebo stanovenou dobou (vzdáleností) co nejvyšší intenzitou


Endurance training
LSD, tempo, intervals
Strength training
Maximal-, explosive- and reactive-strength
(incl. sprint / speed training)
Aerobic power & capacity
- O2 transport
- O2 utilization
Anaerobic power & capacity
- Glycolysis and lactic acid
- PCr store and utilization
- Buffer capacity
Neuromuscular capacity
- Morphological factors
- Musculotendinous stiffness
- Motor unit recruitment
- Intra/Intermuscular coordination
VO2max
Lactate threshold
Economy
'Muscle power' factors (vMART)
vVO2max
Endurance performance

Determinanty vytrvalostních výkonů

Centrální faktory *(Basset & Howley, 2000, p. 73; Kravitz & Dalleck, 2002)*

FAKULTA SPORTOVNÍCH STUDIÍ
Masarykova univerzita

max. pracovní kapacita srdce

- tepová frekvence x tepový objem
- je ze 70 – 85% hlavním limitujícím faktorem VO2max *(Basset & Howley, 2000, p. 73).*
- více krve/čas = větší potenciál pro transport O2 (VO2max)

objem krve a její průtok

- efekt tréninku = více krve = více hemoglobinu = větší potenciál pro transport O2
- větší množství krevní plazmy snižuje tření krve a tím se zvyšuje možnost jejího průtoku

kapacita plic a plicní difuze

- transport kyslíku z atmosféry do krve
- odstranění CO_2 z těla

- sportovci: pracovní výkon srdce je vysoký, zkracuje se doba možnosti nasycení krve kyslíkem v plicích = horší úroveň plicní difuze vede k nižšímu nasycení krve kyslíkem

Determinanty vytrvalostních výkonů

Periferní faktory *(Basset & Howley, 2000, p. 73; Kravitz & Dalleck, 2002)*

svalová difuzní kapacita

- schopnost svalu přenést kyslík z krve do mitochondrie
- zpracování kyslíku ve svalech závisí právě na této schopnosti (Kravitz & Dalleck, 2002)

enzymatická aktivita v mitochondriích

- její zvýšení = zlepšení celkové vytrvalosti

hustota vlásečnic ve svalech

- větší hustota vlásečnic ve svalech = se zlepšuje možnost transportu kyslíku do svalů hlavně při vyšší pracovní zátěži – čili ovlivňuje také ANP
- hustota vlásečnic ve svalech je tréninkem ovlivnitelná více, než hustota vlásečnic v plicích

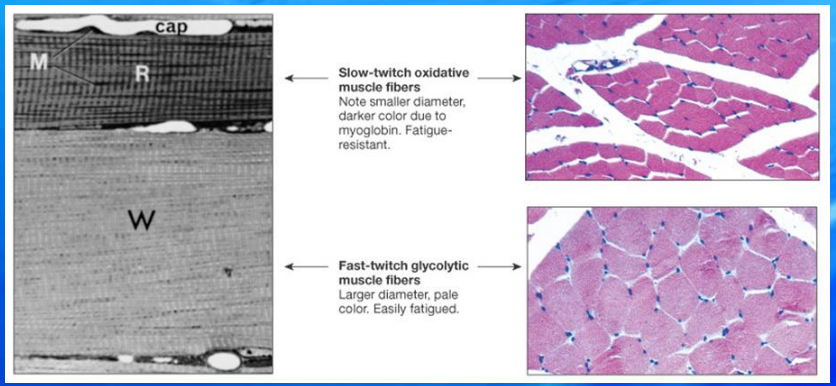
Biologické předpoklady

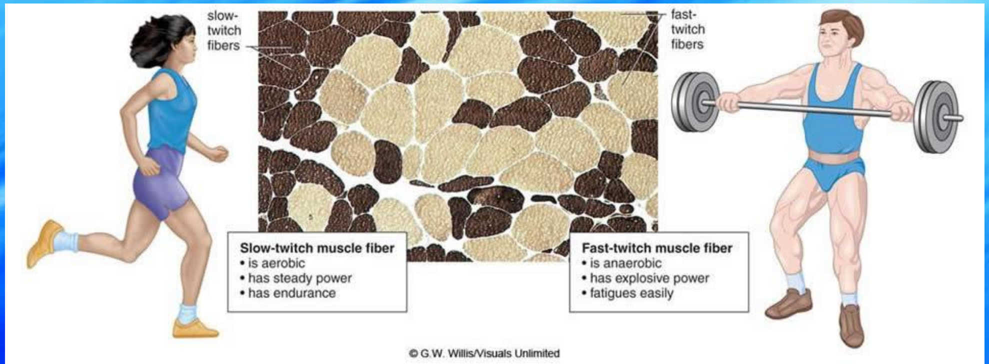
- Genetické determinanty
- Fyziologické determinanty
- Souhra a efektivita antagonistů a agonistů s důrazem na relaxaci antagonistů
- Motor. Učení – automatizace – efektivita – ekonomika pohybu
- Volní vlastnosti

Genetická limitace – sv. vlákna

- Genetické a somatické předpoklady
- Převaha zastoupení SO (I) a FOG (IIa) vláken

	Type I fibers	Type II a fibers	Type II x fibers	Type II b fibers
Contraction time	Slow	Moderately Fast	Fast	Very fast
Size of motor neuron	Small	Medium	Large	Very large
Resistance to fatigue	High	Fairly high	Intermediate	Low
Activity Used for	Aerobic	Long-term anaerobic	Short-term anaerobic	Short-term anaerobic
Maximum duration of use	Hours	<30 minutes	<5 minutes	<1 minute
Power produced	Low	Medium	High	Very high
Mitochondrial density	High	High	Medium	Low
Capillary density	High	Intermediate	Low	Low
Oxidative capacity	High	High	Intermediate	Low
Glycolytic capacity	Low	High	High	High
Major storage fuel	Triglycerides	Creatine phosphate, glycogen	Creatine phosphate, glycogen	Creatine phosphate, glycogen
Myosin heavy chain, human genes	MYH7	MYH2	MYH1	MYH4

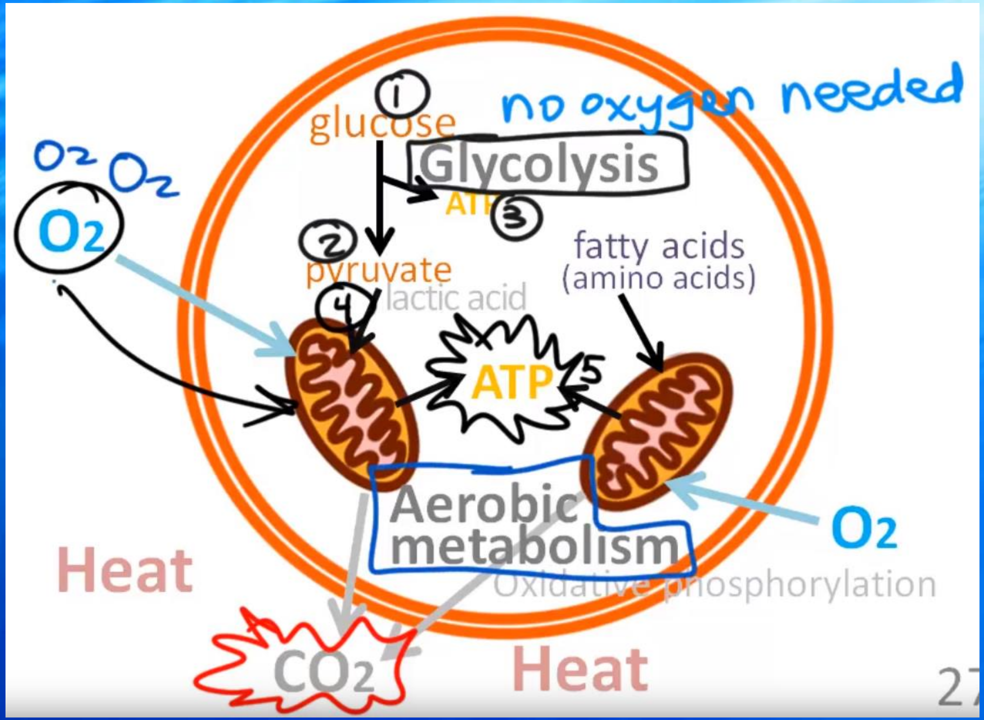


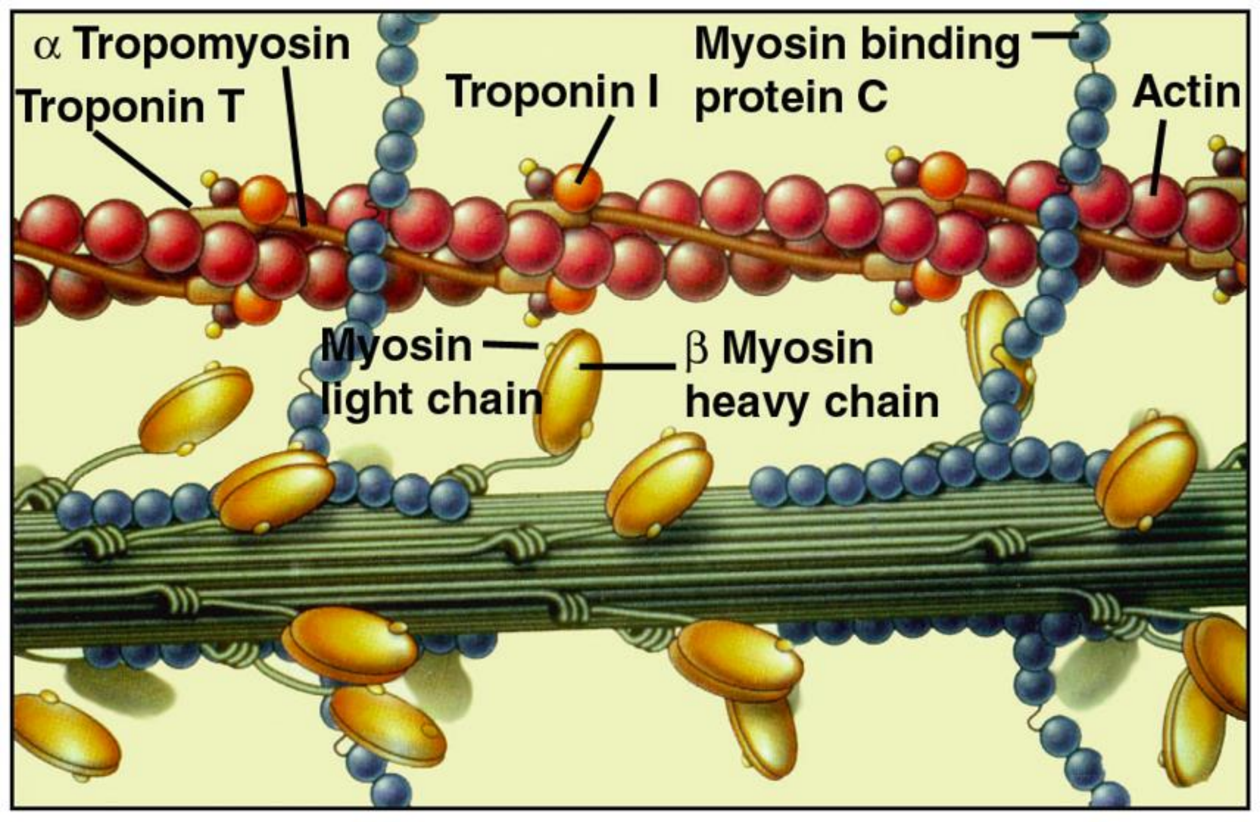


Fyziologické determinanty – zabezpečení funkce svalu, únava

- Únava - akutní nedostatečnost ATP nebo Ca
- Uvolnění hlavy myozinu z aktinu
- Ca + troponin - tropomyosin mimo myosin
- Neschopnost vytvářet průřezové útvary v důsledku nedostatku substrátů pro interakci

video

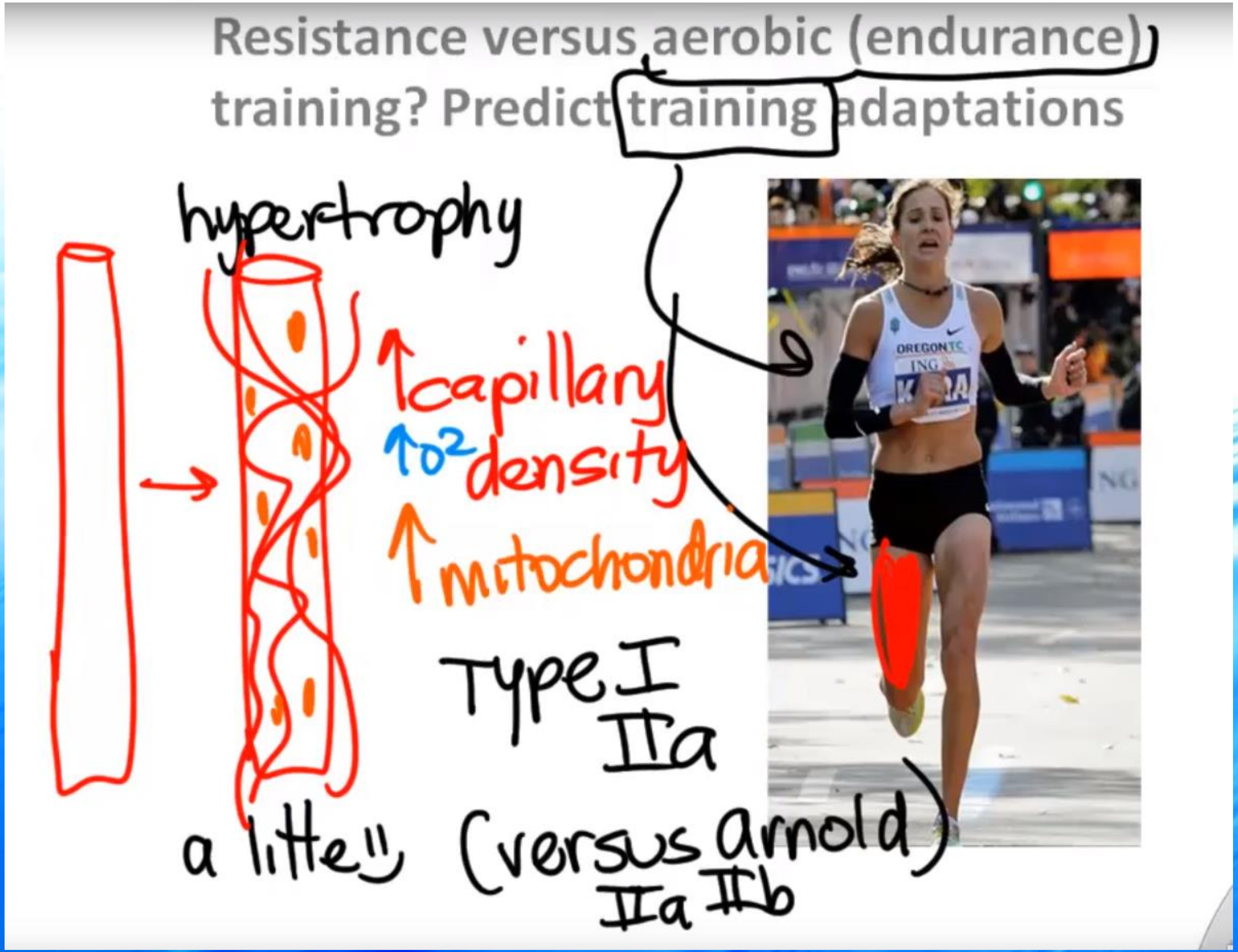




zdroj

Adaptace

- Kapiláry
- O2
- Mitochondrie
- Relaxace antagonisty
- Typ I, Iia
- trénovanost- věk



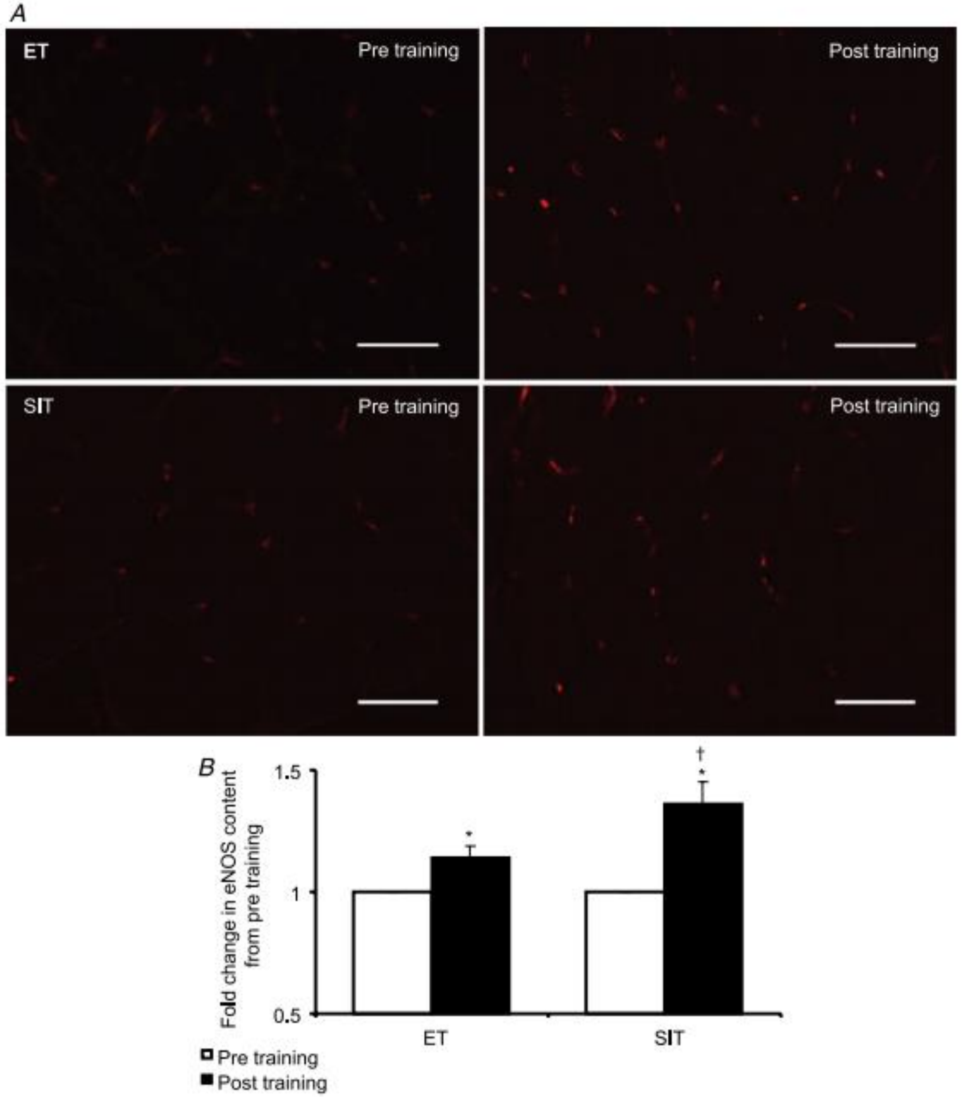


Figure 1. Effects of endurance training (ET) and sprint interval training (SIT) on eNOS content
A, widefield microscopy images of skeletal muscle pre- (left) and post- (right) endurance training (top) and sprint interval training (bottom). Skeletal muscle eNOS expression was revealed using Alexa-Fluror 594 conjugated secondary antibody (red). Bar = 50 μm. *B*, mean fluorescence intensity of eNOS is summarised. The mean level of eNOS pre-training was assigned a value of 1, and the relative intensity of eNOS post-training was calculated (ET $n = 8$, SIT $n = 8$). *$P < 0.05$, different from pre-training. †$P < 0.05$, different from ET post-training

Table 1. *Fiber type, CSA, and SDH in SED, ET, and HIIT rats*

		Fiber Type					
	Fiber Count	Type I	Type IIA	Type IIAX	Type IIX	Type IIXB	Type IIB
				Red Gastrocnemis			
SED							
%Population	359 ± 38	45.0 ± 3.5	28.1 ± 1.4	7.6 ± 1.7	14.8 ± 2.3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
CSA, µm	539 ± 40	3759.6 ± 95.9	2464.2 ± 169	2385.5 ± 81.8	2594.5 ± 142.1		
SDH, AU		20.7 ± 1	35.5 ± 1.1		28 ± 1.1		
ET							
%Population	301 ± 15	44.9 ± 2.4	33.4 ± 1.5*	16.7 ± 2.2*	4.9 ± 0.6*	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
CSA, µm	524 ± 69	3627.4 ± 207	2316.4 ± 87.3	2601.4 ± 89.7	2471.4 ± 67.5		
SDH, AU		24.3 ± 0.3*	37.1 ± 0.4		27.5 ± 0.4		
HIIT							
%Population	274 ± 23	50.3 ± 2	34.5 ± 2.2*	7.4 ± 1.6	7.8 ± 1.4*	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
CSA, µm	566 ± 6.4	3955.4 ± 174.9	2696.5 ± 149*	2746.0 ± 200	2555.0 ± 210		
SDH, AU		25.1 ± 0.8*	36.9 ± 0.7		26.2 ± 1.1		
				White Gastrocnemis			
SED							
%Population	211 ± 8	0.0 ± 0.0	1.0 ± 0.5	0.0 ± 0.0	5.4 ± 1.3	12.1 ± 2.2	81.5 ± 1.4
CSA, µm	491 ± 7.4		1635.4 ± 79.5		1773.9 ± 80.1	2575.8 ± 114.4	3941.3 ± 102
SDH, AU					32.0 ± 1		14.2 ± 1
ET							
%Population	238 ± 16	0.0 ± 0.0	2.6 ± 1.6	2.1 ± 2.1	15.7 ± 3.8*	5.7 ± 1.4	71.5 ± 2.6*
CSA, µm	474 ± 8.6		1308.6 ± 28.7*		1981.9 ± 135.9	3009 ± 180.1*	3779.3 ± 90.1
SDH, AU					29.6 ± 1.3		12.8 ± ±0.7
HIIT							
%Population	235 ± 17	0.0 ± 0.0	1.5 ± 1	0.0 ± 0.0	7.3 ± 1.6	6.4 ± 1	84.7 ± 1.5*
CSA, µm	493 ± 7.7		1159.2 ± 241		1802.7 ± ±85	2197.4 ± 130*	3728.5 ± 94.7
SDH, AU					30.9 ± 1.5		11.7 ± 0.5*

Values are expressed as means ± SE; $n = 6$ per group. SED, sedentary; ET, endurance training; HIIT, high-intensity interval training; CSA, cross-sectional area; SDH, succinate dehydrogenase. *$P < 0.05$ vs. SED.

(Fig. 5*C*) following HIIT, suggesting hypoxia occurred only in the HIIT animals. In addition, in the WG, ET increased the capillary-to-fiber ratio (Fig. 4, *C* and *D*), while HIIT decreased the capillary-to-fiber ratio (Fig. 4, *C* and *D*) and increased the protein content of HIF-1α (Fig. 5*G*); once again suggesting HIIT induced hypoxia. ET and HIIT did not alter the protein contents of VEGF or its receptor, VEGFR2, in either the RG or WG (Fig. 5, *D*, *E*, *H*, *I*).

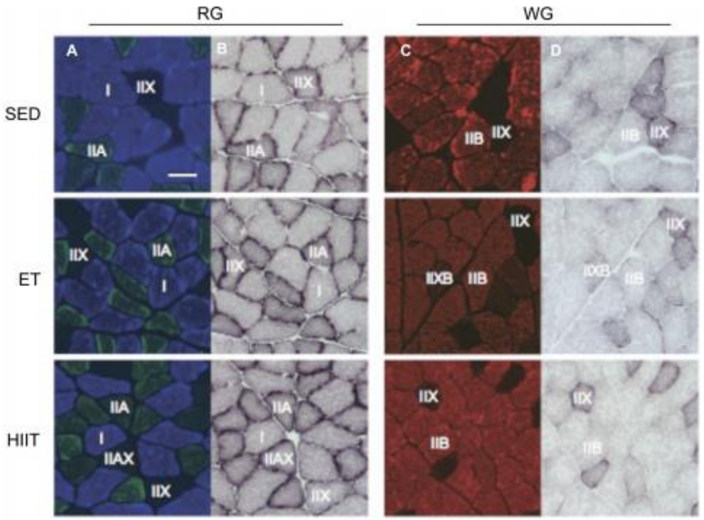


Fig. 3. Effects of endurance training (ET) and high-intensity interval training (HIIT) on skeletal muscle fiber type composition. *A*: composite fluorescent microscopy images of red gastrocnemius (RG): sedentary (SED; *top*), ET (*middle*), HIIT (*bottom*). *B*: serial cross section of RG showing SDH activity staining: SED (top), ET (middle), HIIT (bottom). *C*: composite fluorescent microscopy images of white gastrocnemius (WG): SED (*top*), ET (*middle*), and HIIT (*bottom*). *D*: serial cross section of WG showing SDH activity staining: SED (*top*), ET (*middle*), HIIT (*bottom*) vs. SED; *$P < 0.05$. Data are expressed as means ± SE.

Cocks, M., Shaw, C. S., Shepherd, S. O., Fisher, J. P., Ranasinghe, A. M., Barker, T. A., … Wagenmakers, A. J. M. (2013). Sprint interval and endurance training are equally effective in increasing muscle microvascular density and eNOS content in sedentary males. *The Journal of Physiology*, *591*(Pt 3), 641–656. http://doi.org/10.1113/jphysiol.2012.239566
High-intensity interval and endurance training are associated with divergent skeletal muscle adaptations in a rodent model of hypertension Tanya M. Holloway, Darin Bloemberg, Mayne L. da Silva, Joe Quadrilatero, Lawrence L. Spriet American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology Published 1 June 2015 **Vol.** 308 **no.** 11, R927-R934 **DOI:**10.1152/ajpregu.00048.2015

	Fiber Count	Type I	Type IIA	Type IIAX	Type IIX	Type IIXB	Type IIB
		Fiber Type					
		Red Gastrocnemis					
SED							
%Population	359 ± 38	45.0 ± 3.5	28.1 ± 1.4	7.6 ± 1.7	14.8 ± 2.3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
CSA, μm	539 ± 40	3759.6 ± 95.9	2464.2 ± 169	2385.5 ± 81.8	2594.5 ± 142.1		
SDH, AU		20.7 ± 1	35.5 ± 1.1		28 ± 1.1		
ET							
%Population	301 ± 15	44.9 ± 2.4	33.4 ± 1.5*	16.7 ± 2.2*	4.9 ± 0.6*	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
CSA, μm	524 ± 69	3627.4 ± 207	2316.4 ± 87.3	2601.4 ± 89.7	2471.4 ± 67.5		
SDH, AU		24.3 ± 0.3*	37.1 ± 0.4		27.5 ± 0.4		
HIIT							
%Population	274 ± 23	50.3 ± 2	34.5 ± 2.2*	7.4 ± 1.6	7.8 ± 1.4*	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
CSA, μm	566 ± 6.4	3955.4 ± 174.9	2696.5 ± 149*	2746.0 ± 200	2555.0 ± 210		
SDH, AU		25.1 ± 0.8*	36.9 ± 0.7		26.2 ± 1.1		
		White Gastrocnemis					
SED							
%Population	211 ± 8	0.0 ± 0.0	1.0 ± 0.5	0.0 ± 0.0	5.4 ± 1.3	12.1 ± 2.2	81.5 ± 1.4
CSA, μm	491 ± 7.4		1635.4 ± 79.5		1773.9 ± 80.1	2575.8 ± 114.4	3941.3 ± 102
SDH, AU					32.0 ± 1		14.2 ± 1
ET							
%Population	238 ± 16	0.0 ± 0.0	2.6 ± 1.6	2.1 ± 2.1	15.7 ± 3.8*	5.7 ± 1.4	71.5 ± 2.6*
CSA, μm	474 ± 8.6		1308.6 ± 28.7*		1981.9 ± 135.9	3009 ± 180.1*	3779.3 ± 90.1
SDH, AU					29.6 ± 1.3		12.8 ± ±0.7
HIIT							
%Population	235 ± 17	0.0 ± 0.0	1.5 ± 1	0.0 ± 0.0	7.3 ± 1.6	6.4 ± 1	84.7 ± 1.5*
CSA, μm	493 ± 7.7		1159.2 ± 241		1802.7 ± ±85	2197.4 ± 130*	3728.5 ± 94.7
SDH, AU					30.9 ± 1.5		11.7 ± 0.5*

Values are expressed as means ± SE; $n = 6$ per group. SED, sedentary; ET, endurance training; HIIT, high-intensity interval training; CSA, cross-sectional area; SDH, succinate dehydrogenase. *$P < 0.05$ vs. SED.

(Fig. 5*C*) following HIIT, suggesting hypoxia occurred only in the HIIT animals. In addition, in the WG, ET increased the capillary-to-fiber ratio (Fig. 4, *C* and *D*), while HIIT decreased the capillary-to-fiber ratio (Fig. 4, *C* and *D*) and increased the protein content of HIF-1α (Fig. 5*G*); once again suggesting HIIT induced hypoxia. ET and HIIT did not alter the protein contents of VEGF or its receptor, VEGFR2, in either the RG or WG (Fig. 5, *D*, *E*, *H*, *I*).

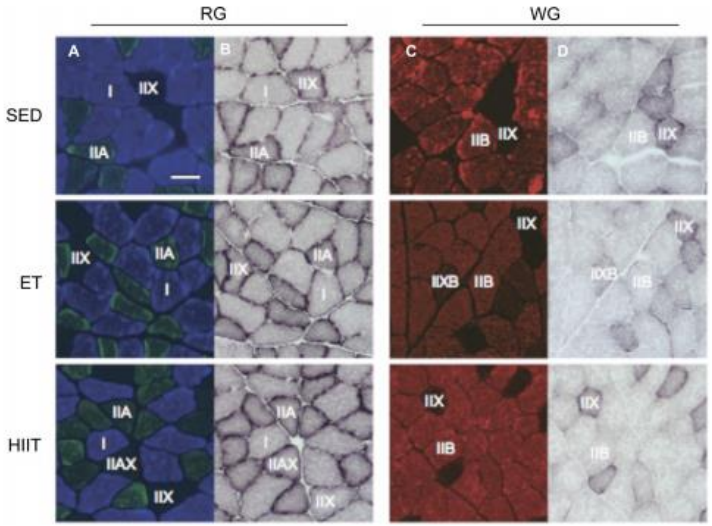


Fig. 3. Effects of endurance training (ET) and high-intensity interval training (HIIT) on skeletal muscle fiber type composition. *A*: composite fluorescent microscopy images of red gastrocnemius (RG): sedentary (SED; *top*), ET (*middle*), HIIT (*bottom*). *B*: serial cross section of RG showing SDH activity staining: SED (top), ET (middle), HIIT (bottom). *C*: composite fluorescent microscopy images of white gastrocnemius (WG): SED (*top*), ET (*middle*), and HIIT (*bottom*). *D*: serial cross section of WG showing SDH activity staining: SED (*top*), ET (*middle*), HIIT (*bottom*) vs. SED; *$P < 0.05$. Data are expressed as means ± SE.

FAKULTA SPORTOVNÍCH STUDIÍ
Masarykova univerzita

Endurance Running Hypothesis

- A central human adaptation?
- Bramble & Lieberman proposed hypothesis
  - Paper in *Nature,* 2004
- Observation: Humans can run efficiently for long distances.
- Hypothesis: Running is a human adaptation that was advantageous for survival. Some human anatomical and physiological features are adaptations for running.

Kalahari San !Kung, men running to track a large antelope they have darted.

zdroj

- Fyziologická limitace
    - Výkonnost a účinnost systémů zabezpečujících transport a výměnu O2 a CO2
    - Maximální spotřeba kyslíku
    - Regulační plasticita metabolických dějů - Hydratace
        - pocení je efektivní způsob odvodu tepla z těla - ALE tělo SE dehydruje
        - za hodinu:
            - nesportovec dokáže vyprodukovat 0,8l potu,
            - sportovec až 2l potu.

Již při 2% dehydrataci (1,6l tekutin/80kg osoba) dochází ke snížení výkonu (snižuje se efektivita odvodu tepla – únava CNS, méně efektivní mitochondriálni dýchání; snížení objemu krvní plasmy - vyšší tepová frekvence při stejné zátěži…)

Správná hydratace před a v průběhu závodu = lepší výkonu *(Konopka,2004; Kravitz & Dalleck, 2002)*

- Ekonomika pohybu
- Laktátový práh
- Dostupnost energetických substrátů a jejich využití
    - Dostupnost a míra využití energetických zdrojů (zejména sacharidů a tuků) ovlivňuje možnosti vytrvalostního výkonu
    - vyšší je intenzita zátěže = tím se % více spotřebují sacharidy,
    - protože vzhledem k přijatému kyslíku lze z nich získat více energie (tuky-19,8kJ/l O2, sacharidy- 21,2kJ/l O2 TRÉNOVATELNÉ

Vytrvalostní výkony

- Ekonomika techniky
- Schopnost příjmu a využití O2
- Optimální tělesná hmotnost
- Volní koncentrace – překonání únavy
- Rozvoj druhu vytrvalosti dle typu činnosti
- Způsob energetických potřeb

FAKULTA SPORTOVNÍCH STUDIÍ
Masarykova univerzita

Table 1. Physiological characteristics (mean ± SD) of the various cycling disciplines taken from the incremental and power profile assessment.

Parameter	Road (n = 5)	XCMB (n = 9)	DHMB (n = 5)	BMX (n = 5)
Age (yr)	30 ± 7	30 ± 3	24 ± 6	23 ± 10
Height (cm)	183 ± 4	184 ± 6	183 ± 8	180 ± 4
Body mass (kg)	72.3 ± 3.5	79.1 ± 13.4	84.8 ± 6.6	81.3 ± 4.9
∑7 Skinfolds (mm)	55 ± 14	62 ± 27	87 ± 31	76 ± 30
VO_{2MAX} (mL·kg^{-1}·min^{-1})	69.6 ± 11.5[b]	65.3 ± 7.0	55.3 ± 6.1	52.4 ± 5.9
MAP (W)	452 ± 35[b]	455 ± 35[b]	400 ± 79	353 ± 48
MAP (W·kg^{-1})	6.3 ± 0.6[ab]	5.8 ± 0.6[ab]	4.7 ± 0.6	4.4 ± 0.7
MAOD 60 s (L)	1.80 ± 0.52[b]	1.77 ± 0.38[b]	1.31 ± 0.62	0.91 ± 0.06
MAOD 60 s (%)	30.8 ± 3.5	30.2 ± 5.3	25.3 ± 9.5	21.3 ± 2.6
MAOD 240 s (L)	0.90 ± 0.85[ab]	0.23 ± 0.86	-1.04 ± 1.17	-0.94 ± 0.57
MAOD 240 s (%)	4.8 ± 5.4[ab]	1.3 ± 5.2	-8.8 ± 10.5	-8.4 ± 5.4

Key: a = Different from DHMB ($p \leq 0.05$); b = Different from BMX ($p \leq 0.05$); BMX = Bicycle motocross cyclists; DHMB = Downhill mountain bikers; MAOD = Maximal accumulated oxygen deficit; MAP = Maximal aerobic power; n = Number of participants; VO2MAX = Maximal oxygen uptake; XCMB = Cross-country mountain bikers.

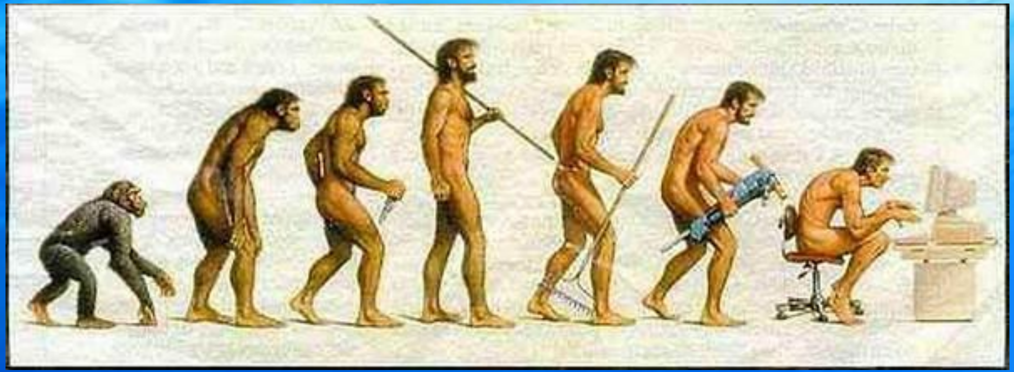
zdroj

Přehled vytrvalosti dle získávání

- **Podle počtu zapojených svalů:**

  1. lokální vytrvalostní schopnost (1/3 svalové hmoty)

  2. globální vytrvalostní schopnost (více jak 1/3 sv. hm.)



Podle doby trvání:

a) rychlostní: 0-20 s (ATP – CP systém)

b) krátkodobá: 20 s – 2 min (LA systém)

c) střednědobá: 2 – 10 min (O2 systém)

d) dlouhodobá:

I 10 – 35 min (glykogen)
II 35 – 90 min (glykogen + tuky)
III 90 – 6 hod (tuky)
IV nad 6 hod (bílkoviny)

Přehled způsobů získávání Energie ve sv. buňce

FAKULTA SPORTOVNÍCH STUDIÍ
Masarykova univerzita

Anaerobně alaktátový Kreatinfosfát (CP) + adenosindifosfát (ADP) →kreatin (C) + adenosintrifosfát (ATP)
Anaerobně – laktátový (anaerobní glykolýza) Glukóza (glykogen) → laktáz (La) + ATP
Aerobní (aerobní glykolýza) Glukóza (glykogen) + O_2 → CO_2 H_2O + ATP
Aerobní (lipolýza, oxidativní štěpení tuků) Nenasycené mastné kyseliny + + O_2 → CO_2 H_2O + ATP

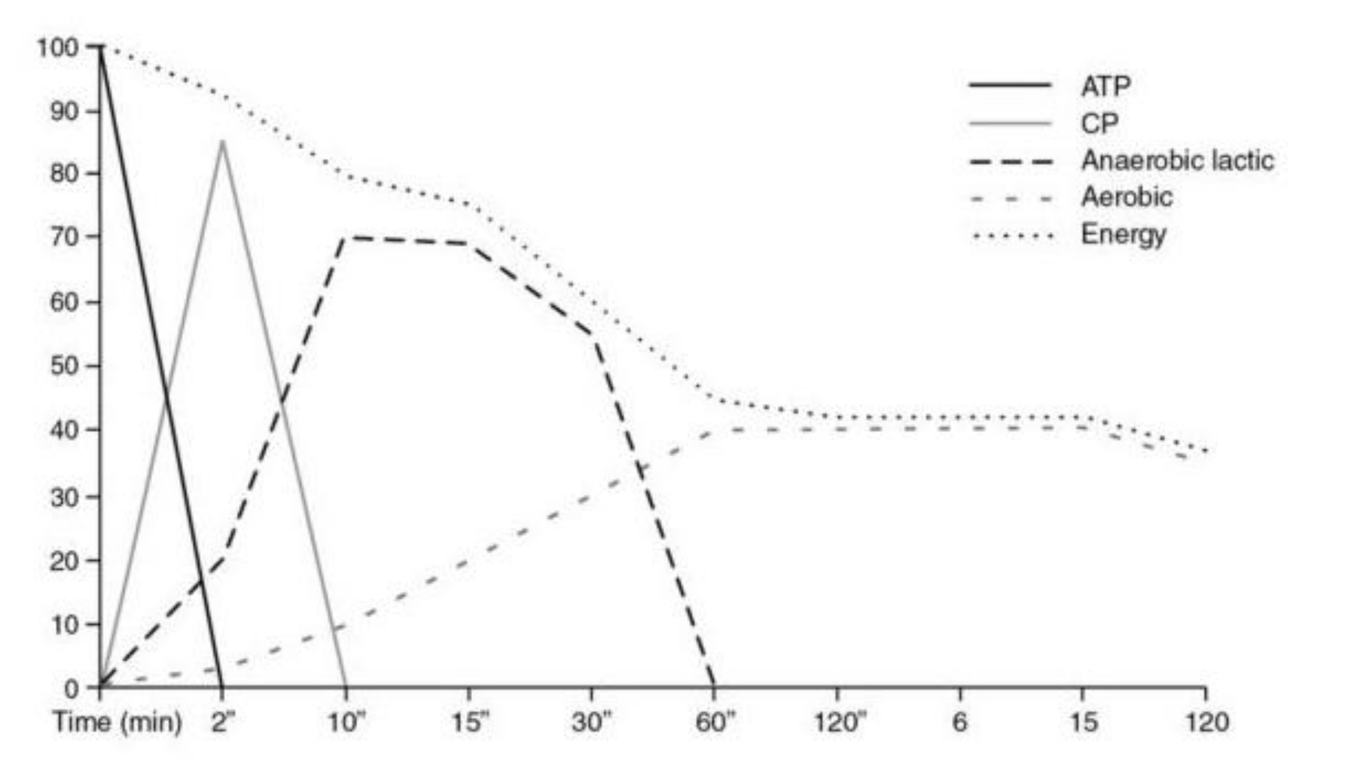


Table 3.1 Relationships Between Energy Systems and Strength Training Methods

ENERGY SYSTEM	ANAEROBIC (OXYGEN INDEPENDENT)				AEROBIC (OXYGEN DEPENDENT)		
	Alactic		Lactic acid				
Modality	Power	Capacity	Power	Capacity	Power		Capacity
Duration	1–6 seconds	7–8 seconds	8–20 seconds	20–60 seconds	1–2 minutes	2–8 minutes	8–>120 minutes
Type of strength training needed	MxS, P		MxS, P, PE	MxS, P, PE, MES	MxS, P, PE, MEM	MxS, PE, MEM	MxS (<80% of 1RM), PE, MEL

Key: MEL= muscle endurance long, MEM = muscle endurance medium, MES = muscle endurance short, MxS = maximum strength, P = power, and PE = power endurance.

39 m ATP z 1m sacharidu

zdroj

Malý E zisk
1m glukózy 2m ATP, 1m glykogenu 3 ATP – La +H^+ (45´´)

Table 3.2 Energy System Contributions in Track-and-Field Performance

Event	Duration	ATP-CP	GLYCOGEN Lactic	GLYCOGEN Aerobic	Triglyceride (fatty acid)
100 m	10 sec.	53%	44%	3%	—
200 m	20 sec.	26%	45%	29%	—
400 m	45 sec.	12%	50%	38%	—
800 m	1 min. 45 sec.	6%	33%	61%	—
1,500 m	3 min. 40 sec.	—	20%	80%	—
5,000 m	13 min.	—	12.5%	87.5%	—
10,000 m	27 min.	—	3%	97%	—
Marathon	2 hr. 10 min.	—	—	80%	20%

Sources: K.A. van Someren, 2006, The physiology of anaerobic endurance training. In *The physiology of training*, edited by G. Whyte (Oxford, UK: Elsevier), 88; E. Newsholme, A. Leech, and G. Duester, 1994, *Keep on running: The science of training and performance* (West Sussex, UK: Wiley).

Table 3.3 Physiological Characteristics of Energy Systems Training and Its Six Intensity Zones

Intensity zone	Type of training	Duration of rep	Number of reps	Rest interval (work-to-rest ratio)	TRAINING MODALITY: Sets	TRAINING MODALITY: Series of sets	% of max intensity
1	Alactic system	1–8 sec.	6–12	1:50–1:100	✓	✓	95–100
2	Lactic system (power—short)	3–10 sec.	10–20	1:5–1:20	✓	✓	95–100
	Lactic system (power—long)	10–20 sec.	1–3	1:40–1:130	✓	—	95–100
	Lactic system (capacity)	20–60 sec.	2–10	1:4–1:24	✓	✓	80–95
Intensity zone	**Type of training**	**Duration of rep**	**Number of reps**	**Rest interval (work-to-rest ratio)**	**Lactic acid concentration (mmol)**	**% of max heart rate**	**% of $\dot{V}O_2$max**
3	Max oxygen consumption	1–6 min.	8–25	1:1–1:4	6–12	98–100	95–100
4	Anaerobic threshold training	1–10 min.	3–40	1:0.3–1:1	4–6	85–95	80–90
5	Aerobic threshold training	10–120 min.	— (continuous steady state)		2–3	75–80	60–70
6	Aerobic compensation	5–30 min.	— (continuous steady state)		2–3	55–75	45–60

Fyziologické determinanty a jejich limitace

1. VO2 max
   - objem srdce
   - kapacita plic
   - objem krve
   - koncentrace krevního hemoglobinu

2. Anaerobní práh
   - hustota mitochondrií
   - hustota prokrvení

3. Ekonomika běhu

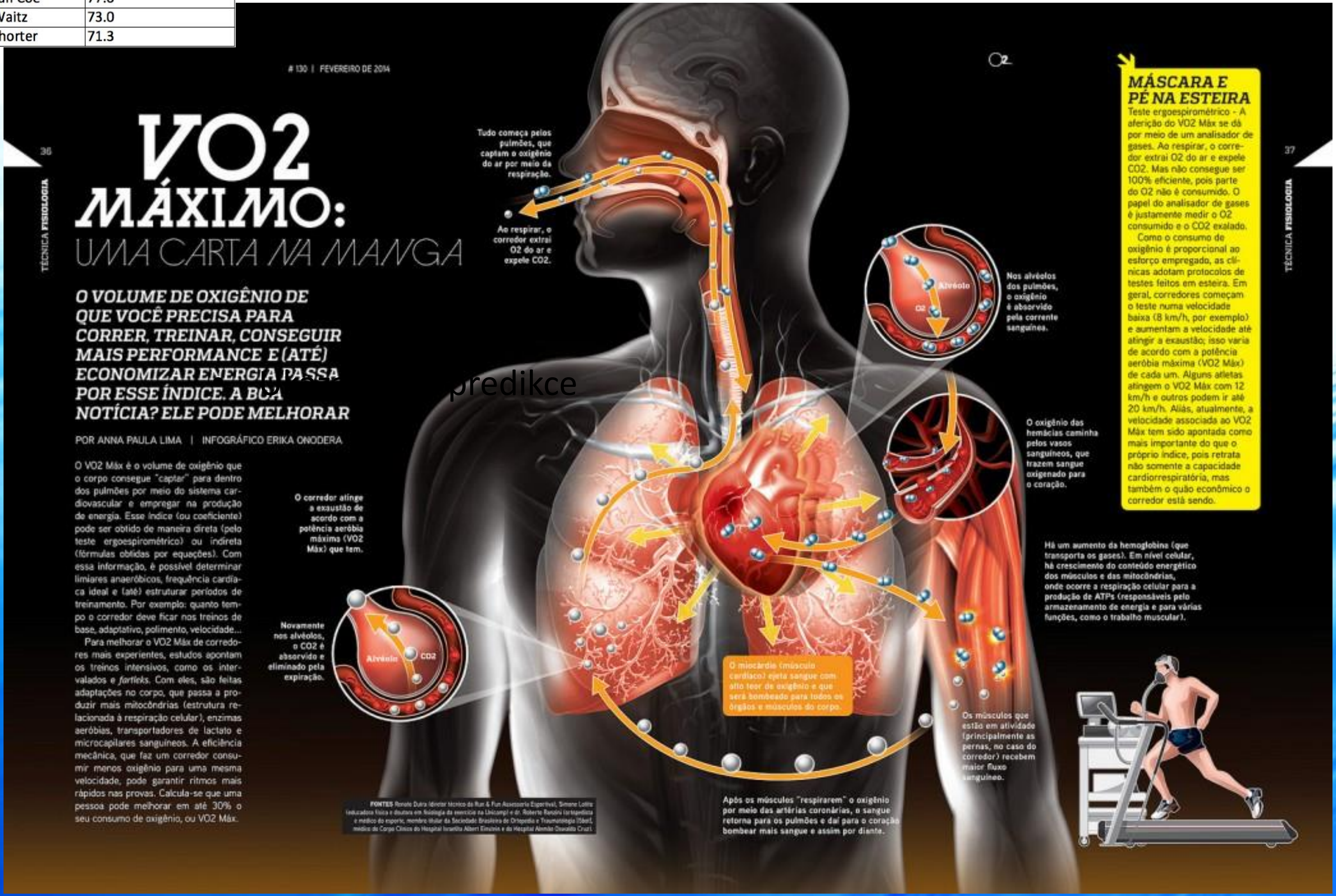
Adaptations to Aerobic Training: Cardiovascular

- **O_2 transport system and Fick equation**
  - VO_2 = SV x HR x $(a\text{-}v)O_2$ difference
  - ↑ VO_{2max} = ↑ max SV x max HR x ↑ max $(a\text{-}v)O_2$ difference
- **Heart size**
  - With training, heart mass and LV volume ↑
  - ↑Target pulse rate (TPR) → cardiac hypertrophy → ↑ SV
  - ↑ Plasma volume → ↑ LV volume → ↑ EDV → ↑ SV
  - Volume loading effect

VO_{2max}

Athlete	VO2-max (ml/kg/min)
Henrik Ingebrigtsen	89.0
Steve Prefontaine	84.4
Leo Manzano	82.0
Jim Ryun	81.0
Joan Benoit	78.6
Hauk Are Fjeld	78.0
Sebastian Coe	77.0
Grete Waitz	73.0
Frank Shorter	71.3

- Ukazatel max. potenciálu aerobní produkce E (Ukazatel NE predikce)
- Regenerační schopnost – přerušované aktivity
- ml/kg hmotnosti
- 20-50% ovlivnitelná



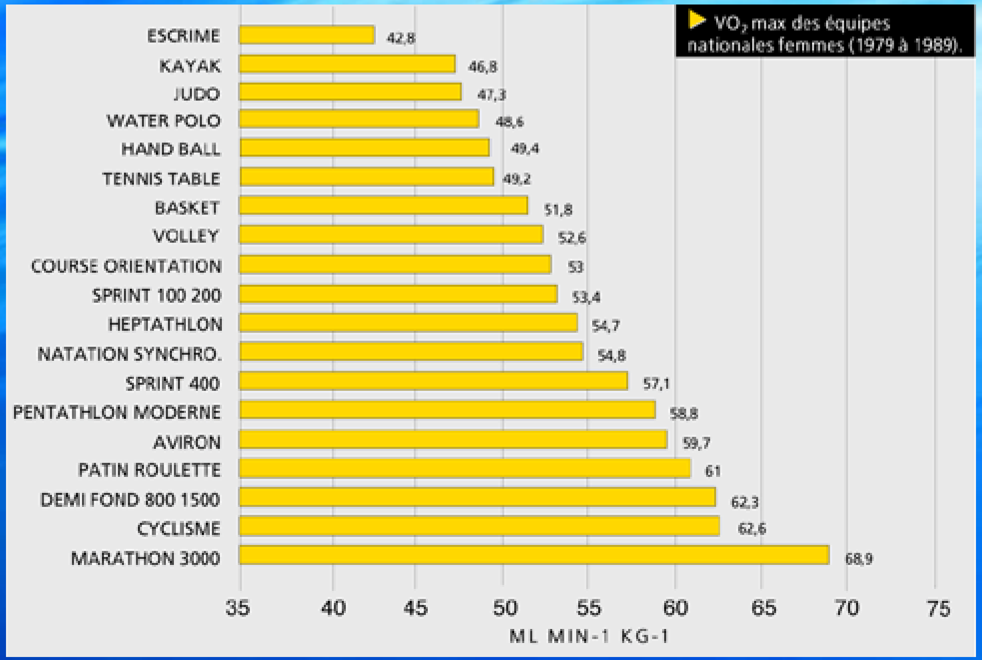
VO2max (ml/kg/min)	Athlete	Gender	Sport/Event
96.0	Espen Harald Bjerke	Male	Cross Country Skiing
96.0	Bjorn Daehlie	Male	Cross Country Skiing
92.5	Greg LeMond	Male	Cycling
92.0	Matt Carpenter	Male	Marathon Runner
92.0	Tore Ruud Hofstad	Male	Cross Country Skiing
91.0	Harri Kirvesniem	Male	Cross Country Skiing
88.0	Miguel Indurain	Male	Cycling
87.4	Marius Bakken	Male	5K Runner
85.0	Dave Bedford	Male	10K Runner
85.0	John Ngugi	Male	Cross Country Runner
73.5	Greta Waitz	Female	Marathon runner
71.2	Ingrid Kristiansen	Female	Marathon Runner
67.2	Rosa Mota	Female	Marathon Runner

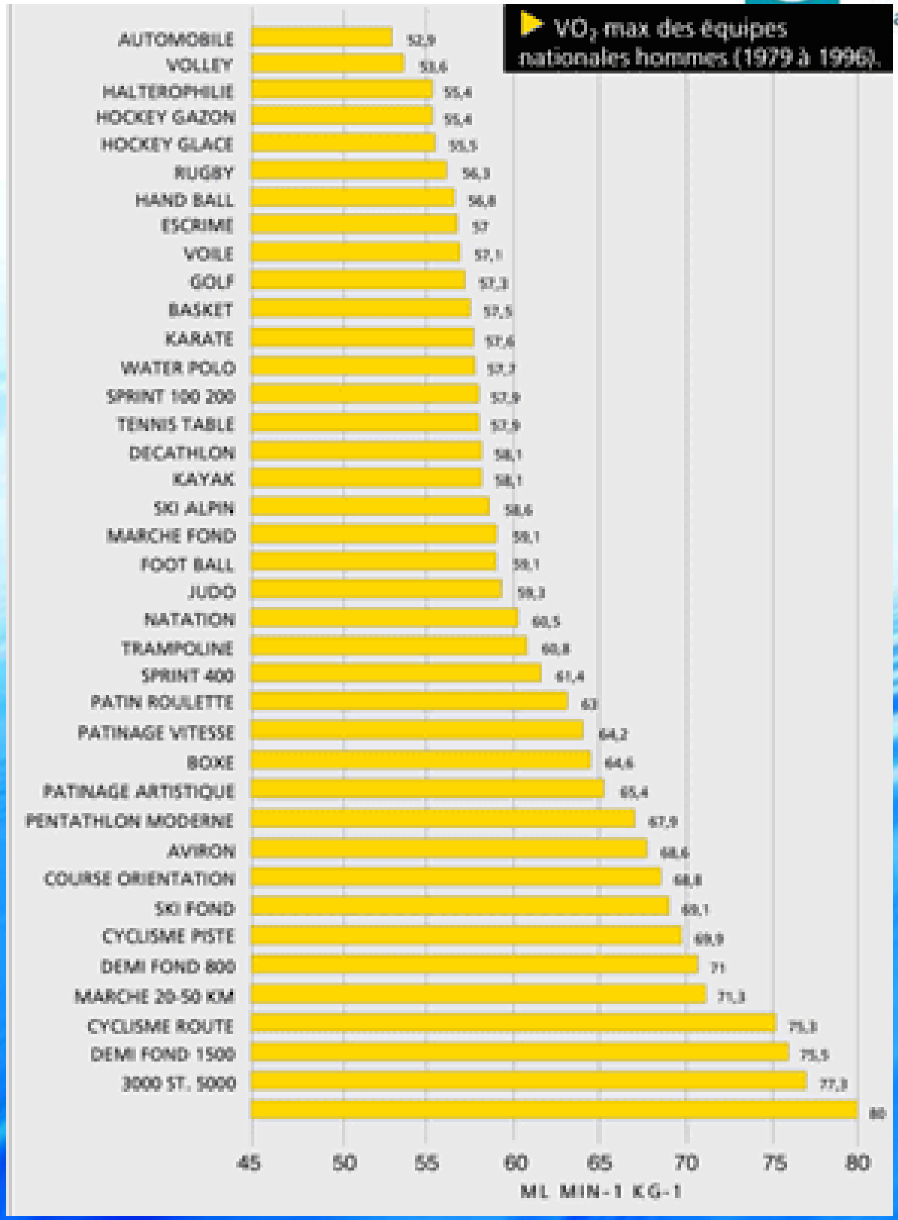
Individuální výše VO2 max.

- výsledkem interakce faktorů
  - centrálních (kardiorespiračních)
  - periferních (svalových)

- **Hlavním limitujícím činitelem VO2 max.**
  - **výkon srdce**
  - **schopnost krevního oběhu transportovat kyslík**
  - **kapacitou plic,**

- Využitelnost kardiorespiračního systému závisí na:
  - **energetické náročnosti pohybu**
  - **svalové fyziologii**
    - spotřebě kyslíku v mitochondriích,
    - hustotě kapilár,
    - efektivitě transportu O2

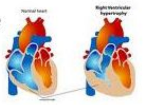

VO₂ max des équipes nationales femmes (1979 à 1989).
ESCRIME 42,8
KAYAK 46,8
JUDO 47,3
WATER POLO 48,6
HAND BALL 49,4
TENNIS TABLE 49,2
BASKET 51,8
VOLLEY 52,6
COURSE ORIENTATION 53
SPRINT 100 200 53,4
HEPTATHLON 54,7
NATATION SYNCHRO. 54,8
SPRINT 400 57,1
PENTATHLON MODERNE 58,8
AVIRON 59,7
PATIN ROULETTE 61
DEMI FOND 800 1500 62,3
CYCLISME 62,6
MARATHON 3000 68,9
35 40 45 50 55 60 65 70 75
ML MIN-1 KG-1


VO₂ max des équipes nationales hommes (1979 à 1996).
AUTOMOBILE 52,9
VOLLEY 53,6
HALTEROPHILIE 55,4
HOCKEY GAZON 55,4
HOCKEY GLACE 55,5
RUGBY 56,3
HAND BALL 56,8
ESCRIME 57
VOILE 57,1
GOLF 57,3
BASKET 57,5
KARATE 57,6
WATER POLO 57,7
SPRINT 100 200 57,9
TENNIS TABLE 57,9
DECATHLON 58,1
KAYAK 58,1
SKI ALPIN 58,6
MARCHE FOND 59,1
FOOT BALL 59,1
JUDO 59,3
NATATION 60,5
TRAMPOLINE 60,8
SPRINT 400 61,4
PATIN ROULETTE 63
PATINAGE VITESSE 64,2
BOXE 64,6
PATINAGE ARTISTIQUE 65,4
PENTATHLON MODERNE 67,9
AVIRON 68,6
COURSE ORIENTATION 68,8
SKI FOND 69,1
CYCLISME PISTE 69,9
DEMI FOND 800 71
MARCHE 20-50 KM 71,3
CYCLISME ROUTE 75,3
DEMI FOND 1500 75,5
3000 ST. 5000 77,3
80
45 50 55 60 65 70 75 80
ML MIN-1 KG-1

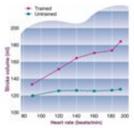
Kardio adaptace

Cardiovascular Adaptations

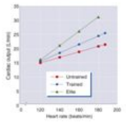
Cardiac Hypertrophy
enlargement of the heart muscle . Heart chambers are enlarged which increases ventricular volume (most important is Left Vent. size – why?)



↑ Stroke Volume (vol. of blood pumped per beat)
SV increases at REST, during sub max & max workloads.

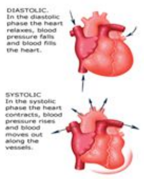


↑ Cardiac Output (Q) (Q= SV x HR amount of blood leaving the heart in 1 min)
Increases due to bigger heart and bigger volume. Q remains unchanged at rest and even during sub max. work regardless of how hard you train. During max. exercise Q may increase up to 30 litres per minute for highly trained athletes



↑ Blood Volume
Effect of aerobic training, can be up to 25%. Results in no. of RBC increase, therefore haemoglobin increases thus O2 carrying capacity increases also.

↓ Resting Heart Rate
Because the athlete has greater stroke volume the heart does not need to beat as often to pump the same amount of blood around the body. Resting Heart Rate below 60bpm is termed bradycardia.



↓Resting Blood Pressure
Both systolic and diastolic blood pressure levels may decrease during REST and EXERCISE.
Less/slower beats reduce blood vessel resistance to blood flow and reduces strain on the heart.

↓Recovery Time
The heart rate of an athlete will return to normal (pre exercise levels) quicker than an untrained person.

↑ overall aerobic fitness

2. Cardiac Output Increases

Cardiac Output is the amount of blood pumped from the heart in 1 minute during exercise

Before Training

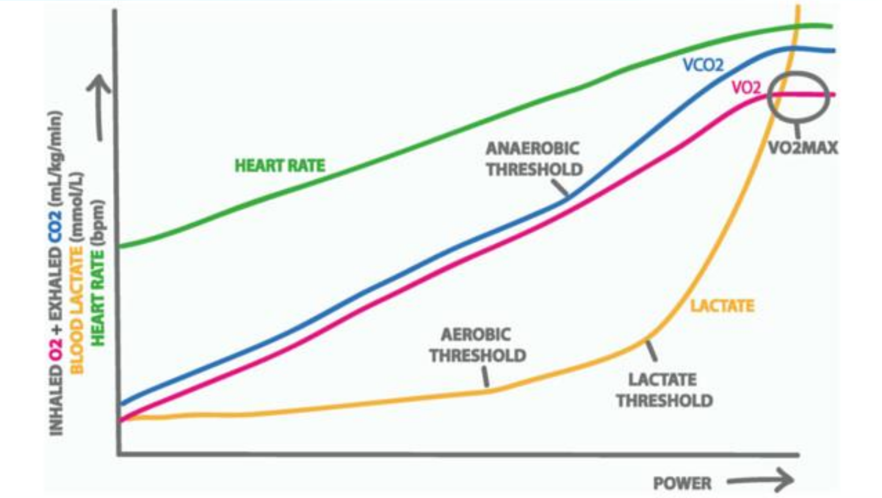
Stroke Volume	X	Heart Rate	=	Cardiac output
100 ml	X	150 bpm	=	15 Litres / Min

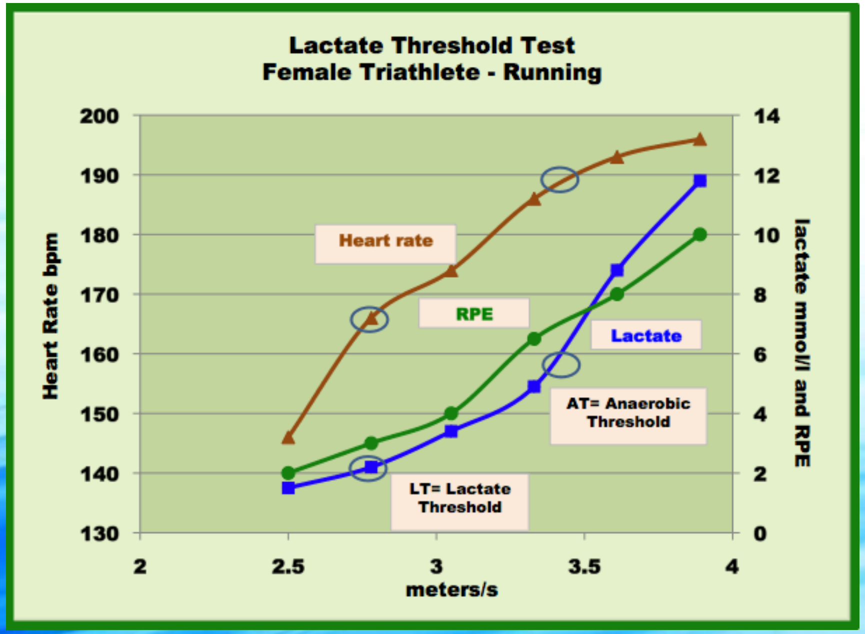
With Regular Training Cardiac Output Increases

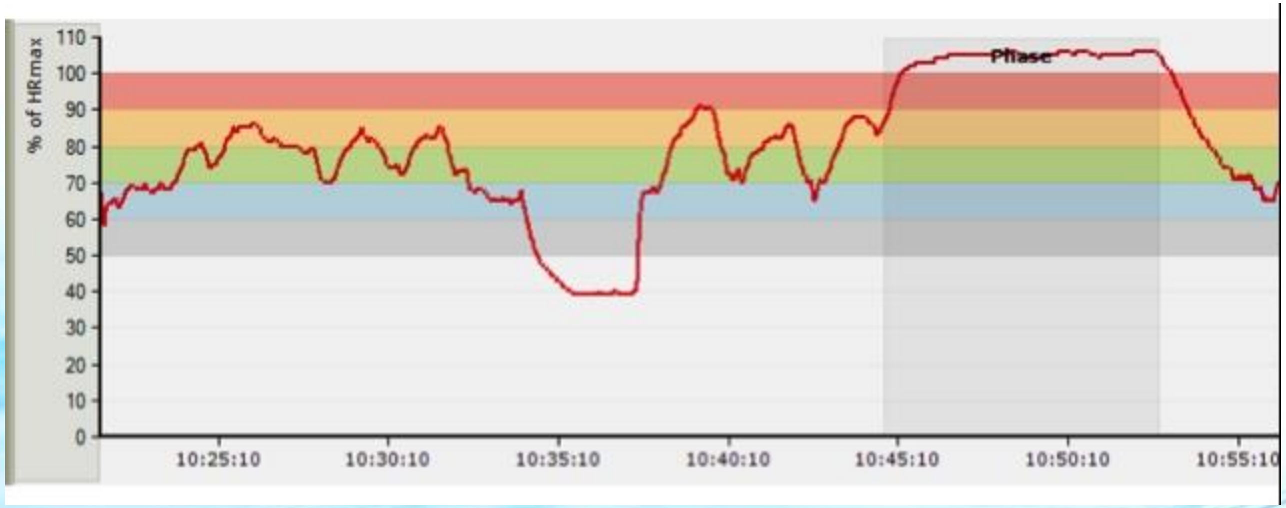
Stroke Volume	X	Heart Rate	=	Cardiac output
150 ml	X	150 bpm	=	22.5 Litres / Min

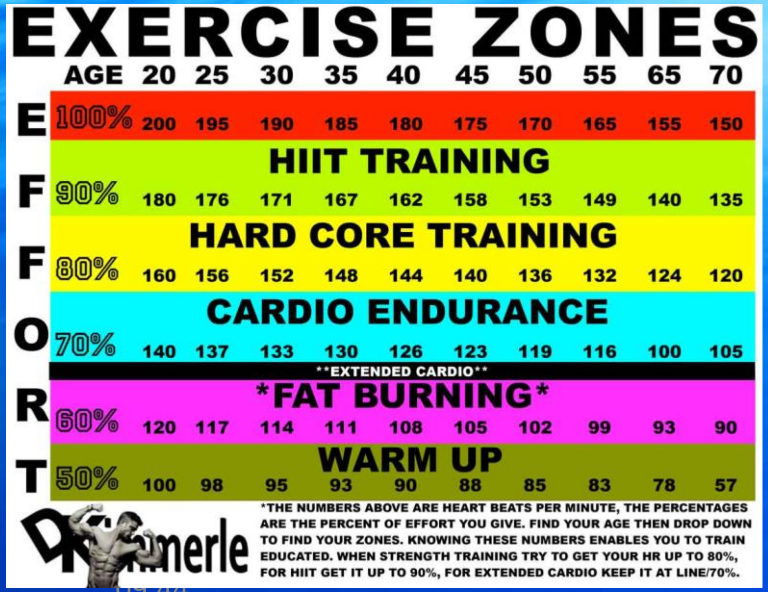
Aerobní kapacita

- Úroveň ANP – spotřeba O2
- Ml/kg hmotnosti % Vo2max
- Obnova ATP/CP asi 2‘









SF max
ANP – steady stae (štěpení LA =)
Likvidace La 50%/ min.

09:44

zdroj

FAKULTA SPORTOVNÍCH STUDIÍ
Masarykova univerzita

TABLE 1. Changes in physiological parameters from pre- to posttraining.

	LSD (N = 10)		LT (N = 10)		15/15 (N = 10)		4 × 4 min (N = 10)	
	Pretraining	Posttraining	Pretraining	Posttraining	Pretraining	Posttraining	Pretraining	Posttraining
$\dot{V}O_{2max}$								
($L \cdot min^{-1}$)	4.77 ± 0.49	4.74 ± 0.46	4.58 ± 0.38	4.67 ± 0.40	4.91 ± 0.60	5.18 ± 0.56***#[a]	4.56 ± 0.62	4.89 ± 0.52***#[b]
($mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	55.8 ± 6.6	56.8 ± 6.3	59.6 ± 7.6	60.8 ± 7.1	60.5 ± 5.4	64.4 ± 4.4**#[a]	55.5 ± 7.4	60.4 ± 7.3***#[b]
($mL \cdot kg^{-0.75} \cdot min^{-1}$)	169.4 ± 17.5	171.6 ± 17.0	176.1 ± 18.0	179.5 ± 16.6	183.1 ± 16.4	194.7 ± 14.7**#[a]	167.0 ± 19.9	181.7 ± 19.1***#[b]
HR_{max} (bpm)	196 ± 7	195 ± 8	201 ± 10	198 ± 9	200 ± 6	199 ± 4	199 ± 8	197 ± 7
$\dot{V}_E$ ($L \cdot min^{-1}$)	150.6 ± 15.0	155.0 ± 17.8	148.8 ± 17.4	153.6 ± 15.9	147.5 ± 13.2	160.3 ± 14.2	150.7 ± 17.6	164.8 ± 18.1
R	1.10 ± 0.04	1.10 ± 0.05	1.10 ± 0.05	1.10 ± 0.05	1.09 ± 0.05	1.12 ± 0.04	1.10 ± 0.05	1.12 ± 0.04
$[La^-]_b$	8.57 ± 1.61	7.63 ± 1.04	7.72 ± 0.82	7.43 ± 0.84	9.50 ± 1.90	8.40 ± 0.80	8.50 ± 1.14	8.84 ± 0.94
Running economy								
$\dot{V}O_2$ ($mL \cdot kg^{-0.75} \cdot m^{-1}$)	0.80 ± 0.09	0.74 ± 0.08*	0.85 ± 0.09	0.75 ± 0.09***	0.79 ± 0.06	0.73 ± 0.07*	0.79 ± 0.06	0.71 ± 0.05**
HR (bpm)	150 ± 17	140 ± 9**	151 ± 15	137 ± 10***	147 ± 16	125 ± 9**	154 ± 22	136 ± 17***
Lactate threshold								
$\dot{V}O_2$ ($L \cdot min^{-1}$)	3.55 ± 0.50	3.52 ± 0.50	3.54 ± 0.49	3.51 ± 0.50	3.96 ± 0.54	3.99 ± 0.56	3.73 ± 0.46	3.76 ± 0.43
$\%\dot{V}O_{2max}$	74.4 ± 3.1	74.3 ± 5.7	77.2 ± 6.6	75.2 ± 5.5	80.6 ± 5.6	77.3 ± 2.8	78.6 ± 8.5	76.9 ± 4.5
$\%HR_{max}$	87.1 ± 3.2	86.5 ± 5.4	84.7 ± 4.3	84.3 ± 3.7	89.7 ± 2.8	87.0 ± 2.9	88.8 ± 7.6	85.8 ± 4.1
vLT ($km \cdot h^{-1}$)	9.7 ± 1.2	10.5 ± 1.2**	9.5 ± 1.6	10.6 ± 1.8**	11.2 ± 0.6	12.3 ± 0.8**	10.3 ± 2.3	11.2 ± 1.9**
$[La^-]_b$ (mM)	2.75 ± 0.62	2.41 ± 0.24	2.94 ± 0.49	2.46 ± 0.31	3.30 ± 1.20	2.70 ± 0.50	2.57 ± 0.42	2.50 ± 0.44
Mass (kg)	86.2 ± 9.1	83.9 ± 7.6*	78.2 ± 13.1	77.8 ± 12.7	80.6 ± 10.7	79.8 ± 9.7	82.9 ± 13.0	81.4 ± 11.84

Data are presented as means ± SD. The test was carried out running on a treadmill at 5.3% inclination. LSD, long slow distance running; LT, lactate threshold; $\dot{V}O_2$, oxygen uptake; HR_{max}, maximal heart rate; $\dot{V}_E$, pulmonary ventilation; $[La^-]_b$, blood lactate concentration after $\dot{V}O_{2max}$ testing; R, respiratory exchange ratio; vLT, velocity at lactate threshold. * Significant differences ($P < 0.05$) within groups from pre- to posttraining; ** significant difference ($P < 0.01$) within groups from pre- to posttraining; *** significant difference within groups ($P < 0.001$) from pre- to posttraining; # significant difference between groups from pre- to posttraining. [a] 15/15 vs LSD and LT is significant at $P < 0.001$ and $P < 0.05$, respectively. [b] The difference between 4 × 4 min vs the LSD and LT is significant at $P < 0.001$ and $P < 0.01$, respectively.

Anaerobní práh

- (angl. *anaerobic threshold; ANT* nebo *lactate threshold; LT,* tj. laktátový práh),

- **procento VO2 max., při kterém je narušen rovnovážný vztah mezi produkcí laktátu a jeho odstraňováním**

- je hranicí, na které lze teoreticky udržet nepřetržitý pracovní výkon
    - vzhledem k vyčerpání glykogenu to ve skutečnosti není možné déle než cca 90 min.).

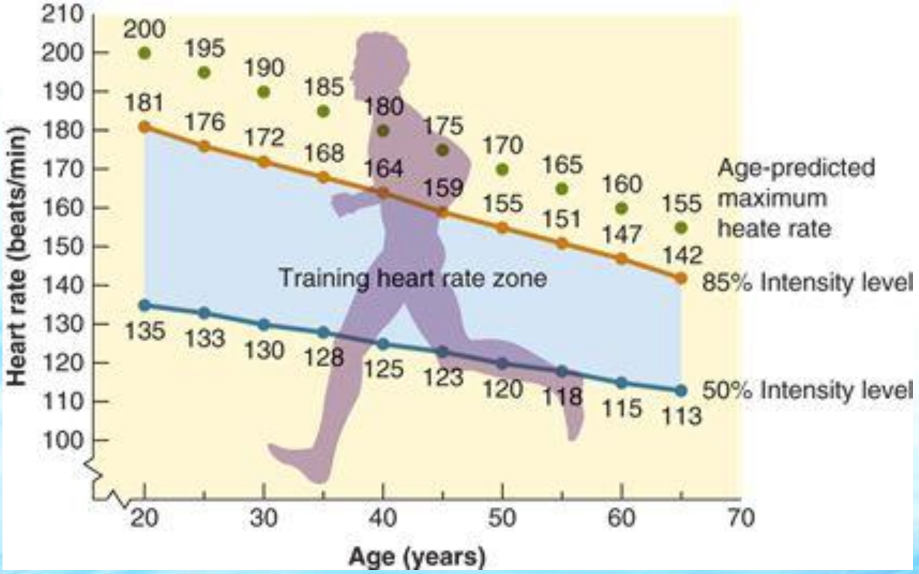
Podmíněnost ANP

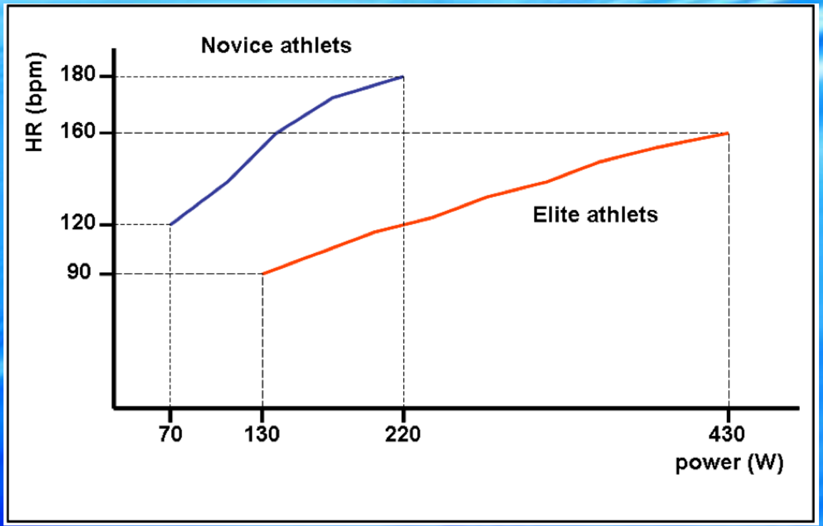
- vysokým podílem pomalých vláken,
- svalovým prokrvením,
- počtem a velikostí mitochondrií
    - pod ANP mitochondrie schopné z pyruvátu získat dostatečné množství ATP
    - nad ANP mitochondrie nedokáží vyrobit dostatečné množství energie,
    - vyšší je pracovní kapacita v mitochondriích, = výše položený ANP
    - Velikost a počet mitochondrií se tréninkem může až zdvojnásobit
- aktivitou oxidativních enzymů v mitochondriích,
- schopností distribuovat pracovní výkon na větší objem svalstva aj.
- vlivy počasí
    - horko urychluje metabolismus cukrů

Typical Metabolic and physiological values for healthy trained and untrained men

Variable	Untrained	Trained	%age diff
Glycogen (mM)	85	120	41
Mitochondria Volume (% Muscle cell)	2.15	8	272
Resting ATP (mM)	3	6	100
Resting PC (mM)	11	18	64
Aerobic enzymes (mM)	5-10	15-20	133
Max Lactate (mM)	110	150	36
Max stroke Vol (mL)	120	180	50
Max cardiac output (L/min)	20	30-40	75
Resting HR (bpm)	70	40	-43
VO2 max (mL/kg/min)	30-40	65-80	107
Blood Volume (L)	4.7	6	28

5



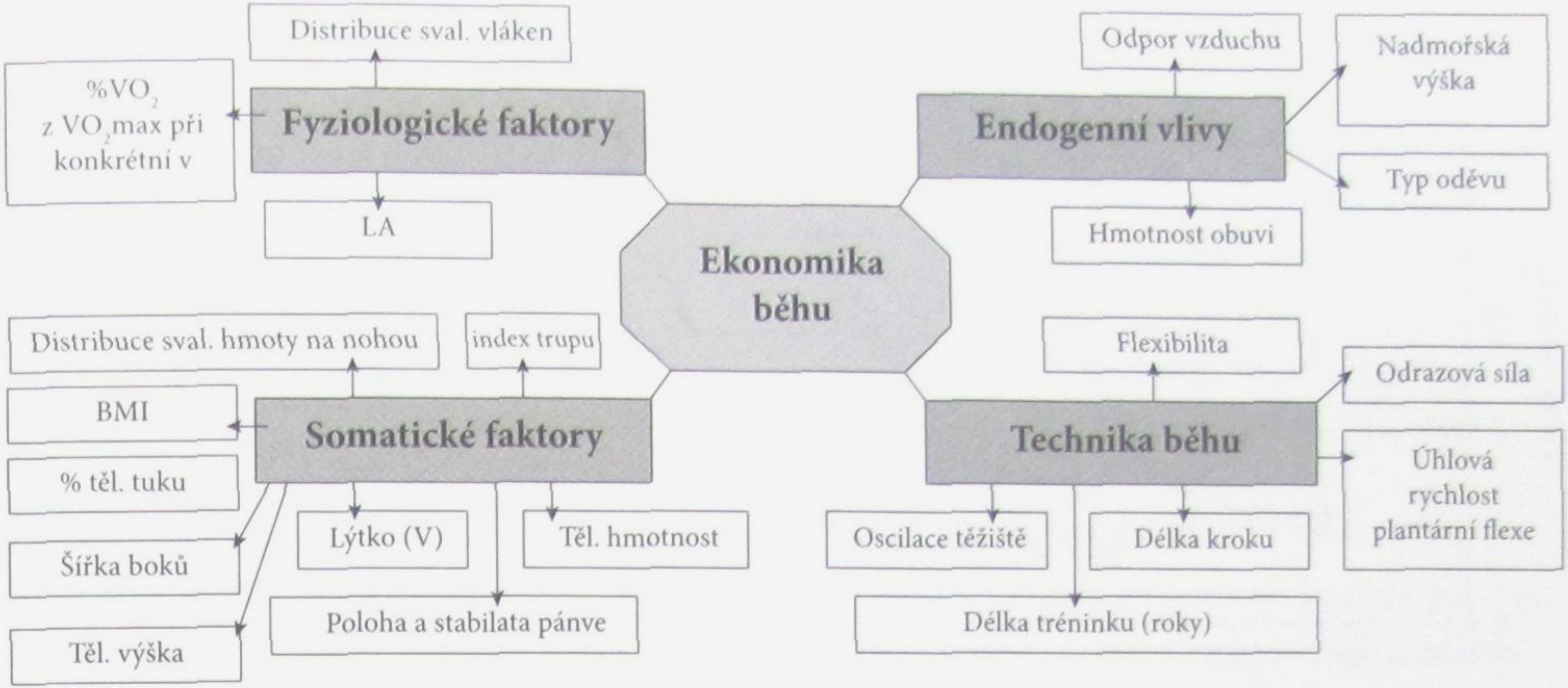


Po výkonu

- Obnova ATP/CP 2‘
- Doplnění zásob O2
- Likvidace La---glykogen
- Obnova Energie

Ekonomika pohybu

- angl. zkratka je obykle *CR=cost of running, RE*
  - spotřeba kyslíku v *ml /kg* tělesné hmotnosti za minutu při zvolené rychlosti na ergometru.
  - Méně ekonomický sportovec:
    - spotřebuje větší množství kyslíku,
    - na VO2 max. dosáhne nižší rychlosti pohybu nežli vysoce ekonomický sportovec, přestože hodnoty VO2 max. mohou být u obou stejné.
  - vynikající ekonomika pohybu
    - u mužů
    - 45 ml/kg.min. při 16 km/h na plochém ergometru, popřípadě 60 ml/kg.min. při 20 km/h (=170-180 ml/kg.km).


Ekonomika běhu
Fyziologické faktory
Distribuce sval. vláken
%VO2 z VO2max při konkrétní v
LA
Endogenní vlivy
Odpor vzduchu
Nadmořská výška
Typ oděvu
Hmotnost obuvi
Somatické faktory
Distribuce sval. hmoty na nohou
index trupu
BMI
% těl. tuku
Šířka boků
Těl. výška
Lýtko (V)
Těl. hmotnost
Poloha a stabilata pánve
Technika běhu
Flexibilita
Odrazová síla
Úhlová rychlost plantární flexe
Oscilace těžiště
Délka kroku
Délka tréninku (roky)

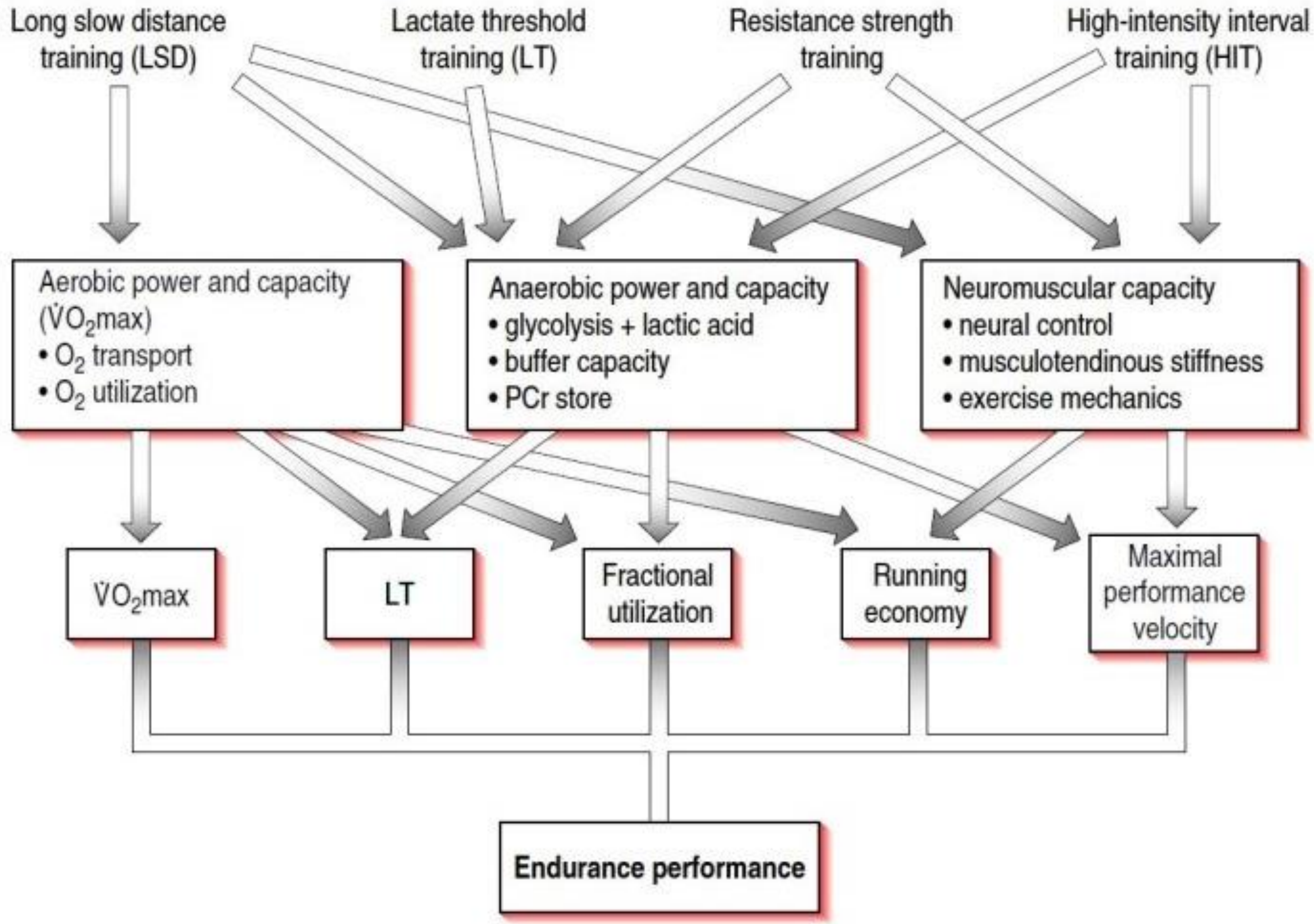


Figure 4.4 Hypothetical model of determinants of endurance performance in well-trained athletes as influenced by different training modalities. Based originally on a model provided by Paavolainen et al (1999).

Zdroje

- Endurance training
- *Hirofumi T, Douglas R. (2008) Endurance exercise performance in Masters athletes: age-associated changes and underlying physiological. The Journal of Physiology, Vol 586.1, 55-63*
- *Jeremiah P, Christopher A, Dale C, Paul L, Daryl P. (2008) Physiological Characteristics of Masters-Level Cyclists. Journal of Strength and Conditioning Research, Vol 22 No. 5, 1434-1440.*
- *Pollock M, Foster C, Knapp J, Rod L, Schmidt D. (1987) Effect of age and training on aerobic capacity and body composition of master athletes. Journal of Applied Physiology. Vol 62, 725-731.*
- *Andrew W, Francesca A, mark S, Bret G, Vonda W. (2011) Chronic Exercise Preserves Lean Muscle Mass in masters Athletes. The Physician and Sportsmedicine. Vol 39, No. 3, 172-178.*
- SAUNDERS, Philo U., David B. PYNE, Richard D. TELFORD a John A. HAWLEY. Factors Affecting Running Economy in Trained Distance Runners. *Sports Medicine* [online]. 2004, 34(7), 465-485 [cit. 2017-11-01]. ISSN 01121642
- Sprint interval and endurance training are equally effective in increasing muscle microvascular density and e NOS content insedentary malesMatthew Cocks, Christopher S Shaw, Sam O Shepherd, James P Fisher, Aaron M Ranasinghe, Thomas A Barker, Kevin D Tipton, Anton J M Wagenmakers J Physiol. 2013 Feb 1; 591(Pt 3): 641–656. Published online 2012 Sep 3. doi: 10.1113/jphysiol.2012.239566
- GRASGRUBER, Pavel a Jan CACEK. *Sportovní geny*. Brno: Computer Press, 2008. ISBN 978-80-251-1873-3.