

0.9.17



Centrum Sportovní Medicíny

Jiří Dostal

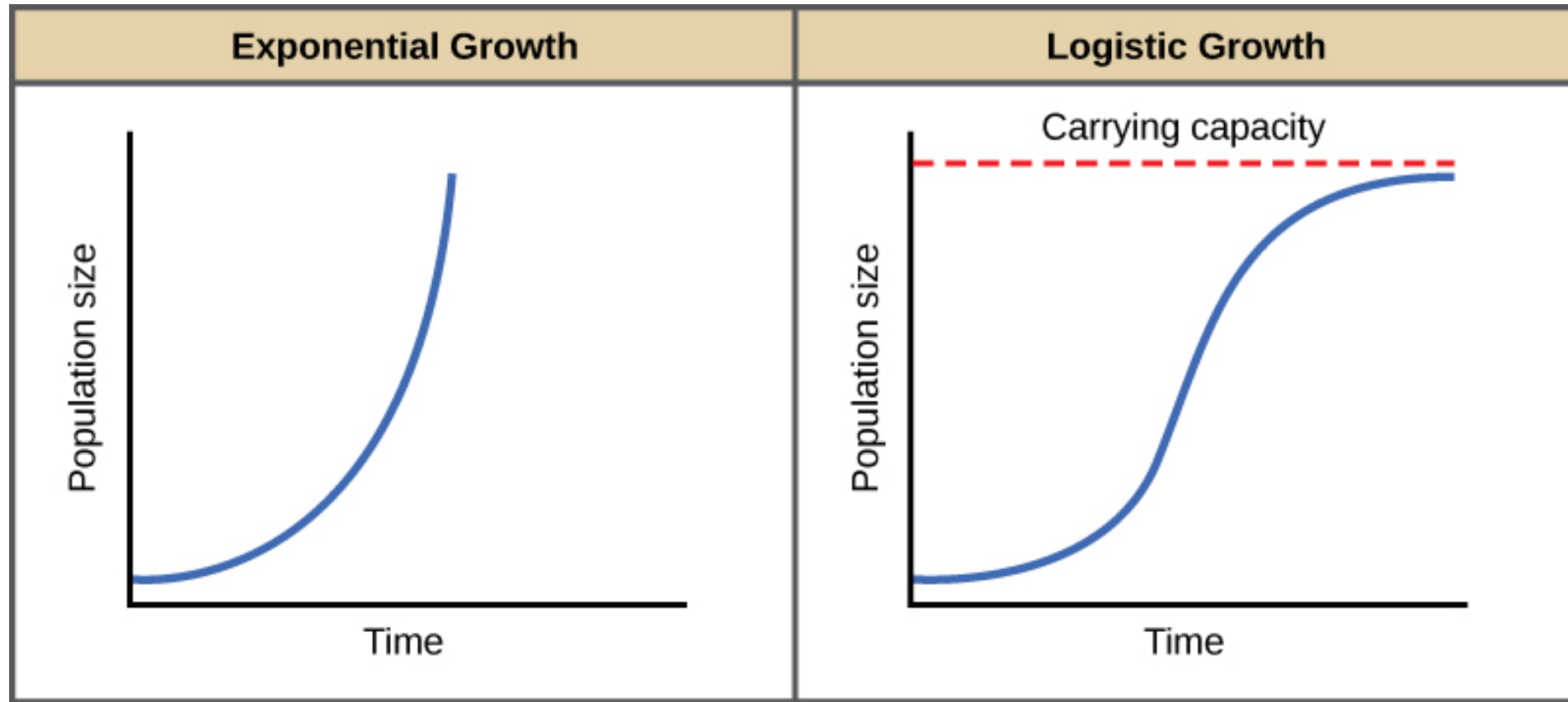
# Kde leží limity lidské vytrvalosti, síly a rychlosti?

**„Já Vám nedokáži říci, proč se magnety přitahují, krom toho že se přitahují. Vše co jsem schopen říci je, že jsou různé síly jako elektrické síly, magnetické síly, gravitační síly a jejich části. Pokud jste moji studenti, tak můžeme diskutovat o propojení magnetické a elektrické síly, ale poklad toho jevu je neznámý. Jenže vy nejste moji studenti a já nevím co o tom víte, takže Vám nedokáži říci proč se magnety přitahují, protože nevím co Vy víte“**



prof. Richard Feynman (1918 -1988)  
Nobelova cena za Fyziku 1965

# Biologický podklad limitace výkonu



Thomas Robert Maltus, *An Essay on the Principle of Population*, 1798  
Charles Darwin, *Origin of Species*, 1859

# Obecný model výkonu



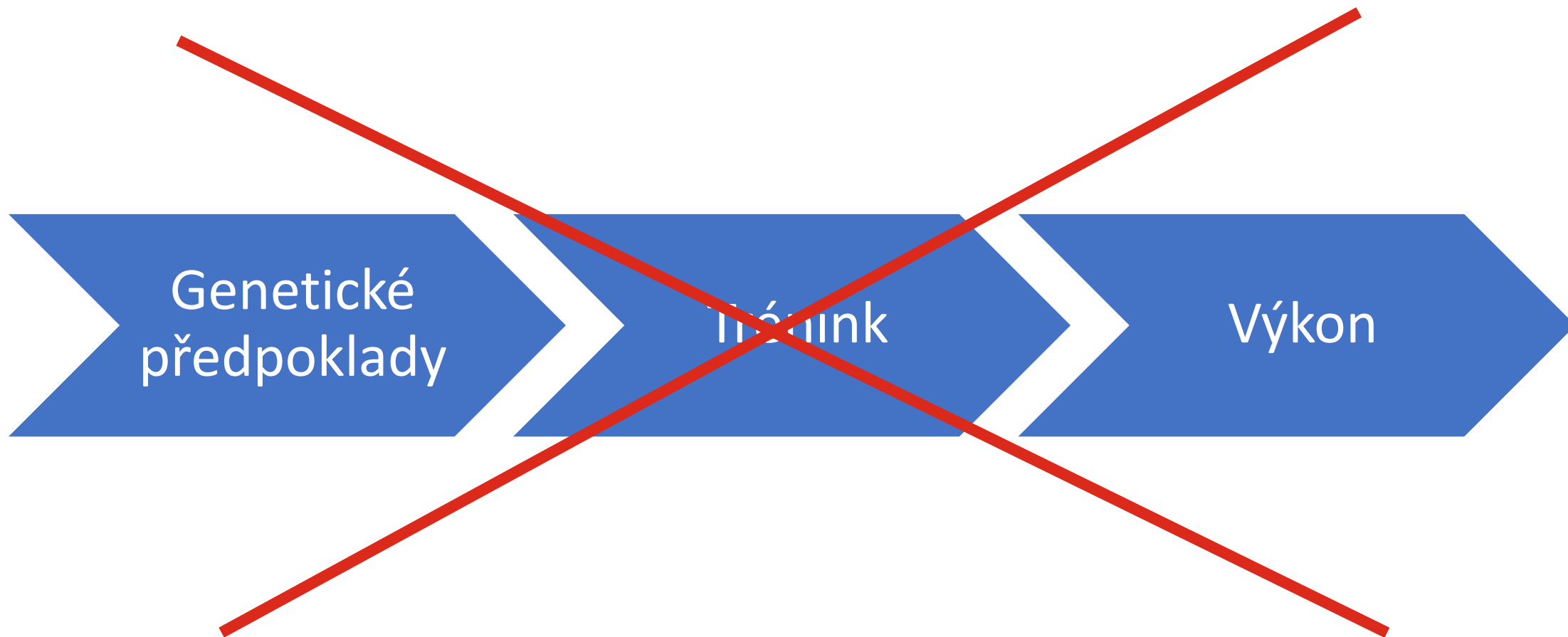
Centrum Sportovní Medicíny

Genetické  
předpoklady

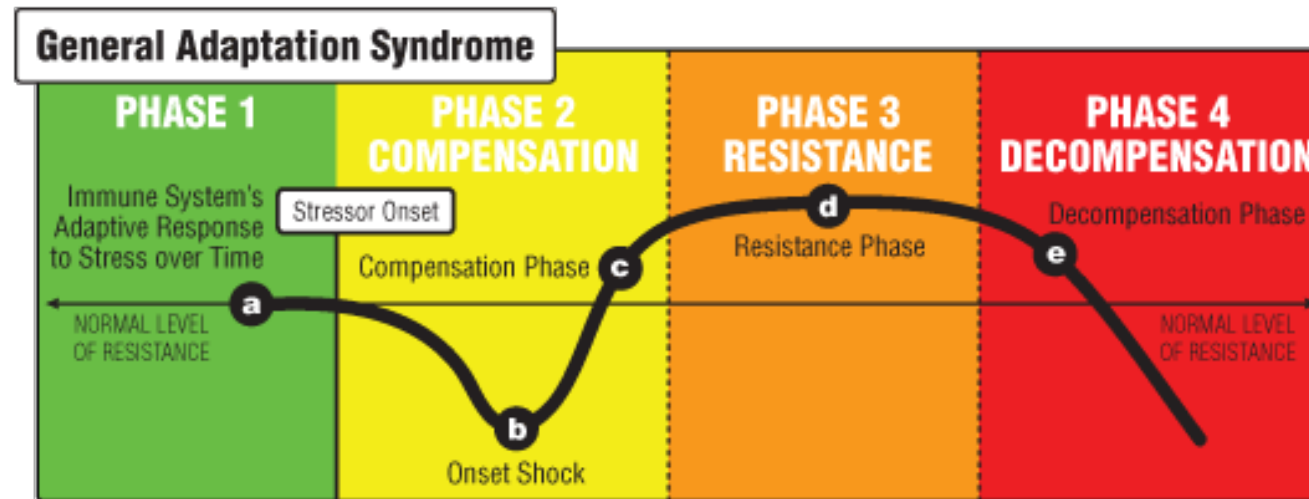
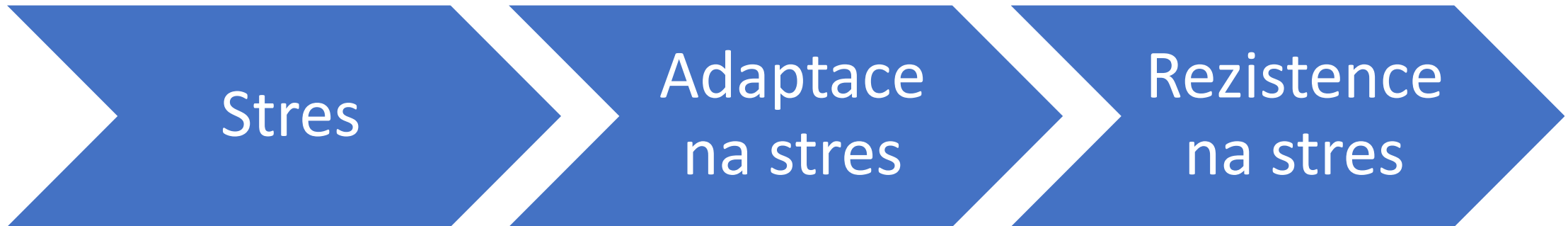
Trénink

Výkon

# Obecný model výkonu



# Všeobecný adaptační syndrom



Hans Seleye, A syndrome produced by Diverse Nocuous Agents, Nature 1936

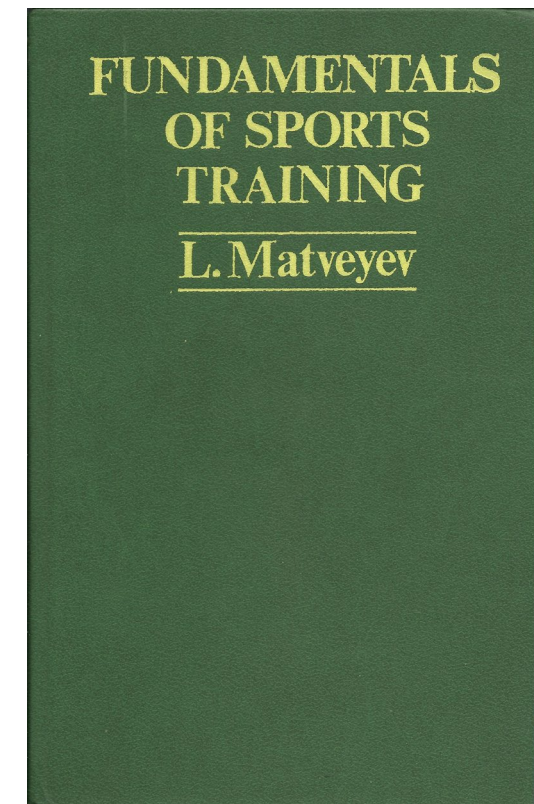
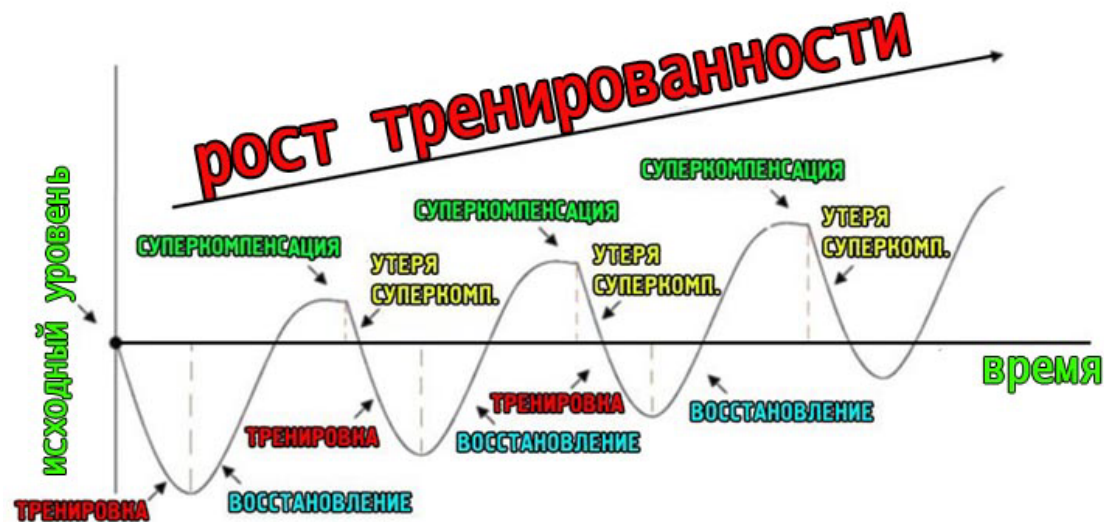
# Odkaz akademie věd SSSR

0.5.17



Centrum Sportovní Medicíny

Matvejev, Jakovlev, Sergejev, Verkoshansky ( 50-60 léta)



# Základní limitace lidského výkonu je

.....

# schopnost vytvoření rezistence na stres





# Příběh nejvyššího VO2max

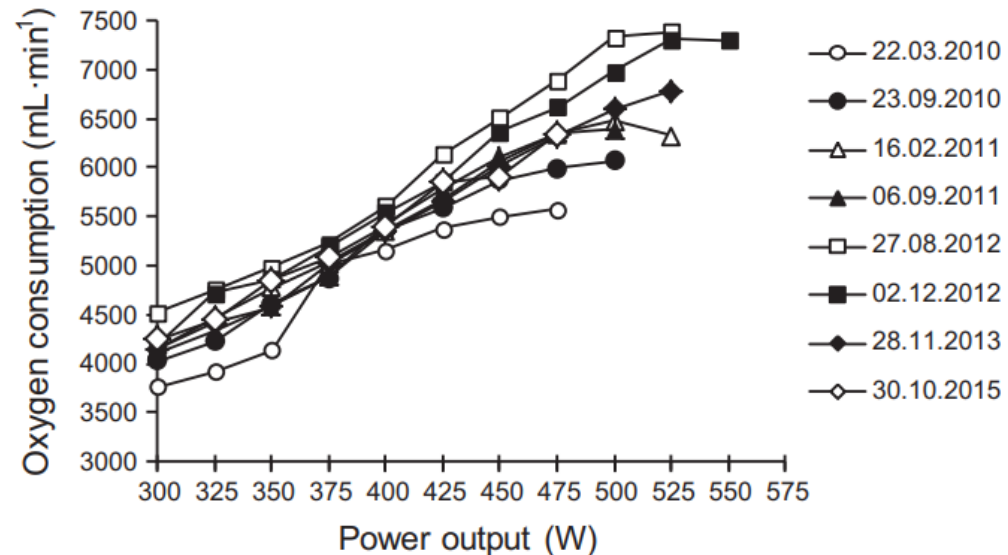


Fig. 2. Development of  $\dot{V}O_2$  versus power output during the maximal oxygen consumption test from the first test to the last test. Note that on the Feb. 16, 2011 (16.02.2011) and Dec. 2, 2012 (02.12.2012), the last workload was kept for only 30 s.

Alpské lyžování, od 15 let cyklistika  
3 roky tréninku VO2max 74 ⇔ 97  
Velmi nízká ekonomika  
2012 WCH Junior TT  
Podpis smlouvy s TeamSky  
Další výsledky nevýznamné, OTS  
Ukončení kariéry

B. Ronnestad, Temporal changes in determinants of aerobic performance in individual going from alpine skier to world junior champion time trial cyclist, J Appl Physiol, 2019

A. Hutchinson, The Story of the Cyclist with the Highest-Ever VO2 Max, OutsideOnline 2019

# Kazuistika adaptace na stres/zátěž

32 letá pac s deficitem OXPHOS I

Do roku 2018 bojová umění, následně  
vytrvalostní trénink (Zone2 – pod ANP, 500h/rok)

VO2max 2018-2022                    30-38 ml/min/kg

ANP (VT2) 2018- 2022                24-33 ml/min/kg

2/2022 zaběhnutý 1/2M za 1:57

Komplex I mírný vzestup

Kompenzatorní elevace ostatních komplexů II-IV

Komplex I      mito.....95,1...  
(ref.rozmezí 110-290) nmol/min/mg  
protein

Komplex II      mito.....52,4...  
(ref.rozmezí 21-93) nmol/min/mg  
protein

Komplex III  
mito.....693,0... (ref.rozmezí nad  
180) nmol/min/mg protein

Komplex I-III    mito.....75,2...  
(ref.rozmezí 126-316) nmol/min/  
mg protein

Komplex II-III  
mito.....241,3... (ref.rozmezí  
82-251) nmol/min/mg protein

Komplex IV  
hom.....213,7... (ref.rozmezí  
68-213) nmol/min/mg protein

mito.....937,6...  
(ref.rozmezí [658-1552](#)) nmol/min/  
mg protein

CS                hom.....221,9...  
(ref.rozmezí 48-128) nmol/min/mg  
protein

mito.....  
832,7... (ref.rozmezí [435-1234](#))  
nmol/min/mg protein

Komplex IV/CS hom.....0,96...  
(ref.rozmezí 0,74-4,08)

mito.....1,13...  
(ref.rozmezí 0,66-2,25)

Enzymové vyšetření komplexů dýchacího  
řetězce a pyruvátdehydrogenázy - svalová  
biopsie z: musculus quadriceps femori ;  
anestezie: lokální

Komplex I      mito.....107,8...  
(ref.rozmezí 110-290) nmol/min/mg  
protein

Komplex II      mito.....43,2...  
(ref.rozmezí 21-93) nmol/min/mg protein

Komplex III      mito..... 765,6...  
(ref.rozmezí nad 180) nmol/min/mg  
protein

Komplex I-III    mito.....303,9...  
(ref.rozmezí 126-316) nmol/min/mg  
protein

Komplex II-III    mito..... 616,5...  
(ref.rozmezí 82-251) nmol/min/mg protein

Komplex IV      hom..... 507,2...  
(ref.rozmezí 68-213) nmol/min/mg protein  
mito.....2765...  
(ref.rozmezí [658-1552](#)) nmol/min/mg  
protein

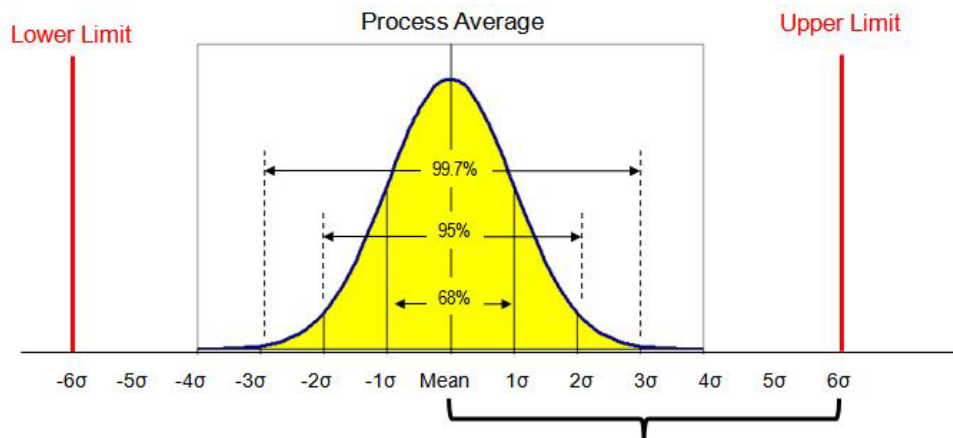
CS                hom..... 205,6...  
(ref.rozmezí 48-128) nmol/min/mg protein  
mito..... 1316,7...  
(ref.rozmezí [435-1234](#)) nmol/min/mg  
protein

Komplex IV/CS hom..... .2,47...  
(ref.rozmezí 0,74-4,08)

mito..... 2,10...  
(ref.rozmezí 0,66-2,25)

# Problém studia statistických chyb

Vrcholový sport/výkon není normální  
O. Svendsen  $VO_{2max} = AVG + 6\sigma$



Sportovní jsou placeni za výkon  
Výkon sám je komplexní

Praktická nemožnost provedení studií

Většinou observační retrospektivní st.

Teoretické práce a modely

Nejvíce dat od cyklistů

# Jak na WR v marathonu

## 1991 – M. Joyner

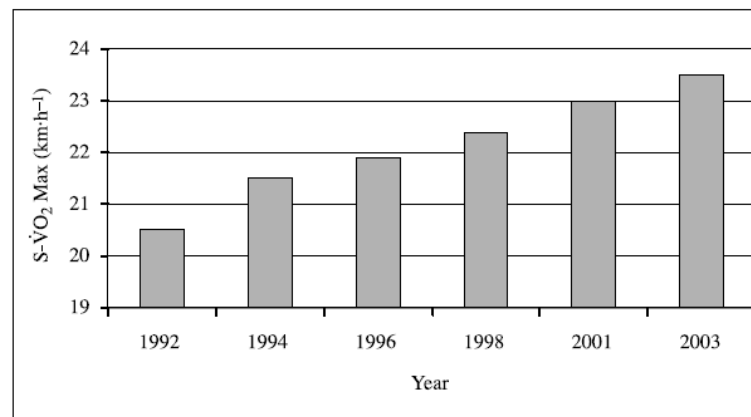
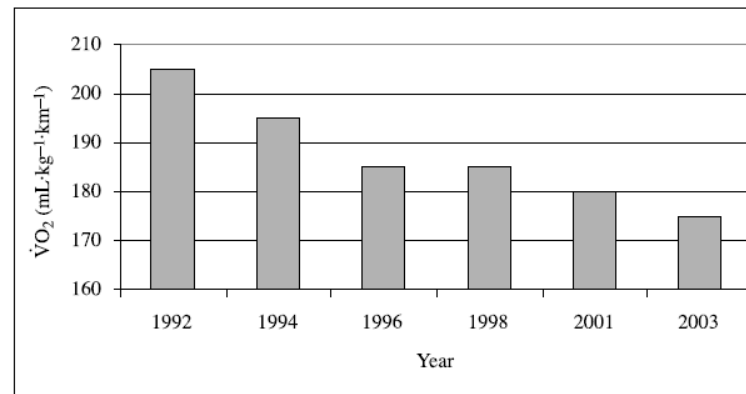
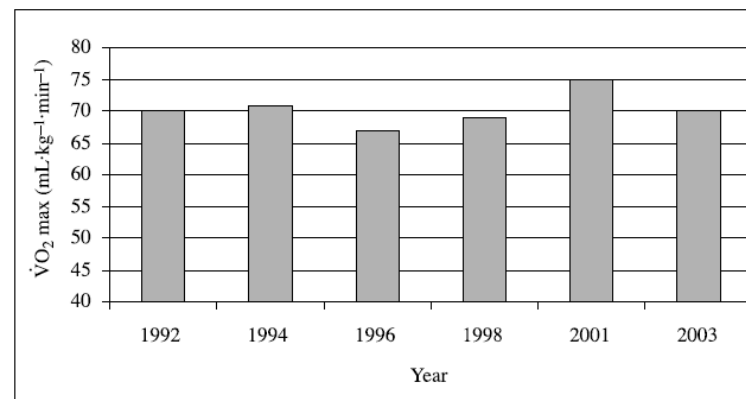
1.  $\dot{V}O_2\max$  84 ml/kg/min
2. LT 85%  $\dot{V}O_2\max$
3. Excelentní RE

M. Joyner, Modeling: optimal marathon performance on the basis of physiological factors, Journal of Applied Physiology, 1991

## 2021 – A. Jones + 2022 – T. Haugen

4. Neuromuskulární výkon
5. Odolnost vůči únavě

T. Haugen, The Training Characteristics of World-Class Distance Runners: An Integration of Scientific Literature and Results-Proven Practice, Sports Medicine, 2022



# A pak přijde Nike....



## NIKE AIR ZOOM ALPHAFLY NEXT% KICKING UP A STORM

This is the controversial shoe Eliud Kipchoge will wear in today's London Marathon



Race	Performance	Athlete	Date	Shoe used
<b>Male</b>				
5 km	12:51	Joshua Cheptegei	16/02/2020	Nike ZoomX Vaporfly Next% [11]
5000 m (track)	12:35.36	Joshua Cheptegei	14/08/2020	Nike ZoomX Dragonfly [12]
10 km	26:24	Rhonex Kipruto	12/01/2020	Adidas Adizero Takumi Sen 5 [13]
10,000 m (track)	26:11.00	Joshua Cheptegei	07/10/2020	Nike ZoomX Dragonfly
15 km	41:05	Joshua Cheptegei	18/11/2018	Nike ZoomX [14] Vaporfly Next% [15]
½ marathon	58:01	Geoffrey Kamworor	15/09/2019	Nike ZoomX Vaporfly Next% [16]
1 h	21,330 m	Mohamed Farah	04/09/2020	Nike ZoomX Dragonfly [17]
Marathon	2:01:39	Eliud Kipchoge	16/09/2018	Nike Zoom Vaporfly 4% [18]
<b>Female</b>				
5 km (W)	14:44	Sifan Hassan	17/02/2019	Nike ZoomX Vaporfly Next% [19]
5000 m (track)	14:06.62	Letesenbet Gidey	07/10/2020	Nike ZoomX Dragonfly [20]
10 km (Mx)	29:43	Joyciline Jepkosgei	09/09/2017	Adidas Adizero Takumi Sen 5 [21]
15 km (Mx)	44:21	Letesenbet Gidey	17/11/2019	Nike ZoomX Vaporfly Next% [22]
½ marathon (Mx)	01:04:31	Ababel Yeshaneh	21/02/2020	Nike ZoomX Vaporfly Next% [23]
½ marathon (W)	01:05:34	Peres Jepchirchir	05/09/2020	Adidas Adizero Adios Pro [24]
1 h (W)	18,930 m	Sifan Hassan	04/09/2020	Nike ZoomX Dragonfly [25]
Marathon (Mx)	2:14:04	Brigid Kosgei	13/10/2019	Nike ZoomX Vaporfly Next% [26]
Marathon (W)	2:17:01	Mary Keitany	23/04/2017	Adidas Adizero Takumi Sen 5 [27]



Centrum Sportovní Medicíny

	No AFT	AFT	t, p-values	Cohen's d
<b>Male events</b>				
10 km [min:s]	27:44.7 (00:13.6) n = 130	27:30.7 (00:14.8) n = 28	4.85, p < 0.001	1.01
Half-Marathon [h:min:s]	59:24.8 (00:19.5) n = 140	59:09.2 (00:21.2) n = 20	3.32, p < 0.01	0.79
Marathon [h:min:s]	02:05:18.3 (00:53.6) n = 123	02:04:15.4 (01:09.3) n = 37	6.06, p < 0.001	1.14
<b>Female events</b>				
10 km [min:s]	31:18.4 (00:30.1) n = 136	31:01.3 (00:23.8) n = 23	2.58, p < 0.05	0.58
Half Marathon [h:min:s]	01:07:15.9 (01:02.2) n = 135	01:06:14.5 (00:29.4) n = 25	4.83, p < 0.001	1.05
Marathon [h:min:s]	02:21:49.9 (01:34.9) n = 124	02:19:39.4 (01:30.6) n = 35	7.25, p < 0.001	1.39

Results are presented as mean (standard deviation).  
AFT, advanced footwear technology.

B. Munzis- Pardos, Recent Improvements in Marathon Run Times Are Likely Technological, Not Physiological, Sports Medicine, 2021

S. Bermon, Effect of Advanced Shoe Technology on the Evolution of Road Race Times in Male and Female Elite Runners, Frontiers in Sports, 2021

## Fyziologické limity vytrvalostních sportů



Centrum Sportovní Medicíny

VO<sub>2</sub>max – 96,7 ml/min/kg – Oskar Svendsen Norsko

Total hemoglobin mass – 1750 g Hb – Ondřej Synek 😊

Srdeční výdej – 45 l/min – nejmenovaný veslař Německo

Ekonomika běhu – 39 ml/min/kg při 16 km/h – nejmenovaný Keňan

Ventilace – 320 l/min – nejmenovaný běžec na lyžích Norsko

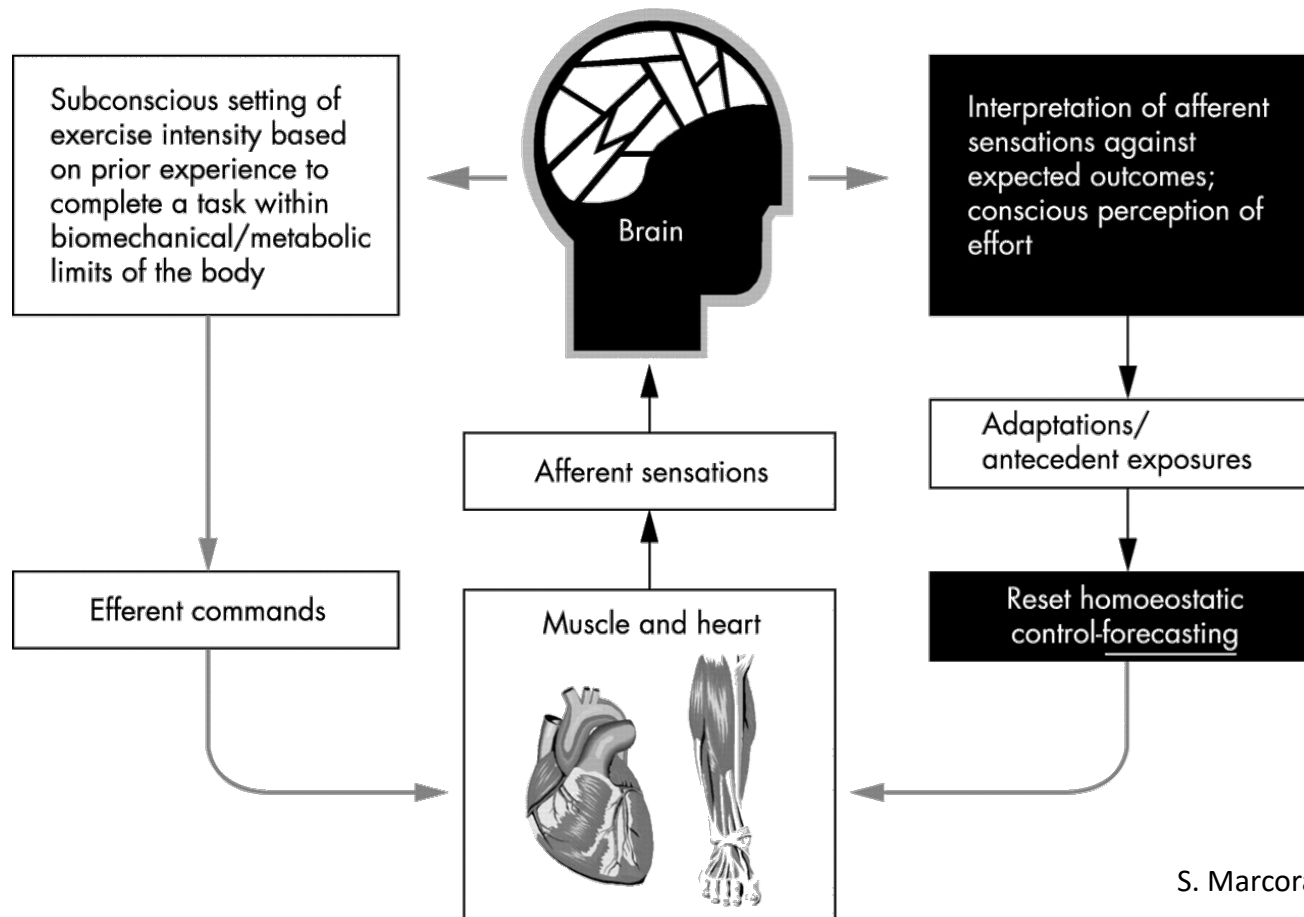
... a můžeme pokračovat

**Jenže nikdo, nikdy nezávodil ve VO<sub>2</sub>max nebo ve FatMax**

**Výsledek je dán jedním z výsledků - CGS – centimeters, grams, seconds**

**A lidský organismus není „brainless“...**

# Centrální řízení únavy



S. Marcora, The limit to exercise tolerance in humans: Mind over muscle?, EJAP, 2010

T. Noakes, Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance, SJMSS, 2000





# Rychlost – příklad 100m

Training principle or method	Scientific versus best practice literature
Progressive overload	<i>Moderate agreement.</i> Both scientific and best practice literature emphasize the importance of familiarization and gradual progression to reduce injury risk and maximize performance. However, the influence of running surface and footwear as specific modifiers of sprint training load is more highlighted within best practice.
Specificity	<i>Poor agreement.</i> Both scientific and best practice literature highlight the importance of sprint running and high-velocity movements on sprint performance enhancement. However, there is a considerable gap in how the sprint specific training components are applied (see, e.g., specific sprint training further down).
Variation/periodization	<i>Poor agreement.</i> Scientific studies mainly focus on traditional and block-training periodization, while alternative models (e.g., “long-to-short” and “short-to-long”) are used within leading sprinting communities.
Individualization	<i>Poor agreement.</i> Most scientific interventions have applied a “one-size-fits-all” approach, but recent studies have suggested that training should be prescribed according to individual force-velocity profiles. Best practice focuses more on training prescription according to individual performance capacity, anthropometric factors, training status/age, sex, and recovery/injury status.
Specific sprint training	<i>Poor agreement.</i> Most sprint-related studies are performed on young team sport players, consisting of brief and maximal sprints with short recoveries. In contrast, elite sprinters perform sprint-specific training with varying distances, intensities and recoveries.
Technical training	<i>Poor agreement.</i> Very few scientific studies are devoted to how optimal sprinting mechanics can be achieved. The best practitioners apply sprint drills to reinforce the technical work and isolate specific movement features.
Strength and power training	<i>Good agreement.</i> There are no major discrepancies in sprint-related strength- and power training recommendations when comparing scientific and best practice literature.
Plyometric training	<i>Good agreement.</i> Both scientific and best practice literature encourage sprinters to use different types of high-intensive bounding, jumping and skipping exercises for developing leg stiffness and horizontal power production.
Recovery strategies	<i>Poor agreement.</i> Best practice applies several passive and active post-exercise recovery modalities (massage, compression garments, cold water immersion, cryotherapy, tempo runs, etc.), although the scientific evidence for these strategies is limited.
Tapering	<i>Good agreement.</i> The tapering strategies employed by the best practitioners are generally consistent with research, although best practice literature provides more detailed information.

„Despite a voluminous body of research devoted to sprint training, our understanding of the training process leading to a world-class sprint performance is limited.“

Haugen T. , Sports Medicine, 2019

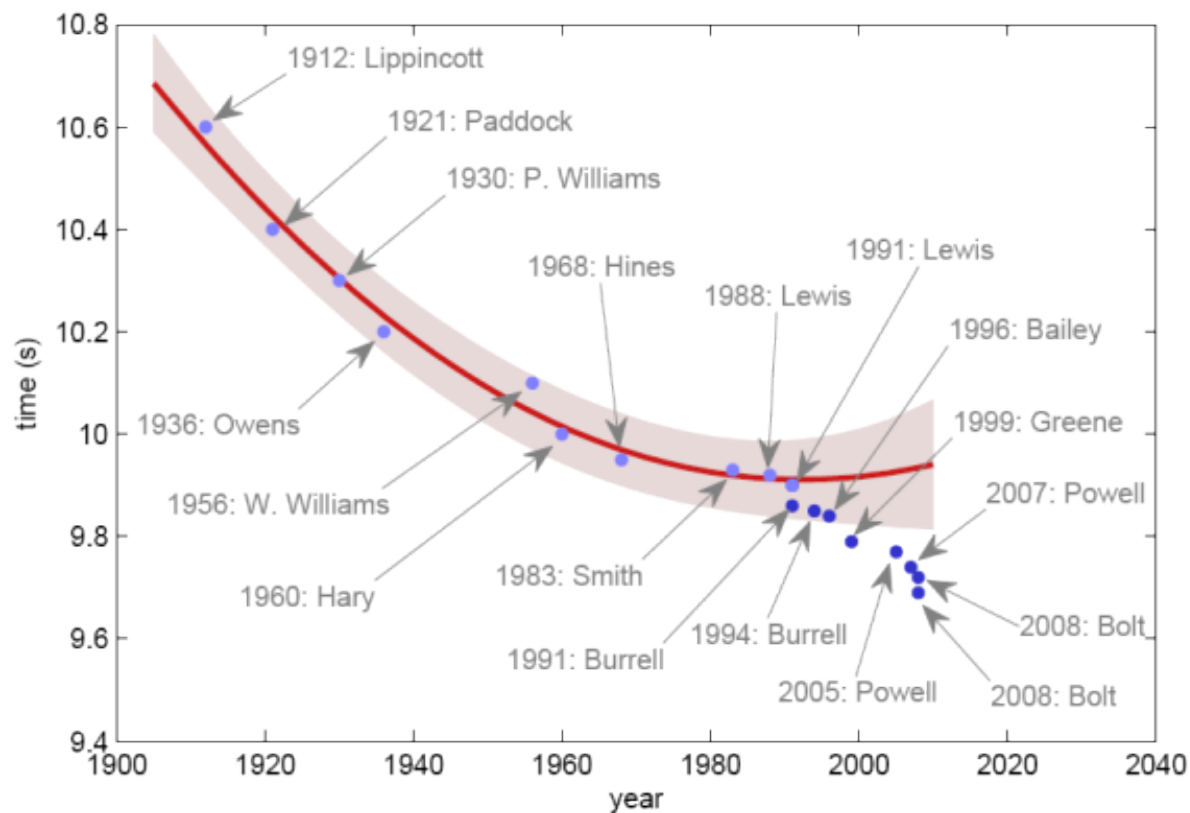
# 29 nejrychlejších sprintů historie

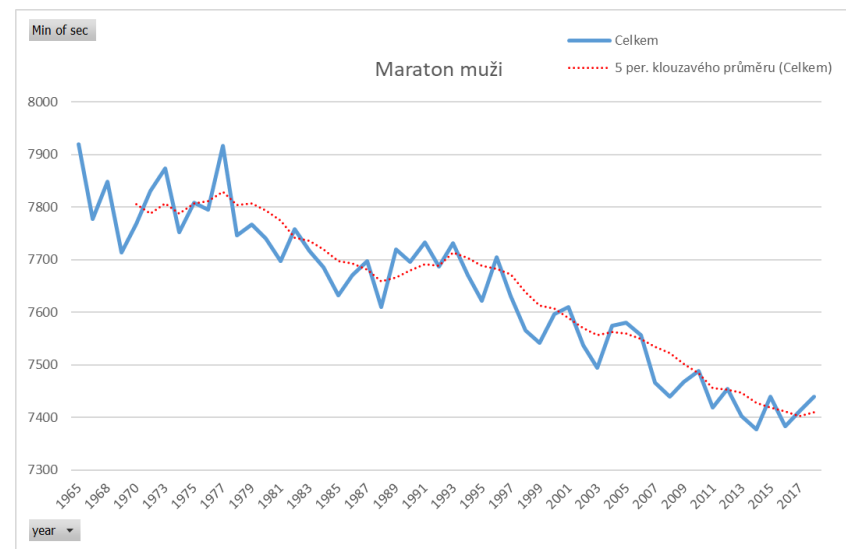
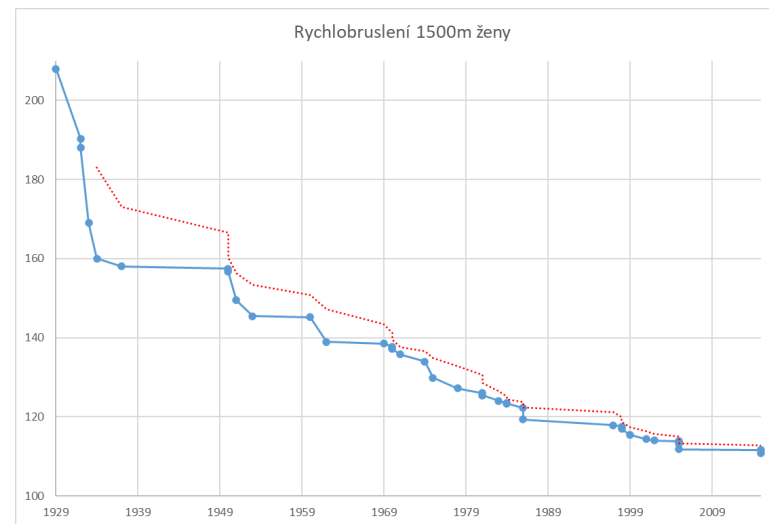
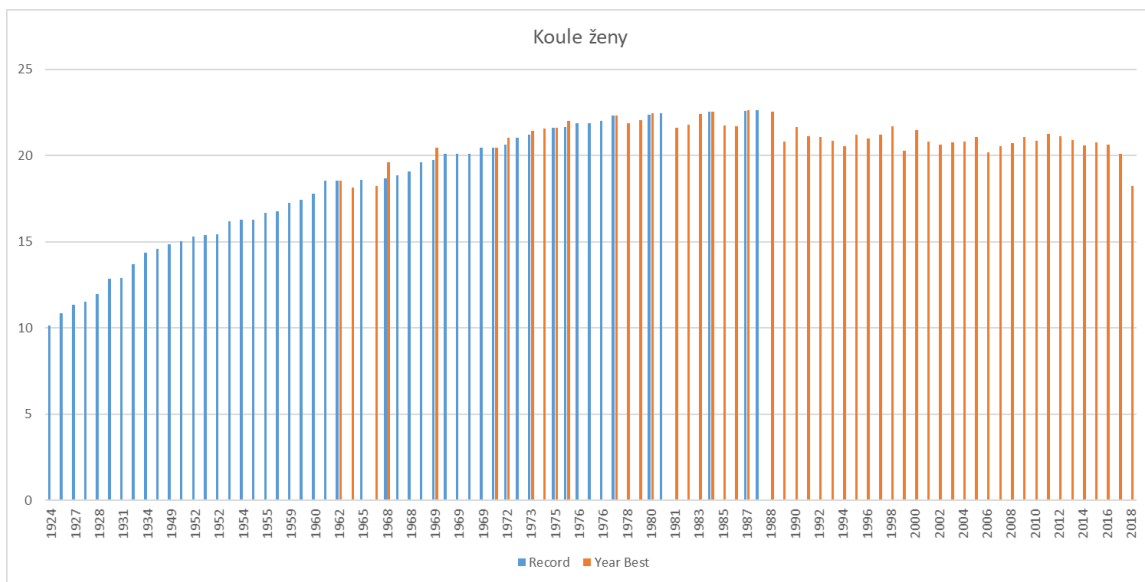
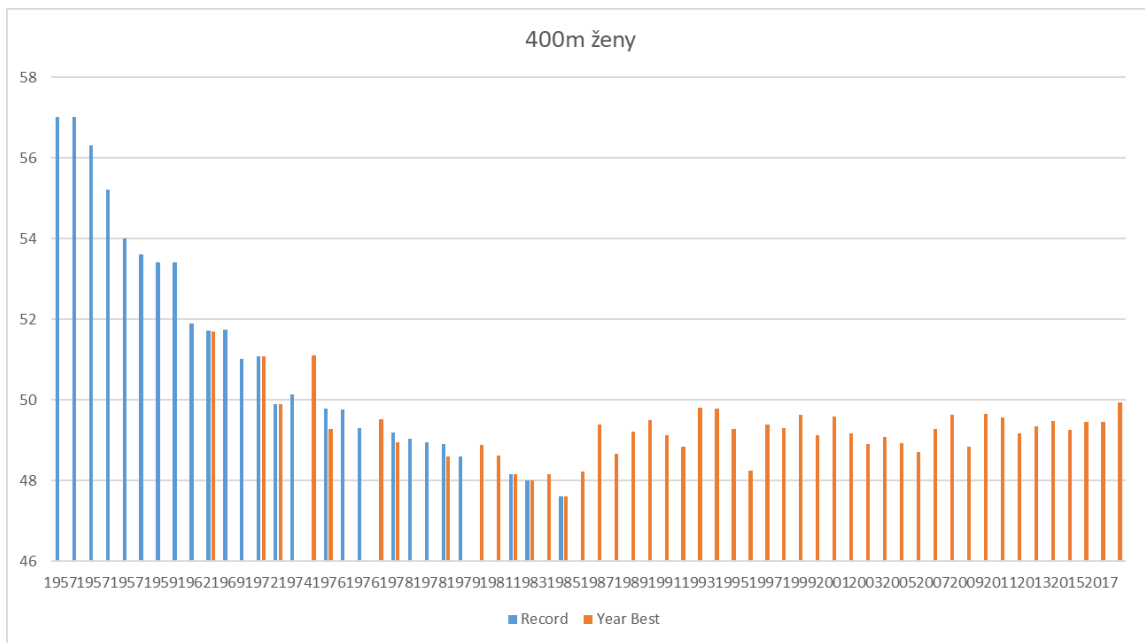


0.5.7 +

Centrum Sportovní Medicíny

RANK	MARK	WIND	COMPETITOR	DOB	NAT	POS	VENUE	DATE
1	9.58	+0.9	Usain BOLT	21 AUG 1986	JAM	1	Berlin (Olympiastadion)	16 AUG 2009
	9.63	+1.5	Usain BOLT	21 AUG 1986	JAM	1	London (Olympic Stadium)	05 AUG 2012
	9.69	0.0	Usain BOLT	21 AUG 1986	JAM	1	Beijing (National Stadium)	16 AUG 2008
<del>2</del>	<del>9.69</del>	<del>0.0</del>	<del>Tyson GAY</del>	<del>0 AUG 1982</del>	<del>USA</del>	<del>1</del>	<del>Shanghai</del>	<del>20 SEP 2009</del>
<del>3</del>	<del>9.69</del>	<del>0.1</del>	<del>Yohan BLAKE</del>	<del>26 DEC 1989</del>	<del>JAM</del>	<del>1</del>	<del>Lucerne</del>	<del>28 AUG 2012</del>
<del>4</del>	<del>9.71</del>	<del>-0.9</del>	<del>Tyson GAY</del>	<del>0 AUG 1982</del>	<del>USA</del>	<del>2</del>	<del>Berlin (Olympiastadion)</del>	<del>16 AUG 2009</del>
	9.72	+1.7	Usain BOLT	21 AUG 1986	JAM	1r1	New York City, NY	31 MAY 2008
<del>5</del>	<del>9.72</del>	<del>+0.2</del>	<del>Asafa POWELL</del>	<del>26 NOV 1982</del>	<del>JAM</del>	<del>1r1</del>	<del>Lucerne</del>	<del>28 SEP 2008</del>
<del>6</del>	<del>9.74</del>	<del>+1.7</del>	<del>Asafa POWELL</del>	<del>23 NOV 1982</del>	<del>JAM</del>	<del>1r2</del>	<del>Ried</del>	<del>07 SEP 2007</del>
<del>7</del>	<del>9.74</del>	<del>0.0</del>	<del>Justin GATLIN</del>	<del>10 FEB 1982</del>	<del>USA</del>	<del>1</del>	<del>Doha (Hamad Bin Khalifa)</del>	<del>15 MAY 2015</del>
<del>8</del>	<del>9.75</del>	<del>+1.1</del>	<del>Yohan BLAKE</del>	<del>26 DEC 1989</del>	<del>JAM</del>	<del>1</del>	<del>Kingston (NS), JAM</del>	<del>03 JUN 2008</del>
<del>9</del>	<del>9.75</del>	<del>+1.5</del>	<del>Yohan BLAKE</del>	<del>26 DEC 1989</del>	<del>JAM</del>	<del>2</del>	<del>London (Olympic Stadium)</del>	<del>05 AUG 2012</del>
<del>10</del>	<del>9.75</del>	<del>0.0</del>	<del>Justin GATLIN</del>	<del>10 FEB 1982</del>	<del>USA</del>	<del>1r2</del>	<del>Roma (Stadio Olimpico)</del>	<del>04 JUN 2015</del>
<del>11</del>	<del>9.75</del>	<del>+1.1</del>	<del>Justin GATLIN</del>	<del>10 FEB 1982</del>	<del>USA</del>	<del>1r2</del>	<del>Lucerne (Frontise)</del>	<del>07 JUL 2015</del>
	9.76	+1.8	Usain BOLT	21 AUG 1986	JAM	1	Kingston (NS), JAM	03 MAY 2008
	9.76	+1.3	Usain BOLT	21 AUG 1986	JAM	1	Bruxelles (Boudewijnstadion)	16 SEP 2011
	9.76	-0.1	Usain BOLT	21 AUG 1986	JAM	1	Roma (Stadio Olimpico)	31 MAY 2012
<del>12</del>	<del>9.76</del>	<del>+1.4</del>	<del>Yohan BLAKE</del>	<del>26 DEC 1989</del>	<del>JAM</del>	<del>1r0</del>	<del>Zürich (Letzigrund)</del>	<del>06 AUG 2012</del>
<del>13</del>	<del>9.77</del>	<del>+1.0</del>	<del>Asafa POWELL</del>	<del>23 NOV 1982</del>	<del>JAM</del>	<del>1</del>	<del>Atina (Olympic Stadium)</del>	<del>14 JUN 2003</del>
<del>14</del>	<del>9.77</del>	<del>+1.5</del>	<del>Asafa POWELL</del>	<del>26 NOV 1982</del>	<del>JAM</del>	<del>1</del>	<del>Osaka</del>	<del>11 JUN 2004</del>
<del>15</del>	<del>9.77</del>	<del>+1.0</del>	<del>Asafa POWELL</del>	<del>23 NOV 1982</del>	<del>JAM</del>	<del>1r1</del>	<del>Zürich</del>	<del>18 AUG 2006</del>
<del>16</del>	<del>9.77</del>	<del>+1.6</del>	<del>Tyson GAY</del>	<del>0 AUG 1982</del>	<del>USA</del>	<del>1r1</del>	<del>Eugene, OR</del>	<del>26 JUN 2006</del>
	9.77	-1.3	Usain BOLT	21 AUG 1986	JAM	1	Bruxelles (Boudewijnstadion)	05 SEP 2008
<del>17</del>	<del>9.77</del>	<del>0.0</del>	<del>Asafa POWELL</del>	<del>26 NOV 1982</del>	<del>JAM</del>	<del>1r1</del>	<del>Ried</del>	<del>07 SEP 2006</del>
<del>18</del>	<del>9.77</del>	<del>0.1</del>	<del>Tyson GAY</del>	<del>0 AUG 1982</del>	<del>USA</del>	<del>1</del>	<del>Roma (Stadio Olimpico)</del>	<del>10 JUL 2009</del>
	9.77	-0.3	Usain BOLT	21 AUG 1986	JAM	1	Moskva (Luzhniki)	11 AUG 2013
<del>19</del>	<del>9.77</del>	<del>+0.0</del>	<del>Justin GATLIN</del>	<del>10 FEB 1982</del>	<del>USA</del>	<del>1</del>	<del>Bruxelles (Boudewijnstadion)</del>	<del>05 SEP 2014</del>
<del>20</del>	<del>9.78</del>	<del>0.0</del>	<del>Asafa POWELL</del>	<del>23 NOV 1982</del>	<del>JAM</del>	<del>1</del>	<del>Ried</del>	<del>07 SEP 2007</del>
<del>21</del>	<del>9.78</del>	<del>0.1</del>	<del>Tyson GAY</del>	<del>0 AUG 1982</del>	<del>USA</del>	<del>1</del>	<del>London (St.)</del>	<del>13 AUG 2010</del>





**0.5.17**

Centrum Sportovní Medicíny

Nepublikovaná data, vlastní analýza



**DRÁHA 8**  
**Denis Mitchell (46)**

**USA**

Čas: 10,04 s  
Pozice: 4.

**Dopingový průšvih:** V roce 1998 měl moc testosteronu. Dal si pět piv a pomiloval manželku. Americká federace mu uvěřila, ta světová nikoliv.

**DRÁHA 7**  
**Desai Williams (53)**

**Kanada**

Čas: 10,11 s  
Pozice: 6.

**Dopingový průšvih:** Po Johnsonově průšvihu si Kanadané otestovali i Williama a ukázalo se, že také bral.

**DRÁHA 6**  
**Ben Johnson (50)**

**Kanada**

Čas: 9,79 s  
Pozice: Diskvalifikován

**Dopingový průšvih:** Dopingový nález měl dokonce třikrát. Nejvíc ho ale musí štvát ten z Jižní Koreje.

**DRÁHA 5**  
**Calvin Smith (51)**

**USA**

Čas: 9,99 s  
Pozice: 3.  
**Dopingový průšvih:** 0

**DRÁHA 4**  
**Linford Christie (52)**

**Velká Británie**

Čas: 9,97 s  
Pozice: 2.

**Dopingový průšvih:** V roce 1999 užil anabolika a dostal dvouletý zákaz činnosti. Vinu nikdy nepřiznal.

**DRÁHA 3**  
**Carl Lewis (51)**

**USA**

Čas: 9,92 s  
Pozice: 1.

**Dopingový průšvih:** Před olympiádou byl pozitivně testován. Potrestán nebyl. Nedávno doping přiznal s tím, že už je to mrtvý případ.

**DRÁHA 2**  
**Ray Stewart (47)**

**Jamajka**

Čas: 12,26 s  
Pozice: 7.

**Dopingový průšvih:** V roce 2008, když trénoval americké atlety, obstarával sportovcům zakázané látky. Dostal doživotní zákaz.

**DRÁHA 1**  
**Robson da Silva (57)**

**Brazílie**

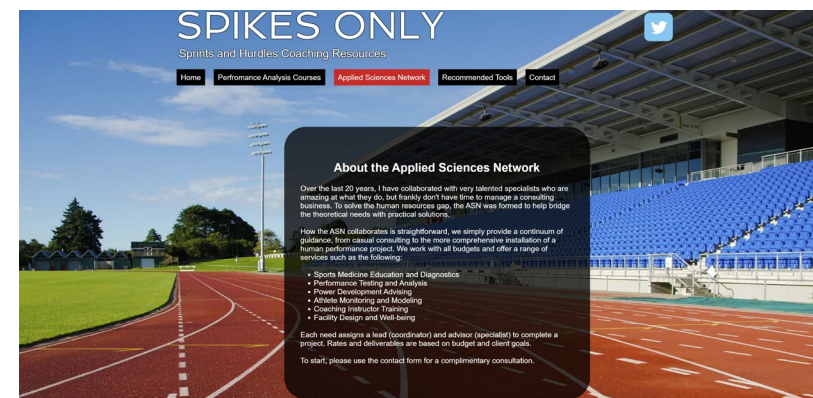
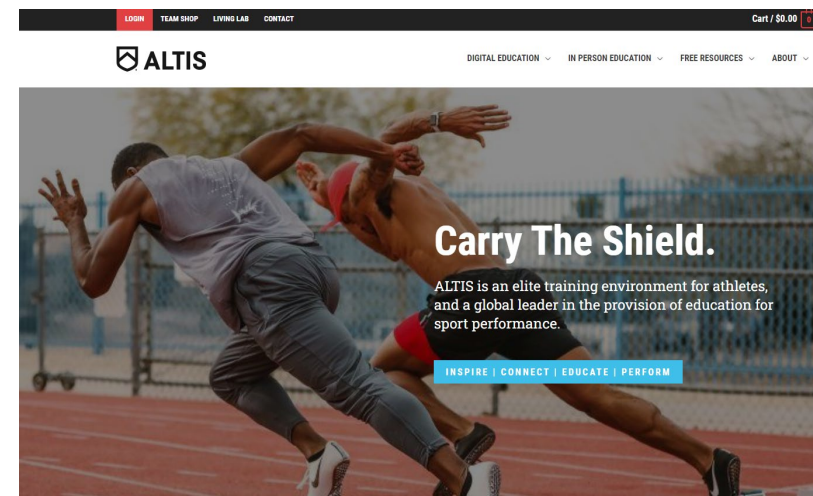
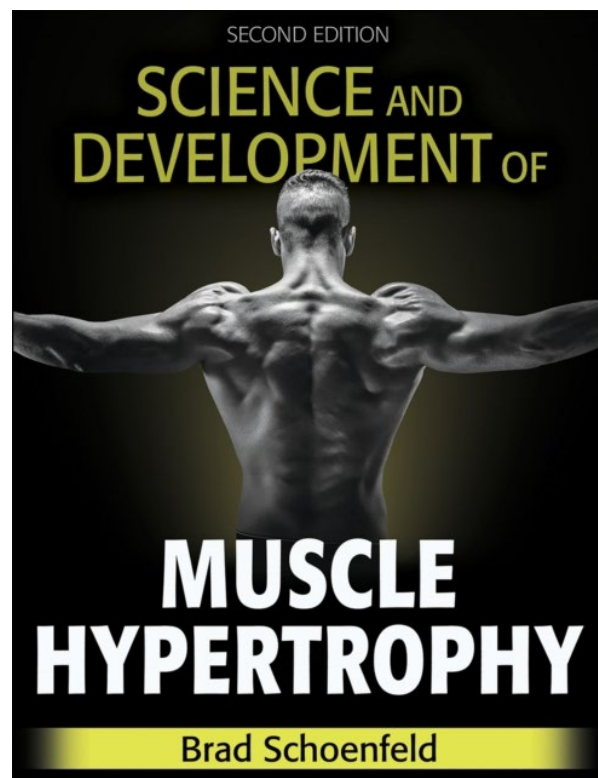
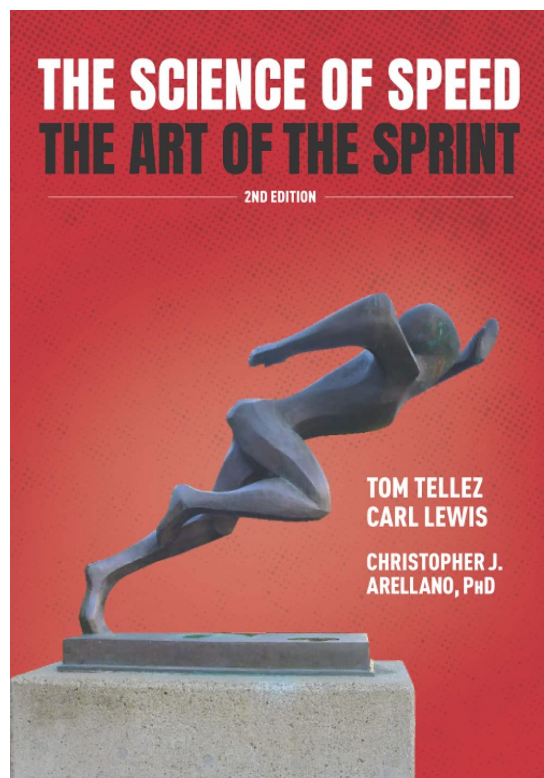
Čas: 10,11 s  
Pozice: 5.  
**Dopingový průšvih:** 0



# Aplikovaná věda o rychlosti v praxi



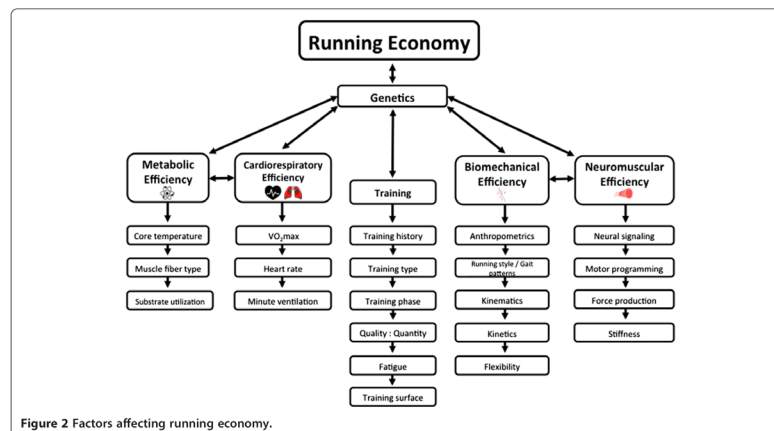
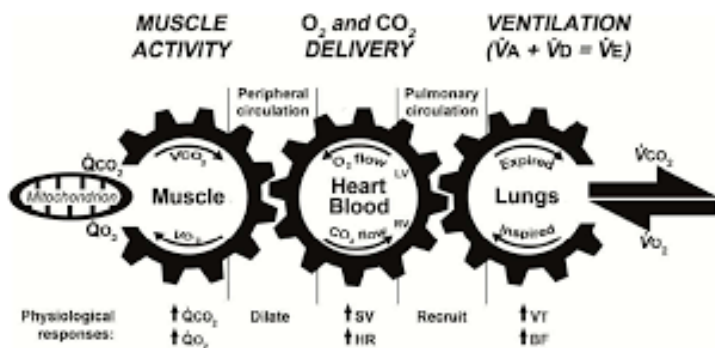
Centrum Sportovní Medicíny



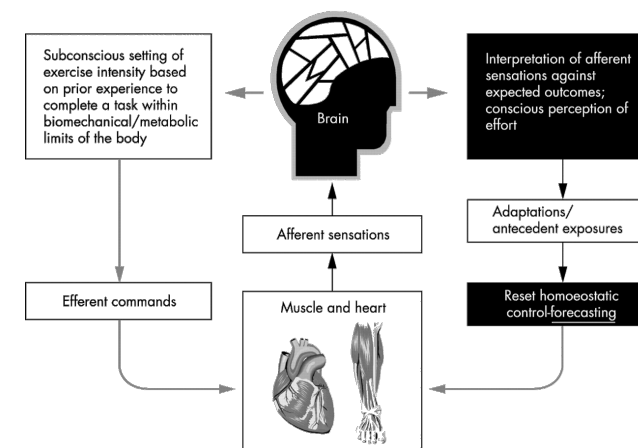
# Co limituje maximální výkon

- | Metabolický výkon  | Biomechanika   | Nutrice  | Psychologický  | Zdraví  |
|--|--|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Oxidativní</li> <li>Glykolytický</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>MS systém</li> <li>Zranění</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>RED-S</li> <li>Max energ výdej</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Sociální</li> <li>Psychobiologický</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Onemocnění</li> <li>OTS</li> </ul> |

## Wassermanův diagram (1969)



Barnes, Sports Medicine, 2015



Gibson, 2005

Omlouvám se po pokud jsem Vám nedal jasnou odpověď

Sportovní věda se nedá vůbec měřit s klinickou medicínou

Zejména v oblasti maximálních výkonů, které jsou multifaktoriální

Ale základní principy biologické adaptace platí vždy a pro každého

Pod podmínkou že se neuplatní externí vliv ( a ten se uplatní téměř vždy)