

# Ergometrie

Praktické cvičení z fyziologie (jarní semestr: 10. – 12. týden)

Studijní materiály byly vytvořeny za podpory projektu MUNI/FR/1474/2018

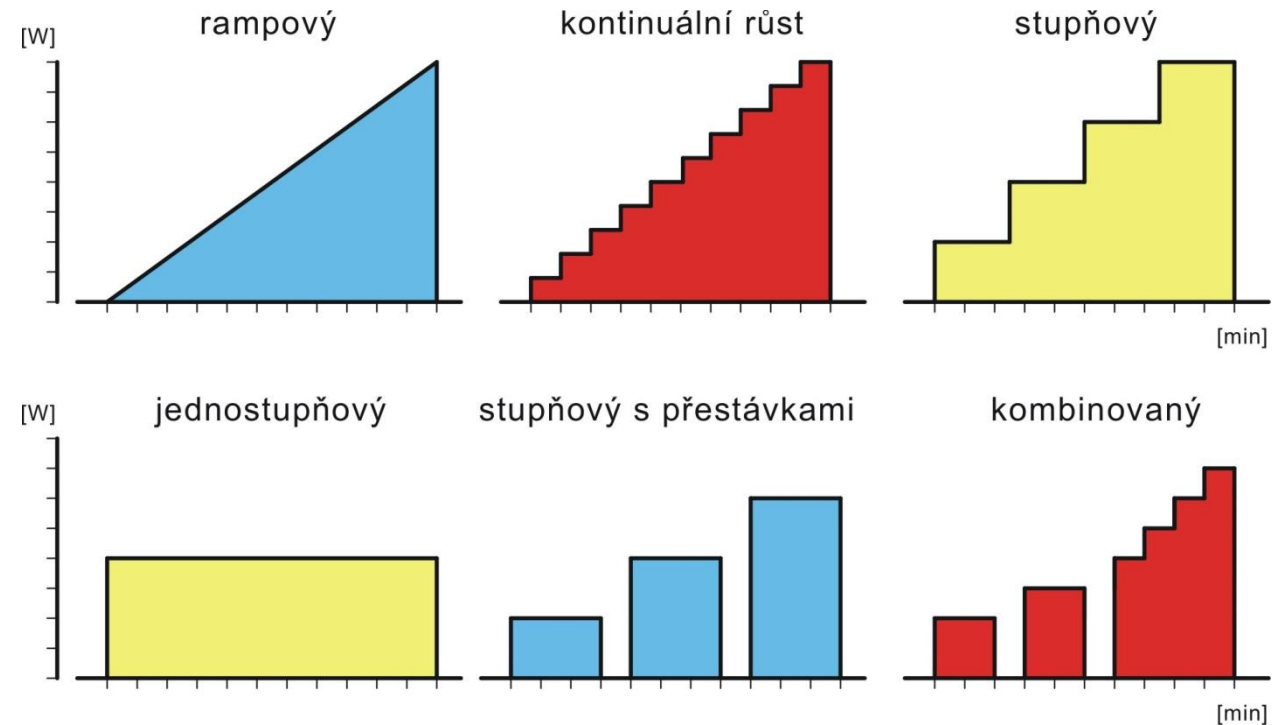
# Ergometrie

- Zátěžové vyšetření – snímání EKG a dalších parametrů v závislosti na zvyšujícím se stupni zátěže na ergometru
- Kromě EKG lze snímat:
  - spotřeba O<sub>2</sub>, výdej CO<sub>2</sub>, krevní tlak, krevní vzorky (hlavně laktát)
- Typy ergometrů
  - Rotoped – zátěž hlavně dolní poloviny těla
  - Veslařský trenažér – zátěž horní poloviny těla
  - Rumpálový ergometr – rotoped pro ruce, u para/kvadruplegie
  - Schůdky
  - Běžící pás
- Uplatnění
  - Sportovní medicína
  - Rehabilitační medicína
  - Kardiologie



# Základní protokoly ergometrie

- Rampový
- Kontinuální růst
- Stupňovitý
- Jednostupňový
- Stupňový s přestávkami
- Kombinovaný

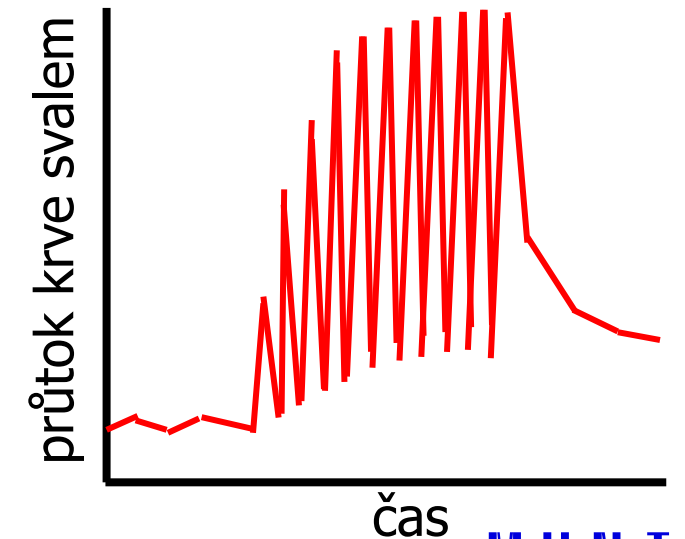


# Metabolismus srdečního svalu

- Náročný na prokrvení, hustá kapilarizace
  - Prokrvuje se především na začátku diastoly, protože v systole je sval v kontrakci a cévy jsou uzavřené. To platí především pro levou komoru, která vyvíjí vyšší tlak – je zranitelnější.
- Srdce je jako domácí prasátko, zpracuje, co se mu dává
  - 60 % volné mastné kyseliny, triglyceridy (60 – 90 % acetyl\_CoA z beta oxidace)
  - 35 % sacharidy
  - 5% ketolátky (hladovění nebo neléčený diabetes)
  - Za normálních okolností (mimo ischenii a max výkon) metabolizuje laktát
- Vysoká spotřeba kyslíku
  - Fyziologicky jen oxidativní fosforilace – maximalizace tvorby ATP, vysoké množství mitochondrií
  - Stačí malá ischemie pro narušení metabolismu
    - Patologicky za anaerobních podmínek (ischémie) se pyruvát redukuje na laktát – anaerobní glykolýza - ztráta kontraktilní funkce, arytmie, smrt buněk. Uvolnění troponinu z cytoplazmy myocytů – marker infarktu myokardu

# Metabolismus kosterního svalu

- Během svalové práce se svalové cévy rozšiřují (metabolická autoregulace) a průtok krve svalem stoupá
  - Při posilování dochází k prokrvení až po relaxaci svalu
  - Rytmická zátěž vede ke kolísání průtoku, který však v průměru může být až 20 x vyšší než v klidu
- Je-li prokrvení dostatečné, nabídka O<sub>2</sub> pokrývá poptávku – zdrojem ATP jsou aerobní procesy
- Je-li zátěž příliš vysoká, že poptávka po O<sub>2</sub> převyšuje nabídku – aerobní resyntéza ATP nestačí
  - Část O<sub>2</sub> se zpočátku uvolní z myoglobinu
  - Zpočátku resyntéza ATP pomocí kreatinfosfátu
  - Anaerobní glykolýza – méně efektivní, tvorba laktátu
  - Hromadění laktátu → acidóza, inhibice enzymů a svalové práce
  - Krátkodobě výrazné navýšení svalového výkonu
    - Sprint na 100m – 85% energie z anaerobní glykolýzy
    - Závod na 2,5 km, 10 min – 20% anaerobně
    - Běh na víc jak hodinu – 5% anaerobně



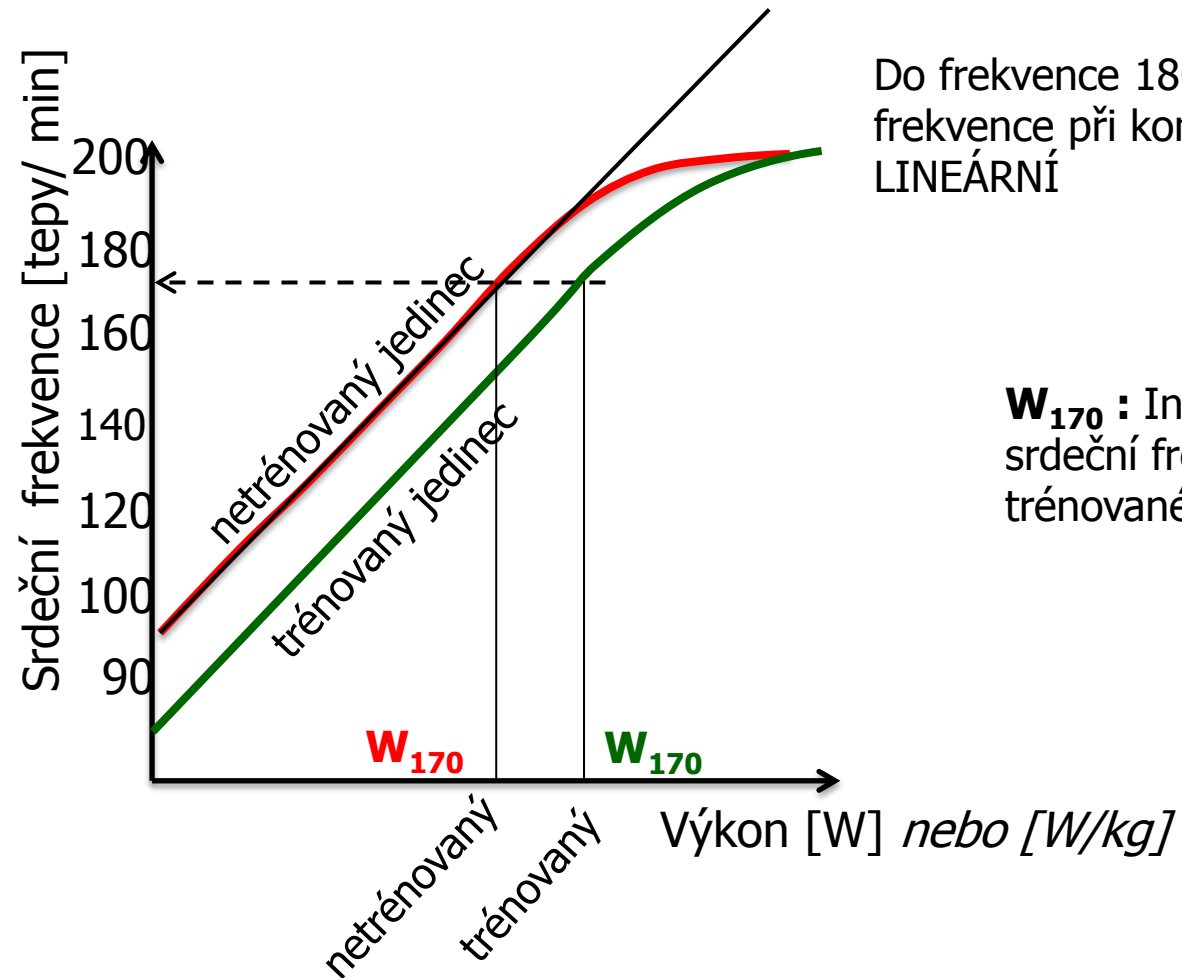
# Srdeční frekvence a zátěž, W170

- Se zvyšující se zátěží roste srdeční frekvence (SF) lineárně až k dosažení maximální hodnoty
- Maximální srdeční frekvence - závislá na věku
  - Odhad max. srdeční frekvence = 220-věk, jsou i jiné vzorce
  - Limitem je délka refrakterní fáze akčního potenciálu myokardiocytu a také přílišné zkrácení diastoly, kdy se zpracuje čas pro plnění komor krví a prokrvení myokardu

věk	Do 30	31 - 40	41 - 50	51 - 60	61 – 70
Maximální srdeční frekvence	195	185	182	170	162

- Klidová srdeční frekvence – závislá na trénovanosti
  - U trénovaných jedinců klesá třeba až na 50 bpm v klidu
- Index W170: pracovní kapacita při srdeční frekvenci 170 bpm
- Max u netrénovaného 180 bpm, u trénovaného až 220 bpm

# Srdeční frekvence a zátěž, W170



Do frekvence 180/min je vzestup srdeční frekvence při kontinuálním nárůstu zátěže LINEÁRNÍ

$W_{170}$  : Index zjišťující pracovní kapacitu při srdeční frekvenci 170 tep/min. Je vyšší u trénovaného jedince.

# Respirační kvocient (RQ)

- Poměr: vyprodukovaný CO<sub>2</sub> / přijatý O<sub>2</sub>
- Poskytuje informaci ohledně zpracovaného substrátu
  - Sacharidy: RQ = 1, Lipidy: RQ = 0,7; Proteiny: RQ = 0,8
- Poskytuje informaci o metabolismu
  - zátěž nebo metabolická acidóza RQ > 1; Volní hypoventilace nebo metabolická alkalóza RQ < 0,7
- Je ovlivněn ventilací
  - Volní hyperventilace RQ > 1 – CO<sub>2</sub> se vydychává z těla
  - Volní hypoventilace RQ < 0,7
- Intenzivní fyzická zátěž: RQ až 2, po zátěži QR = 0,5
  - Anaerobní glykolýza – tvorba laktátu, vydechuje se víc CO<sub>2</sub> než spotřebuje
  - Po zátěži obnovení energetických zdrojů – zpracování laktátu, obnovení ATP, kreatinfosvátu a okysličení myoglobinu – vyšší spotřeba O<sub>2</sub> než výdej CO<sub>2</sub>
  - **Zlom křivky RQ v závislosti na stupni zátěže udává anaerobní práh**

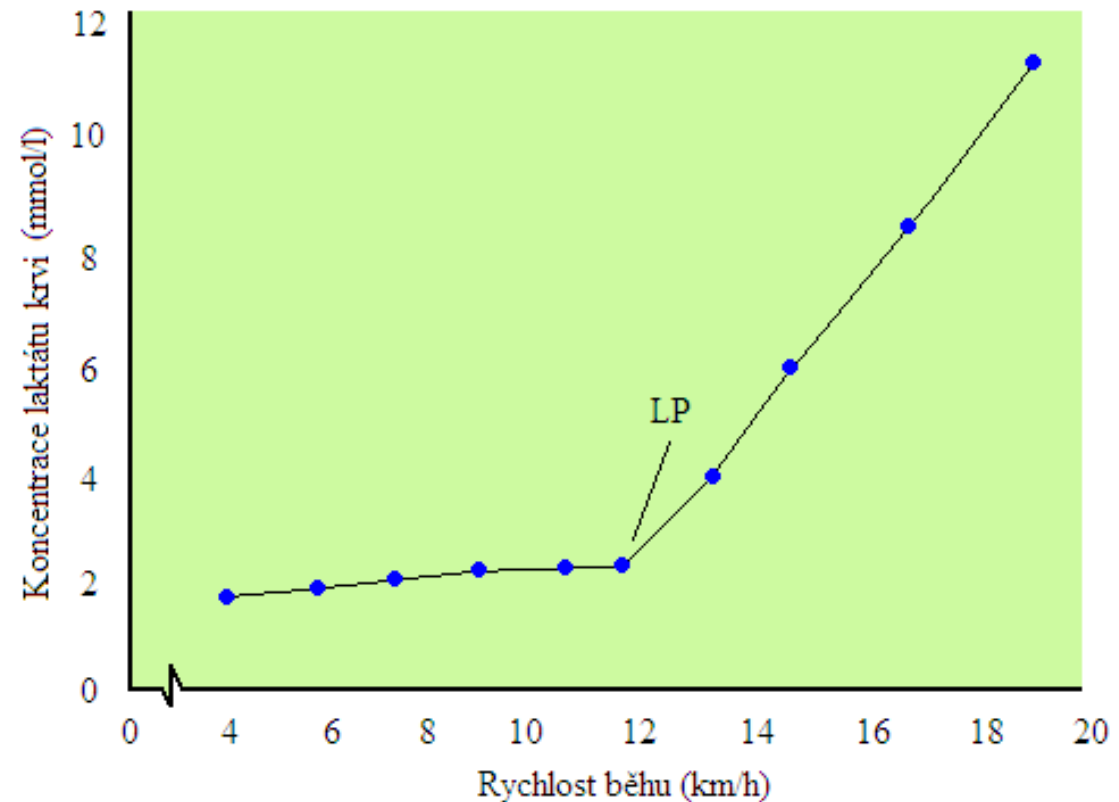


# Kyslíkový dluh

- Energie pokrývající práci svalu = aerobní zdroje + anaerobní zdroje
- Pokud poptávka po O<sub>2</sub> překročí nabídku, přechází sval na anaerobní glykolýzu (produkovaný laktát ve vyšší koncentraci však inhibuje enzymy a svalovou práci)
- Prokrvení svalu stoupá až lehce po začátku práce – už v tuto chvíli začíná kyslíkový dluh, který je ale při lehké zátěži konstantní a při těžké se stále zvyšuje.
- Anaerobní zdroje: oxidovaný myoglobin, kreatinfosfát, anaerobní glykolýza
- Kyslíkový dluh: kyslík, který je potřeba pro obnovu kreatinfosfátu, odbourání laktátu a oxidaci myoglobinu
  - Je to spotřeba kyslíku po zátěži, která převažuje nad klidovou spotřebou kyslíku
  - Měří se spotřeba O<sub>2</sub> po zátěži, dokud se neustálí na bazální hodnotě – dluh je rozdíl mezi O<sub>2</sub> po zátěži a bazální spotřebou O<sub>2</sub>
- Dluh může být až 6x vyšší než klidová spotřeba – anaerobní glykolýza během zátěže umožňuje významné navýšení výkonu svalu

# Práh – anaerobní, laktátový

- Anaerobní práh – předěl mezi aerobním a anaerobním získáváním energie – úroveň zátěže, při které začíná anaerobní glykolýza
  - Stanovuje se podle laktátového prahu, ventilačního prahu nebo cirkulačního prahu a udává se v % jejich maximálních hodnot
- Laktátový práh
  - Během stupňující se zátěže se odebírá krev a zjišťuje se laktát. Z hodnot se vytvoří křivka a hledá se bod zlomu, kdy se laktát začíná rychleji hromadit



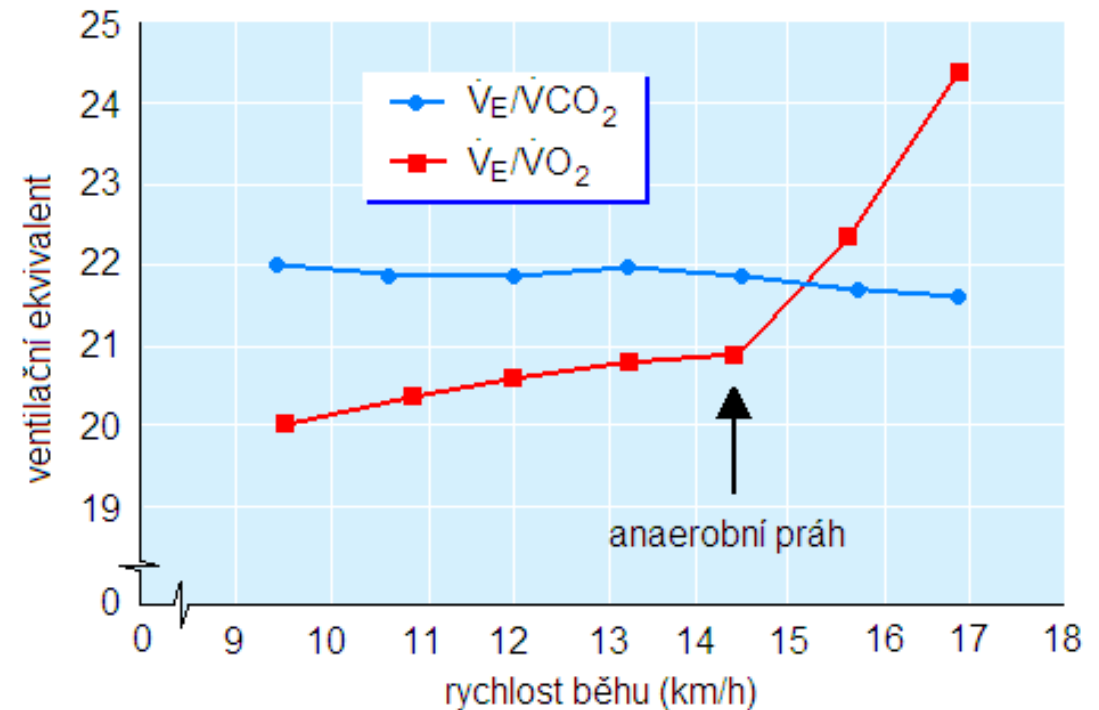
# Práh – ventilační, cirkulační

## – Ventilační práh

- Křivka ventilace, spotřeby O<sub>2</sub>, respiračního kvocientu nebo ventilačního ekvivalentu pro kyslík v závislosti na stupni zátěže. Hledá se bod zlomu (změna trendu)  
(Ventilační ekvivalent pro kyslík: množství kyslíku, který přijmeme z 1l vzduchu)

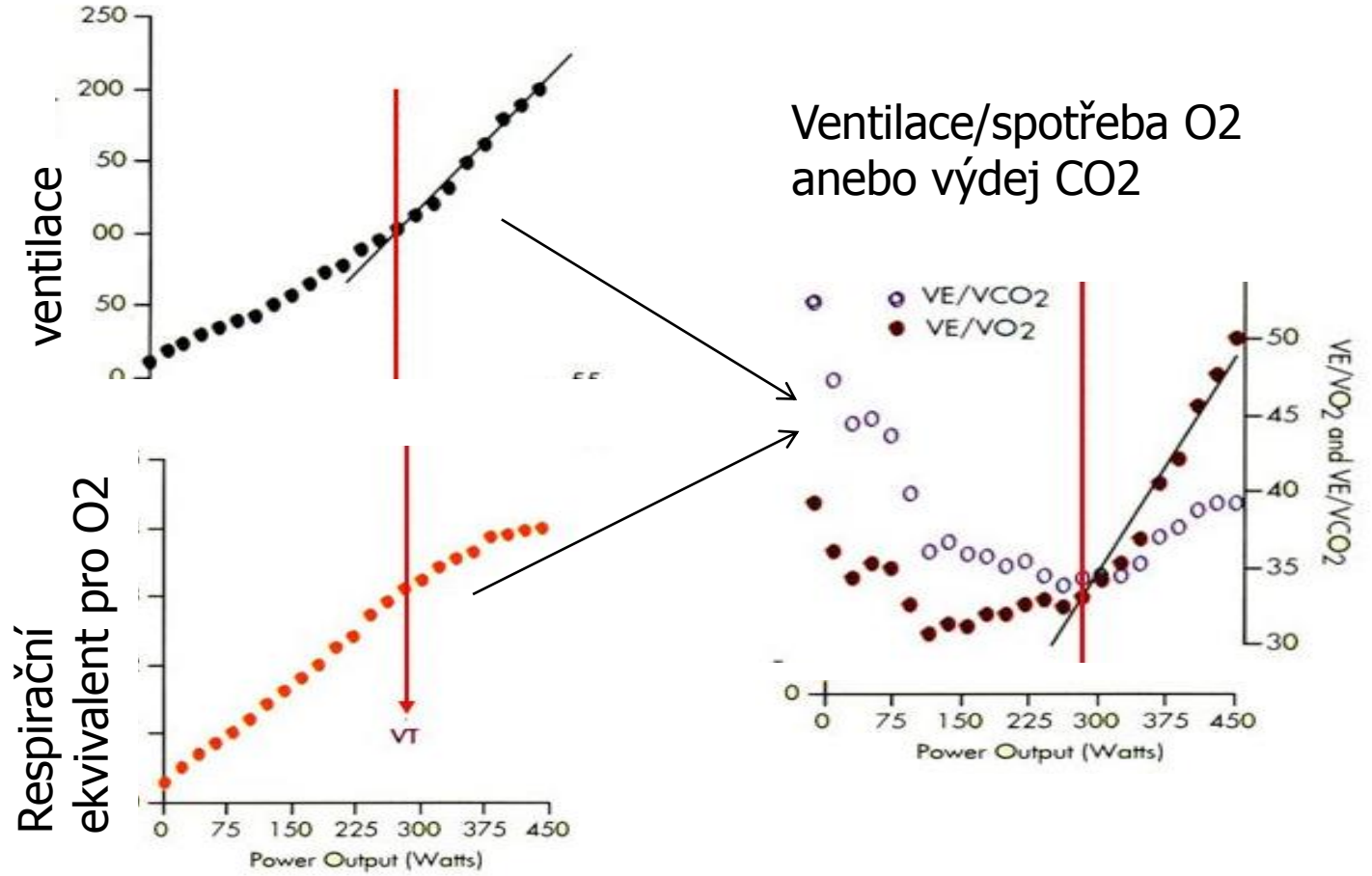
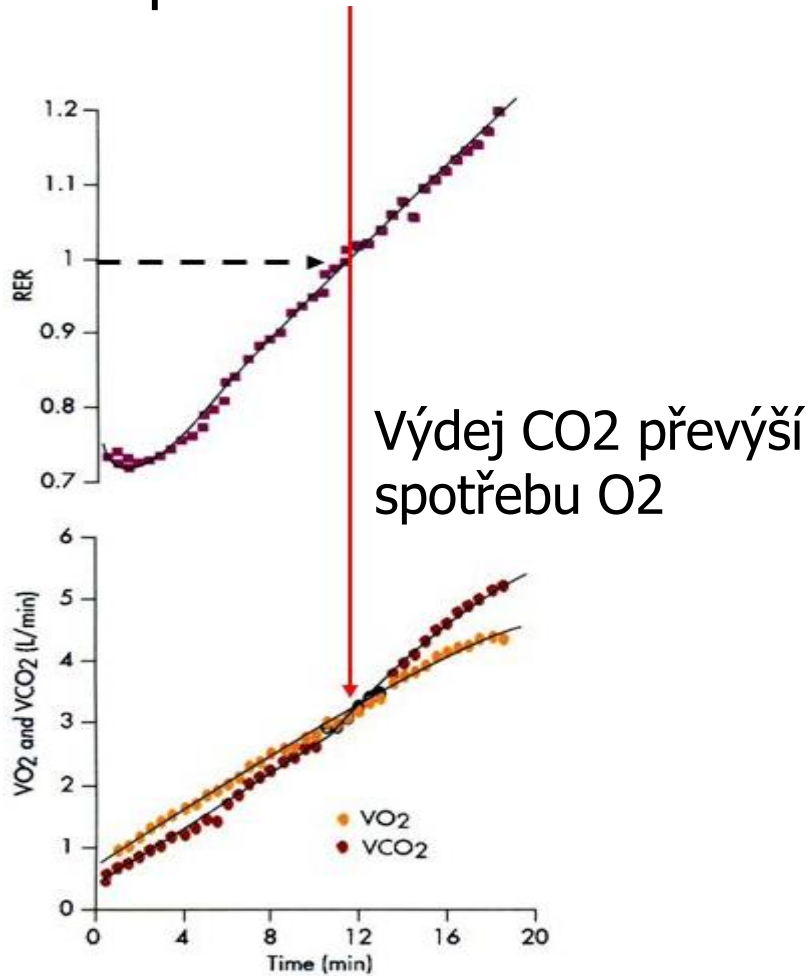
## – Cirkulační práh

- Na záznamu srdeční frekvence se v závislosti na stupni zátěže se měří, kdy došlo ke zpomalení nárůstu srdeční frekvence
- Obecně je schopnost dosahování maximálních výkonů limitovaná několika faktory: kardiovaskulární systém, dýchací systém, pohybový systém



# Práh - ventilační

Respirační kvocient

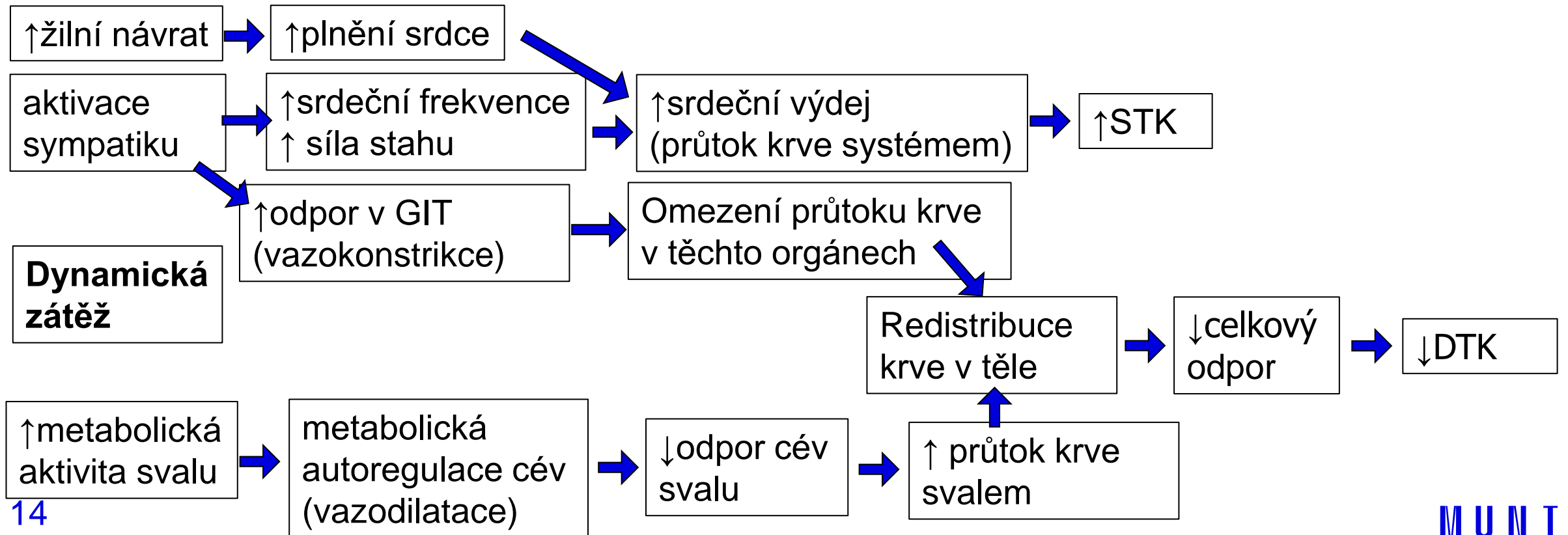


# Termoregulace během zátěže

- Energie tvořená svalem  $\approx$  uskutečněná práce + tvorba ATP + teplo
- Účinnost svalu
  - pracujícího izotonicky je asi 50% (50% energie se mění v pohybovou, 50% v tepelnou)
  - Pracujícího izometricky je skoro 0%
- Zvýšená tvorba tepla ve svalu přetrvává až 30 min po skončení práce
  - metabolické procesy vedoucí k zotavení svalu
- Přebytečné teplo je potřeba odvádět
  - Zapojené mechanismy termoregulace závisí na teplotě jádra a okolí
  - Pocení a evaporace, vedení, proudění, záření
  - Prokrvení povrchových žilních pletení – zpočátku dochází k omezení průtoku krve kůží kvůli redistribuci krve během zátěže, a to až dokud nepřeváží termoregulační mechanismy
- Tvorba tepla svalem se využívá k zahřátí těla během podchlazení  
třesová termogeneze

# Fyziologické změny během zátěže

- Cílem změn v kardiovaskulárním systému během zátěže je zvýšení průtoku a redistribuce krve směrem do pracujícího svalu. Změny proto budou záviset na intenzitě a typu zátěže (dynamická nebo statická).



# Fyziologické změny během zátěže

- Krevní tlak silně závisí na intenzitě a typu zátěže.
  - Dynamická zátěž zapojující více svalů vede k nárůstu systolického krevního tlaku (díky nárůstu srdečního výdeje) a k poklesu diastolického (díky poklesu celkové periferní rezistence) – například běh, plavání
  - Až 20x zvýšení prokrvení svalů, zvýšení srdečního výdeje (sval může odebírat až 90% srdečního výdeje)
  - Izometrická zátěž po čas kontrakce zvyšuje systolický i diastolický tlak – například vzpírání (cévy ve svalu jsou uzavřené svalovou kontrakcí)
  - Po ukončení zátěže je periferní rezistence stále nízká (cévy ve svalech a kůži jsou stále dilatované), ale žilní návrat klesá (sval již nepravuce) a srdeční aktivita klesá → hypotenze → mdloba (tzv. „vykrvácení do svalů“)
- pH: při těžké práci díky laktátu vzniká metabolická acidóza, lehká práce pH nemění
- Dýchací systém
  - Prvotní zvýšení je vyvoláno stimulací proprioreceptorů ve svalech
  - Se zvyšující se zátěží a spotřebou O<sub>2</sub> lineárně roste ventilace. Při těžké práci ventilace převyšuje spotřebu O<sub>2</sub> – metabolická acidóza způsobená laktátem zvyšuje ventilaci.
  - VO<sub>2</sub>max: maximální spotřeba kyslíku, které tělo dokáže využít za 1min – závisí na věku, konstituci, zdravotním stavu, trénovanosti – je limitována jak pohybovým aparátem, tak kardiovaskulárním systémem
  - Hladiny O<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub> v arteriální krvi se při aerobní zátěži nemění – ventilace pokrývá spotřebu. Při těžké práci v důsledku acidózy a hyperventilace klesá CO<sub>2</sub> v arteriální krvi.

# Adaptace na zátěž - srdce

- Zvyšuje se vliv parasympatiku na srdce, snižuje se vliv sympatiku
- Sportovní srdce – fyziologické zvětšení srdce
  - hypertrofie svaloviny (bez zvýšení počtu vláken) – hlavně u rychlostních a silových sportů
  - dilatace dutin (především levé komory) – u vytrvalostních sportů
- Sportovní bradykardie – snížení klidové frekvence pod 60/min
- Rezervy:
  - Chronotropní rezerva =  $HR_{max}/HR_{klid}$  (3 -5)
    - Netrenovaný: klid 80 bpm, max 180 bpm
    - Trenovaný: klid 40, max 180 bpm
  - Rezerva systolického objemu =  $SV_{max}/SV_{klid}$  (1,5)
    - Netrenovaný: klid 70 ml, max 100 ml
    - Trénovaný: klid 140 ml, max 190 ml
  - Srdeční rezerva =  $srdeční\ výdej_{max}/srdeční\ výdej_{klid}$ 
    - Netrenovaný (3): klid 5,6 l/min, max 18 l/min
    - Trénovaný (6): klid 5,6 l/min, max 35 l/min
  - Koronární rezerva: 3,5



# Žilní návrat a mechanismy žilního návratu

- žilní návrat je návrat krve do pravého srdce
- mechanismy:
  - žilní chlopně a svalová pumpa
  - podtlak v hrudníku při nádechu (a přetlak v břišní dutině)
  - sací síla systoly – systola komor změnil tvar pravé síně (vtáhnutí trojcípé chlopně do komory), síň zvětší svůj objem a nasaje krev
  - síla zezadu (vis a tergo): tlak, co zbyl z MAP

