

Fyziologické principy tréninku a zátěžové testy běžců

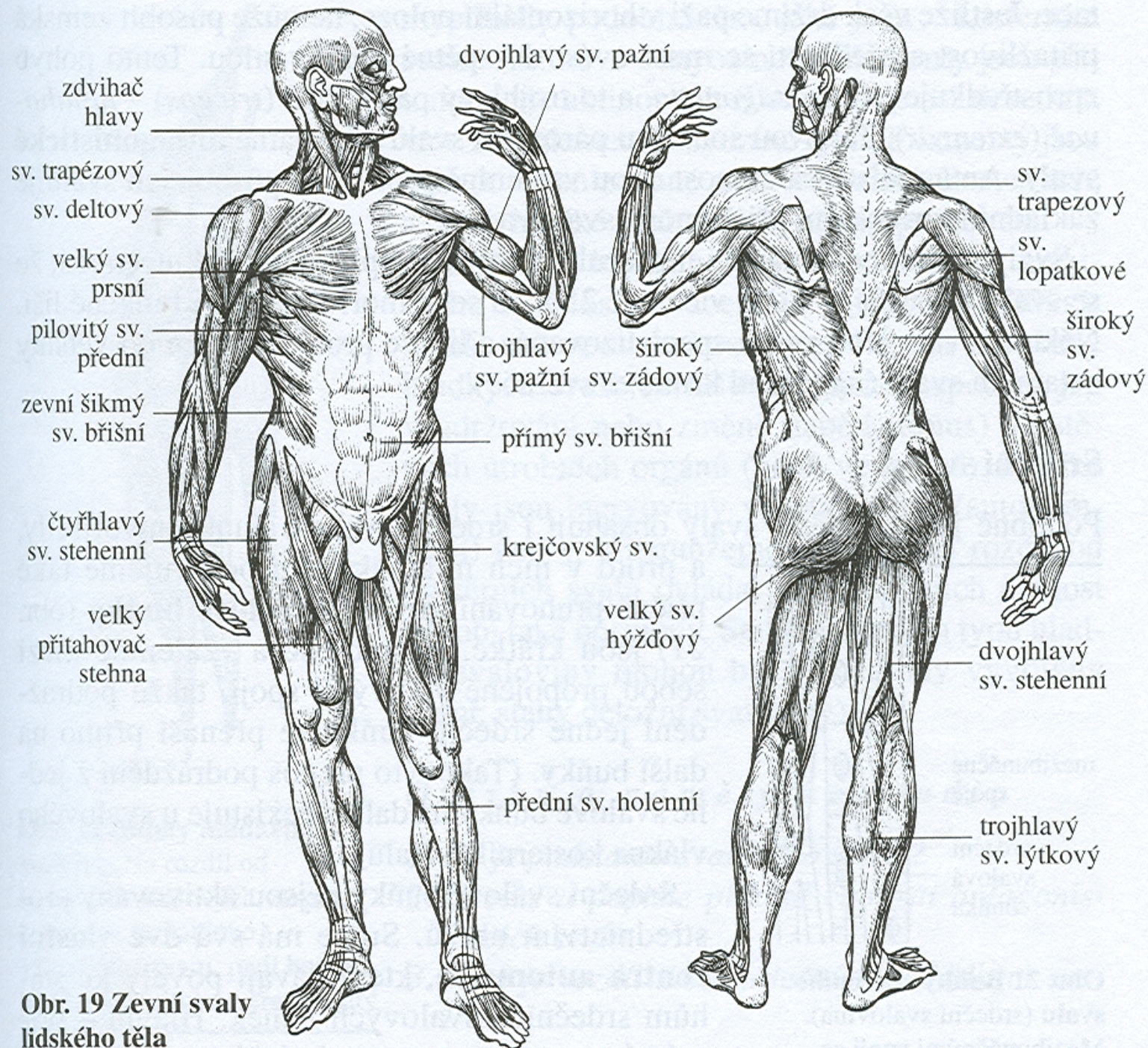
Jan Novotný

Fakulta sportovních studií MU

Brno, 2008

Fyziologické principy tréninku a zátěžové testy běžců

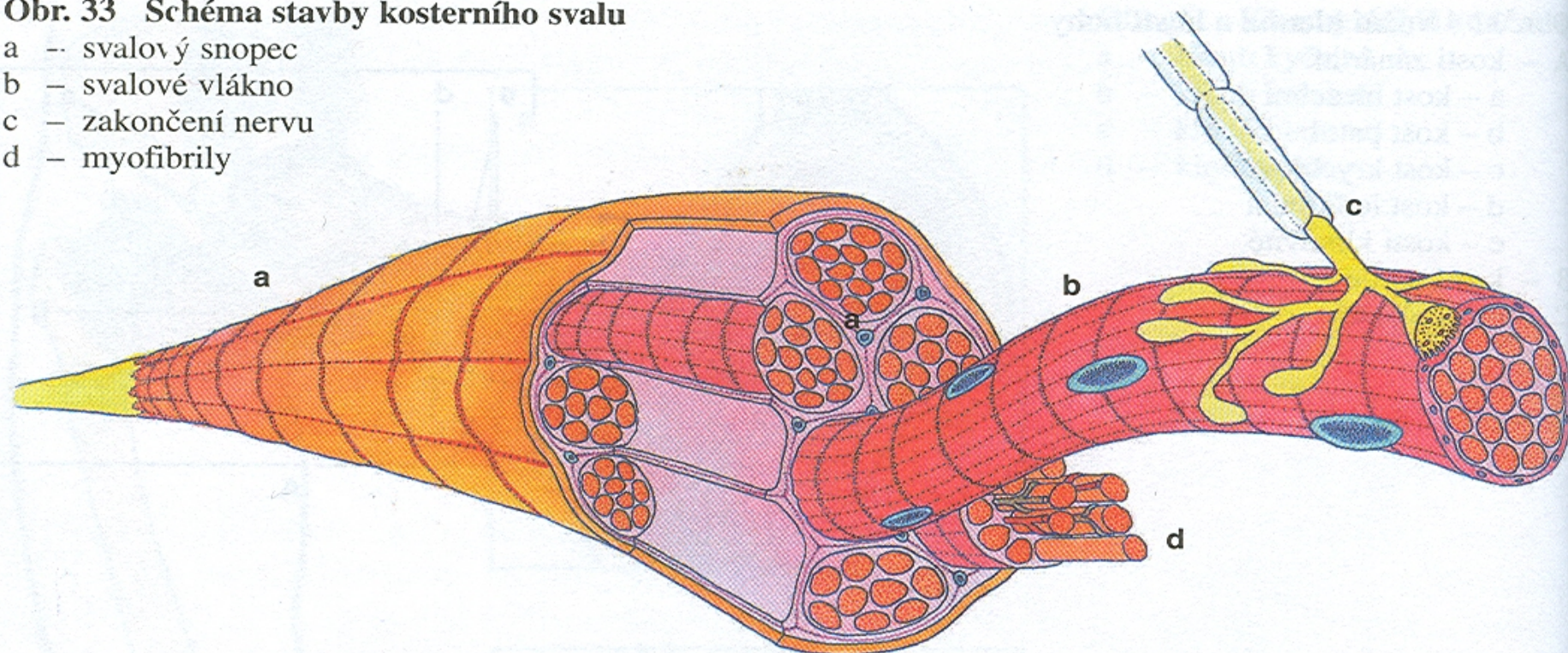
1. Energetický metabolismus
2. Trénink
3. Zátěžové testy
4. Další vyšetření pro řízení tréninku
5. Další prostředky zvyšující vytrvalostní
běžecký výkon



Obr. 19 Zevní svaly lidského těla

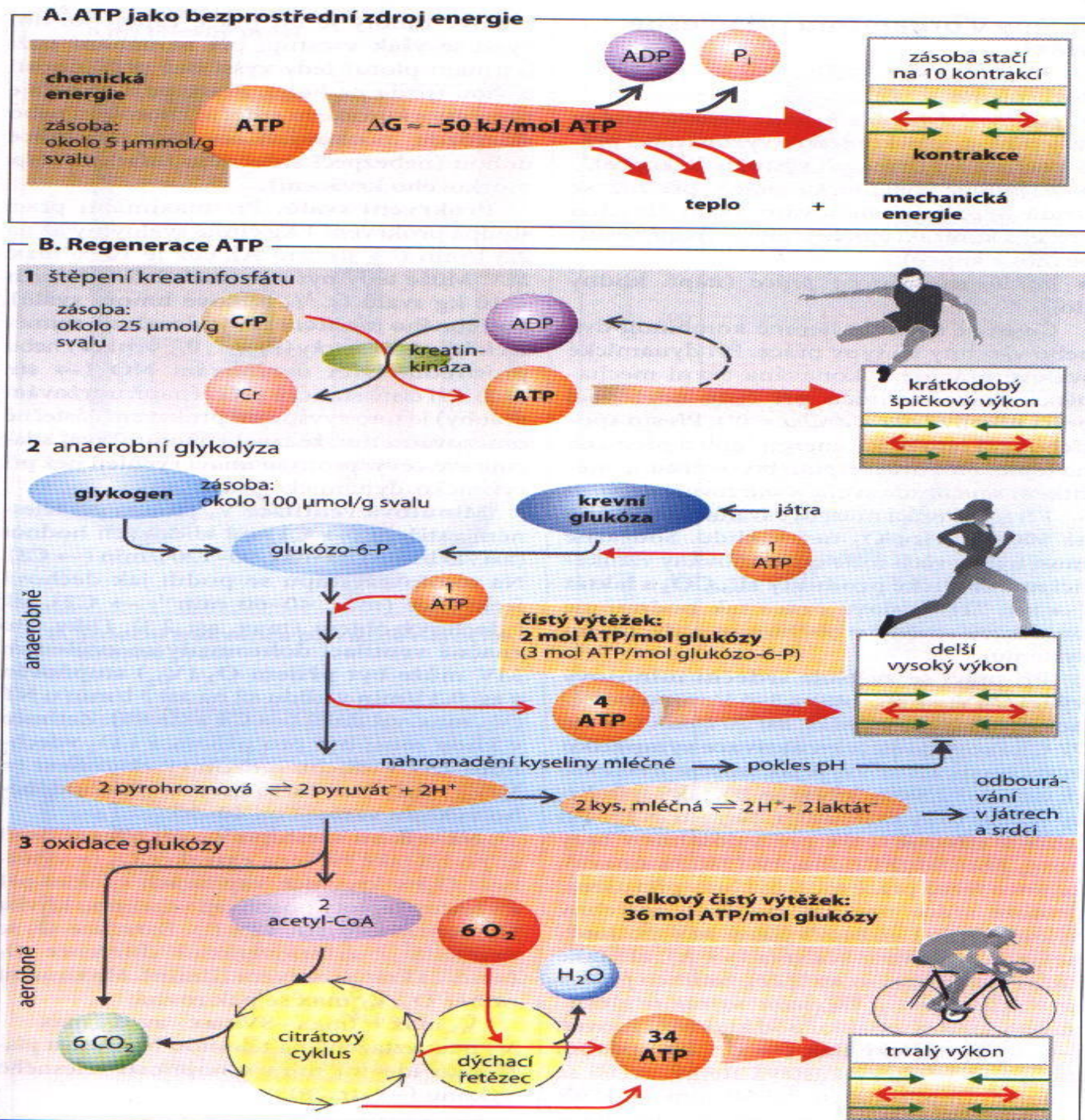
Obr. 33 Schéma stavby kosterního svalu

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

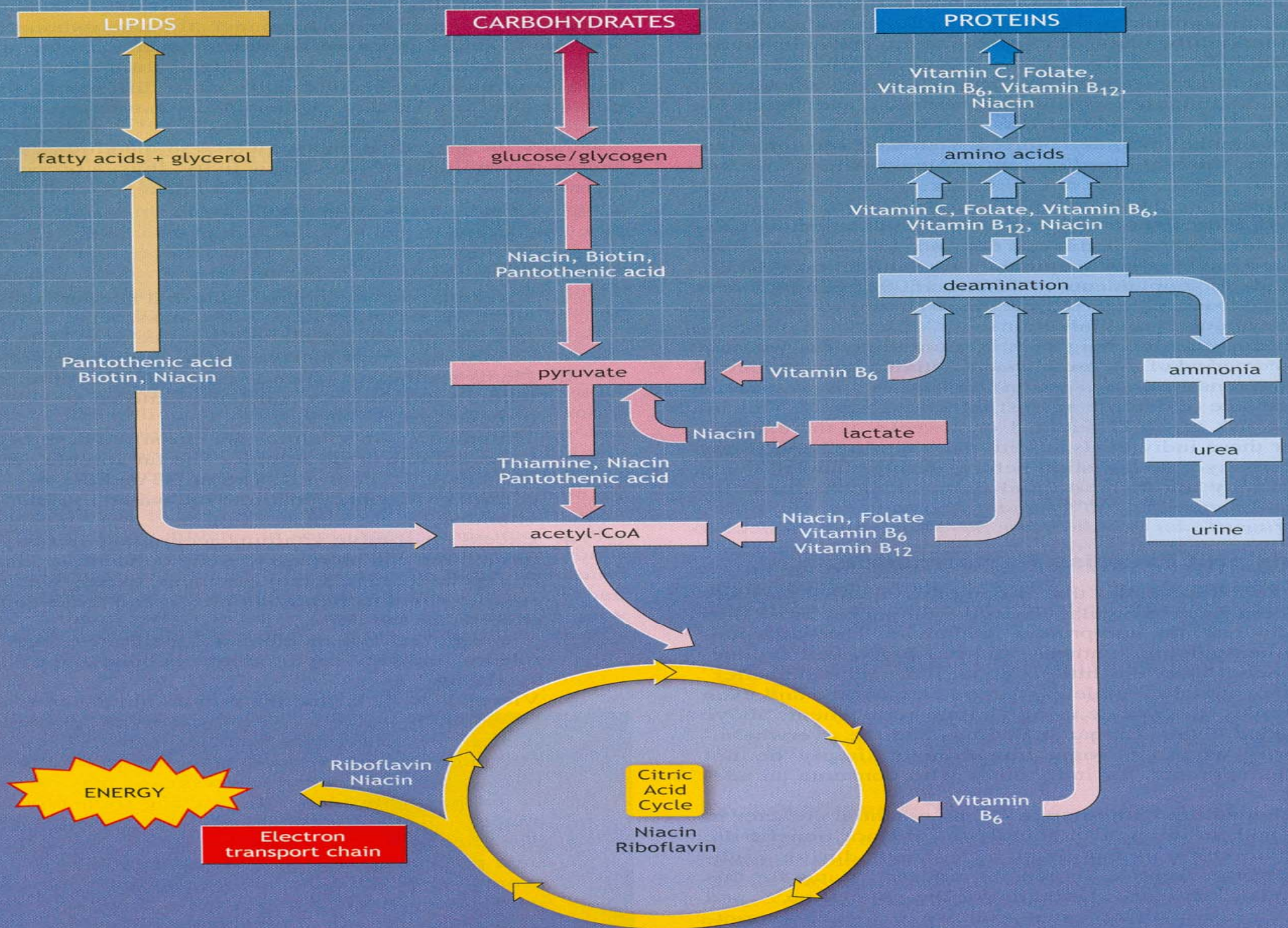


ENERGETICKÝ METABOLISMUS

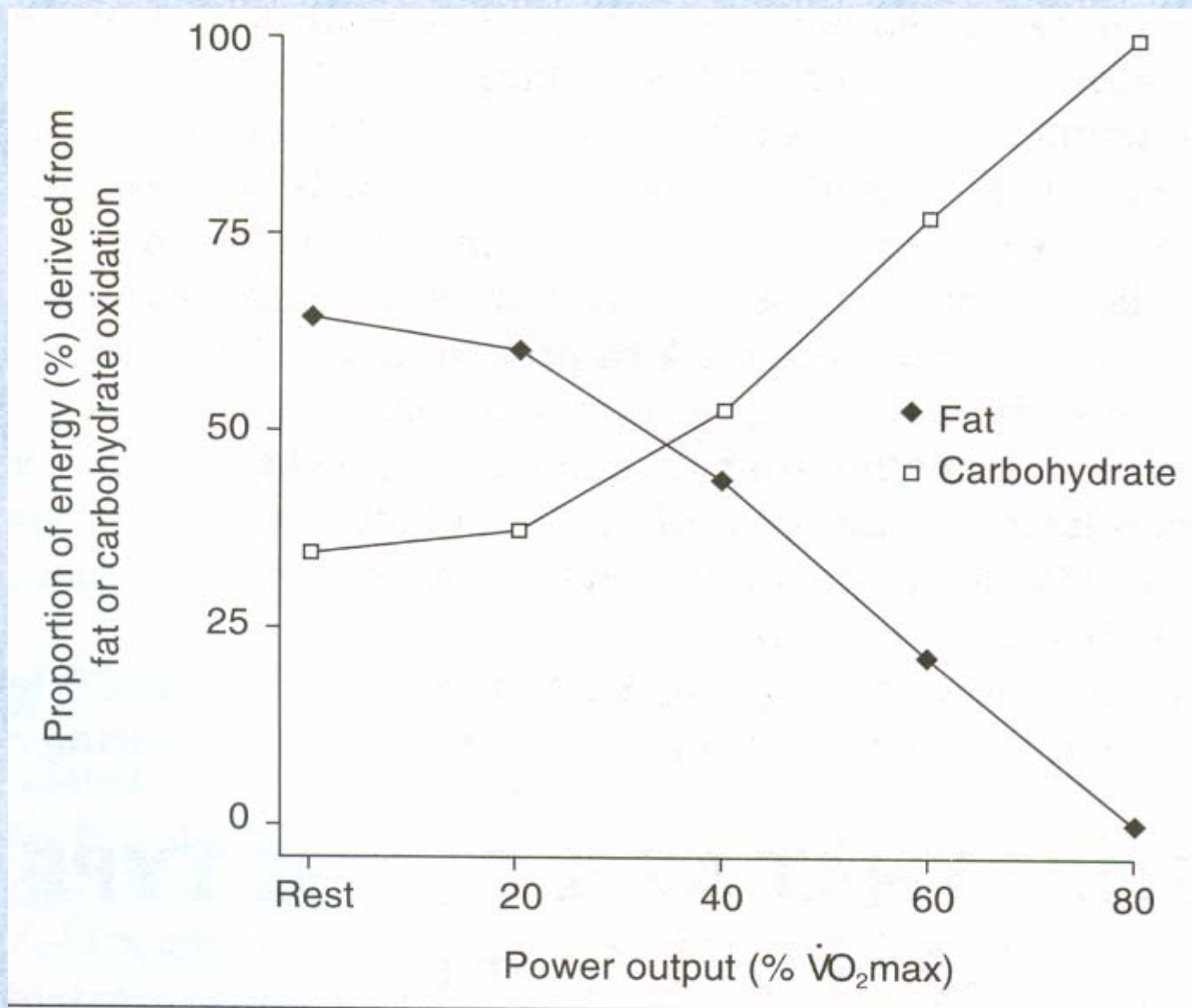
(Silbernagl, Despopoulos, 2004)



ENERGETICKÝ METABOLISMUS (McArdle, 2007)



Podíl tuků a cukrů jako zdrojů energie (Noakes, 2003)



Podíl energetických zdrojů při zátěži na 70% $\dot{V}O_2$ max (Powers, 2007)

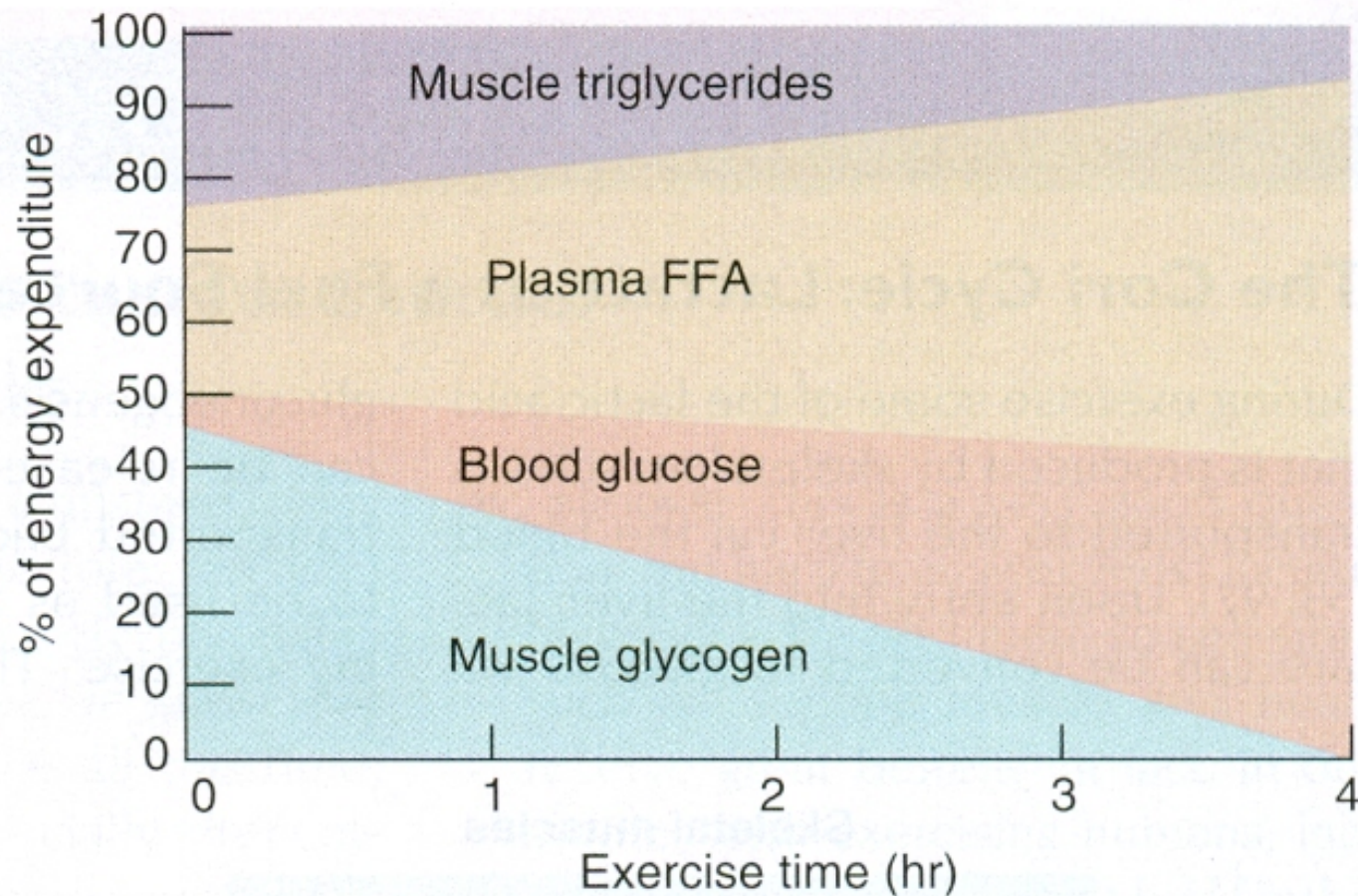
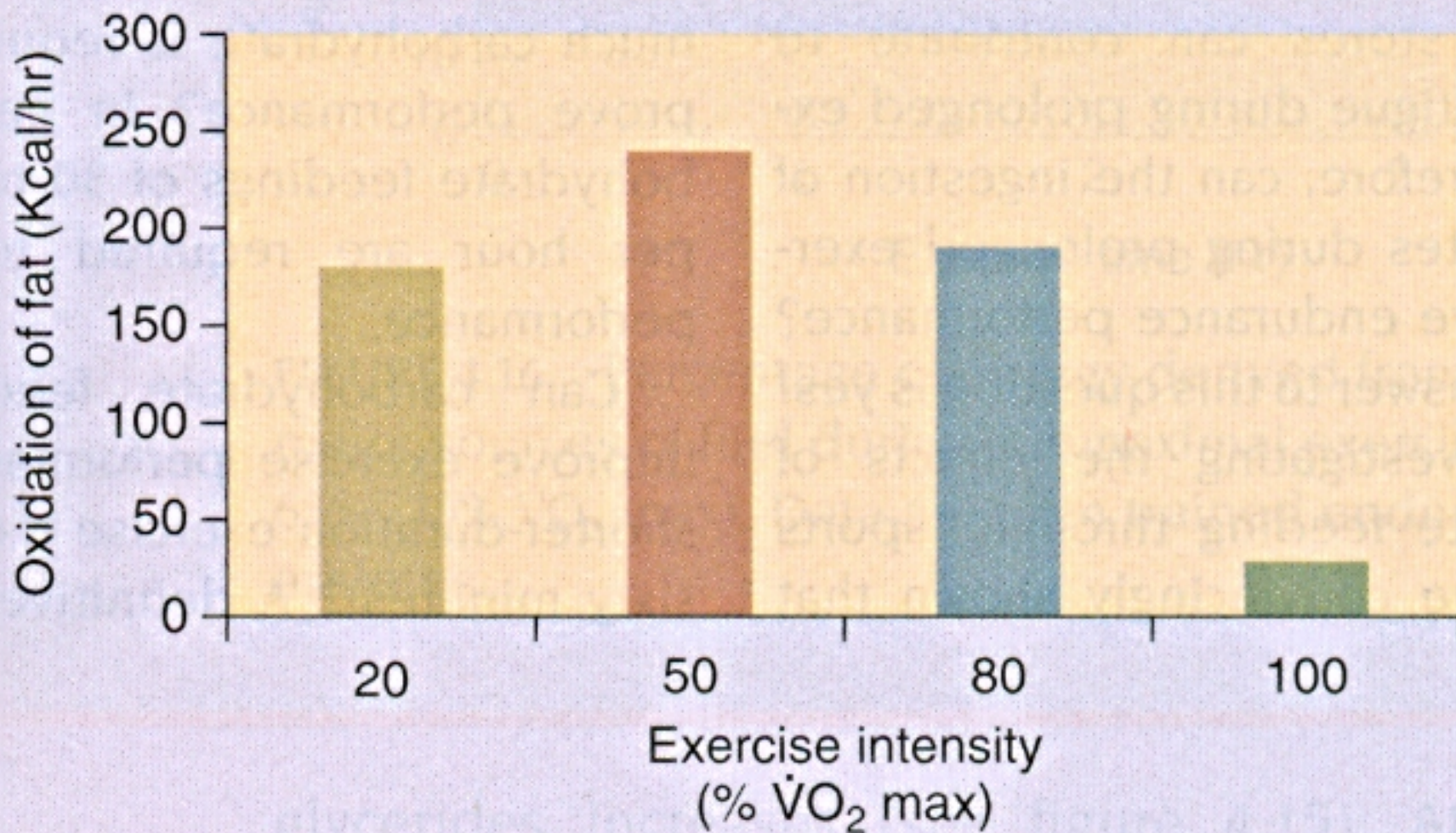


FIGURE 4.16 Percentage of energy derived from the four major sources of fuel during submaximal exercise (i.e., 65%–75% $\dot{V}O_2$ max). Data are from trained endurance athletes.

Podíl tuků jako zdrojů energie při zátěži různé intenzity

(Powers, 2007)



ENERGETICKÝ METABOLISMUS

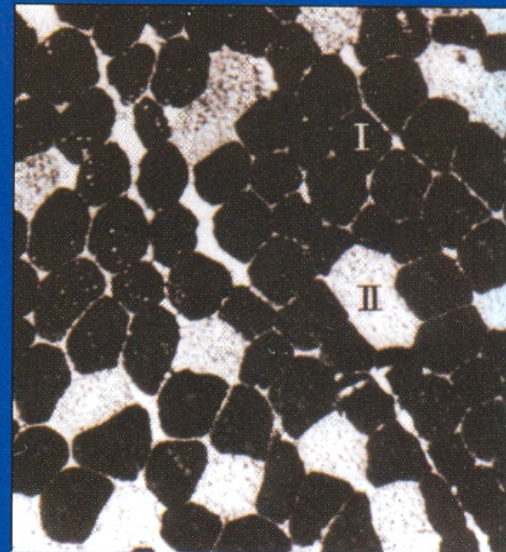
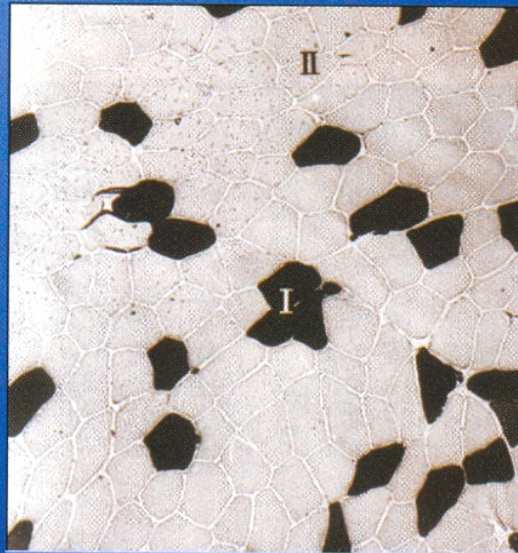
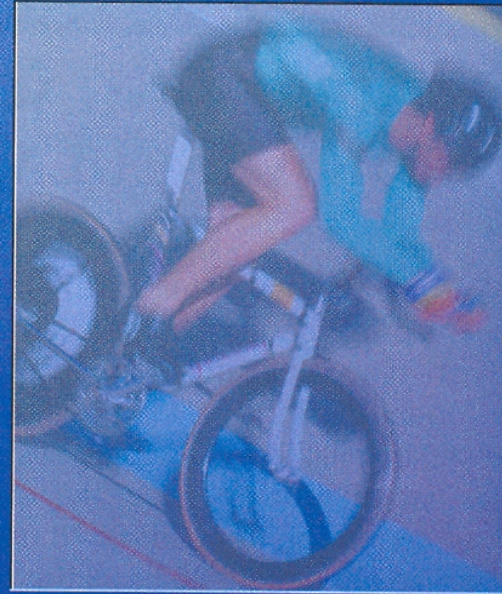
Energetický metabolismus různých typů svalových vláken

(McArdle, Katch, Katch, 2007, Powers & Howley 2007)

1. **Pomalá vlákna – I** – aerobní (oxidativní) lipolýza, glykolýza, laktátolýza.
 2. **Rychlá (přechodná) vlákna – IIa** – převážně aerobní i anaerobní glykolýza, částečně ATP-lyza (produkce Laktátu).
 3. **Rychlá vlákna – IIx(b)** – anaerobní glykolýza a ATP-lyza (produkce Laktátu).
- Ve všech kosterních svalech jsou všechny typy vláken, v různém poměru.
 - Podíl Proteinů při zisku energie je malý: 2% při 1h zátěži, 5-10% při 3h a delší zátěži.

Pomalá (typ I) a rychlá svalová vlákna (typ II)

(McArdle, 2007)



ENERGETICKÝ METABOLISMUS

Podíl typů vláken na složení svalů elitních atletů (%)		
<i>Disciplína</i>	I	IIa a IIx(b)
<i>Vytrvalostní běžci</i>	70-80	20-30
<i>Sprinteři</i>	25-30	70-75
<i>Nesportovci</i>	47-53	47-53

ENERGETICKÝ METABOLISMUS

Adaptace svalových vláken na tréninkové zatížení

(Powers & Howley 2007)

- Silový trénink → **hypertrofie** vláken.
- Vytrvalostní trénink → **zvýšení enzymatické oxidativní kapacity** vláken.
- Vytrvalostní i odporový trénink → **snížení poměru vláken Rychlá / Pomalá**.
 - Odporový trénink → mírné snížení poměru vláken IIx / IIa.
 - Vytrvalostní trénink → zvýšení podílu vláken I / IIx (Postupná přeměna: IIx → IIa → I).

Změny podílu různých typů svalových vláken po vytrvalostním tréninku

(Powers, 2007)

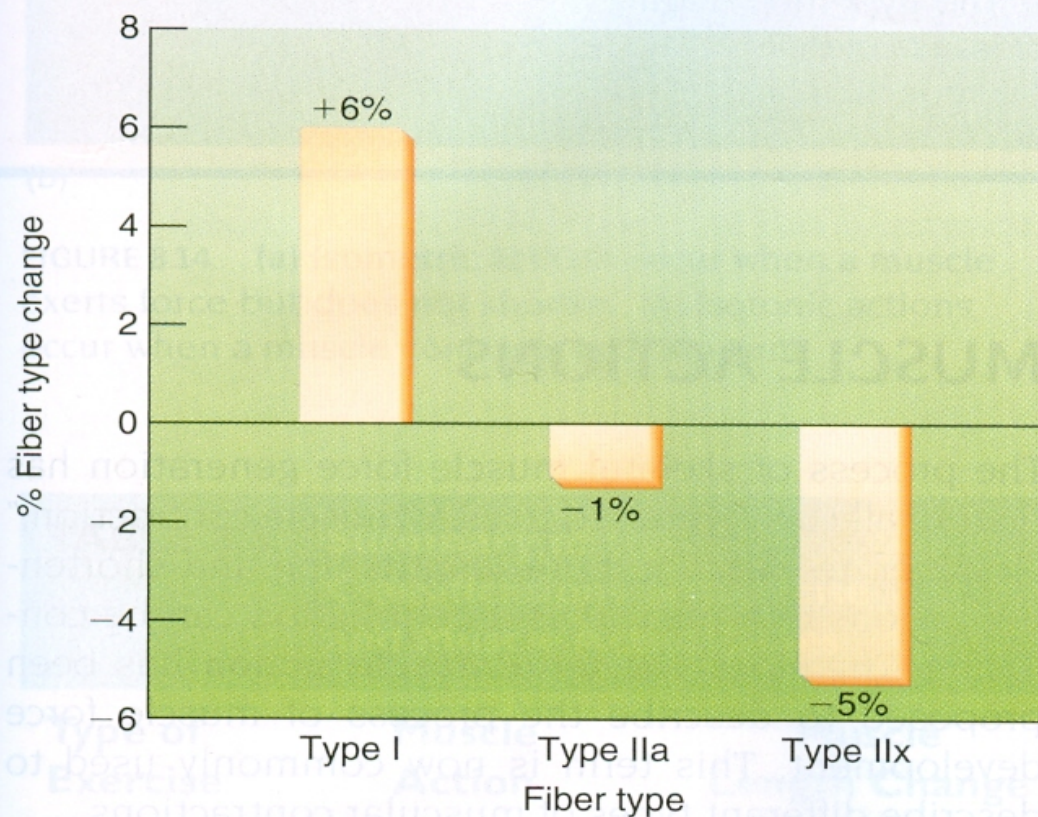


FIGURE 8.13 Effects of 16 weeks of endurance exercise training (i.e., 3–4 days/week at 50–60% $\dot{V}O_2$ max) on human skeletal muscle fiber types. Note that exercise training promoted a significant fast-to-slow shift in muscle fiber type resulting in a net reduction in the percent of fast type IIx fibers and an increase in the percent of slow, type I fibers. Data are from Short et al. (90).

ENERGETICKÝ METABOLISMUS

Laktát

Laktacidémie ← vstup La do krve (produkce) – odsun La z krve (odbourání)

Při intenzitách nad ANP se

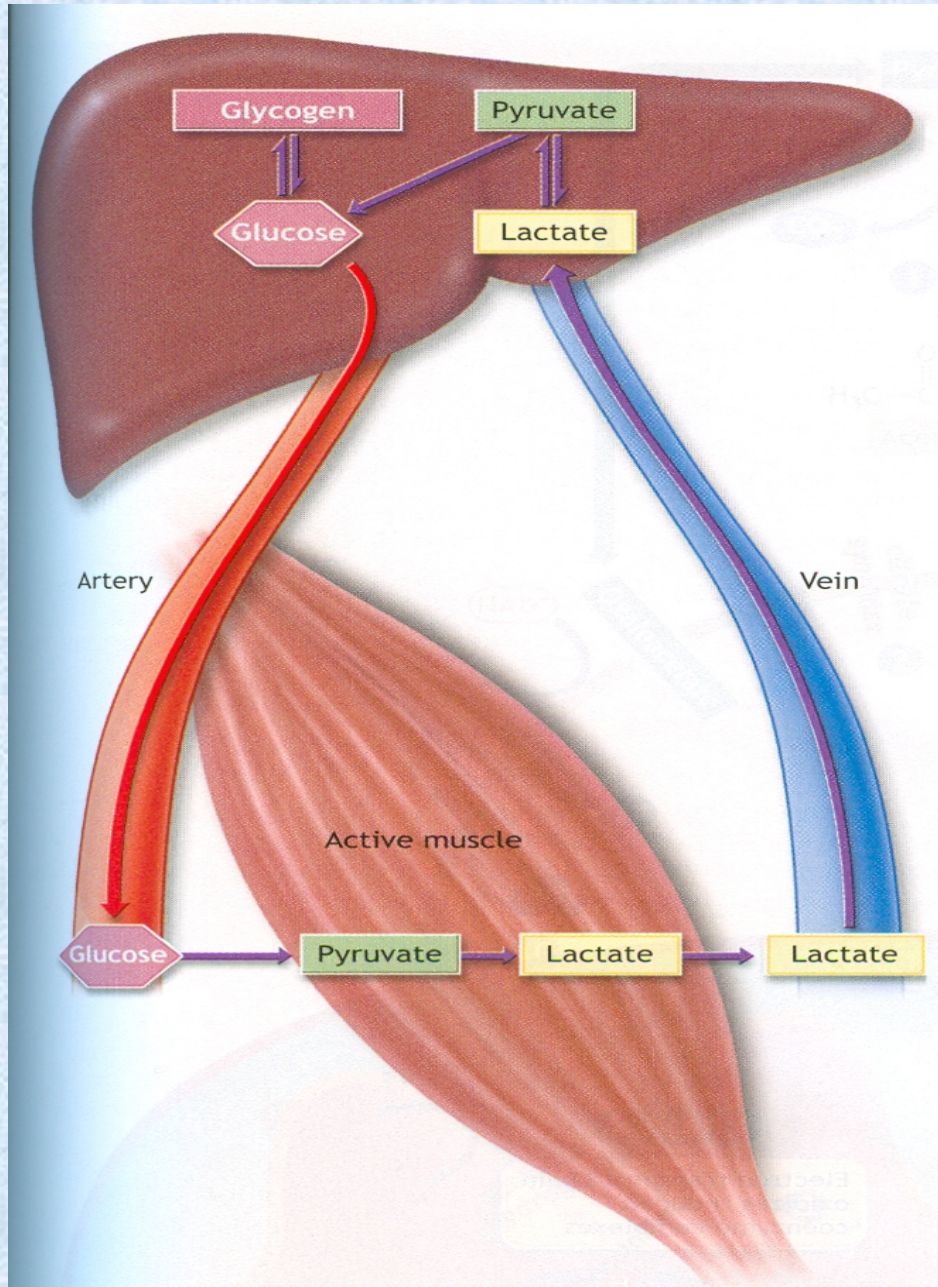
- zvyšuje podíl anaerobně získávané energie (ve svalech s nedostatkem O_2),
- nestačí přenášet H^+ do mitochondrií a je využit pro přeměnu Pyruvátu na Laktát,
- zvyšuje aktivita enzymu přeměny Pyruvátu na Laktát (LDH-izoenzym) – více v rychlých vláknech.
- je potřeba větší síly a zapojuje se více anaerobních vláken → **zvyšuje se produkce Laktátu**

ENERGETICKÝ METABOLISMUS

Laktát

- ***Konverze Pyruvát → Laktát je reverzibilní!***
- ***Konverzi Laktát → Pyruvát*** katalyzuje jiná forma Laktátdehydrogenázy (LDH) – více v pomalých vláknech (také v srdci, bránici a mozku).
- ***Pyruvát konvertuje na Acetyl-Coenzym A a ten je oxidativně zpracován v Krebsově cyklu.***

ENERGETICKÝ METABOLISMUS



Laktát je

(Noakes 2003, McArdle, 2007)

- využíván jako zdroj energie v pracujících kosterních svalech (oxidativní vlákna typu I)
- v myokardu a bránici
- v játrech konvertován na Glukózu, která se prostřednictvím krev. oběhu dostává opět k pracujícím svalům,

TRÉNINK

Vymezení tréninkových pásem – zón

- *podle srdeční frekvence (HR)*
- *podle aerobního a anaerobního prahu (AP, ANP, ...)*
- *podle % VO_2max*

Ukazatele intenzity zatížení organismu (McArdle, 2007)

RPE Scale		Equivalent % HR _{max}	Equivalent % $\dot{V}O_{2max}$
6	Very, very light	52-66	31-50
7			
8			
9	Very light	61-85	51-75
10			
11	Fairly light	86-91	76-85
12			
13	Somewhat hard	92	85
14			
15	Hard		
16	Very hard		
17			
18	Very, very hard		
19			

Figure 21.19 The Borg scale (and accompanying estimates of relative exercise intensity) for obtaining the RPE during exercise. (Modified from Borg GA. Psychological basis of physical exertion. Med Sci Sports Exerc 1982;14:377.)

TRÉNINK

Vymezení 4 vytrvalostních pásem

které lze vypočítat z maximální srdeční frekvence a ověřit měřením La, event. spiroergometrií se stupňovanou zátěží

(Australian Sports Commission, 2004)

- **E1 < 75 %HRmax** (zotavení – lehká zátěž), je určité pod „prvním“ prahem.
- **E2 75-85 %HRmax** (extenzivní aerobní – ještě pohodová zátěž), tj. kolem „laktátového“ prahu 2-2,2-2,5 mmol/l (LT); to zřejmě odpovídá „prvnímu“ neboli „nižšímu“ laktátovému prahu neboli „aerobnímu“ prahu.
- **E3 85-92 %HRmax** (intenzivní aerobní – již nepohodová zátěž), tj. kolem „anaerobního“ prahu (AT) – buď 4 mmol/l, ale lépe individuálně stanovený, kdy již přestává být udržitelný rovnovážný stav (někde mezi 2,5 a 5 mmol/l); to asi odpovídá „druhému“ neboli „vyššímu“ laktátového nebo snad i ventilačně-respiračnímu prahu (VT atd.).
- **E4 > 92 %HRmax** (aerobně-anaerobní – těžká zátěž), je určité na „druhým“ prahem.

TRÉNINK

Stanovení zón tréninkové intenzity

(Sharkey BJ a Gaskill SE, 2006)

EASY TRAINING ZONE (EZ)

Zóna lehkého tréninku

RPE 8-11

1. laktátový práh (LT1: 2 mmol/l) = Aerobní práh. Definice: Laktát, srdeční frekvence a pocit zátěže nebo rychlost pohybu může být jako v závodě. Definuje dlouhodobou vytrvalostní kapacitu (vytrvalostní výkony nad 3 hodiny). Odpovídá přibližně RPE 12.

NON-TRAINING ZONE (NZ)

Zóna beztréninková

RPE 13-15

2. laktátový práh (LT: 4 mmol/l) = Anaerobní práh. Je spojen s výkony od 30 minut do 2 hodin = Výkonnostní práh (PT). Odpovídá přibližně RPE 15.

PERFORMANCE TRAINING ZONE (PZ)

Zóna závodní intenzity - pro intervalový trénink

Závody pod 2 h jsou blízko LT2, trénink maratónu smí být právě pod LT2, kratší závody jsou nad LT2.

RPE 16-18

MAXIMAL ZONE (MZ)

Zóna nejvyšší intenzity

RPE 19-20

TRÉNINK

Stanovení tří zón tréninkové intenzity

(Seiler KS a Kjerland GO, 2006).

LOW LACTATE ZONE

Zóna s nízkou koncentrací laktátu

1. ventilační práh (VT1) = intenzita při zvýšení VE/VO_2 odpovídající zlomu linearity VE , ale bez zvýšení VE/VCO_2 .

- odpovídá LT1 (Aerobní práh) – okamžik prvního lehkého zvýšení laktátu na klidovou hodnotu

LACTATE ACCOMMODATION ZONE

Zóna aerobně-anaerobního přechodu (přechodná zóna)

Zóna s mírně zvýšenou (neklidovou) koncentrací laktátu, ale ještě v rovnovážném stavu, kdy jeho metabolizace je vyrovnaná s jeho produkcí

2. ventilační práh (VT2) = Intenzita při začátku nárůstu VE/VCO_2

- odpovídá LT2 (Anaerobní práh)

LACTATE ACCUMULATION ZONE

Zóna s prudce se zvyšující koncentrací laktátu a blíží se únavou svalů

TRÉNINK

Tréninkové principy

(McArdle, Katch, Katch, 2007)

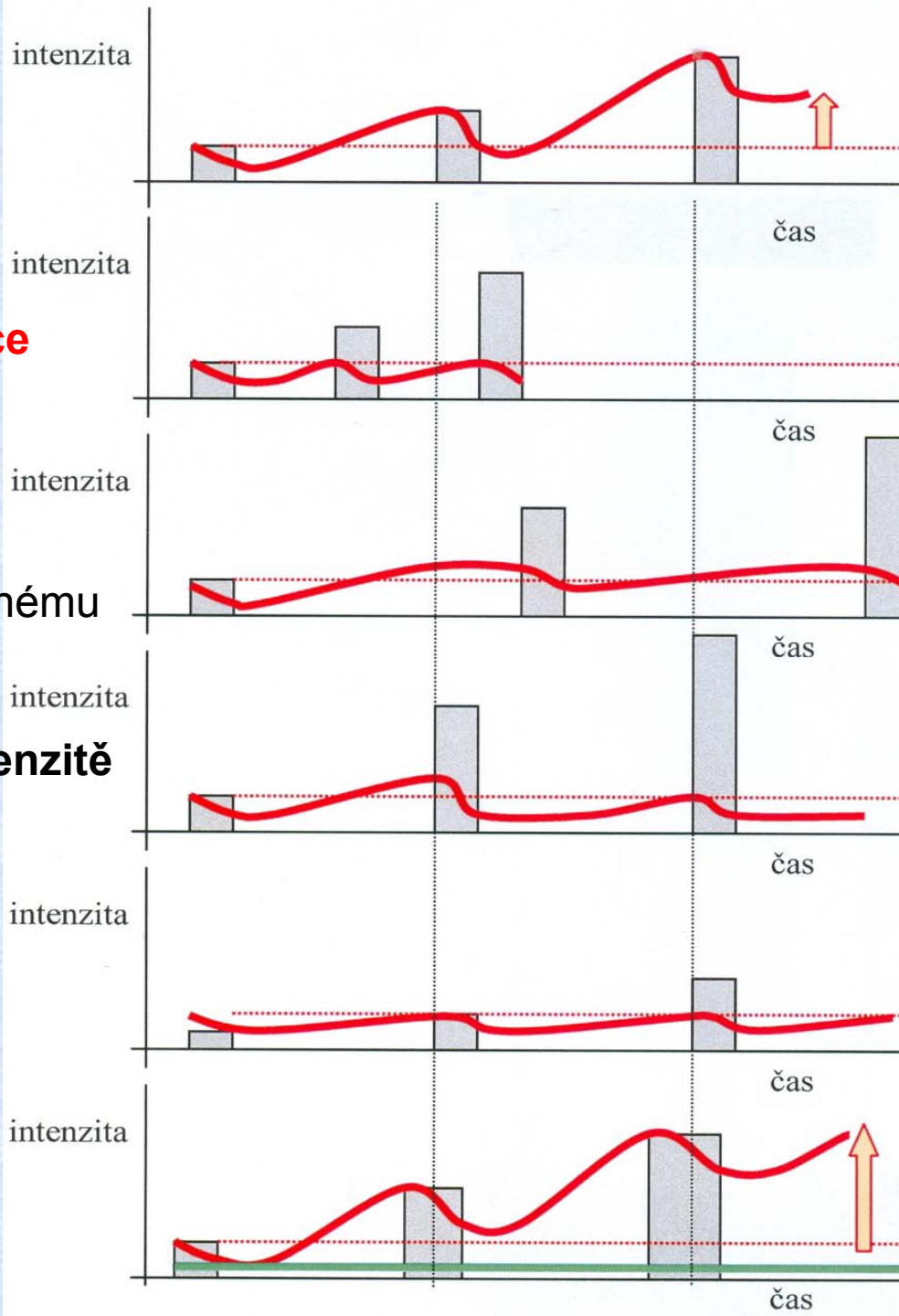
- **Princip dostatečného zatížení** (overload) – pravidelný soustavný stimul vedoucí k žádoucí odpovědi organismu – frekvence, intenzita, trvání
- **Princip specificity** – adaptace určitých metabolických a fyziologických funkcí, kterou lze dosáhnout specifickou stimulací - cvičením
- **Princip individuálních odlišností** – modifikace tréninku podle individuálního stavu fyziologických funkcí (např. úrovně adaptace, způsobu reakce)
- **Princip reverzibility** – tréninková adaptace je přechodná
 - Bez tréninku dochází k ztrátě tréninkové adaptace – k **detréninku** (o 25%VO₂max za 20 dnů; 1%/den)
- ❖ Včas řešit **přetížení** (overreaching) – dny až 1-2 týdny odpočinku, aby nedošlo k dlouhodobému **přetrénování** (overtraining syndrom).

TRÉNINK:

princip
superkompenzace
energetického
potenciálu

a jeho vztah k různému

načasování a intenzitě
zátěže



optimální dávka a
načasování zátěže

vyšší frekvence
(kratší odpočinek)

nižší frekvence
(delší odpočinek)

vyšší intenzita

nižší intenzita

přiměřeně vyšší
frekvence a intenzita
při účinnější
regeneraci

TRÉNINK

Cíl tréninku

(Powers & Howley 2007)

❖ Zlepšit kapacitu energetických systémů

- ❑ **Aerobní** (oxidativní fosforylace): Aerobní využití
 - Glukózy (Karbohydráty)
 - Kyseliny mléčné, Lipidů (Volné mastné kyseliny a Triacylglycerol)
 - Proteinů (Aminokyselin)
- ❑ **Glykolýza**: Anaerobní využití Glukózy
- ❑ **ATP-PC**: Anaerobní využití Adenosintrifosfátu a Kreatinfosfátu

Podíl energetických systémů na max. výkonech různého trvání (McArdle, 2007)

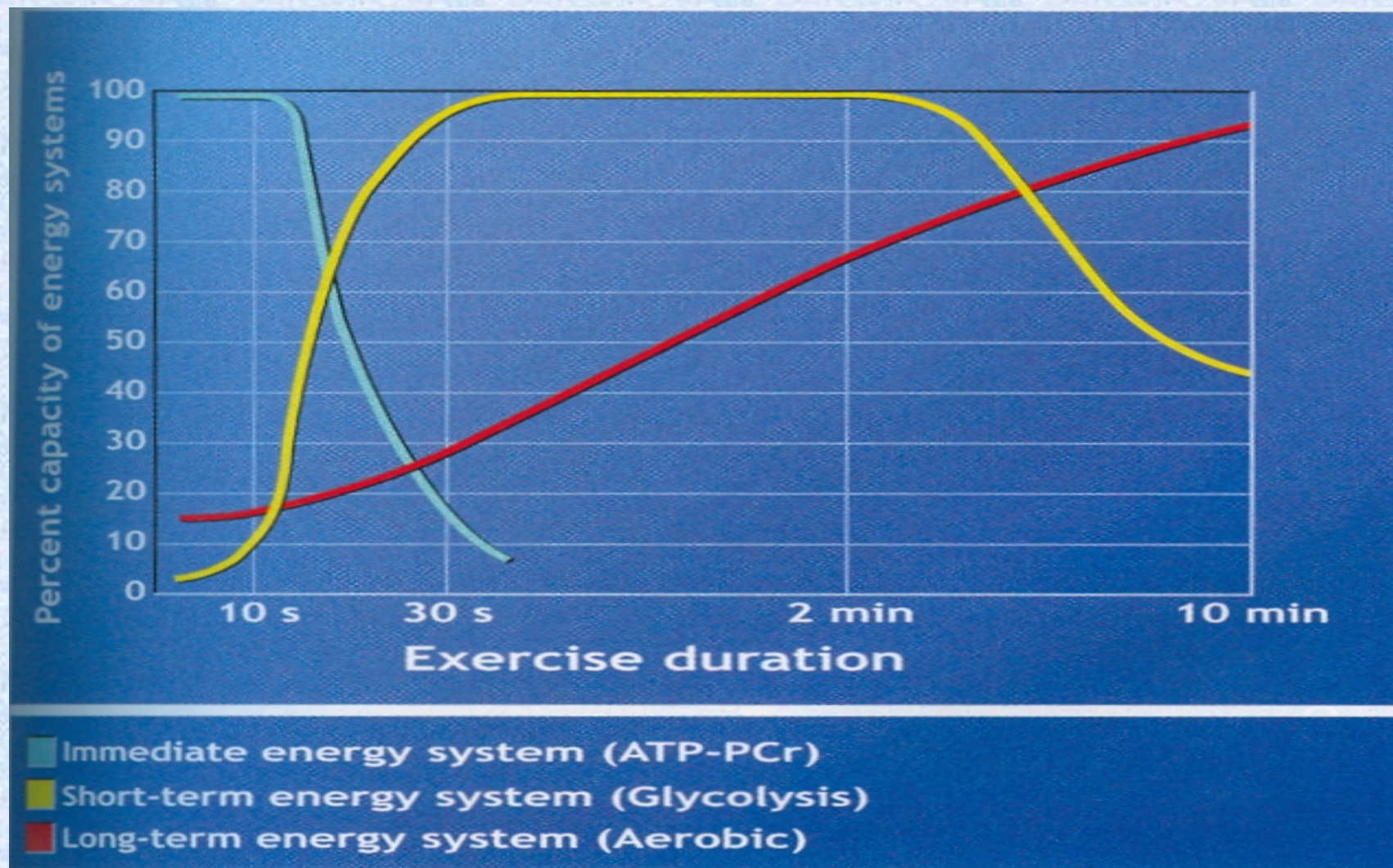


Figure 11.2 Three systems of energy transfer and percentage use of their total capacity during all-out exercise of different durations.

TRÉNINK

Podíl energetických systémů (%)

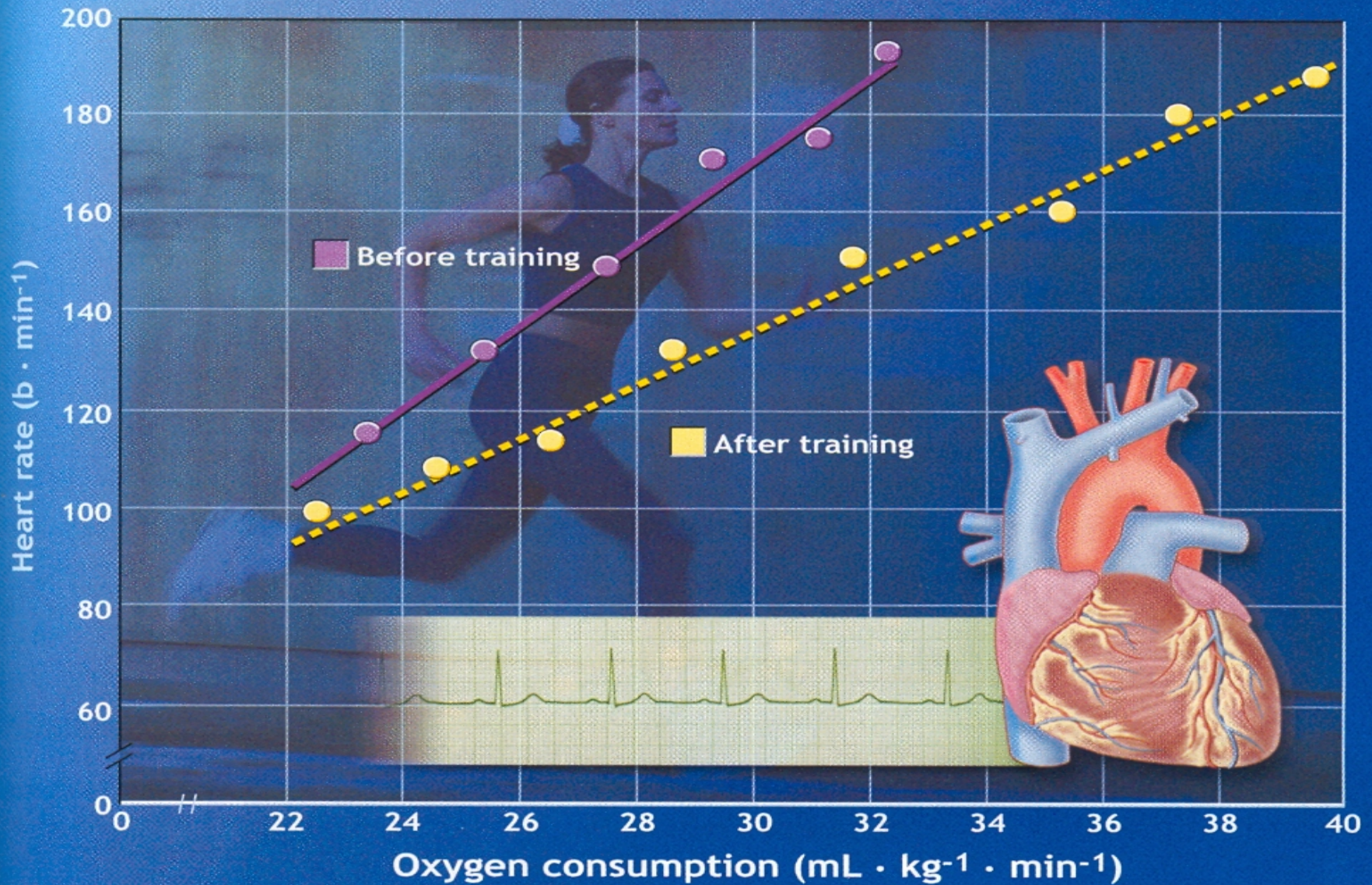
(Fox & Mathews 1974)

	<i>ATP-PC</i>	<i>Glykolýza</i>	<i>Aerobní</i>
<i>100/200 m</i>	98	2	-
<i>400 m</i>	40	55	5
<i>800 m</i>	10	60	30
<i>1500 m</i>	5	35	60
<i>5000 m</i>	2	28	70
<i>Maraton</i>	-	2	98

TRÉNINK

- ❑ Trénink vedoucí ke zlepšení aerobní schopnosti (VO₂max, posun ANP)
 - Intervalový trénink (více účinný)
 - Vysoká intenzita - kontinuální zátěž (více účinný)
 - Nízká intenzita – dlouhodobá zátěž s pomalejším pohybem (méně účinný)
- ❖ Genetická dispozice VO₂max: 40-66%. Intenzivní trénink může u netrénovaného zvýšit VO₂max o 40%.
- ❑ Trénink vedoucí ke zlepšení anaerobní schopnosti
 - ATP-CP systému
 - Glykolytického systému
- ❑ Trénink ke zlepšení svalové síly
 - Progresivní odporový trénink...
- ❑ Trénink ke zlepšení ohebnosti (flexibility)
- ❑ Doladění před závodem (Tapering)
- ❑ Detrénink, Retrénink

Změna srdeční frekvence po vytrvalostním tréninku (McArdle, 2007)



TRÉNINK

Aerobní trénink intervalový

(McArdle, Katch, Katch, 2007, Powers & Howley 2007)

- Opakování **pracovních zátěží** (rychlý běh) a lehkých **odpočinkových zátěží** (chůze).
- **Výhoda** proti kontinuálnímu tréninku: Více vysokointenzivní zátěže v krátkém čase.

Stanovení intervalového tréninku:

- **Intenzita** pracovního intervalu: 80-100%HRmax
- **Časy** pracovních intervalů: Alespoň 60-90-120 sec (ke zlepšení aerobní kapacity).
- **Intenzita a časy** odpočinkových intervalů:
 - Velmi nízká intenzita (klus - chůze)
 - Čas delší než čas pracovního intervalu (pokles HR na 120/min ke konci odpočinkového intervalu).
- **Poměr časů** pracovních a odpočinkových intervalů: Postupně od 1:3 (u méně trénovaných) přes 1:2 až 1:1 (u více trénovaných)
- **Počet intervalů** v 1 sérii – podle adaptace - schopností a reakce.
- **Počet sérií** v 1 intervalovém tréninku – podle stavu sportovce.

<i>Délka úseku</i>	<i>Časy pracovních intervalů běžeckého tréninku</i>
800 m	o 3-4 sec pomaleji než je průměr na 400 m z běhu na 1600 m

(Fox & Mathews 1974)

Pokles laktátu v zotavení při pasívním odpočinku a s lehkou zátěží

(Powers, 2007)

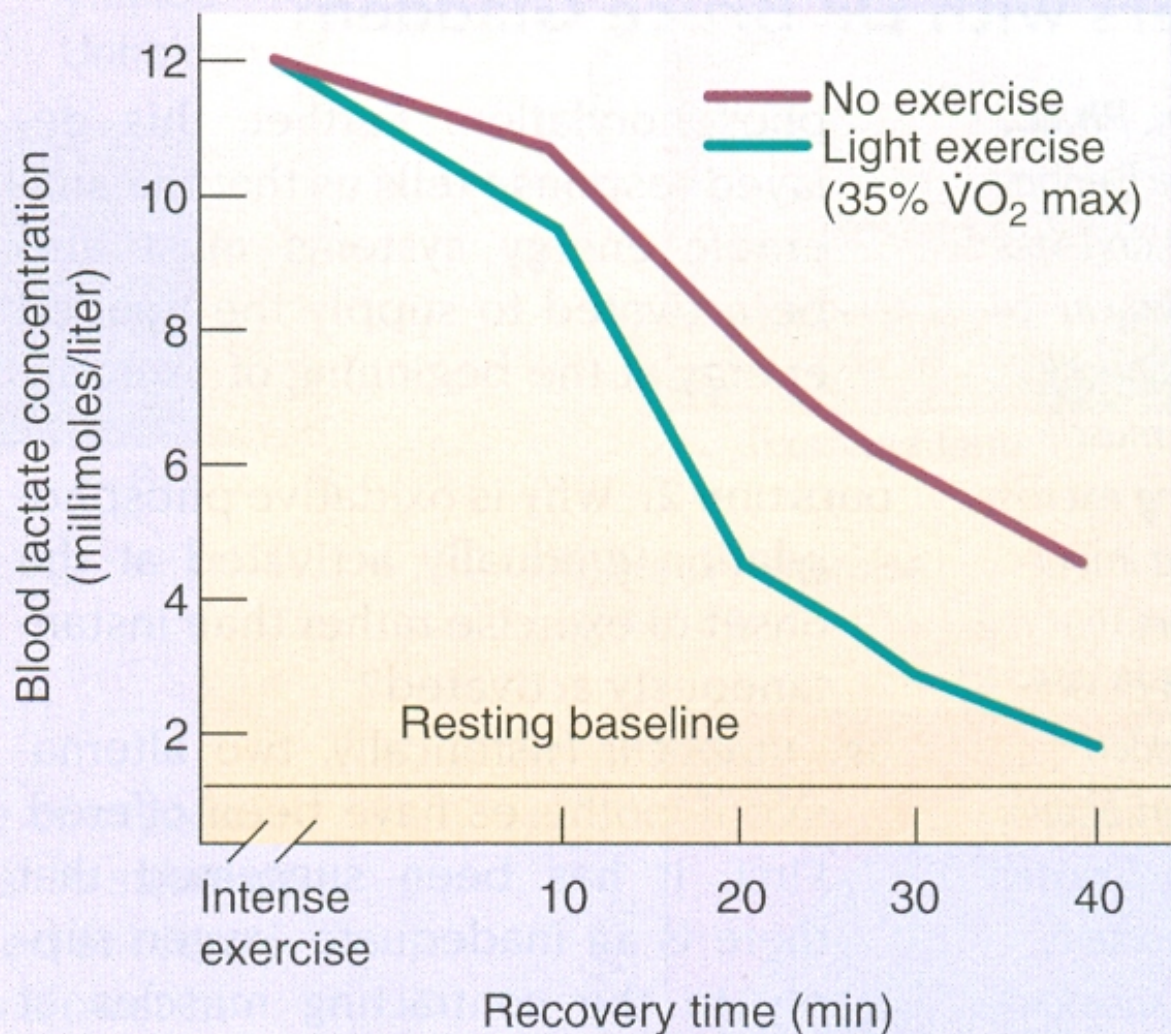


FIGURE 4.4 Blood lactate removal following strenuous exercise. Note that lactic acid can be removed more rapidly from the blood during recovery if the subject engages in continuous light exercise.

TRÉNINK

Aerobní trénink s kontinuální zátěží s vysokou intenzitou

(McArdle, Katch, Katch, 2007, Powers & Howley 2007)

Intenzita:

- 80-90% VO_{2max} , Na úrovni nebo těsně nad úrovní „Laktátového prahu“ - (2.)LT, (2.)VT.
- 90% HR_{max} , 95% HRR (100%: $HR_{max}-HR_{rest}$)

Čas trvání:

- 25-50 min (dle úrovně zdatnosti sportovce).

TRÉNINK

Aerobní trénink s kontinuální zátěží s nízkou intenzitou

- dlouhodobý s pomalejším pohybem na delší vzdálenost (LSD)

(McArdle, Katch, Katch, 2007, Powers & Howley 2007)

- Je méně efektivní na zvýšení VO₂max než krátkodobá vysokointenzivní zátěž (viz dále).
- **Intenzita:** 60-80% VO₂max, 70% HRmax (kolem LT1?, AEP?)
- **Trvání:** nad 60 min (1,5 h denně má stejný efekt jako 3 h denně)

TRÉNINK

Aerobní trénink – Fartlek (švédsky – hra s rychlostí)

(McArdle, Katch, Katch, 2007)

- ***Střídání vyšší a nižší rychlosti a intenzity v kopcovitém terénu v přírodě.***
- Řídí se pocitem. Není přesně nastavena intenzita, trvání různých intervalů.
- Spíše jako příjemná změna při jinak nezáživném přesně plánovaném tréninku. Součástí prevence přetrénování.
- Spíše využíván rekreačními běžci.

TRÉNINK

Trénink ke zlepšení Glykolytického systému (anaerobní)

(McArdle, Katch, Katch, 2007, Powers & Howley 2007)

- ***Intervalový trénink s opakovanými vysokointenzivními zátěžemi.***
- Po tréninku je potřeba doplnit vyčerpané zásoby glykogenu (nápoj, strava, lehčí trénink).
- ***Čas pracovního intervalu:*** 20-60 sec.
- ***Čas odpočinkového intervalu:*** 3-5 min.

<i>Délka úseku</i>	<i>Časy pracovních intervalů běžeckého tréninku</i>
400 m	o 1-4 sec rychleji než je průměr na 400 m z běhu na 1600 m

(Fox & Mathews 1974)

TRÉNINK

Trénink ke zlepšení ATP-CP systému (anaerobní)

(McArdle, Katch, Katch, 2007, Powers & Howley 2007)

- **Intervalový trénink s opakovanými krátkými maximálně intenzivními zátěžemi.**
- (nízká produkce La – rychlá regenerace)
- Zatížit svaly, které se používají i v soutěži.
- **Čas pracovního intervalu: 5-10 sec**
- **Čas odpočinkového intervalu: 30-60 sec (dle zdatnosti atleta).**
- **Počet intervalů a opakování dle zdatnosti atleta.**

<i>Délky úseků</i>	<i>Časy pracovních intervalů běžeckého tréninku</i>
200 m	o 5 sec pomaleji než je nejlepší výkon
100 m	o 3 sec pomaleji než nejlepší výkon
50 m	o 1,5 sec pomaleji než je nejlepší výkon

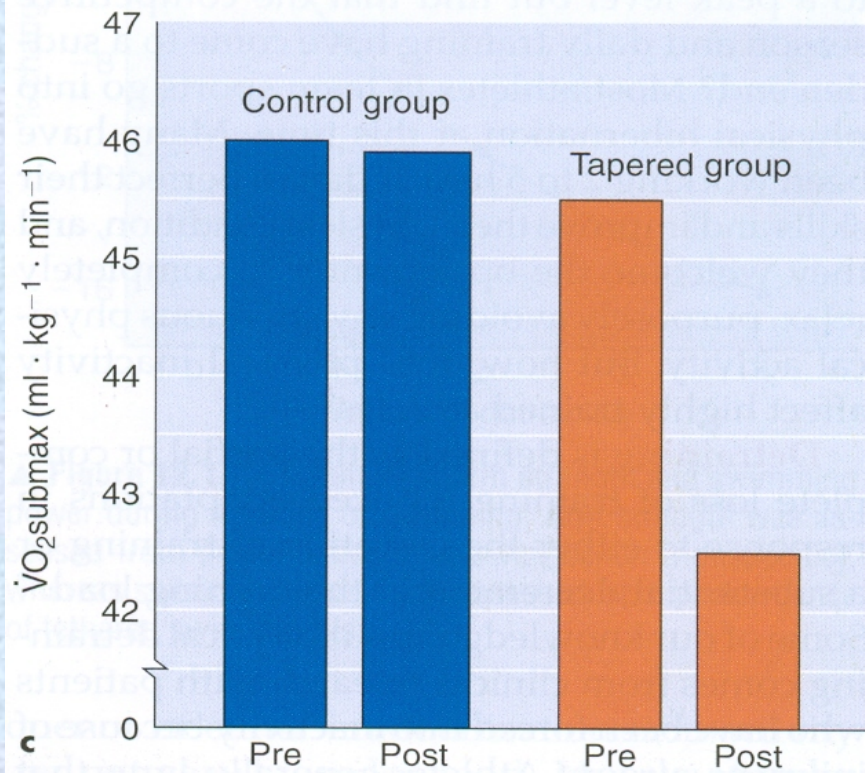
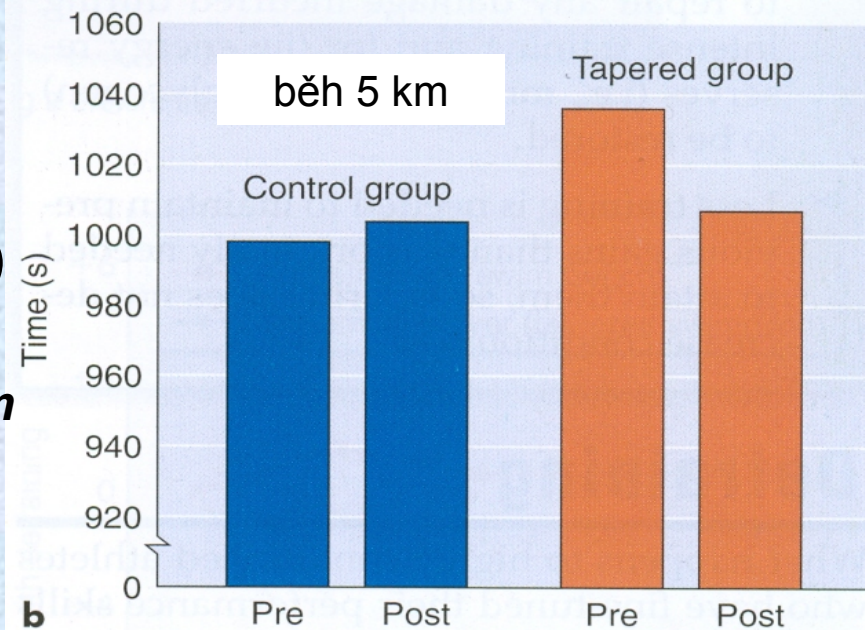
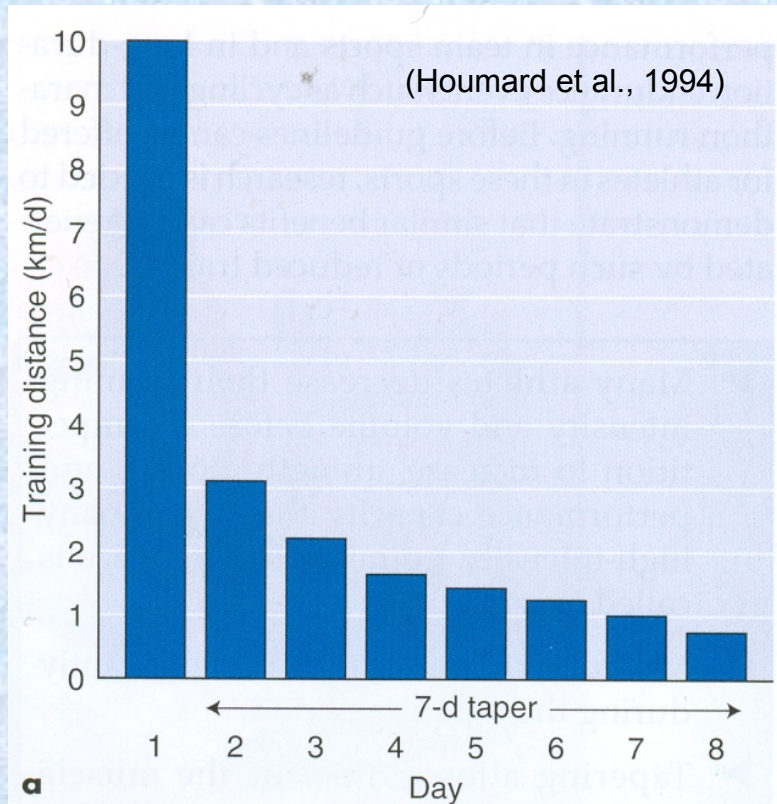
(Fox & Mathews 1974)

TRÉNINK

Doladění před závodem (Tapering)

(Wilmore, Costil, 2004)

- **Snížení tréninkové zátěže v posledním týdnu před závodem.**
- Zlepšení času na 5 km běh o 3% a VO_2 o 6% (zlepšení ekonomiky běhu)

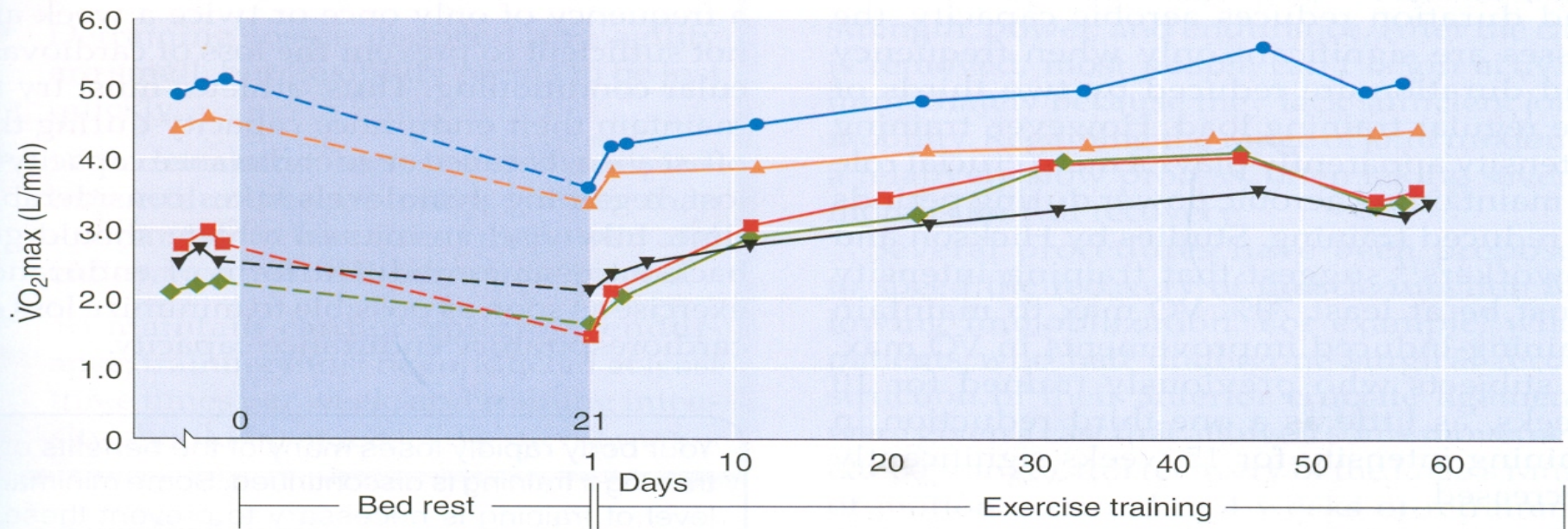


TRÉNINK

Detrénink, Retrénink

(Wilmore, Costil, 2004; McArdle., 2007)

- Detrénink – snižování kapacity energetických systémů, transportního systému atd. v období bez tréninku.
- Retrénink – opětovný nárůst kapacit při opětovném tréninku po období bez tréninku.



▲ **Figure 12.17** Changes in $\dot{V}O_2\text{max}$ with 20 days of bed rest for five individual subjects. Note that the subjects who were least fit (lowest $\dot{V}O_2\text{max}$ values) at the start of bed rest showed smaller decrements with inactivity and greater gains when they trained after bed rest. Highly fit individuals, on the other hand, were far more affected by the period of inactivity.

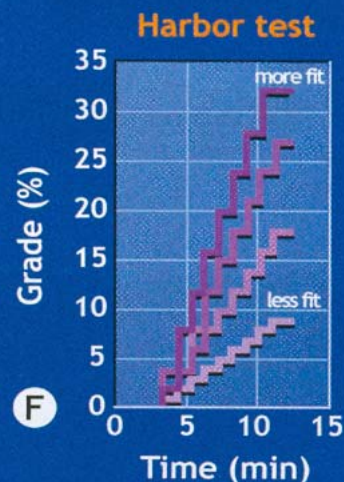
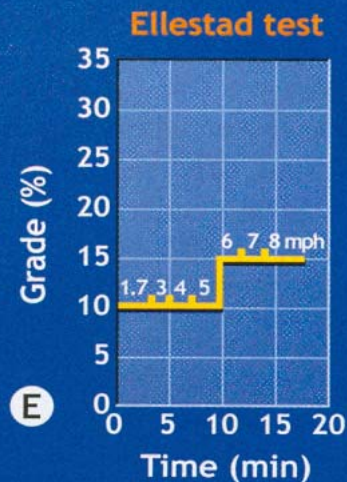
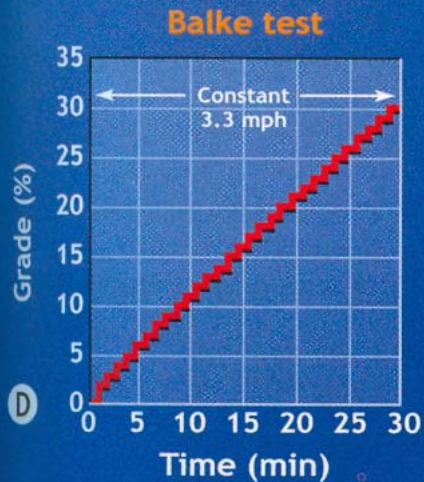
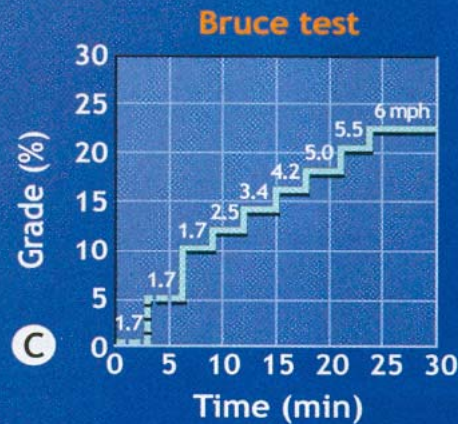
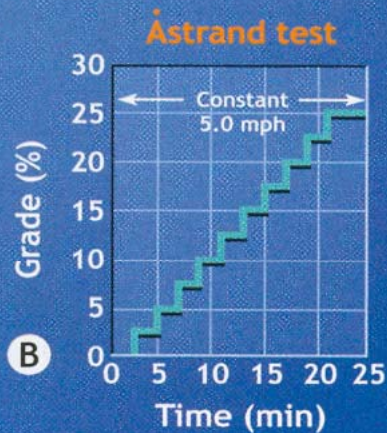
Adapted, by permission, from B. Saltin et al., 1968, "Response to submaximal and maximal exercise after bed rest and training," *Circulation* 38(7): 75.

ZÁTĚŽOVÉ TESTY

- ❑ **McArdle, Katch, Katch, 2007, Powers & Howley 2007:**
 - **Aerobního systému**
 - **Glykolytického systému**
 - **ATP-CP systému**

- ❑ **Jones 2007:**
 - **Test na běžícím páse** (Ekonomika běhu, Laktátový práh, Laktátový bod obratu - zlomu, Maximální příjem kyslíku, Rychlost při VO₂max)
 - **60s běžecký test** („anaerobní“ test pro středotratáře 800-1500 m)

- ❑ **Solberg G et al. 2005:**
 - **Respirační ukazatelé anaerobního prahu** (RER-AT, Vslope-AT, EqO₂-AT)



Způsoby zatížení při testech na běhátku

(McArdle, 2007)

ZÁTĚŽOVÉ TESTY

Testy Aerobního systému

(McArdle, Katch, Katch, 2007, Powers & Howley 2007)

- ❑ **Zjištění účinnosti tréninku a prediktorů běžeckého výkonu 800 m – maraton.**
 - Aerobní kapacita (VO_2max)
 - Anaerobní práh (ANP), Laktátový práh (LT), Ventilační práh (VT)
 - Kratší Kyslíkový poločas
 - Nižší Kyslíkový deficit
 - Vytrvalostní trénink posunuje LT do vyšších rychlostí běhu (Noakes 2003).
 - VO_2max je lepším prediktorem výkonů v běhu na 5-10 km než LT (Noakes 2003).
 - Conconiho „anaerobní práh“ (HR/v) nevypovídá o metabolickému prahu (Noakes 2003).
- ❑ **Stanovení vodítek pro řízení tréninku**
 - 100% VO_2max
 - 100% HRmax, 100% HRR
 - Anaerobní práh (ANP), Laktátový práh (LT), Ventilační práh (VT)
 - Stanovení „anaerobního prahu“ (ANP) při běhu (Powers & Howley, 2007)
(Nedoporučuji LT1 2 mmol/l a LT2 4 mmol/l – nerespektuje individualitu.)
ANP = intenzita zátěže, kdy se začíná zvyšovat laktacidémie – **Laktátový práh (LT)**.
(U netrénovaných: 50-60% VO_2max ; u trénovaných: 65-80, 80-90% VO_2max .)

Příjem kyslíku při zvyšující se rychlosti běhu na páse (McArdle, 2007)

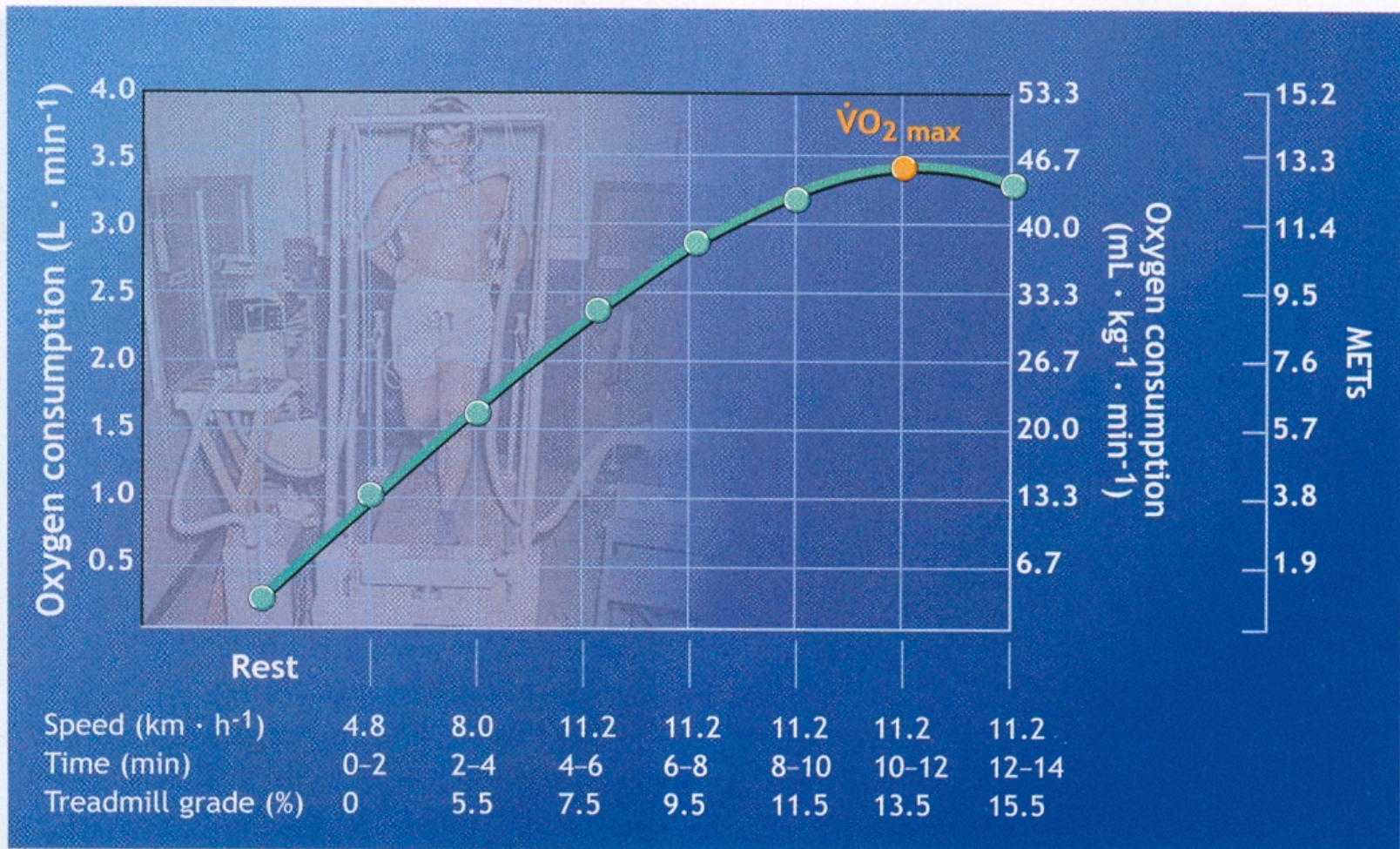


Figure 11.9 Peaking over in oxygen consumption with increasing treadmill exercise intensity. Each point represents the average oxygen consumption of 18 sedentary males. The region where oxygen consumption fails to increase the expected amount or even decreases slightly with increasing exercise intensity represents the $\dot{V}O_{2\max}$. (Data from the Applied Physiology Laboratory, University of Michigan, Ann Arbor.)

ZÁTĚŽOVÉ TESTY

Testy Glykolytického systému

(Powers & Howley 2007)

- ❑ ***Zjištění účinnosti tréninku a prediktorů běžeckého výkonu 200-1500 m***
 - ***Wingate test: 30 sec na bicykl. ergometru***
 - ***Maximální akumulovaný kyslíkový deficit (MAOD)***
 - ***Maximální koncentrace Laktátu po 30 sec maximální zátěži***

Wingate test

(Wingate anaerobic test WAnT)

- během 30 sec šlapání maximální rychlostí na bicyklovém ergometru s konstantním odporem (individuálně nastaveným momentem síly)
- zjišťuje se nejvyšší dosažený výkon [W] a počítá celková práce [J] a index únavy.



Wingate test

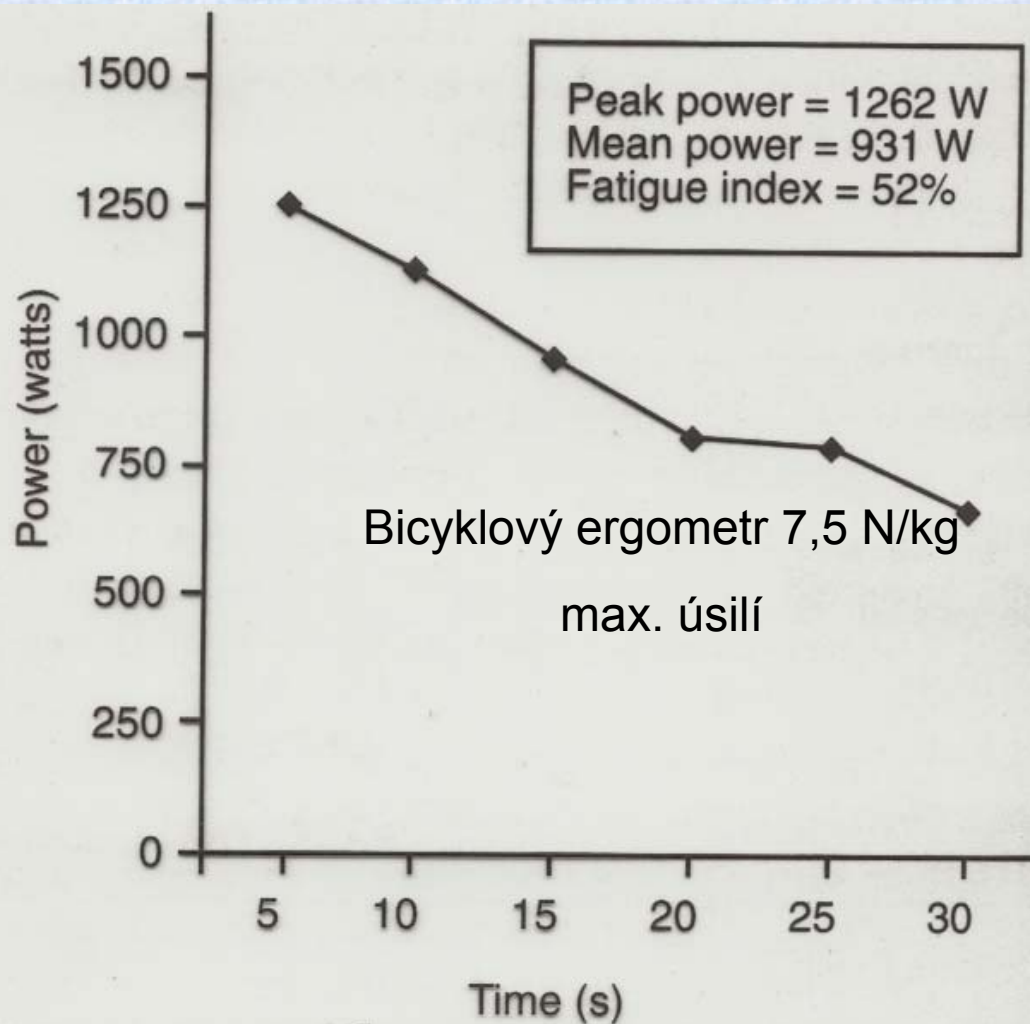


Figure 14.1 Example of Wingate Anaerobic Test.
Data from a football athlete collected at the Human Performance
Laboratory, The College of New Jersey.

ZÁTĚŽOVÉ TESTY

Testy Glykolytického systému

Maximální akumulovaný kyslíkový deficit (MAOD)

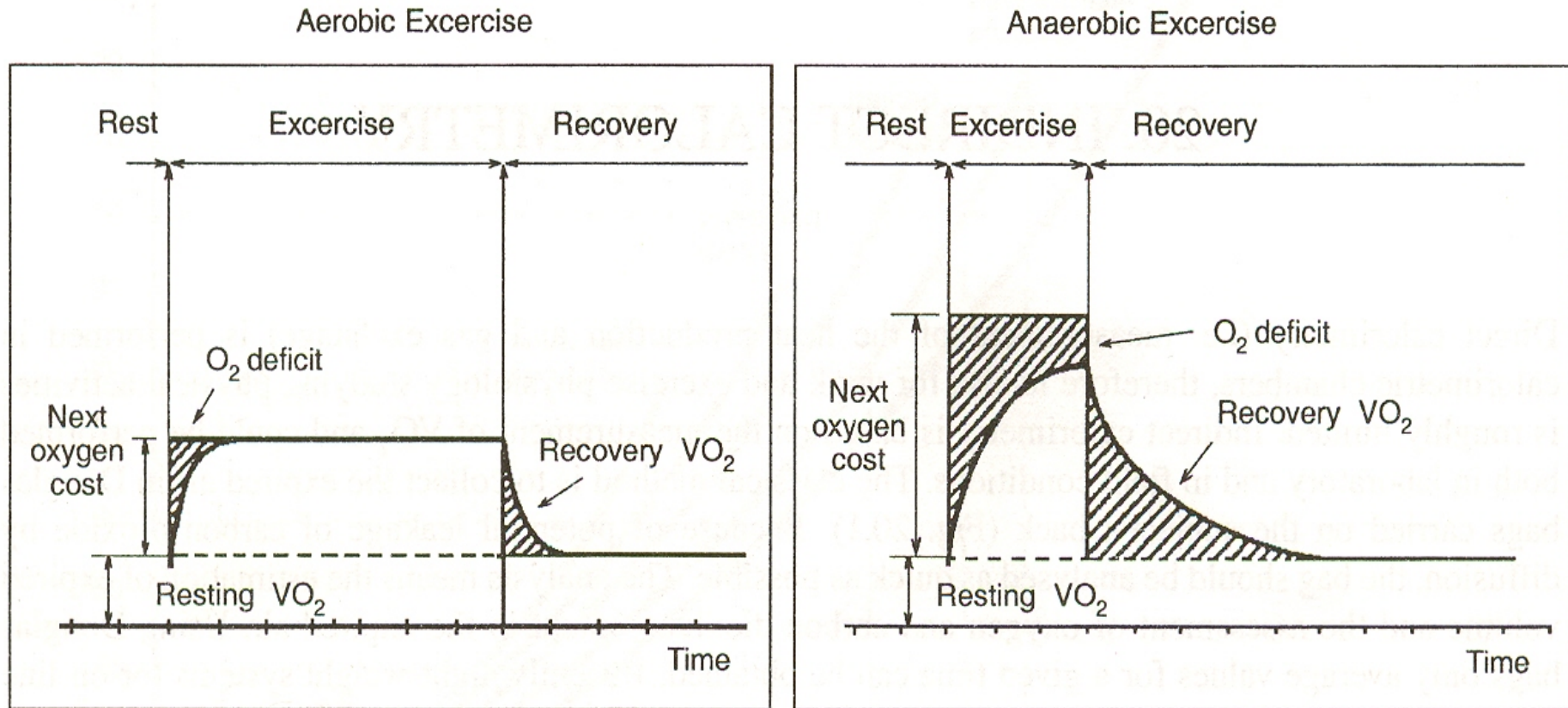


Fig. 20.2 Principle of indirect calorimetry, i.e. measurement of VO_2 at rest, during exercise and recovery.

ZÁTĚŽOVÉ TESTY

Testy ATP-CP systému

(Powers & Howley 2007)

- ❑ ***Zjištění účinnosti tréninku a prediktorů běžeckého výkonu na 60-400 m***
 - *Sprint - schody:*
 - *Vertikální výskokový test a Skok do dálky z místa*
 - *Větší Kyslíkový deficit iniciální fáze*
 - *Větší Rychlá komponenta („alaktátová“) zotavovacího kyslíku*

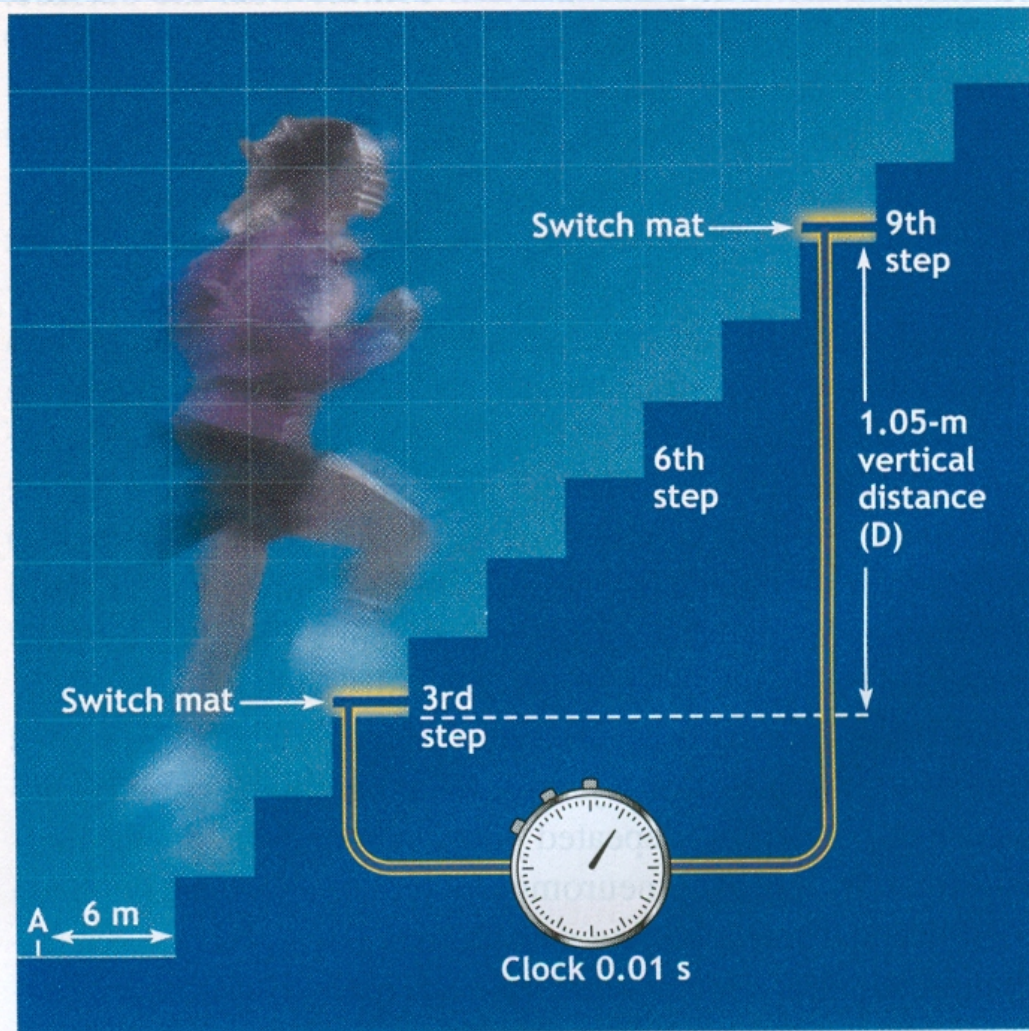


Figure 11.3 Stair-sprinting power test. The subject begins at point A and runs as fast as possible up a flight of stairs, taking three steps at a time. Electric switch mats placed on the steps record the time needed to cover the distance between stairs 3 and 9 to the nearest 0.01 second. Power output equals the product of the subject's mass (F) and vertical distance covered (D), divided by the time (T).

Test ATP-CP

- sprint na schodech

Rozběh 6 m,
čas na úseku 3-9
schodu.

Výkon
= $(Hm \cdot V_{\text{Sch}}) / \text{Čas}$
[kg.m/s; *9,8 W]

(McArdle, 2007)

Test ATP-CP

Výskoková ergometrie

- deska funguje jako elektrický spínač – při kontaktu se spájí elektrický obvod, při odraze se přerušuje. Analogový signál ze spínače zaznamenává a zpracovává počítač.
- Zařízení umožňuje měření doby letu (bezoporová fáze) a doby kontaktu (oporová fáze) a na základě těchto údajů určování parametrů odrazových schopností.



$$\text{Power (W)} = 21,67 * \text{Hmotnost (kg)} * \sqrt{\text{Výška výskoku (m)}}$$

$$\text{Power (W)} = \{ \text{Hmotnost (kg)} * \text{Výška výskoku (m)} * 9,8 \} / \text{čas}$$

Výskoková ergometrie

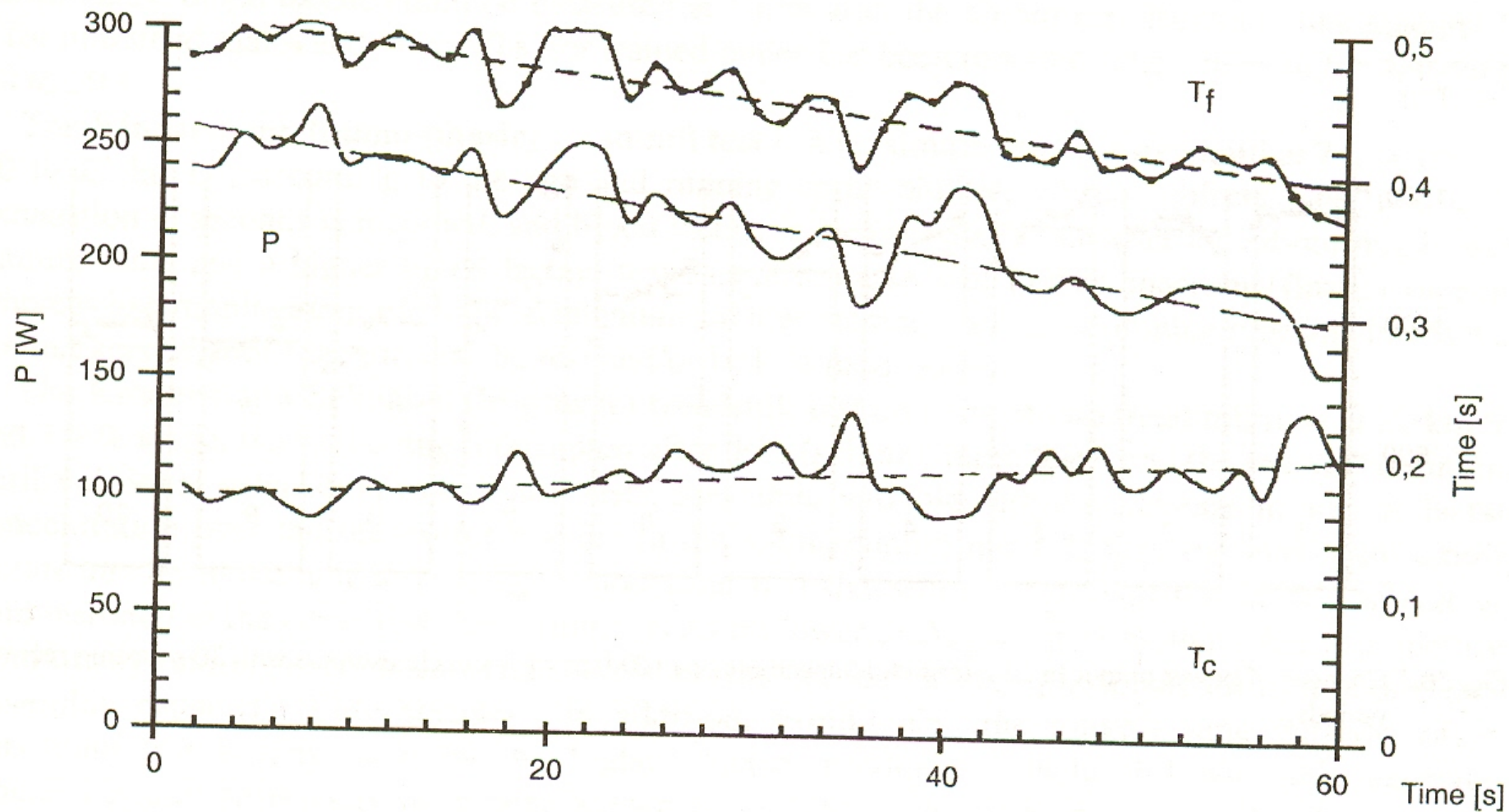


Fig. 30.2 Example of a 60-s Bosco test. Flight time (T_f) and power output (P) decrease and contact time (T_c) inversely increases throughout the 60-s test.

Výskoková ergometrie

Table 30.2 Typical values of flight time (T_f), contact time (T_c), average power (P) and blood lactate (LA) in the 60-s Bosco test (Heller et al., unpublished data).

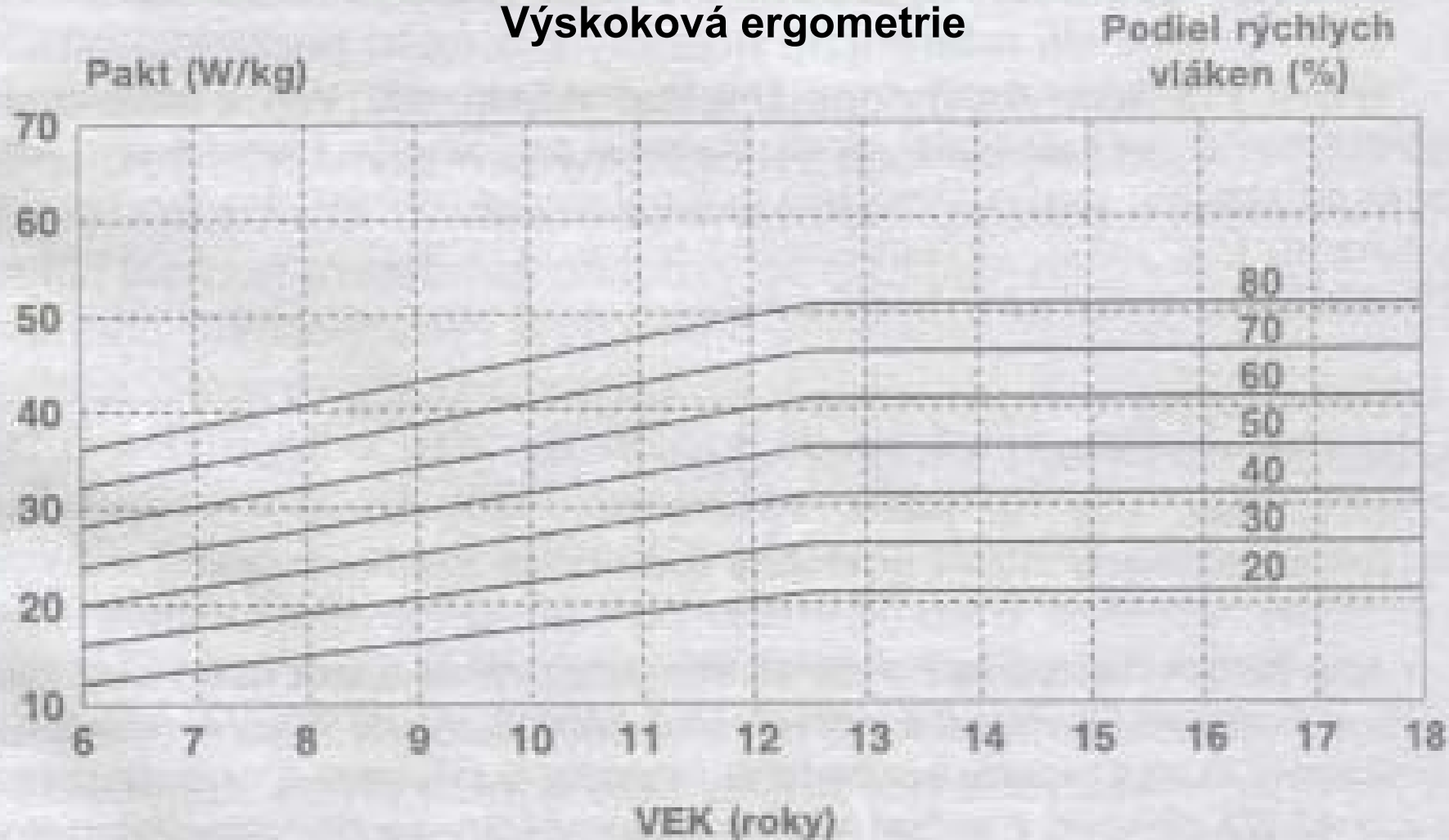
	Age [y]	T_f [s]	T_c [s]	P [W]	P [W.kg ⁻¹]	LA [mmol.l ⁻¹]
Males						
Karate	22	40.3	19.7	224	3.51	11.1
Taekwon-do	16	41.3	18.7	225	3.69	10.8
Skialpinism	26	40.9	19.1	214	2.94	10.9
Females						
Taekwon-do	18	40.4	19.6	209	3.40	8.4
Volleyball – jun.	18	39.5	20.5	265	3.72	9.4
Volleyball – national	23	40.1	19.9	288	3.91	7.4

Výskoková ergometrie



Obráz 9. Percentuálny podiel rýchlych svalových vláken vo vekových skupinách chlapcov v závislosti od výkonu v aktívnej fáze odrazu Pakt/kg (Hamar a spol., 1992).

Výskoková ergometrie



Obráz 10. Percentuálny podiel rýchlych svalových vlákien vo vekových skupinách dievčat v závislosti od výkonu v aktívnej fáze odrazu Pakt/kg (Hamar a spol., 1992).

Test ATP-CP

Kyslíkový deficit (Powers, 2007)

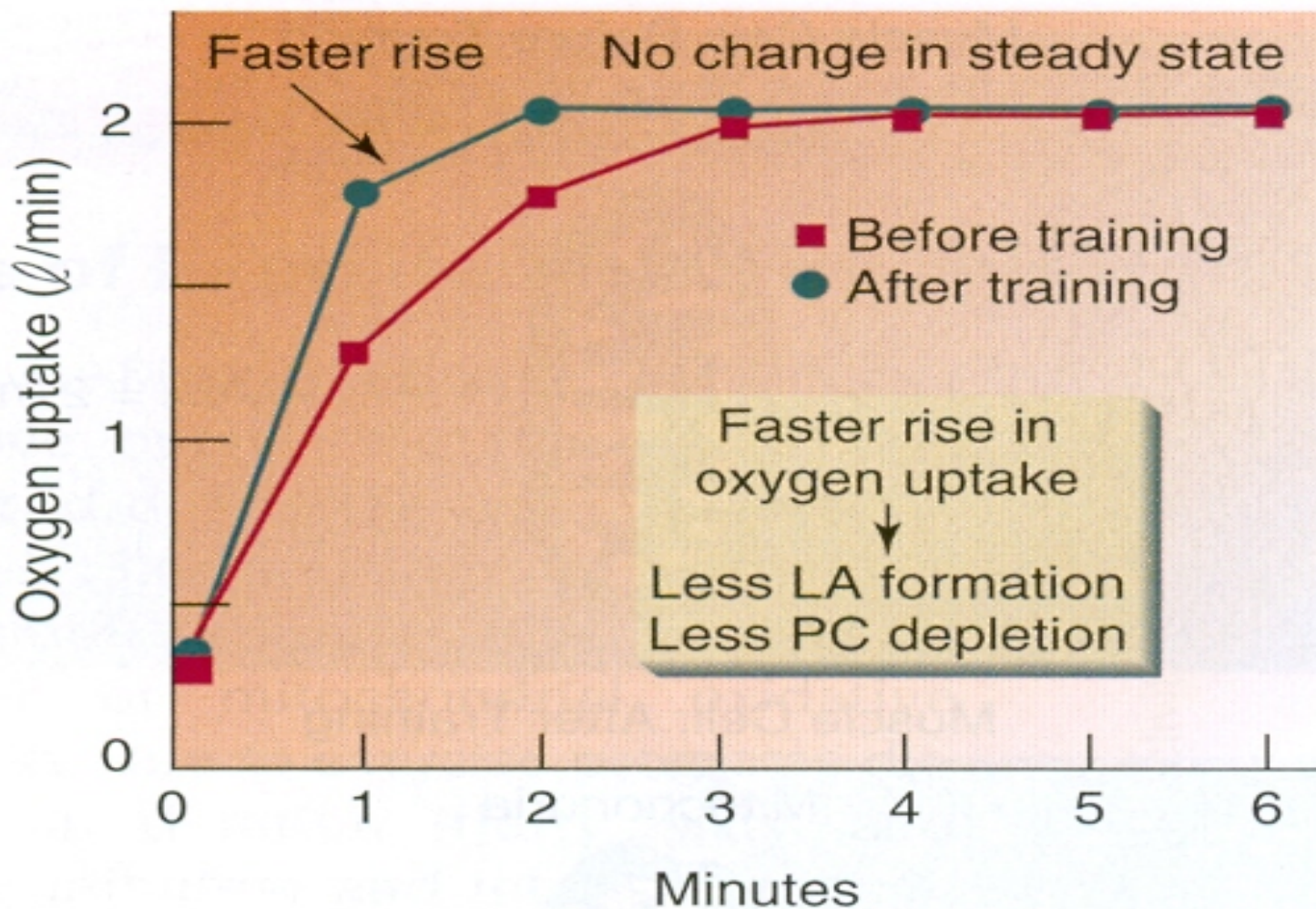


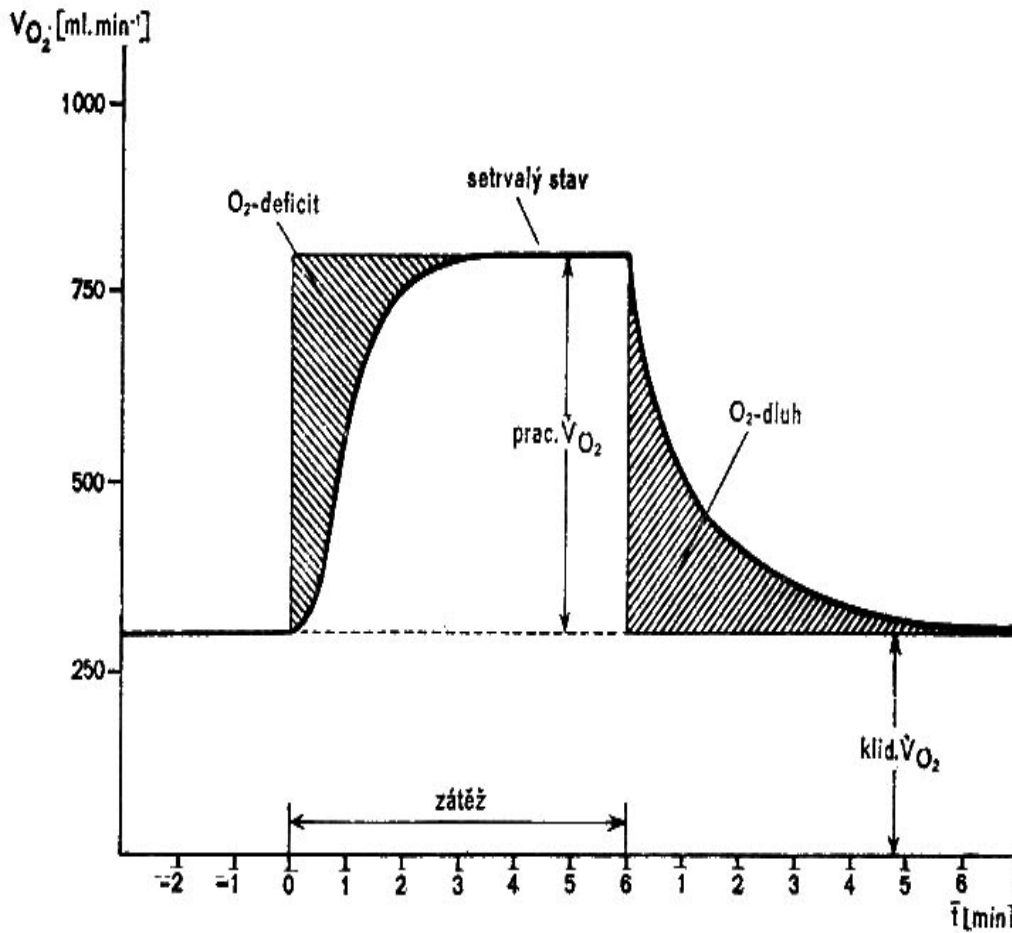
FIGURE 13.8 Endurance training reduces the O_2 deficit at the onset of work.

Test ATP-CP

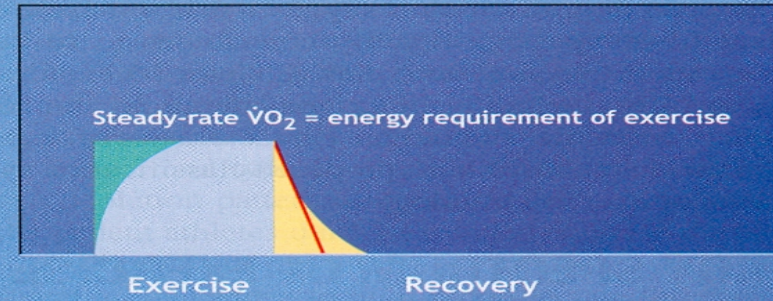
Kyslíkový „dluh“

po lehké, střední a maximální zátěži

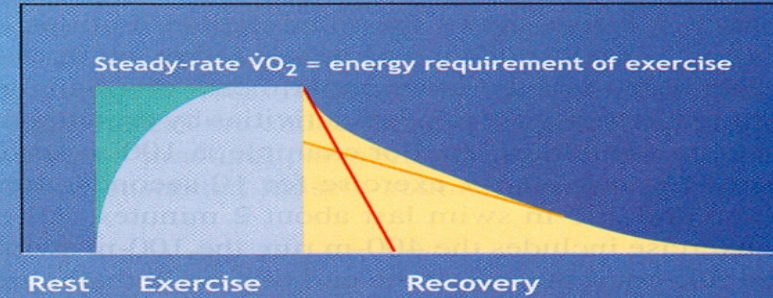
(McArdle, 2007)



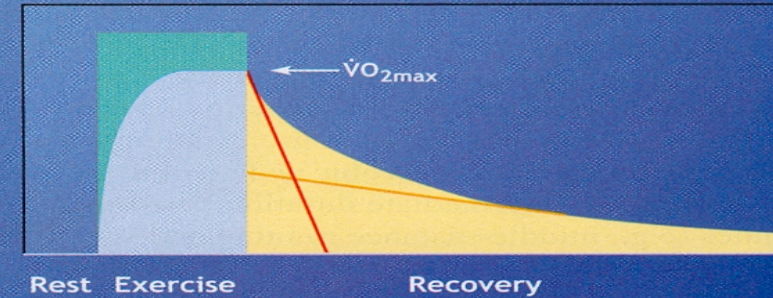
A Light aerobic exercise



B Moderate to intense aerobic exercise



C All-out maximal exercise (aerobic-anaerobic)



■ O₂ deficit
■ Fast component
■ Slow component

■ Exercise $\dot{V}O_2$
■ Recovery $\dot{V}O_2$

Figure 7.9 Oxygen consumption during exercise and in recovery from (A) light steady-rate exercise, (B) moderate-to-intense steady-rate exercise, and (C) exhaustive exercise. Note that in exhaustive exercise, the exercise oxygen requirement significantly exceeds the actual exercise oxygen consumption.

ZÁTĚŽOVÉ TESTY

Test na běžícím páse

(Jones 2007)

Dávkování zátěže:

- Zahřátí 10-15 min (jogging na rovince) a rozcvičení.
- Počáteční rychlost: muži 14-15 km/h, ženy 12-13 km/h, junioři 13, juniorky 11.
- Sklon pásu 1%, stupňování rychlosti po 1 km/h každé 3 min, celkem 3-9 stupňů.

Sběr dat: průměr HR, ventilace, plynů atd. z posledních 30 sec každého stupně.

Odběr krve mezi stupni po 15-30 sec (sportovec se postaví obkročmo mimo běžící pás).

- **Ekonomika běhu**
- **Laktátový práh**
- **Laktátový bod obratu**
- **Maximální příjem kyslíku**



ZÁTĚŽOVÉ TESTY

Test na běžícím páse

(Jones 2007)

Ekonomika běhu

- VO₂ při rychlosti 16 km/h a sklonu 1%
 - 44-47 – výborný
 - 47-50 – velmi dobrý
 - 50-54 – průměrný
 - 55-58 – slabý
- VO₂ [ml.kg⁻¹.km⁻¹] v přepočtu na 1 kg hmotnosti a 1 km/h rychlosti [(ml.kg⁻¹.min⁻¹)/(km.h⁻¹/60)]
 - 170-180 – výborný
 - 180-190 – velmi dobrý
 - 190-200 – nadprůměrný
 - 200-210 – podprůměrný
 - 210-220 - slabý

ZÁTĚŽOVÉ TESTY

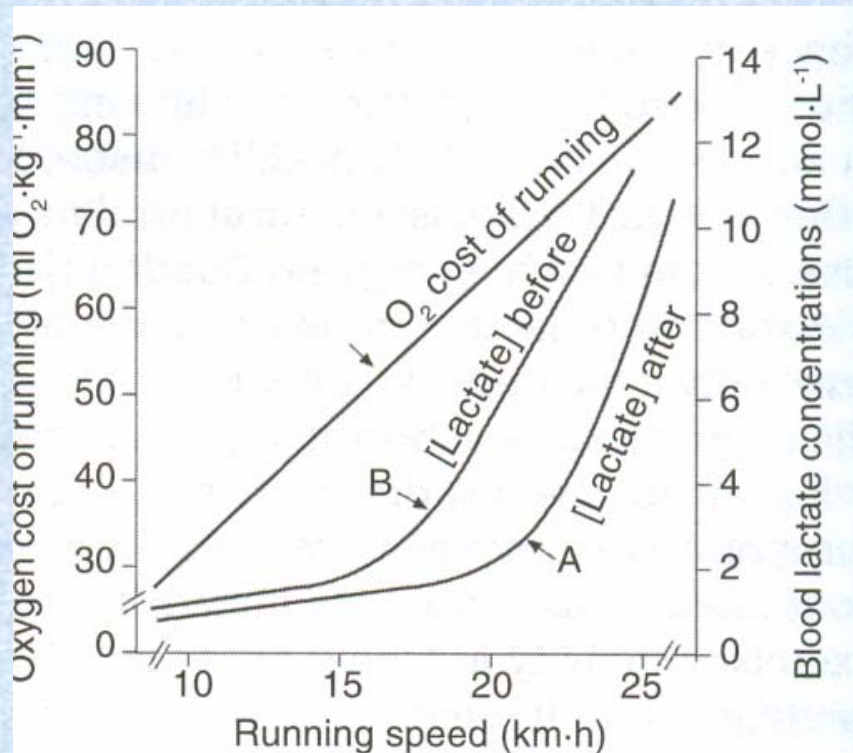
Test na běžícím páse

(Jones 2007)

Laktátový práh (Lactate threshold)

- prediktor výkonu v maratonu
- hranice mezi „lehkým“ a „vytrvalým“ během.

= rychlost běhu při (před?) prvním zvýšením koncentrace laktátu v krvi nad základní hodnotu (baseline) (přibližně kolem 1-2 mmol/l).



(Noakes, 2003)

ZÁTĚŽOVÉ TESTY

Test na běžícím páse

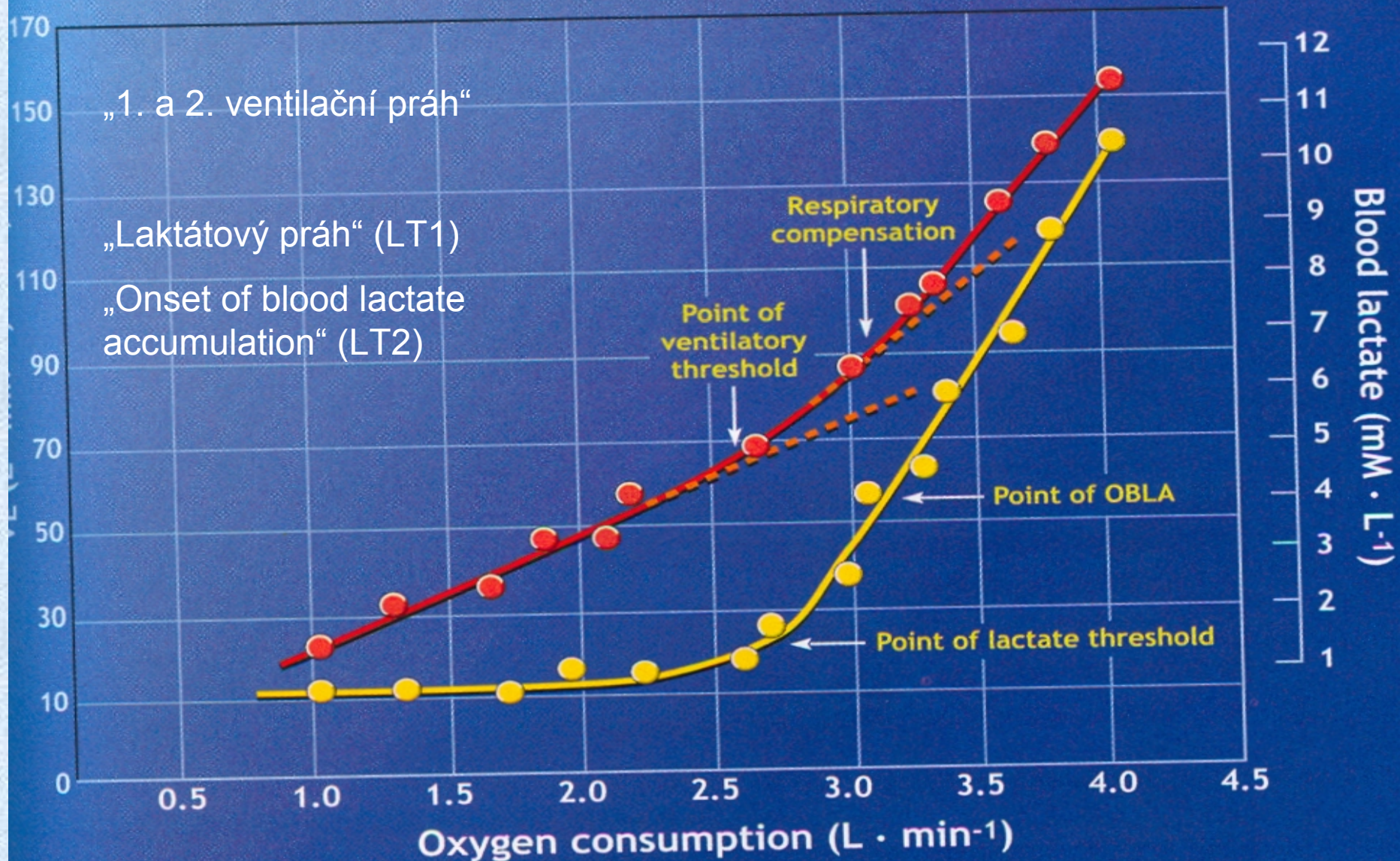
(Jones 2007)

Laktátový bod obratu (turn-point)

- *prediktor výkonu v běhu na 10 mil až v půlmaratonu*
- *hranice mezi „vytrvalým“ a „tempovým“ během.*
- *tuto rychlostí lze běžet maximálně kolem 60 min.*

= rychlost běhu při zřetelném náhlém a udržitelném zvýšení koncentrace laktátu v krvi (přibližně kolem 2-4 mmol/l).

Laktátový a Ventilační práh (McArdle, 2007)



Test na běžícím páse (Jones 2007)

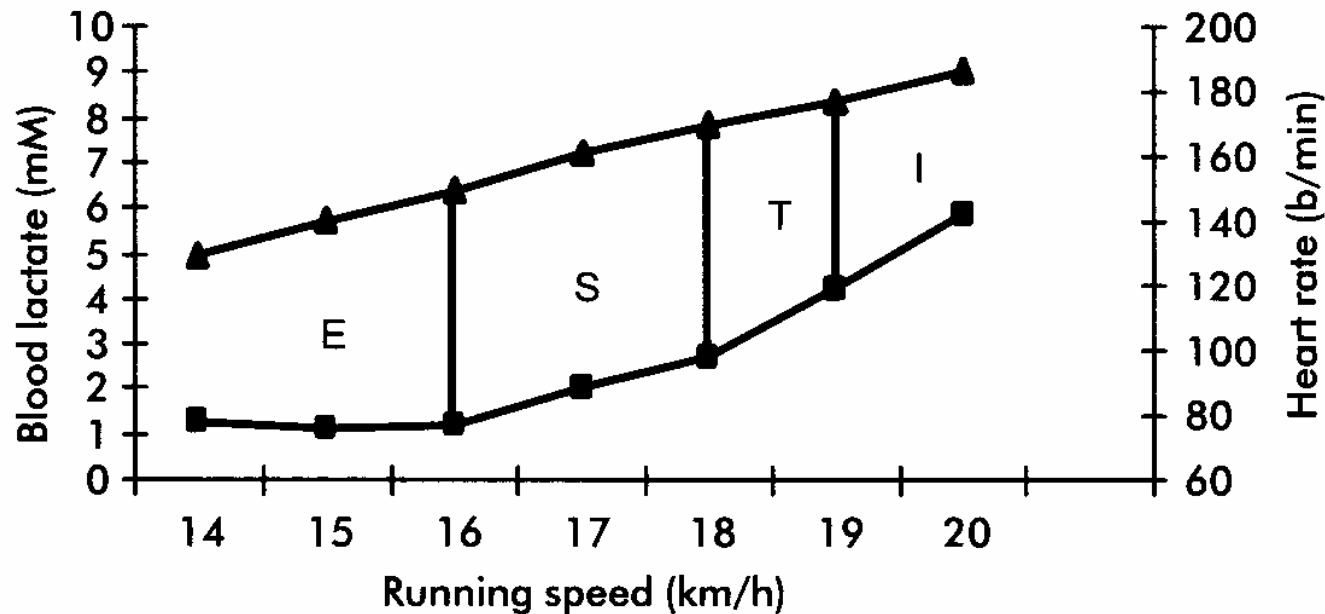
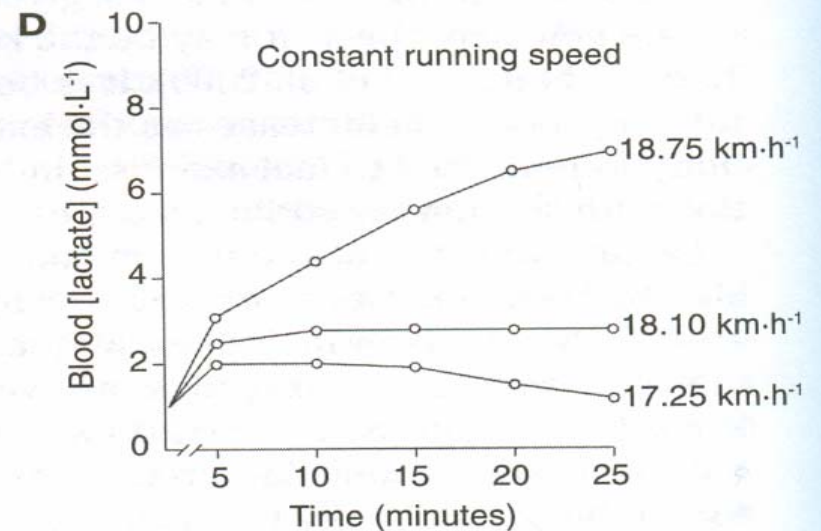
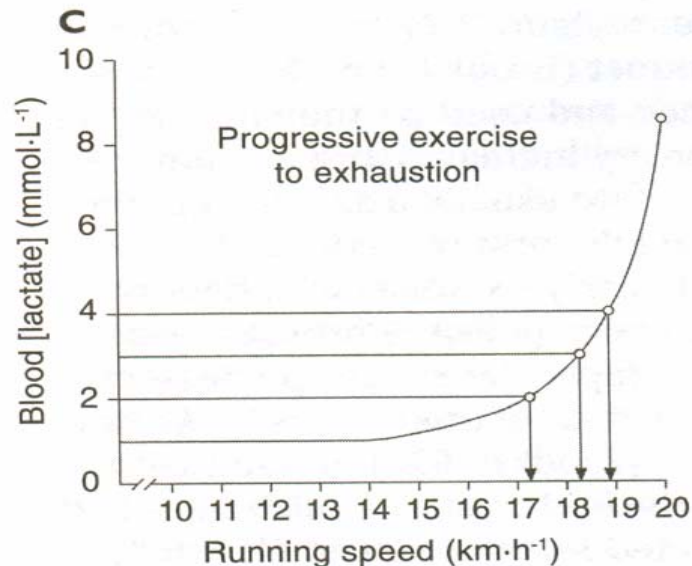
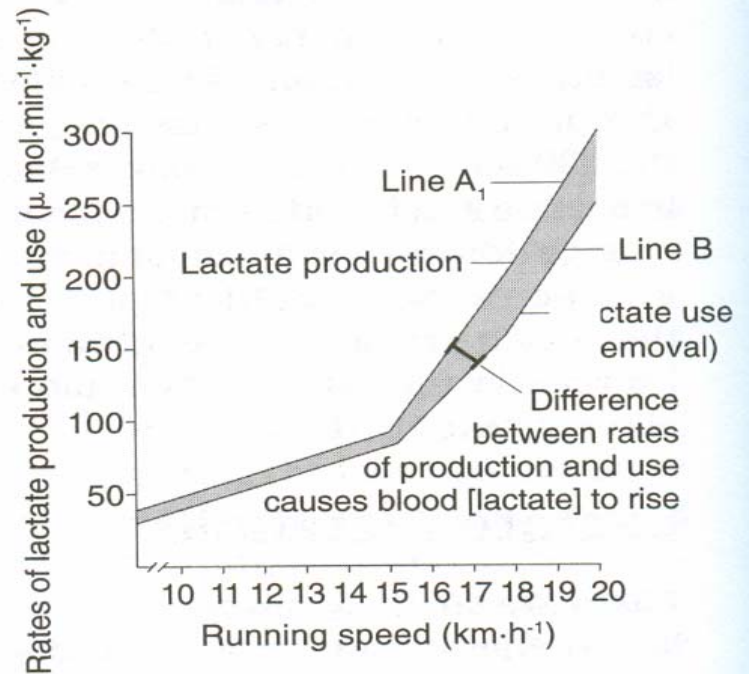
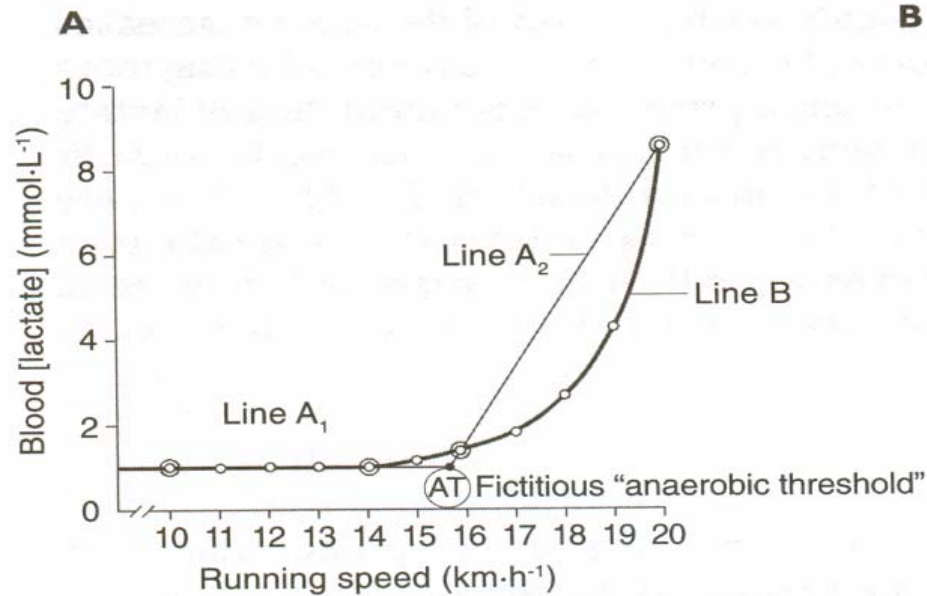


Figure 16.2 Illustration of the manner in which the blood [lactate] (filled squares) and heart rate (filled triangles) data garnered from the multi-stage test can be used in the prescription and regulation of exercise training, with each of the heart rate zones being employed for different purposes. E = easy running, S = steady running, T = tempo running and I = interval training. In this particular example, easy running would be performed at $<16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ at a heart rate $<149 \text{ b}\cdot\text{min}^{-1}$, steady running would be performed at $16\text{--}18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ at a heart rate of $150\text{--}168 \text{ b}\cdot\text{min}^{-1}$, tempo running would be performed at $18\text{--}19 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ at a heart rate of $169\text{--}177 \text{ b}\cdot\text{min}^{-1}$, and aerobic interval running would be performed at $>19 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ at a heart rate $>177 \text{ b}\cdot\text{min}^{-1}$.

Stanovení „Lactate threshold“ (LT) a „Maximal blood lactate steady state“ (MBLSS)

(Noakes, 2003)



Odběr kapilární krve z ušního lalůčku a stanovení koncentrace laktátu



ZÁTĚŽOVÉ TESTY

Test na běžícím páse

(Jones 2007)

Maximální příjem kyslíku VO_2max ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)

- *prediktor výkonu na střední a dlouhé tratě (800 – maraton)*

	muži	ženy	junioři	juniorky
Světová špička:	80-90	70-80	-	-
Mezinárodní úroveň:	70-80	60-70	-	-
Národní úroveň:	65-75	55-65	60-70	50-60

Rychlost při VO_2max – *prediktor výkonu v běhu na 1500 až 5000 m*

Výpočet rychlosti (km/h) = $(\text{VO}_2\text{max/kg} * 60) / \text{Ekonomika běhu}$

ZÁTĚŽOVÉ TESTY

Respirační ukazatelé anaerobního prahu

(Solber et al. 2005)

RER-AT:

= poměr respirační výměny ($V\text{CO}_2/V\text{O}_2$) ~ 1,0

Vslope-AT

= začátek příkrého nárůstu Výdeje oxidu uhličitého ($V\text{CO}_2$) v závislosti na Příjmu kyslíku ($V\text{O}_2$)

EqO₂-AT

= začátek prudkého nárůstu Ventilačního ekvivalentu pro kyslík

Respirační ukazatelé anaerobního prahu (Solberg et al., 2005)

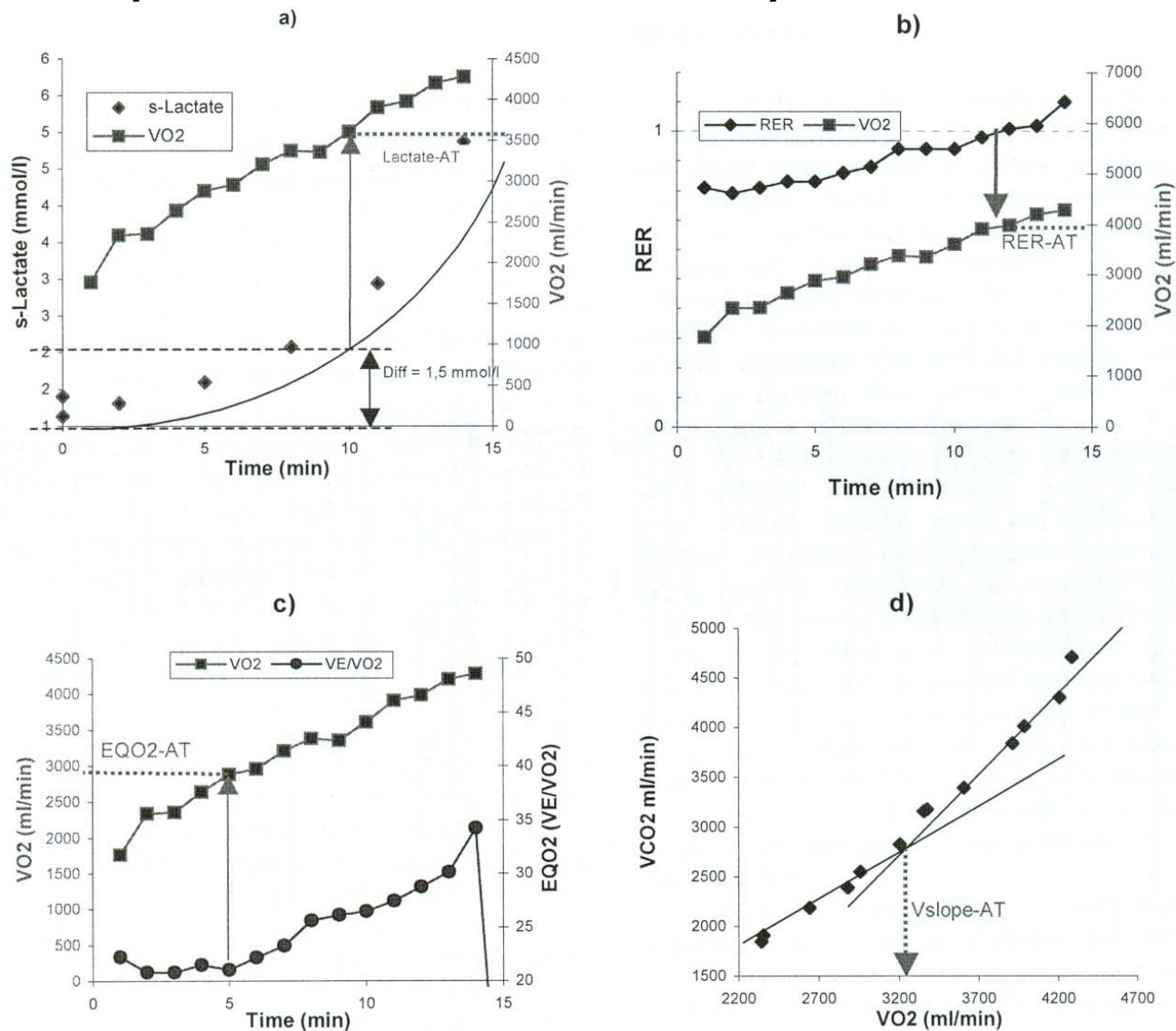
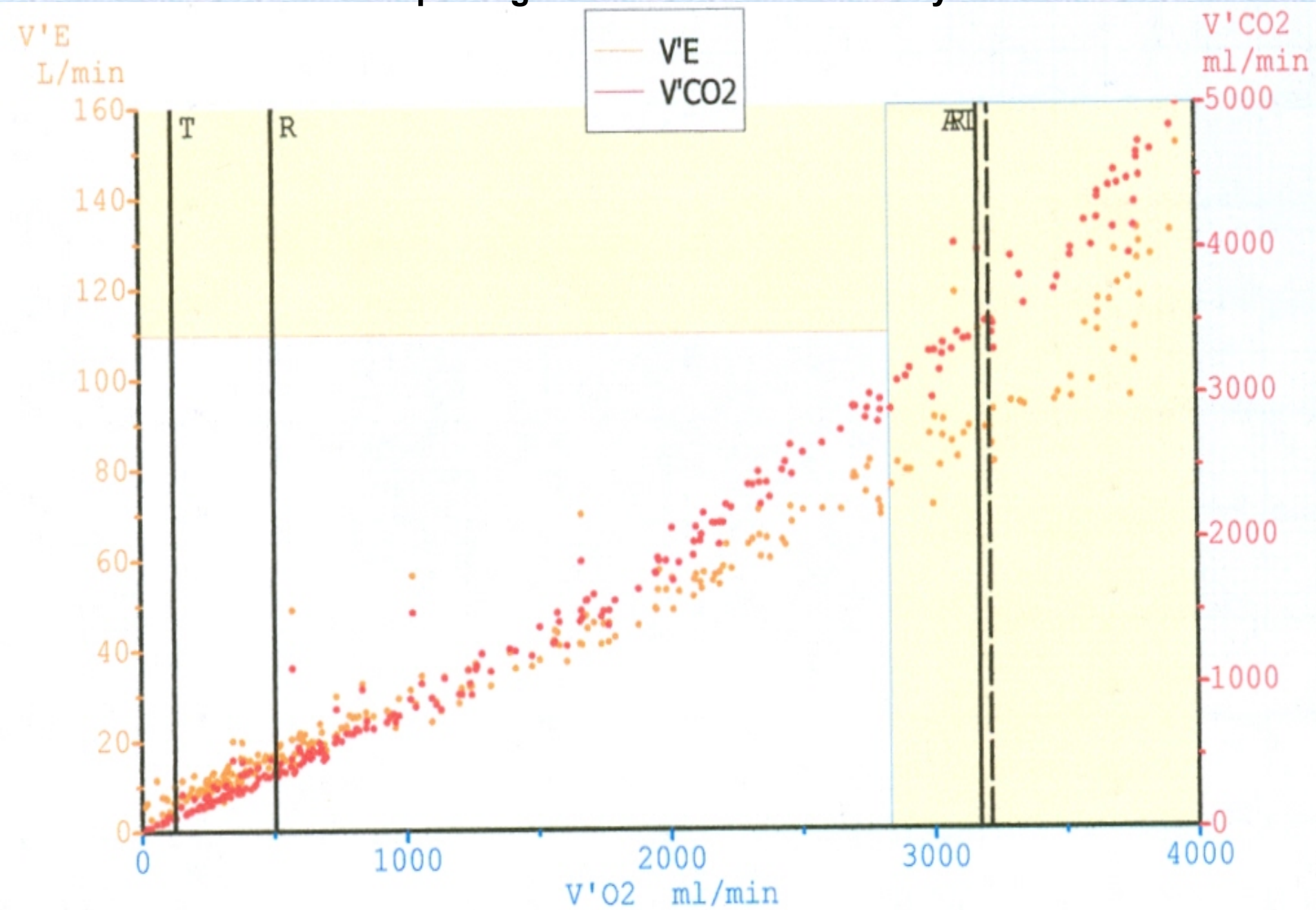
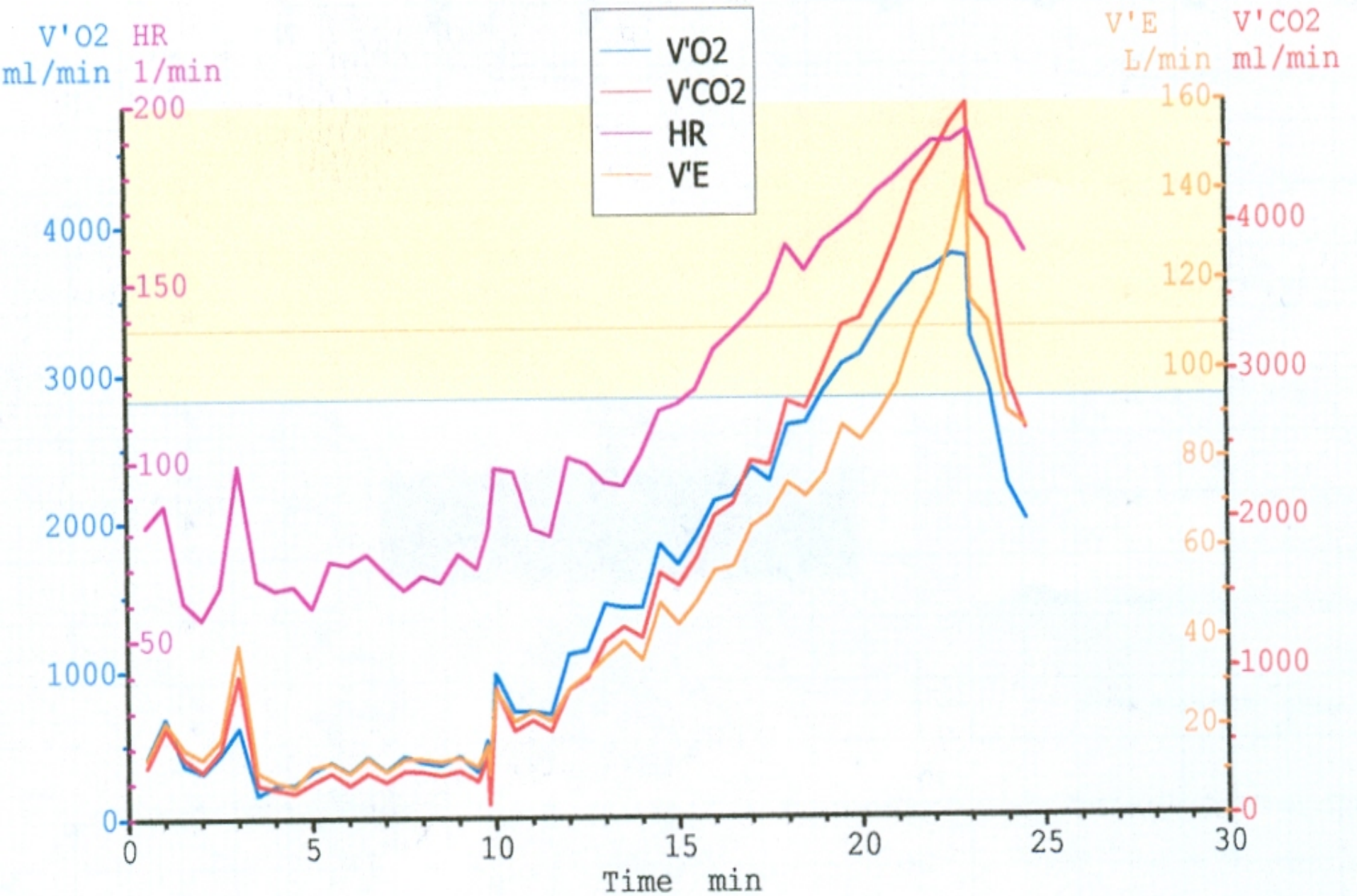


Figure 1: Examples showing methods of estimating the anaerobic threshold, see material and methods for detail. a) Lactate-AT is the point where the trend line for s-lactate exceeds pretest level + 1.5 mmol·l⁻¹. b) RER-AT is the point where RER exceeds 1.0. c) EQ-AT is where EQO_2 (VE/ VO_2) is at the minimum before it starts rising under exercise. d) Vslope-AT is the crossing point between the regression lines for VO_2 plotted against VCO_2 during first part of the exercise and during the last part of the exercise.

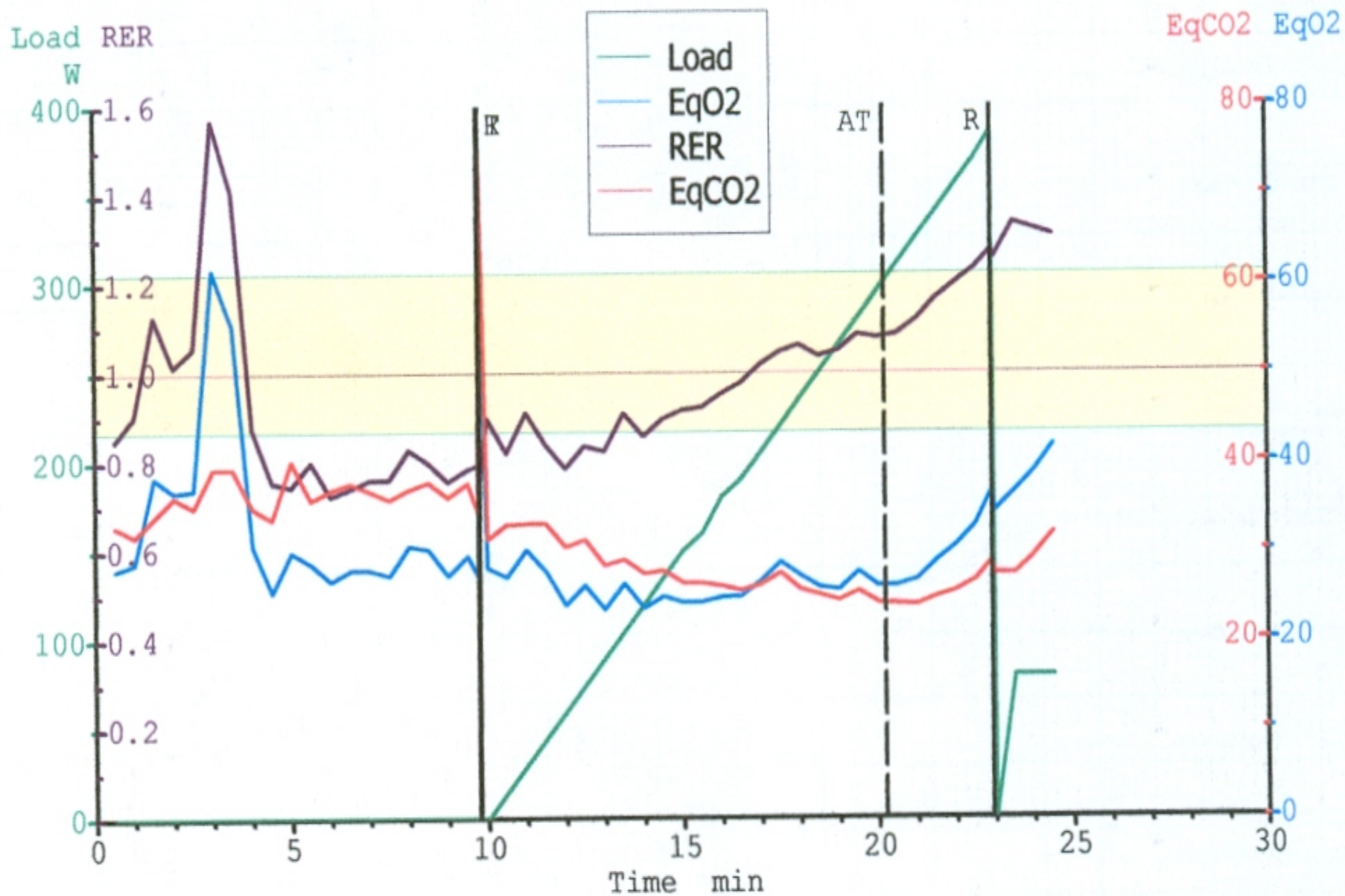
Průběh spiroergometrie v laboratoři - Ocxyccon



Průběh spiroergometrie v laboratoři - Ocxycon



Průběh spiroergometrie v laboratoři - Oxycon



Výsledky spiroergometrie v laboratoři – Oxycon

Zátěž

Summary		Resting	Ref.	AT EqO2	Max Watts	MaxVO2	Pred	MaxVO2 %pred
Time averaging 5 Seconds								
Time	min	09:46	09:48	20:10	22:50	21:55		
Load	W	0	0	300	380	350	261	134

Kardiovaskulární parametry

Summary		Resting	Ref.	AT EqO2	Max Watts	MaxVO2	Pred	MaxVO2 %pred
Time averaging 30 Seconds								
HR	1/min	79	81	169	192	189	193	98
Psys	mmHg	146	146	205	202	202		
Pdia	mmHg	98	98	108	110	110		
HRR	1/min	114	112	24	1	4		
O2/HR	ml	6.7	1.5	18.5	19.7	20.1	16.9	119

Ventilacne-respiracní parametry

Summary		Resting	Ref.	AT EqO2	Max Watts	MaxVO2	Pred	MaxVO2 %pred
Time averaging 30 Seconds								
HR	1/min	79	81	169	192	189	193	98
V'E	L/min	16	10	84	144	129	139	93
V'O2	ml/min	529	124	3124	3777	3791	3413	111
VO2/kg	ml/min/kg	6.6	1.6	39.1	47.2	47.4		
MET		1.9	0.4	11.2	13.5	13.5		
V'CO2	ml/min	419	94	3367	4811	4673		
RER		0.79	0.76	1.08	1.27	1.23		
EqO2		27.3	59.9	26.1	36.8	32.9		
EqCO2		34.4	-	24.2	28.9	26.7		
BF	1/min	18	22	27	46	38	42	92

AT table

	Time	Load	HR	V'CO2	V'O2	V'E	RER	VO2/kg	O2/HR
EqO2	20:00	295	169	3367	3124	84	1.08	39.1	18.5
RQ = 1	16:30	190	136	2119	2171	56	0.98	27.1	16.0
Vslope	14:30	135	114	1650	1843	48	0.90	23.0	16.2
Manual	20:00	295	169	3367	3124	84	1.08	39.1	18.5

ZÁTĚŽOVÉ TESTY

60s běžecký test

- „anaerobní“ test pro středotratáře 800-1500 m

(Jones 2007)

(místo Wingate testu na bicyklovém ergometru)

Postup:

1. Odběr krve.
2. Nastavení pásu na sklon 4% a rychlost 22 km/h pro muže a 20 pro ženy.
3. Krátce po zahřátí se běžec postaví rozkročmo vedle pásu.
4. Běží 60 sec a pak se opět postaví obkročmo vedle pásu.
5. Odběr krve.

Hodnocení: Lépe připravený běžec má nižší koncentraci laktátu v krvi (test laktátové utilizace – „tolerance“).

DALŠÍ VYŠETŘENÍ PRO ŘÍZENÍ TRÉNINKU

❑ Zjištění ekonomiky běhu mimo laboratoř

- *Nižší Příjem kyslíku při určité rychlosti běhu na dráze nebo v terénu (VO_2/v)*

❑ Zjištění míry únavy a poškození

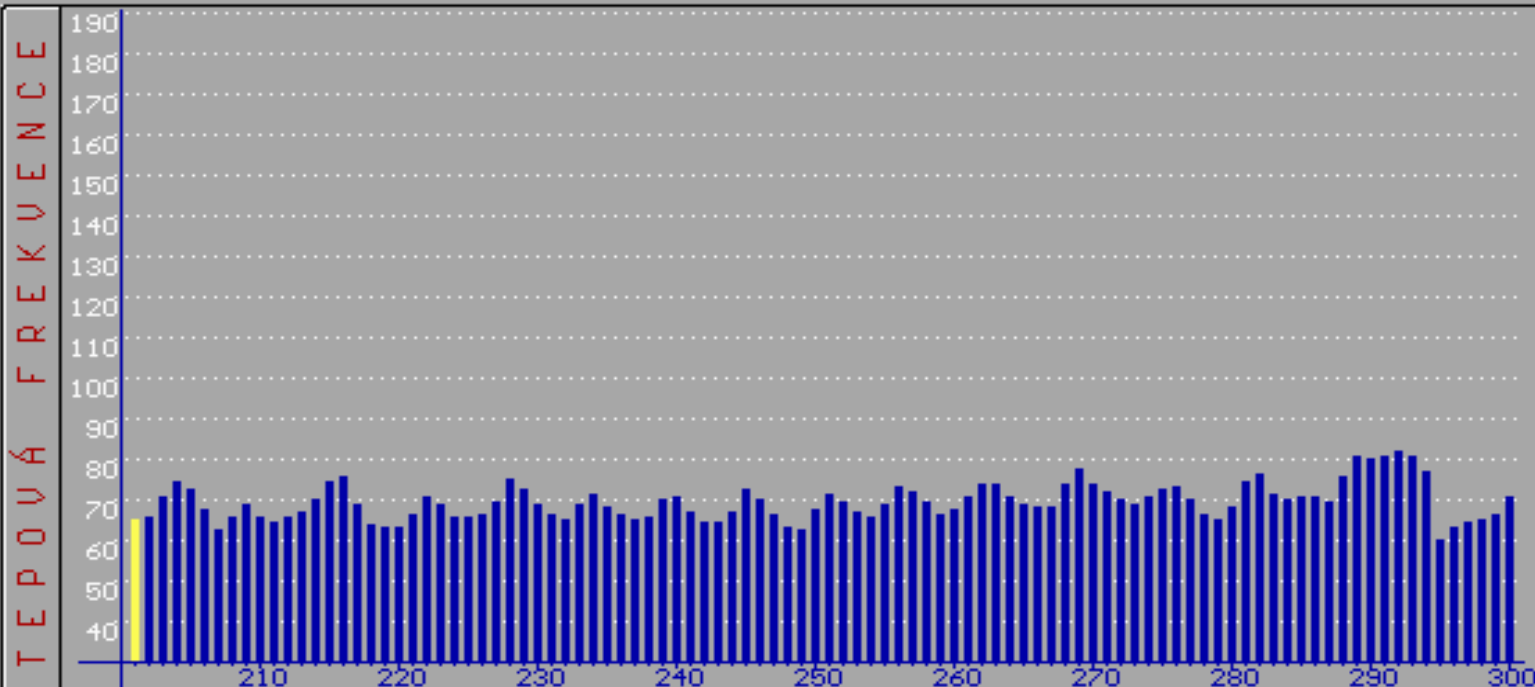
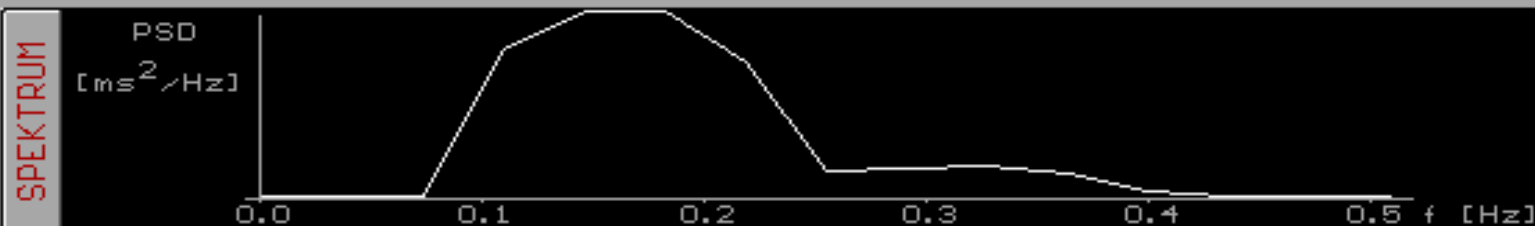
- *Biochemické vyšetření krve v klidu ráno: Urea, Kreatinin, Kreatinkináza (CK), Laktátdehydrogenáza (LDH).*
- *Biochemické vyšetření moči: Proteinurie, Hematurie*
- *Spektrální analýza variability srdeční frekvence (SAHRV) v klidu ráno.*
- *Termovizní vyšetření zánětu přetížených svalů, šlach a jejich úponů.*



Variabilita srdeční frekvence - HRV

Úseky EKG nezobraz.
Pulsů v záznamu : 1024
Úseky : 2 Okno : 32

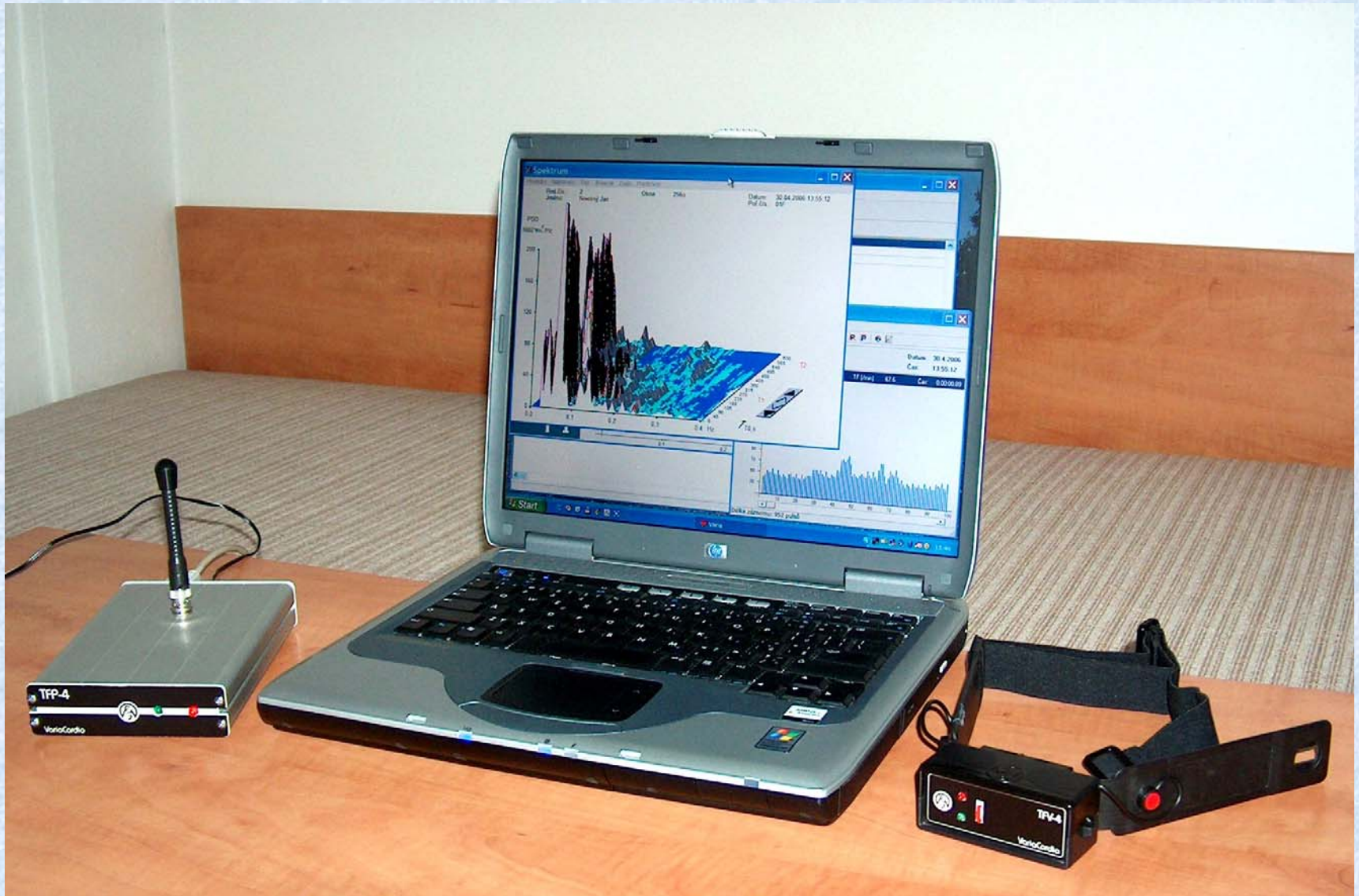
Puls : 201 TF : 65.2 [/min] R-R : 920 [ms] Čas : 0:03:00.13



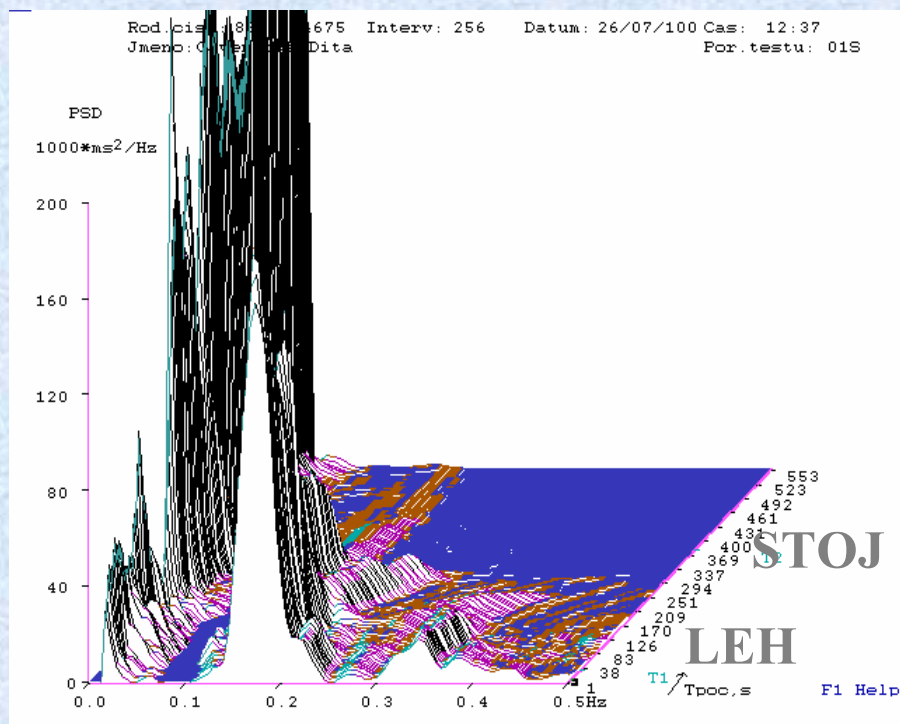
- F1 osoba
- F2 ulož
- F3 SPLINE
- F4 VLO
- F5 EKG/spekt
- F6 automat
- F7 ručně
- F8 úseky
- F9 část EKG
- F10 záznam
- Esc menu
- PgUp větší
- PgDn menší



VariaCardio TF4 SIMA MEDIA Olomouc



Spektrální analýza HRV



Rod.cis.: 8555144675 Interv: 128 Datum: 26/07/100 Cas: 12:37
Jmeno: Gavendova Dita Por.testu: 01S

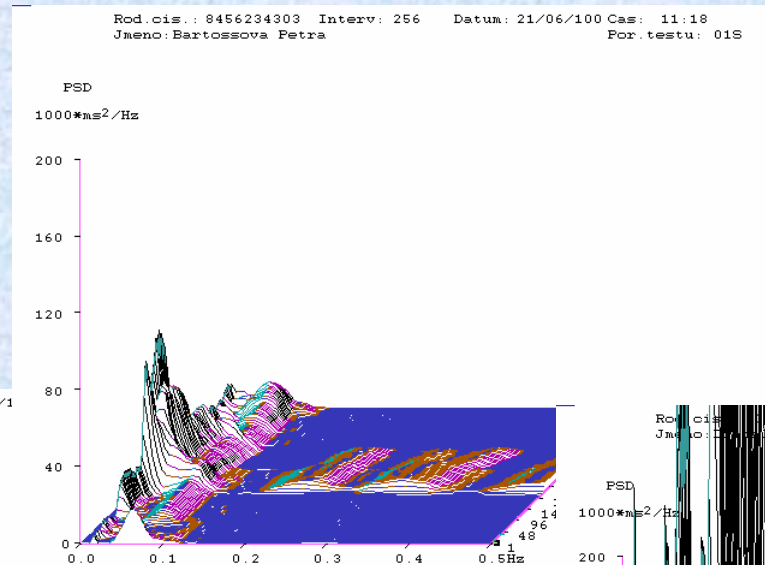
Int	Hodnota	Prumer	Sm.Odch.Rel. (CVr-r)	Rel.Power	MSSD[ms²] CCVlo[%] CCVlo[%] CCVhi[%] Tot.Power
LEH	Power VLo	4979.34	13.9053	36.2127	
	Power Lo	2252.24	19.2341	16.3796	
	Power Hi	6518.67	3.88286	47.4076	
	PSD VLo	413708	13.5713		5548.7
	PSD Lo	67034.2	44.9441		10.661
	PSD Hi	142889	16.5278		7.17002
	Freq. VLo	21.5667	1.64349		12.1981
	Freq. Lo	145.928	2.36293		13750.2
	Freq. Hi	167.111	3.0775		
	RatVLo/Hi	0.762842	12.5636		
STOJ	Rat.Lo/Hi	0.345424	19.0072		
	RatVLo/Lo	2.25238	14.5695		
	R-R Inter	0.661891	18.3942		
	Power VLo	4973.3	9.76964	92.4863	
	Power Lo	273.131	12.2382	5.07931	
	Power Hi	130.907	13.4406	2.43443	
	PSD VLo	415591	9.07575		85.3109
	PSD Lo	4421.33	18.9065		13.9037
	PSD Hi	4666.72	14.0614		3.25833
	Freq. VLo	15.3788	1.55379		2.25575
	Freq. Lo	118.788	28.4665		5377.34
	Freq. Hi	153.788	1.55379		
	RatVLo/Hi	38.5262	14.4231		
	Rat.Lo/Hi	2.12349	18.0094		
	RatVLo/Lo	18.4207	13.6736		
	R-R Inter	0.507214	4.25257		

F1 Help

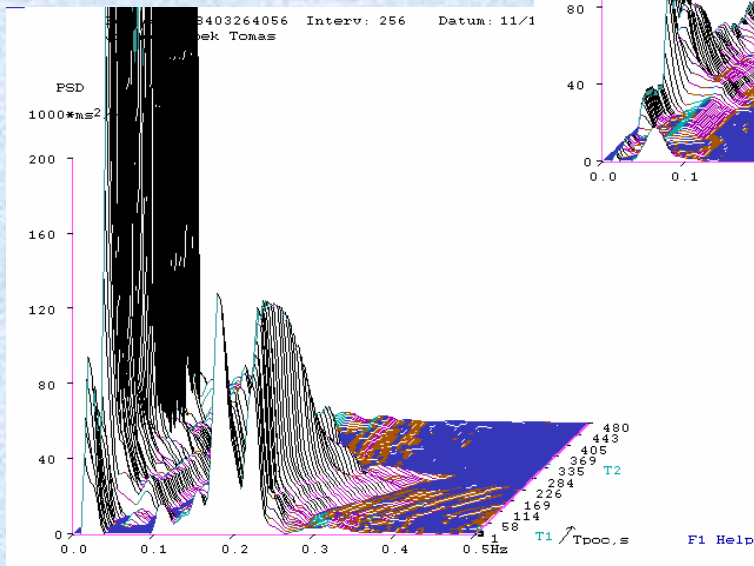
Power[ms²], PSD[ms²/Hz], Freq[mHz], R-R Inter[s], Sm.Odch.Rel[%], Rel.Power[%]

Variabilita srdeční frekvence

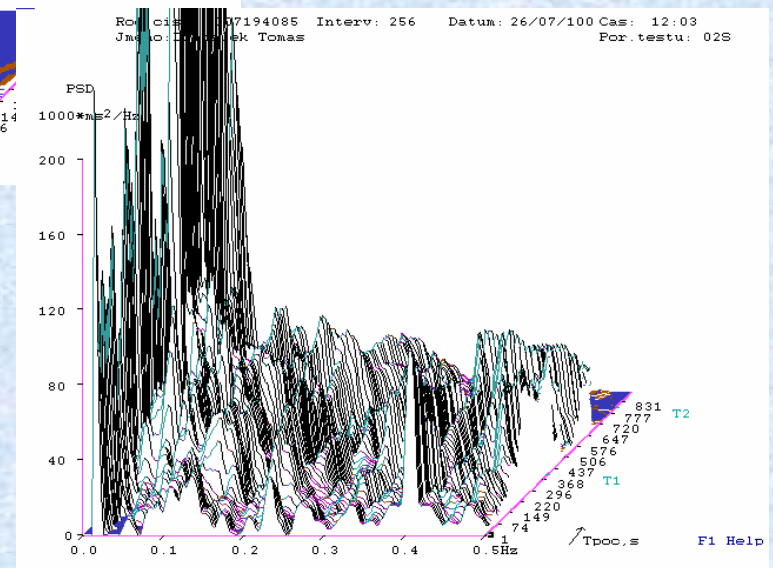
nízká HRV



běžná HRV

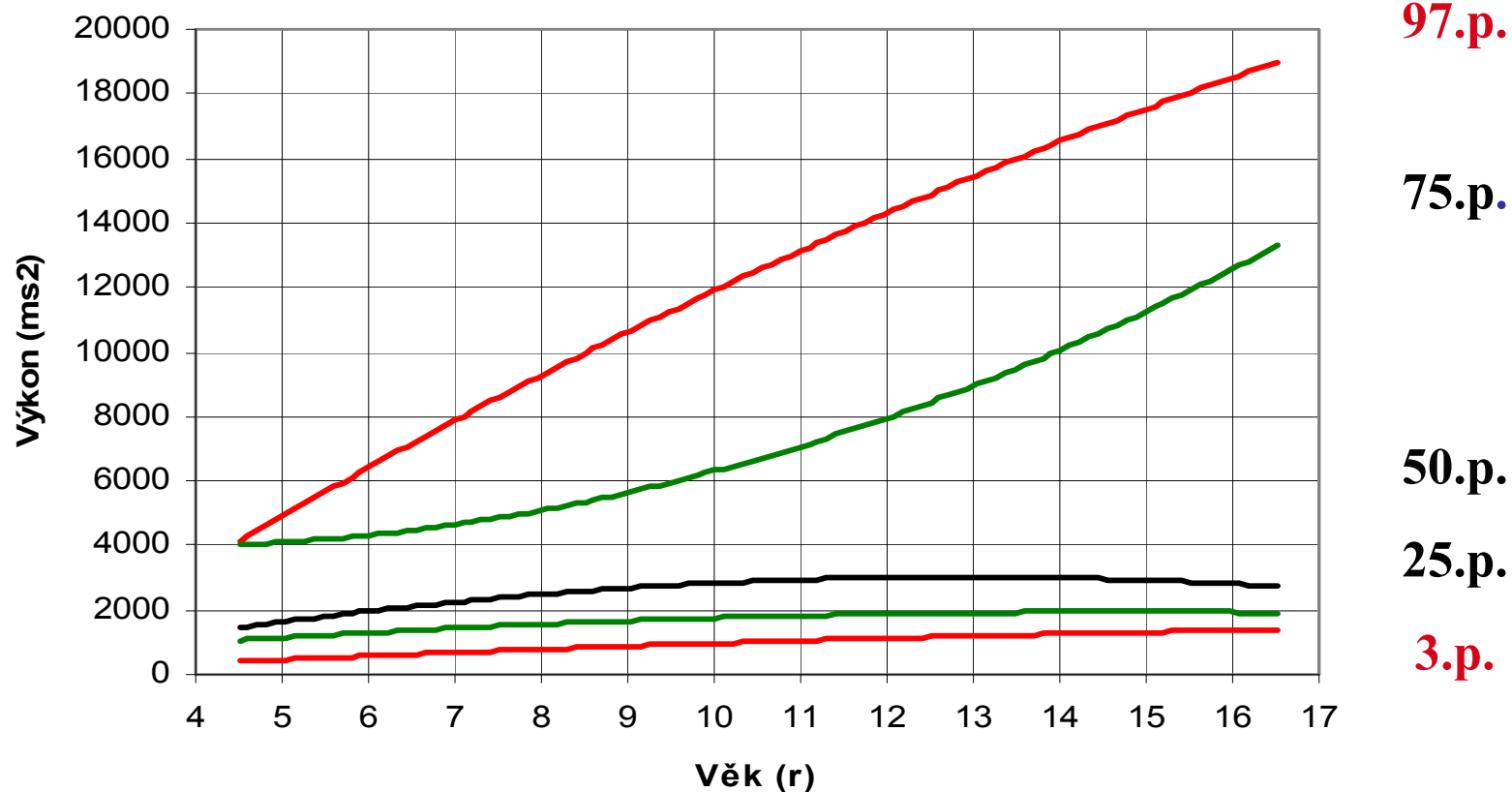


vysoká HRV



Percentilový graf závislosti HRV-TP vleže na věku

Percentilový graf závislosti celkového výkonu na věku vleže
(Percentily: 3., 25., 50., 75., 97.; n=141)



Sporttester POLAR RS800:

Test přetrénování je určen pro **stanovení účinků zatížení** ve standardních podmínkách.

Rozbor testu vychází z měření tepové frekvence a její variability v klidové poloze (leh či sed) a během ortostatického testu.

Program zjistí, zda je zatížení prováděno optimálně či zda dochází ke stavu přetrénování organismu.

V případě, že program nenalezne potřebný účinek zatížení či odpovídající zotavení, doporučí kontrolu tréninkového programu. Řízení tréninkové zátěže (správný poměr zatížení a zotavení) je s využitím programem navržených postupů daleko efektivnější.

Vliv délky kroku na příjem kyslíku při rychlostech běhu 14 a 16 km/h

(McArdle, 2007)

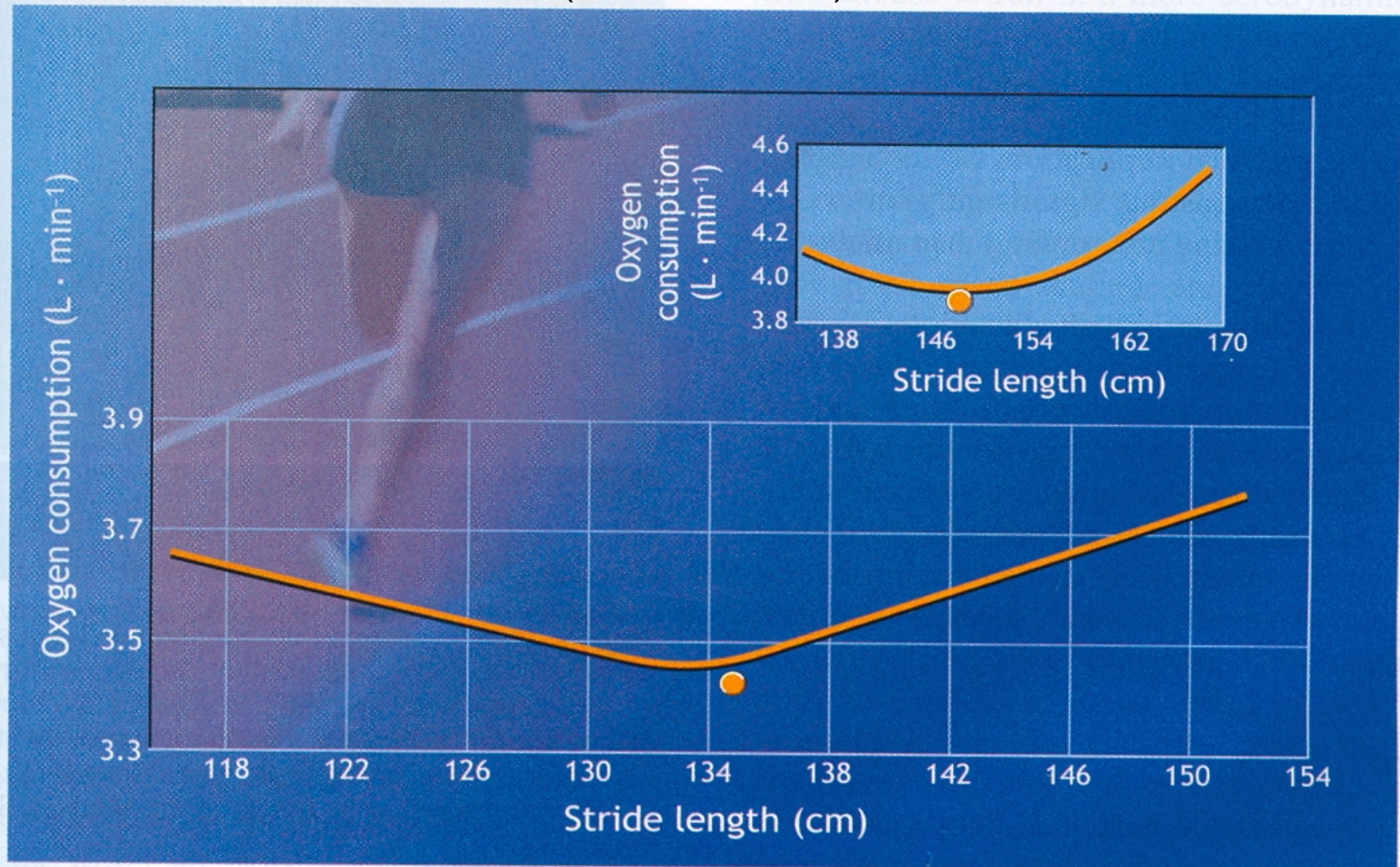


Figure 10.7 Oxygen consumption while running at $14 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ affected by different stride lengths. The *inset graph* plots oxygen consumption at a faster speed of $16 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. (From Hogberg P. Length of stride, stride frequency, flight period and maximum distance between the feet during running with different speeds. *Int Z Angew Physiol* 1952;14:431.)

Vliv frekvence a délky kroku na příjem kyslíku při různých rychlostech běhu

(McArdle, 2007)

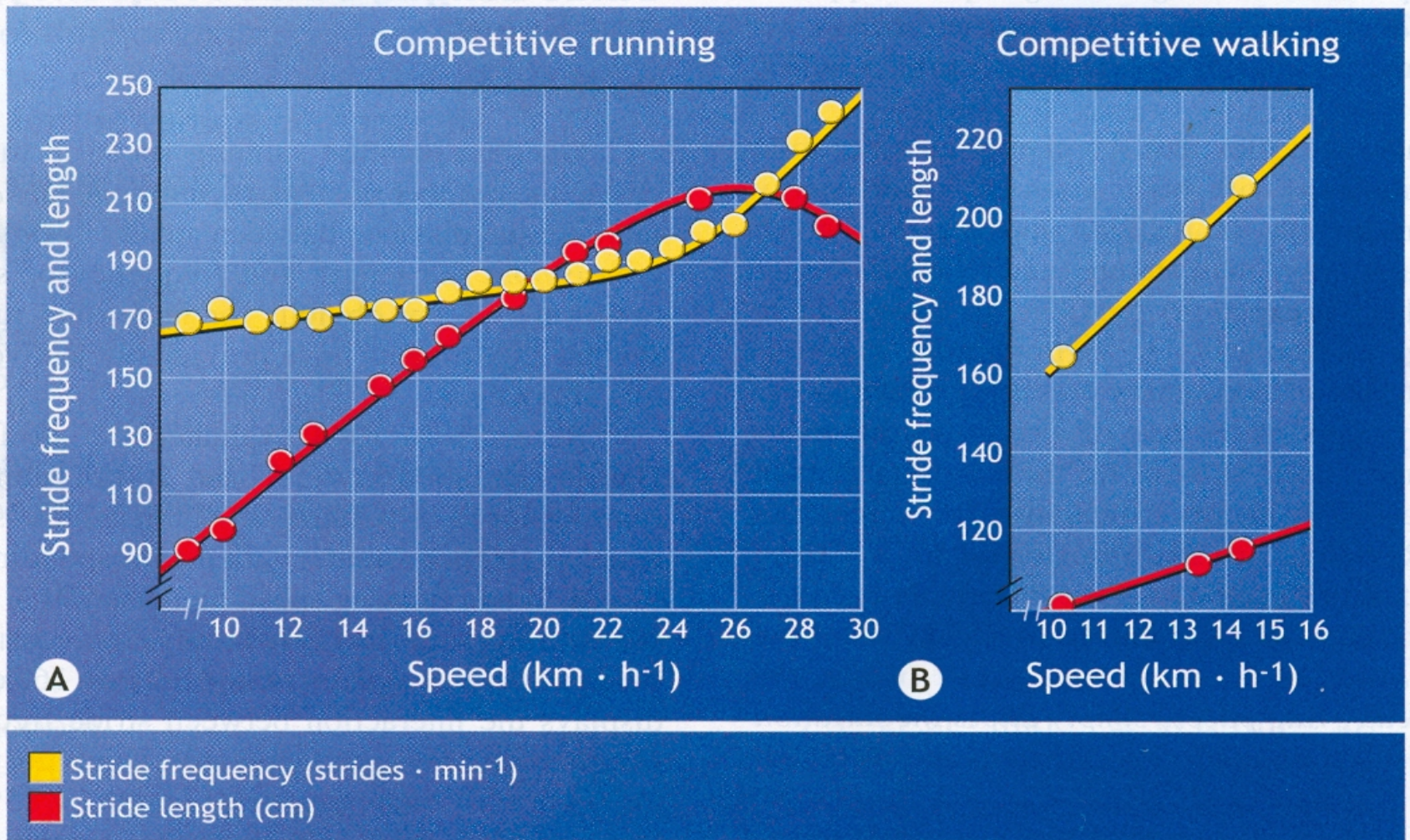


Figure 10.6 **A.** Stride frequency and stride length plotted as a function of running speed. **B.** Data for an Olympic walker during race-walking. (From Hogberg P. Length of stride, stride frequency, flight period and maximum distance between the feet during running with different speeds. *Int Z Angew Physiol* 1952;14:431.)

DALŠÍ PROSTŘEDKY ZVYŠUJÍCÍ VYTRVALOSTNÍ BĚŽECKÝ VÝKON

- ☐ Povolené prostředky
- ☐ Zakázaný doping



DALŠÍ PROSTŘEDKY ZVYŠUJÍCÍ VYTRVALOSTNÍ BĚŽECKÝ VÝKON

Povolené prostředky

(Noakes 2003, Powers & Howley 2007)

- **Požití karbohydrátů s nízkým glykemickým indexem** před, příp, v průběhu dlouhého vytrvalostního výkonu.
- Pobyt a **trénink v hypoxickém prostředí** → stimulace erythropoézy → zvýšení kapacity Hb pro přenos O₂
 - ve vysoké nadmořské výšce na 2500 m n.m.
 - v hypoxické komoře
- **Antioxidancia** – ochrana před zátěžovým poškozením buněk a tkání (vit. C,E,A; Se,Zn).
- **Proteiny a aminokyseliny s větvenými řetězci** – doplnění ztrát aminokyselin při dlouhodobém vytrvalostním tréninku.
- (Aminokyseliny **Lysin, Arginin, Ornithin** nemají efekt.)
- (**Karnitin** nemá efekt.)
- (Trénink s **Kreatinem** zlepšuje krátkodobé výkony 6-20 sec; riziko: hyperhydratace – zvýšení hmotnosti, compartment sy; GIT dyskomfort, nevolnost aj.)

Efekt glycidů s různým glykemickým indexem na glykémii a inzulínemii

(Noakes, 2003)

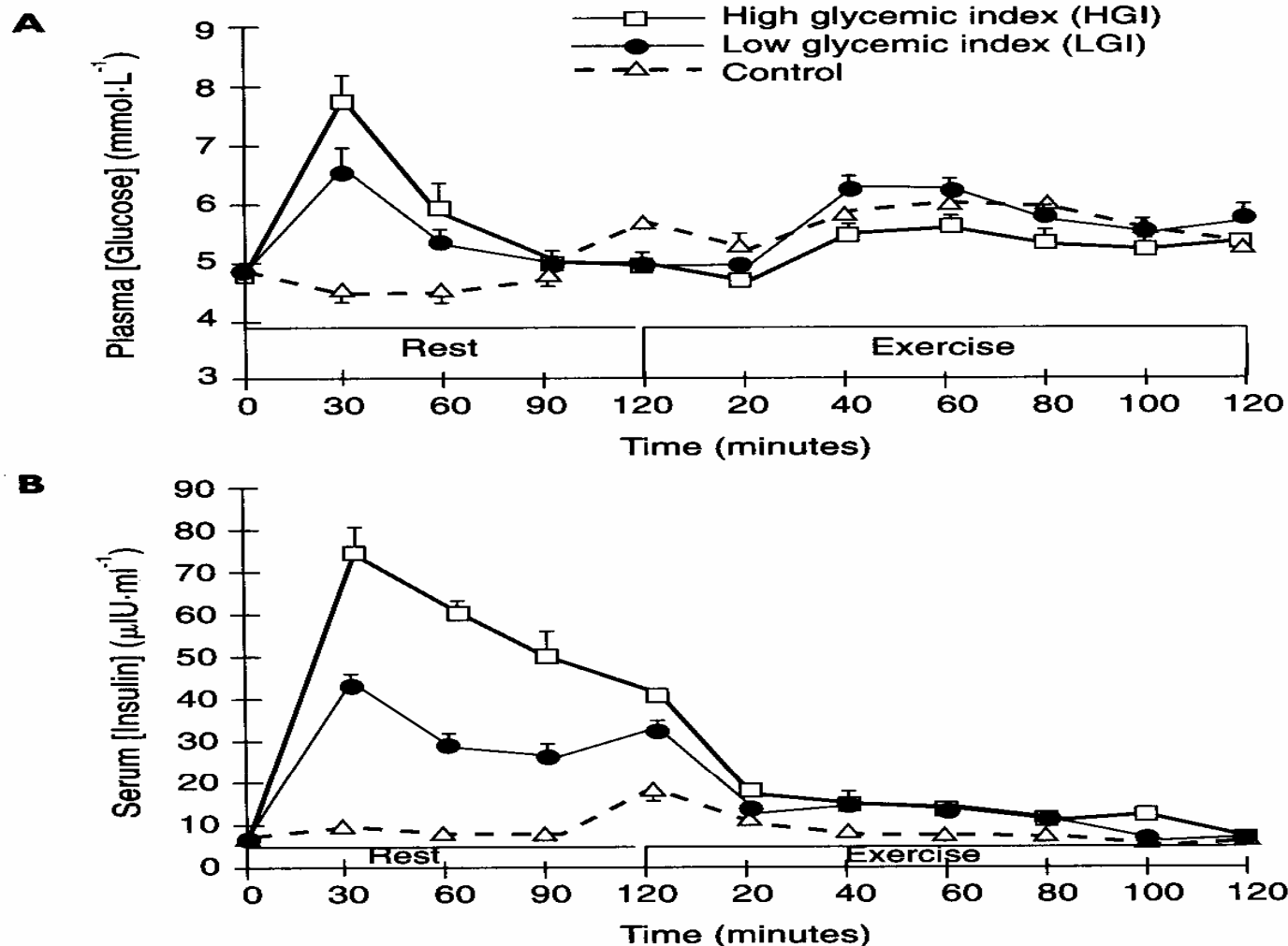


Figure 3.14 Plasma glucose (A) and serum insulin (B) concentrations 2 hours after ingestion of high and low glycemic index (HGI and LGI) carbohydrates at time 0, followed by 2 hours of exercise during which subjects ingested carbohydrate at regular intervals. In the control trial, subjects did not ingest carbohydrate before exercise.

From L.M. Burke, Claassen, et al. (1998, p. 2222). © 1998 by The American Physiological Society. Reprinted by permission.

DALŠÍ PROSTŘEDKY ZVYŠUJÍCÍ VYTRVALOSTNÍ BĚŽECKÝ VÝKON

Zakázaný doping

- ***Krevní doping*** – *autotransfuze* (riziko ischemie tkání, hypertenze atd.)
- ***Erythropoetin (EPO)*** – stimulace erythropoézy (riziko ischemie tkání, hypertenze)
- ***Dodávka kyslíku***
 - *pití oxygenované vody* (riziko většího množství volných kyslíkových radikálů a poškození buněk - tkání!)
 - hyperbarická komora - *inhalace vzduchu s větším množstvím kyslíku* (nad 21vol.%)
- ***Amfetaminy a sympatomimetika*** stimulují CNS
 - potlačují únavu.

Fyziologické principy tréninku a zátěžové testy běžců

Literatura

1. Fox EL, Mathews DK. *Interval Training: Conditionning for Sports and General Fitness*. Saunders College Publishing, Orlando 1974.
2. Jones AM. Middle- and long-distance running. In: *Sport and Exercise. Physiology Testing Guidelines*. (eds. Winter EM et al). Vol. I – *Sport Testing*. Routledge, Abingdon 2007, p. 147-154. ISBN 0-415-36140-0
3. McArdle VD, Katch FI, Katch VL. *Exercise Physiology*. Lippincott Williams & Wilkins, Baltimore 2007, 1068 pp. ISBN 0-7817-4990-5.
4. Noakes T. *Lore of running*. Human Kinetics, Champaign 2003, 930 pp. ISBN 0-87322-959-2.
5. Powers SK & Howley ET. *Exercise Physiology. Theory and Application to Fitness and Performance*. 6th Edition. McGraw-Hill International Edition, New York 2007, 540 pp. ISBN 0-07-110726-6.
6. Sharkey BJ a Gaskill SE. *Sport physiology for coaches*. Human Kinetics, Champaign 2006, 310 pp.
7. Seiler KS a Kjerland GO. Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an „optimal“ distribution?. *Scand J Med Sci Sports* 16, 2006: 49-56.
8. Solberg G et al. Respiratory gas exchange indices for estimating the anaerobic threshold. *J Sport Sci Med* 4, 2005: 29-36. (<http://www.jssm.org>)
9. Wilmore JH, Costil DL. *Physiology of sport and exercise*. Human Kinetics. Champaign 2004, 726 pp. ISBN 0-7360-4489-2.