

Fyziologické principy tréninku a testy běžců

Jan Novotný, Martina Novotná
Fakulta sportovních studií Masarykovy univerzity, Brno 2008

(Publikováno v časopise Atletika, ročník 60, 2008, číslo 11, doplněk „atletika plus“, str. 1-5 a 8)

ÚVOD

Hledání nejefektivnějších způsobů tréninku běžců je stále aktuální téma. Několik desítek let trvala určitá stabilizace znalostí fyziologie tréninku, které zahrnovaly mimo jiné „anaerobní práh“, „aerobní a anaerobní zónu“ atd. a byly velkým přínosem ve sportovní teorii a praxi. Posledních asi 8-10 let se objevily nové poznatky v oblasti energetického metabolismu tělesné zátěže, především o úloze laktátu jako významného zdroje energie pro svalovou práci, o zdrojích zátěžové metabolické acidózy aj. Nejde o revoluci ve fyziologii tělesné zátěže. Je však potřeba tyto novinky integrovat s již známými znalostmi.

Hlavním cílem tohoto článku je poskytnout trenérům i běžcům stručný souhrn současných fyziologických principů energetického metabolismu, které se dotýkají tréninku běžců, zvl. běžců na střední a dlouhé tratě. Převážná část této statě představuje dlouhodobě známé a v současné době nezavrhané poznatky. Ty jsou doplněny o nové znalosti. V textu jsou též uvedeny příslušné zkratky a anglické odborné výrazy, protože chceme čtenářům pomoci udělat si jasno v používané terminologii, která je v této oblasti značně různorodá.

Tento souhrn poznatků je čtenářům předkládán z pohledu sportovního lékaře, fyziologa i atleta a je rozdělen do pěti částí:

1. Energetický metabolismus svalových vláken
2. Fyziologické principy tréninku
3. Druhy tréninku
4. Zátěžové testy
5. Poznámky k anaerobnímu prahu

1. ENERGETICKÝ METABOLISMUS SVALOVÝCH VLÁKEN

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

Vlákná kosterních svalů jsou místem, kde dochází k přeměně chemické energie na tepelnou (kolem 80%) a mechanickou (kolem 20%). Ve všech typech vláken je bezprostředním chemickým zdrojem energie Adenosin-tri-fosfát (ATP). Jeho zásoby je potřeba obnovovat pomocí dalších zdrojů. Těmito zdroji jsou Adenosin-di-fosfát (ADP) a Kreatinfosfát (CP), Glukóza, pak substance vzniklé rozložením tuků (Lipidů) – to jsou volné mastné kyseliny (VMK; FFA – Free fatty acids) a triglyceridy, a nakonec i Bílkoviny (Proteiny). Podíl Proteinů na zisku energie je velmi malý: Asi 2% při jednohodinovém maximálním výkonu, 5-10% při tříhodinovém a delším výkonu.

Typy svalových vláken

Zjednodušené rozřazení svalových vláken podle jejich metabolických schopností do tří základních typů je následující:

- **Pomalá vlákna** (typ I, SO – Slow oxidative)
V pomalých vláknech zcela jasně dominuje oxidativní (aerobní) rozklad energetických zdrojů – tuků (lipolýza), glukózy (glykolýza) a laktátu („laktátolýza“).
- **Rychlá (přechodná) vlákna** (typ IIa; FOG – Fast oxidative glycolytic)
V těchto vláknech byl prokázán významný podíl jak oxidativní glykolýzy tak neoxidativní (anaerobní) glykolýzy. Neoxidativní glykolýza je spojena s produkcí Laktátu.

- **Rychlá vlákna** (typ IIX; FG - Fast glycolytic)

V rychlých vláknech je zcela jasně dominantní anaerobní glykolýza s produkcí Laktátu. Původní označení typ IIB se změnilo na IIX, protože výzkumy prokázaly, že struktura myosinu v lidských vláknech je od živočišného myosinu (ve vláknech IIB) odlišná.

Poznámka: Histochemická analýza přivedla fyziology k rozlišení ještě dalších typů a podtypů vláken. Avšak pro potřeby trenérské praxe, a vzhledem ke značné nejednotnosti jejich charakteristik různými autory, není nutné je zde podrobně popisovat.

Poměr zastoupení různých typů svalových vláken u běžců

Hlavním faktorem, který poměr vláken různého typu předurčuje je vrozená dispozice, zakódovaná v genech. Histologickou a histochemickou analýzou vzorků svalových vláken byly zjištěny u běžců různého zaměření určité rozdíly. U vytrvalostních běžců je větší podíl pomalých vláken než u sprinterů (Tab.1). To je zřejmě způsobeno především výběrem jedinců pro tuto sportovní disciplínu a částečně i dlouholetým tréninkem:

Tab.1: Podíl typů vláken na složení svalů elitních atletů (%) (Upraveno podle Powers & Howley 2007)

Disciplína	Typ I (%)	Typy IIa a IIX (%)
<i>Vytrvalostní běžci</i>	70-80	20-30
<i>Sprinteři</i>	25-30	70-75
<i>Nesportovci</i>	47-53	47-53

Stav a podíl jednotlivých typů svalových vláken u každého jedince se v průběhu života a zvláště za určitého pohybového režimu může částečně měnit.

Adaptace svalových vláken na tréninkovou zátěž

O adaptaci svalových vláken na tréninkové zatížení jsou známa následující fakta (Powers & Howley 2007):

- Zatímco silový trénink vede především k hypertrofii vláken, vytrvalostní trénink stimuluje zvýšení enzymatické oxidativní kapacity vláken.
- Jak vytrvalostní tak odporový trénink mají za následek určitý **posun od rychlých k pomalým vláknům**.
 - Odporový trénink vede k mírnému snížení poměru vláken IIX / IIa.
 - Dlouhodobý vytrvalostní trénink vede ke zvýšení podílu vláken I / IIX.
 - Dochází k postupné přeměně vláken typu IIX na IIa a typu IIa na typ I.

Zmíněná adaptace asi bude jednou z příčin, proč se v dospělosti, především ve veteránských kategoriích, vytrácejí sprintérské schopnosti, a naopak vytrvalostní schopnosti se dobře udržují nebo i zlepšují.

Laktát jako produkt i zdroj energie

Aktuální **koncentrace laktátu v krvi** je výsledkem současného přísunu laktátu z místa jeho produkce (ze svalů) do krve a odsunu z krve (do jater, kosterních svalů, myokardu a bránice, kde je odbouráván).

Při intenzitách zatížení nad úroveň tzv. anaerobního prahu, kdy je relativní nedostatek přísunu kyslíku pro aerobní energetické metabolické cesty se zvyšuje produkce laktátu:

- Zvyšuje se podíl anaerobně získávané energie ve svalech.** V mechanismu tohoto procesu se zřejmě uplatňuje to, že
 - H^+ se nestačí přenášet do mitochondrií a je využit pro přeměnu Pyruvátu na Laktát,

- zvyšuje se aktivita enzymu přeměny Pyruvátu na Laktát (LDH - Laktát-dehydrogenáza), především v rychlých svalových vláknech.

b) Je potřeba vyvinout větší sílu **a do činnosti se zapojuje více anaerobních vláken.**

Konverze substrátů energetického metabolismu Pyruvát → Laktát je reverzibilní i v kosterních svalech! Konverzi opačným směrem, Laktát → Pyruvát, katalyzuje jiná forma LDH (jiný izoenzym Laktátdehydrogenázy), a to především v pomalých svalových vláknech (a také v srdci, bránici a mozku).

Pyruvát konvertuje na Acetyl-CoenzymA a ten je oxidativně zpracován v Krebsově cyklu, jenž produkuje molekuly ATP .

Pro fyziologii tréninku můžeme **poznatky o úloze laktátu stručně shrnout takto** (Noakes 2003):

Laktát je

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

2. FYZIOLOGICKÉ PRINCIPY TRÉNINKU

Zkušenosti a výzkum přinesly poznatky určitých zákonitostí, které se ve sportovním tréninku uplatňují, které se asi nedají obejít a které je potřeba využít (*McArdle, Katch, Katch, 2007*):

- **Princip dostatečného zatížení** („overload“) – pravidelný soustavný stimul vedoucí k žádoucí odpovědi organismu. Aby fyzická zátěž vyprovokovala adaptační změny, musí mít určitou (minimální) frekvenci, intenzitu a trvání.
- **Princip specifity** – adaptace určitých metabolických a fyziologických funkcí, kterou lze dosáhnout specifickou stimulací. Různé druhy cvičení vedou k různým výsledkům.
- **Princip individuálních odlišností** – modifikace tréninku podle individuálního stavu fyziologických funkcí (např. úrovně adaptace, způsobu reakce). Různí lidé reagují na stejné podněty různým způsobem. Nakonec stejní lidé reagují na stejný podnět v různou dobu ne úplně stejně.
- **Princip reverzibility** – tréninková adaptace je přechodná. Bez tréninku dochází k ztrátě tréninkové adaptace – k **detréningu** (např. snížení maximálního příjmu kyslíku o 25% za 20 dnů; tj. 1% za den)
- Při každém tréninku je potřeba myslet na riziko **přetížení** („overreaching“). V případě jeho vzniku většinou stačí několik dnů až 1-2 týdny odpočinku, aby nedošlo k další kumulaci únavy a rozvoji komplikací - k **přetrénování** („overtraining syndrom“). Jeho rozvoj a řešení je problémem měsíců až roků.

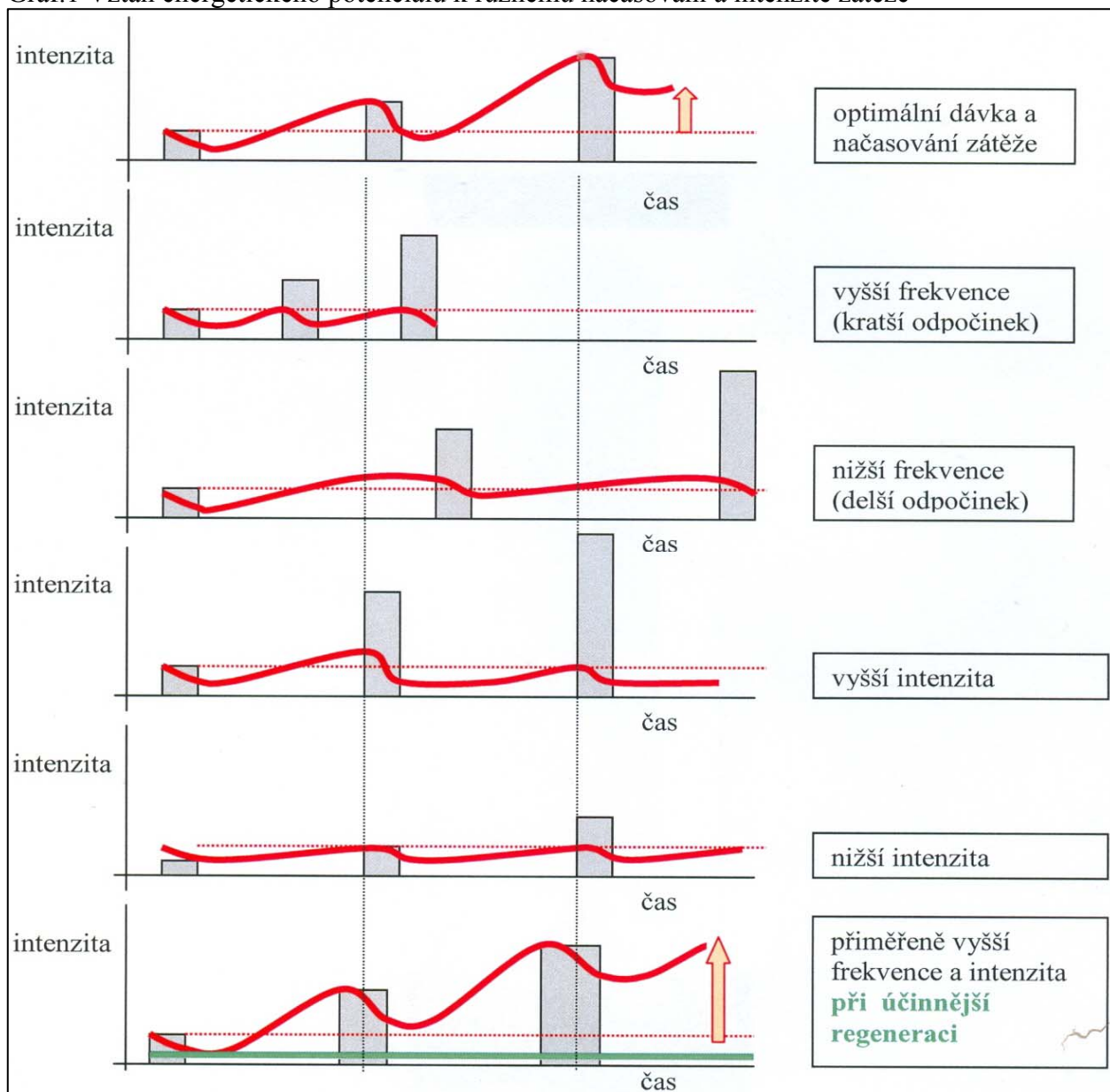
Uvedené principy se v praktickém životě neuplatňují izolovaně, mají sdružený účinek, který se projevuje v průběhu času. Jejich správným využitím v tréninku se dosáhne vyšší úrovně adaptace na zátěž a lepšího běžeckého výkonu.

➤ **Tzv. princip superkompenzace**

V průběhu a časně po přiměřené zátěži dochází k normálnímu (fyziologickému) úbytku zásob energie. Při dostatečném odpočinku se v určitém okamžiku energetický potenciál zvýší nad původní (předzátěžovou) úroveň.

Vztah energetického potenciálu k různému načasování a intenzitě zátěže je zjednodušeně znázorněn v Graf.1:

Graf.1 Vztah energetického potenciálu k různému načasování a intenzitě zátěže



Vysvětlení: Šedé obdélníčky zobrazují fyzickou zátěž v tréninku, která má určité trvání a frekvenci (osa x) a intenzitu (osa y). Červená křivka zobrazuje okamžitý energetický potenciál, který se při optimálním dávkování zátěže a regeneraci (první a poslední příklad) postupně zvyšuje (růžová šipka) a dostává nad výchozí úroveň (fialová vodorovná linie). Ostatní příklady znázorňují situace, kdy špatné dávkování zátěže – přetížení (příliš vysoká intenzita, frekvence nebo trvání nebo naopak nedostatečná stimulace (příliš nízká intenzita nebo frekvence) – vedou ke stagnaci nebo snížení úrovně energetického potenciálu.

Svalová práce při běžeckých výkonech je energeticky hrazena ve třech hlavních energetických systémech.

Tři hlavní energetické systémy (Powers & Howley 2007):

- **Systém ATP-PC:** Anaerobní využití Adenosintrofosfátu a Kreatinfosfátu
- **Systém anaerobní glykolýzy** (neoxidativní fosforylace): Anaerobní využití Glukózy (s produkcí Laktátu)
- **Aerobní systém** (oxidativní fosforylace): Aerobní využití zdrojů

- Lipidů (Volných mastných kyselin a Triacylglycerolu)
- Glukózy (Karbohydrátů)
- Kyseliny mléčné (Laktátu)
- Proteinů (Aminokyselin)

Nejlepším ukazatelem kapacity aerobního systému je maximální příjem kyslíku ($VO_2\max$).

Běžeccké výkony na různě dlouhých tratích čerpají energii ze zmíněných systémů v různých poměrech. Přehled podává Tab.2. Od nich se také odvíjí cíl tréninkového úsilí. Pro zlepšení vytrvalostního výkonu je potřeba trénovat především aerobní systém, pro sprint systém ATP-CP a anaerobní systém, pro výkon na středních tratích jak aerobní tak anaerobní systém.

Tab. 2: Podíl energetických systémů (%) na běžecckých tratích různé délky (Fox & Mathews 1974)

Délka tratě	Energetický systém		
	ATP-CP	Glykolýza (anaerobní)	Aerobní
100/200 m	98	2	-
400 m	40	55	5
800 m	10	60	30
1500 m	5	35	60
5000 m	2	28	70
Maraton	-	2	98

Poznámka: Vzhledem k novým poznatkům o aerobním využití laktátu jako zdroje energie bude aerobní podíl při bězích na 200 m a delších o něco vyšší.

Podíl tuků jako zdroje energie je vyšší při běhu nižší rychlostí a naopak nižší při běhu vyšší rychlostí.

Maximální zisk energie z tuků (lipidů) je při běhu s intenzitou kolem 50-70 % $VO_2\max$. Při nižší a vyšší intenzitě je jeho množství menší (Powers, 2007). Z toho logicky vyplývá, že pokud chceme zlepšovat především energetický systém oxidativní lipolýzy (pro lepší výkony při **ultramaronu**, příp. maratonu), měli bychom se v tréninku pohybovat na této intenzitě.

Cílem tréninku je zvětšit kapacitu zmíněných energetických systémů (Powers & Howley 2007).

3. DRUHY TRÉNINKU

Jednotlivé druhy tréninku jsou následující (Powers & Howley 2007):

⇒ Trénink vedoucí ke zlepšení aerobní schopnosti

- Intervalový trénink (více účinný)
- Vysoká intenzita - kontinuální zátěž (více účinný)
- Nízká intenzita – dlouhodobá zátěž s pomalejším pohybem (méně účinný)

Genetická dispozice $VO_2\max$ je kolem 40-66%. Intenzivní trénink může u netrénovaného člověka zvýšit $VO_2\max$ 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 a Retrénink

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% maximální srdeční frekvence (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 na klidový příjem kyslíku nebo srdeční frekvence na 120 tepů za minutu 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 a **Počet sérií** v 1 intervalovém tréninku se odvíjí od stavu a trénovanosti sportovce a od tréninkového období.

Aerobní trénink s kontinuální zátěží s vysokou intenzitou

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

- **Je to relativně nepřerušovaný běh s přibližně stejnou vyšší rychlostí.**

Intenzita:

80-90% maximálního příjmu kyslíku (VO₂max), u dobře trénovaných sportovců na úrovni nebo těsně nad úrovní „lactate threshold“ (*Autoři mají zřejmě na mysli Druhý laktátový práh nebo Laktátový bod obratu nebo Druhý ventilační práh – viz níže.*)

90% HRmax, 95% maximální srdeční rezervy (HRR = HRmax-HRklid)

Čas trvání:

25-50 min (dle úrovně zdatnosti sportovce).

Aerobní trénink s kontinuální zátěží s nízkou intenzitou

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

- **Je to dlouhodobý trénink s pomalejším pohybem na delší vzdálenost** (LSD – long–slow–distance)
- Je méně efektivní na zvýšení VO₂max než krátkodobá vysokointenzivní zátěž (viz dále).

Intenzita: 60 %VO₂max, 70% HRmax

Trvání: déle než při závodě, asi nad 60 min (1,5 h denně má stejný efekt jako 3 h denně)

Aerobní trénink – Fartlek (švédsky – hra s rychlostí)

(McArdle, Katch, Katch, 2007)

- **Jde o 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 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.

Např: 3x týdně 10x (30s zátěž + 2-4 min zotavení) – po 7 týdnů

Trénink ke zlepšení ATP-CP systému (anaerobní)

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

- **Jde o intervalový trénink s opakovanými krátkými maximálně intenzivními zátěžemi.**
- Je spojen s nízkou produkcí Laktátu – rychlou regenerací

- Měly by se zatížit svaly, které pracují v soutěži.
Čas pracovního intervalu: 5-10 sec
Čas odpočinkového intervalu: 30-60 sec (dle zdatnosti atleta).
Počet intervalů a opakování dle zdatnosti atleta.

Určitou **orientační pomůckou** při stanovování rychlosti běhu při intervalovém tréninku (asi významně neodporující současným fyziologickým poznatkům) mohou být také časy na tréninkových úsecích určité délky (*Fox & Mathews 1974, In: Mc.Ardle et al., 2007*), viz Tab.3.

Tab.3: Časy pracovních intervalů běžeckého tréninku (*Fox & Mathews 1974, In: Mc.Ardle et al., 2007*)

Vzdálenosti pracovních úseků	Časy pracovních intervalů běžeckého tréninku
800 m	o 3-4 sec pomaleji než je průměr na 400 m z běhu na 1600 m
400 m	o 1-4 sec rychleji než je průměr na 400 m z běhu na 1600 m
200 m	o 5 sec pomaleji než je nejlepší výkon
100 m	o 3 sec pomaleji než je nejlepší výkon
50	o 1,5 sec pomaleji než je nejlepší výkon

Doladění před závodem (Tapering)

(*Houmard et al., 1994, In: Wilmore, Costil, 2004*)

- **Snížení tréninkové zátěže v posledním týdnu před závodem.** Lze zlepšit čas běhu na 5 km i o 3% a snížit příjem kyslíku o 6% (zlepšení ekonomiky běhu).
Např. z běžných tréninkových dávek 10 km/den se v posledních 7 dnech před závodem přejde na nízké dávky 3-2,5-2-1,5-1,25-1-0,75 km.

Detrénink a Retrénink

(*Wilmore, Costil, 2004*)

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

4. ZÁTĚŽOVÉ TESTY

Vzhledem k tomu, že se jedná o laboratorní testy, které neprovádějí trenéři ale jiní specialisté (většinou tělovýchovní nebo sportovní lékaři nebo fyziologové), je tato kapitola bez metodických podrobností. Kapitola by měla pomoci trenérům se orientovat mezi testy a přinést základní informace, co od nich mohou očekávat, případně s jakými problémy mohou být spojeny.

V první části této kapitoly jsme velmi stručně shrnujeme tři skupiny testů. Každá skupina testů je zaměřena na diagnostiku jednoho ze tří hlavních energetických systémů, jak jsou popsány v kapitole 2, případně ověřit jejich změnu po tréninku, který je uveden v kapitole 3 (*McArdle, Katch, Katch, 2007 a Powers & Howley, 2007*):

- Testy aerobního systému
- Testy Glykolytického systému
- Testy ATP-CP systému

Testy by se měly provádět při běhu na běhátku (ne bicyklový ergometr), který se podobá práci běžce na sportovišti. Výsledky by měly odrážet odezvu fyziologických funkcí při běhu, aby byly použitelné pro hodnocení běžeckého tréninku a jako vodítka pro plánování dalšího tréninku.

Ve druhé části kapitoly jsou popsány dva speciální běžecké testy (*Jones, 2007, Smith et al. 2000*):

- Test na běžícím páse – komplexnější test pro běžce na tratích 800 m až maraton.
- 60s test na běžícím páse - pro běžce na 400 m a středotrat'áře (běh na 800-1500 m)

Na konci kapitoly jsou popsány často používané respirační ukazatelé anaerobního prahu RER-AT, Vslope-AT, EqO₂-AT (Solberg et al., 2005).

Testy Aerobního systému (Powers & Howley 2007)

- **Testy slouží ke zjištění účinnosti tréninku a prediktorů běžeckého výkonu na 800 m až maraton** (McArdle, Katch, Katch, 2007, Powers & Howley 2007):
 - **Maximální příjem kyslíku** (VO₂max) je dlouhodobě celosvětově uznávaným nejlepším a standardním ukazatelem aerobní kapacity. Čím vyšší tím lepší.

Poznámky:
Pro zjištění VO₂max je potřeba provést spiroergometrický test se stupňovanou zátěží do maxima (do vyčerpání). Pro srovnání různě velkých osob je potřeba jej přepočítat na kg hmotnosti. Spiroergometrický systém, obsahující měřič ventilace a analyzátor výdechového vzduchu pro zjištění koncentrace kyslíku a oxidu uhličitého a výpočet odvozených indikátorů, je finančně docela náročný – kolem 0,5-1,5 mil. Kč. Výraz „spotřeba kyslíku“ není úplně správný, vhodnější je „příjem kyslíku“, protože měříme jeho koncentraci v nadechovaném a vydechovaném vzduchu a počítáme jeho příjem na vstupu do dýchacích cest. Vdechnutý kyslík není úplně spotřebován, část jej vydýcháme v oxidu uhličitém. Neměříme přímo jeho spotřebu v metabolismu tkání. Hlavním kritériem stanovení VO₂max je dosažení jeho plateau VO₂ (již dále neroste), pomocným kritériem je poměr výměny dechových plynů (respiratory exchange ratio – RER) nad 1,10 a alespoň 8 mmol.l⁻¹ pozátěžové koncentrace laktátu.
 - **„Anaerobní práh“** (ANP) - intenzita zátěže při níž se začne více využívat anaerobní glykolýza pro získání energie ve svalu. Osoby s lepší aerobní kapacitou mají tento práh při vyšší rychlosti běhu a vyšším %VO₂max.
 - Stanovuje se jako začátek nárůstu koncentrace laktátu v krvi (**Laktátový práh**) nebo ventilace (**Ventilační práh**) při stupňované zátěži.
 - Při stanovení „anaerobního prahu“ při běhu se nedoporučuje používat konstantu koncentrace laktátu 2 nebo 4 mmol/l, protože nerespektuje individualitu sportovce.
 - U netrénovaných sportovců bývá „anaerobní práh“ při intenzitě aerobního metabolismu na úrovni 50-60% VO₂max, u vytrvalostně trénovaných na 65-80, resp. 80-90% VO₂max.

Poznámka: Laktátový práh vyžaduje opakované odběry krve v průběhu zátěže, většinou z ušního lalůčku. Ke stanovení ventilačního prahu potřebujeme spiroergometrický systém. Další poznámky jsou uvedeny v kapitole 5.
 - **Kyslíkový poločas:** Kratší poločas (rychlejší dosažení poloviny nejvyššího příjmu kyslíku ke konci zátěže v testu) koreluje s maximálním příjmem kyslíku a aerobní kapacitou.

Poznámka: Zjišťuje se při spiroergometrii s určitou kontinuální zátěží (lehkou, střední, submaximální, příp. maximální). Není rutinně využíván.
- Vytrvalostní trénink posunuje Laktátový práh do vyšších rychlostí běhu (Noakes, 2003).
- VO₂max je lepším prediktorem výkonů v běhu na 5-10 km než Laktátový práh (Noakes, 2003).
- Tzv. Conconiho anaerobní práh (stanovený ze závislosti srdeční frekvence na rychlosti běhu) nevypovídá o metabolickému prahu (Noakes 2003).

Poznámka: Přestože byla nalezena statistická korelace mezi intenzitou zátěže na úrovni „Conconiho anaerobního prahu“ a intenzitou na úrovni „druhého laktátového prahu“, těžko se hledají fyziologické argumenty pro jeho stanovení a aplikaci v tréninku sportovců. Srdeční frekvence s déle trvající zátěží postupně roste, po půl hodině střední zátěže zřejmě roste více než lakacidémie (koncentrace laktátu v krvi).
- **Testy mohou poskytnout výchozí údaje pro řízení intenzity zátěže běžce v tréninku:**

- **100% VO_{2max}** – tj. maximální příjem kyslíku.
- **100% HRmax** (HR – heart rate – srdeční frekvence) – pokud se jako tréninkové vodítko používá % z maximální srdeční frekvence. Jde o nejvyšší dosaženou srdeční frekvenci při zátěži do maxima.
Poznámka: Maximální srdeční frekvenci lze zjistit také při dostatečně dlouhé (raději alespoň 6 minut) stupňované zátěži do vyčerpání (stále se zrychlující běh do mírného kopce).
- **100% HRR** (HRR – heart rate reserve – rezerva srdeční frekvence) – pokud se jako tréninkové vodítko používá % z maximální srdeční rezervy (tj. rozdílu mezi klidovou a maximální srdeční frekvencí).
Poznámka: Klidovou srdeční frekvenci je potřeba zjistit po procitnutí ráno při duševním a tělesném klidu vleže, nejlépe sporttesterem.
- **Laktátový práh nebo Ventilací práh.**
(Poznámky k prahům jsou uvedeny dále.)

Testy Glykolytického systému (Powers & Howley 2007)

- **Testy slouží ke zjištění účinnosti tréninku a prediktorů běžeckého výkonu na 200-1500 m**
 - **Wingate test** se provádí na bicyklovém ergometru. Původní test představoval konstantní odpor $7,5 \text{ N.kg}^{-1}$, který se sportovec snaží překonávat s maximálním úsilím po dobu 30 sekund. V průběhu testu se zpravidla výkon postupně snižuje. Hlavními ukazateli funkční („anaerobní“) zdatnosti jsou: Práce vykonaná za celých 30 sec, nejvyšší dosažený výkon, průměrný výkon a také „index únavy“ (poměr nejnižšího výkonu na konci testu proti nejvyššímu výkonu).
Poznámky:
 - Protože jde o test na bicyklovém ergometru, zátěž se méně podobá běžeckému výkonu a výsledky neposkytují nejlepší obraz „anaerobních“ běžeckých schopností.
 - Existuje modifikace pro izokinetický ergometr, kdy sportovec za konstantních otáček zpočátku vyvine větší (a později s nastupující únavou menší) tlak na pedály. Vypočtený výkon také postupně klesá, lze vypočítat i vykonanou práci a další indexy. Trvání testu je také 30 sec.
 - Máme zkušenosti s další modifikací testu (podle nepublikovaného sdělení Plachety a Dražila) pro běžný bicyklový ergometr. Sportovci je nastavena maximální kontinuální zátěž – výkon (děvčatům kolem $4-5 \text{ W.kg}^{-1}$) a chlapcům ($5-6 \text{ W.kg}^{-1}$). Sportovec se snaží šlapat co nejdéle. Měří se čas. Bývá dosahováno času 30 sekund až 3 minuty. Vypočte se celková práce (výkon * čas [$J=W*s$]) a přepočte na kg hmotnosti.
 - **Maximální akumulovaný kyslíkový deficit (MAOD)** – je ukazatel, který lze získat při kontinuální maximální zátěži do vyčerpání. Jde o sumu „chybějícího“ kyslíku v době „vytváření kyslíkového dluhu“ od začátku zátěže do okamžiku dosažení maximálního příjmu kyslíku a ukončení zátěže.
Poznámka: Lze jej zjistit při spiroergometrii s kontinuální zátěží do maxima. Problém je v odhadu správné rychlosti běhu, kterou musíme na běhacím koberci nastavit. Většina systémů nemá v programu jeho výpočet. Nebývá často zjišťován.
 - **Maximální koncentrace laktátu** po 30 sec vyčerpávající zátěži, kterou sportovec absolvoval s co největším úsilím. Je logické, že větší kapacita anaerobního glykolytického systému vyprodukuje více laktátu.
Poznámka: Okamžik odběru krve na stanovení maximální koncentrace laktátu musí respektovat dobu, po kterou se laktát dostává z jeho místa produkce (svalu) do místa odběru (ušní lalůček, prsty rukou). Tato doba může být kolem 2-3 minut; kolísá také v závislosti na dosažené intenzitě zátěže, věku atd. Záleží na vůli sportovce, jak se dokáže přinutit k maximálnímu výkonu. Měly by být zachovány vždy stejné podmínky testu a odběru, včetně tělesného klidu po skončení zátěže. Hodnoty koncentrace laktátu mohou

být kolem 12-18 mmol.l⁻¹ a jsou značně individuální. Správnější je zjistit rozdíl mezi maximální koncentrací laktátu a její hodnotou v klidu před zátěží. Odběr a krve a měření laktátu je již docela standardní metodou u vysoce výkonnostních a vrcholových běžců. Pořizovací náklady na přístroj jsou kolem 5 tis. Kč a provozní náklady na každý odběr a měření kolem 80 Kč.

Testy ATP-CP systému (Powers & Howley 2007)

- **Zjištění účinnosti tréninku a prediktorů běžeckého výkonu na 60-400 m**
 - Test **sprintu na schodech**: Z rozběhu po rovině 6 m se vyběhne co nejrychleji do 9 schodů, měří se čas na úseku 3.-9. schodu. Hlavním ukazatelem je podaný výkon, který se vypočte takto:

$$\text{Výkon [kg.m.s}^{-1}] = \{\text{Hmotnost [kg]} * \text{Výška schodů [m]}\} / \text{Čas [s]}$$
 Po vynásobení kg.m.s⁻¹ konstantou 9,8 získáme údaj o výkonu ve watech.
 Větší výkon ukazuje na větší kapacitu ATP-CP systému.
 - Vertikální **výskokový test**: Jsou dva zcela odlišné způsoby:
 - Při prvním se jednoduše měří **výška výskoku** za pomoci jednoduchého mechanického zařízení (např. vodorovné tyčky) nebo značek u stěny.
Poznámka: Pokud chceme srovnávat osoby různé velikosti, je potřeba výšku výskoku (u dospělých mužů kolem 40-50 cm) dělit výškou postavy nebo povrchem těla. Výška výskoku koreluje s kapacitou ATP-CP systému.
 - Druhý způsob je přístrojově náročný. Na speciálním **výskokovém ergometru** lze provést měření času, příp. síly, kterou sportovec vyvine na podložku při odrazu při jednom, dvou nebo třech výskocích co nejrychleji provedených za sebou (delší test již ale přesahuje do testování anaerobní glykolytické kapacity).
Poznámky:
 - Při měření je potřeba uvést hmotnost a výšku sportovce. Z primárních dat se vypočte výška výskoku, výkon, příp. zrychlení aj. Jejich velikost koreluje s kapacitou ATP-CP systému. Přístroj je relativně dostupný, protože jeho pořizovací náklady jsou kolem 17 tis. Kč.
 - Již delší dobu je znám vztah mezi výkonem a podílem pomalých a rychlých vláken ve svalcích v určitých věkových kategoriích u děvčat i u chlapců (Hamar a kol., 1992), což dává velmi cennou možnost hrubého odhadu vrozené dispozice k rychlostním nebo vytrvalostním výkonům.
 - **Skok do dálky z místa**: Délka jednoho skoku koreluje se silou, kterou je nutno při odrazu vyvinout a s množstvím získané energie ze systému ATP-CP.
Poznámka: Pro porovnání různě velkých osob je opět potřeba výsledek přepočíst na výšku nebo hmotnost nebo povrch těla.
 - **Kyslíkový deficit iniciální fáze**: U osob s větší kapacitou ATP-CP systému je na začátku lehké nebo středně intenzivní tělesné zátěže, při níž dojde ke stabilizaci příjmu kyslíku, větší poměr kyslíkového deficitu k příjmu kyslíku než u osob s lepší aerobní kapacitou.
Poznámka: Měření se dělá v průběhu spiroergometrie, s analyzátozem vydechovaného vzduchu. Výpočet není standardní součástí vyhodnocovacího programu. V praxi se toto vyšetření provádí jen sporadicky.
 - **Rychlá komponenta („alaktátová“) zotavovacího kyslíku**: U osob s větší kapacitou ATP-CP systému je zvětšen poměr rychlé komponenty (úvodní strmější pokles příjmu kyslíku) k pomalé komponentě zotavovacího kyslíku (kyslíkového dluhu).
Poznámka: Měření se dělá spiroergometrií. Výpočet není standardní součástí vyhodnocovacího programu. V běžné praxi se toto vyšetření neprovádí.

Test na běžícím pásu (Jones 2007)

Jde o speciální test pro vytrvalostní běžce špičkové výkonnosti na běžícím pásu. Může přinést ukazatele ekonomiky běhu, hranice mezi pásmy tréninkové intenzity, tj. mezi „lehkým“, „vytrvalým“ a „tempovým“ během.

Poznámka: Lze jej přizpůsobit pro běžce nižší výkonnosti snížením rychlosti běhu na běhátku (o 2-4 km.h⁻¹).

- **Dávkování zátěže:**
 1. Zahřátí klusem na rovince trvá 10-15 min; následuje rozcvičení.
 2. Vlastní test:
 - Sklon pásu je stále nastaven na 1% do kopce; stupňování rychlosti je každé 3 minuty po 1 km.h⁻¹; celkem sportovec absolvuje 3-9 stupňů zátěže.
 - Počáteční rychlost je nastavena u mužů na 14-15 km.h⁻¹, u žen 12-13, u juniorů na 13 a juniorek 11 km.h⁻¹.
- **Sběr kardiopiračních dat:**
V průběhu testu se monitoruje a počítá průměr srdeční frekvence, ventilace plic, výměny dechových plynů atd. z posledních 30 sekund každého stupně zátěže.
- **Odběr krve:**
Po každém stupni zátěže se sportovec se postaví obkročmo mimo běžící pás a během 15-30 vteřin je mu odebrána krev z ušního lalůčku pro stanovení koncentrace laktátu.
- **Hodnocení výsledků:**
 - **Ekonomika běhu**
Nižší příjem kyslíku (nižší potřeba získávání energie) při určité rychlosti běhu (16 km.h⁻¹) znamená lepší ekonomiku. Slovní hodnocení je v tabulce 4.
Pro hodnocení ekonomiky lze použít relativní ukazatel minutový příjem kyslíku v přepočtu na 1 km.h⁻¹ rychlosti běhu. To umožňuje srovnání ekonomiky běhu různých rychlostí (tab. 5)
Poznámka: Nemůžeme však jednoduše přenést zjištěné výsledky do tréninku na dráze, protože při tomto testu šlo o běh na běhátku v laboratoři bez odporu vzduchu a do mírného kopce.

Tab.4: Hodnocení ekonomiky běhu podle příjmu kyslíku při rychlosti běhu 16 km.h⁻¹ a sklonu běhátka 1% (modifikováno podle Jones 2007).

Příjem kyslíku (ml.kg⁻¹.min⁻¹)	Hodnocení ekonomiky běhu
44-47	výborná
48-50	velmi dobrá
51-54	průměrná
55-58	slabá

Tab.5: Hodnocení ekonomiky běhu podle příjmu kyslíku v přepočtu na 1 km.h⁻¹ rychlosti běhu a sklonu běhátka 1% (modifikováno podle Jones 2007).

Příjem kyslíku (ml.kg⁻¹.km⁻¹)	Hodnocení ekonomiky běhu
170-179	výborná
180-189	velmi dobrá
190-199	nadprůměrná
200-209	podprůměrná
210-219	slabá

- **Laktátový práh** (Lactate threshold, LT) je dobrým *prediktorem výkonu v maratónu*. Je vyjádřen rychlostí běhu na začátku zvýšení koncentrace laktátu v krvi nad základní hodnotu (baseline). Příslušné koncentrace se pohybují někde mezi 1 a 2 mmol.l⁻¹.
Laktátový práh je hranicí mezi „lehkým“ a „vytrvalým“ během.

- **Laktátový bod obratu** (Lactate turn-point) *je prediktorem výkonu v běhu na 10 mil až v půlmaratonu.*
Je vyjádřen rychlostí běhu při zřetelném náhlém a udržitelném zvýšení koncentrace laktátu v krvi (přibližně kolem 2-4 mmol.l⁻¹).
Tvoří hranici mezi „vytrvalým“ a „tempovým“ během.
Touto rychlostí lze běžet maximálně kolem 60 minut.
- **Maximální příjem kyslíku** VO₂max (ml.kg⁻¹.min⁻¹) *je prediktorem výkonu na střední a dlouhé tratě (800 m – maraton).*
Jeho obvyklé hodnoty u běžců jsou v tabulce 6.
- **Rychlost při VO₂max je prediktorem výkonu v běhu na 1500 až 5000 m**
Výpočet rychlosti: Rychlost (km.h⁻¹) = (VO₂max/kg * 60) / Ekonomika běhu
VO₂max/kg je vyjádřena v ml.kg⁻¹.min⁻¹.
Ekonomika běhu je vyjádřena v ml.kg⁻¹.km⁻¹.

Tab.6: Obvyklé hodnoty Maximálního příjmu kyslíku (VO₂max) u běžců

Výkonnostní úroveň	VO ₂ max (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	
	<i>Muži</i>	<i>Ženy</i>
<i>Světová špička</i>	80-90	70-80
<i>Mezinárodní úroveň</i>	70-80	60-70
<i>Národní úroveň</i>	65-75	55-65
	<i>Junioři</i> 60-70	<i>Juniorky</i> 50-60

Šedesátisekundový test na běžeckém pásu - modifikace Telfordova testu (1991) podle a Smith et al., 2000; doporučeno i Jonesem 2007)

Jde o speciální test pro běžce na 400 m a středotrat'aře 800-1500 m - s konstantní vyšší rychlostí běhu do kopce (supramaximální intenzitou).

Test je vzhledem k vyšší rychlosti na běhátku nebezpečný. Pohyb běžce a pásu musí být dobře kontrolován.

Postup:

1. Běhátka se nastaví na sklon 4%.
2. Sportovec se zahřeje pomalým klusem při velmi nízké rychlosti po dobu 5-10 minut.
3. Pět minut klidu (prohřátí ušního lalůčku Finalgonem) a odběr prvního vzorku krve na zjištění koncentrace laktátu), měření srdeční frekvence.
4. Běžec postaví rozkročmo vedle pásu.
5. Pás se rozjede rychlostí 22 km.h⁻¹ pro muže a 20 km.h⁻¹ pro ženy.
6. Běžec naskočí na běžící pás a běží 60 sekund. Pak se opět postaví obkročmo vedle pásu.
7. Zpomalí se rychlost pásu a atlet se zchladí pomalou chůzí.
8. Po zátěži se opět odebere krev – ve 2., 4. a 6. minutě (posuzuje se nejvyšší hodnota) a měří srdeční frekvence.

Hodnocení výsledku testu:

Lépe připravený běžec má nižší koncentraci laktátu v krvi a nižší srdeční frekvenci.

Průměrné hodnoty laktátu jsou před zátěží 3,2 mmol.l⁻¹, po zátěži 8,7 mmol.l⁻¹.

Existuje varianta s pokračováním běhu do vyčerpání. Tento test může nepřímo informovat o „anaerobní zdatnosti“.

Poznámky:

- U běžců s nižší výkonností by mohla být rychlost pásu snížena asi o 2 km.h⁻¹.
- Výsledek závisí nejenom na produkci laktátu ale také na schopnosti využít laktát při vysoce intenzivní zátěži (test laktátové „tolerance“?).

Jones (2007) doporučuje provádět komplexní testování běžců 4x ročně (říjen, leden, duben a červen).

Respirační ukazatelé anaerobního prahu (Solberg et al. 2005)

Jde o stanovení anaerobního prahu (AT) při testu s narůstající intenzitou zátěže (rychlosti běhu) v čase.

- **RER-AT:** Anaerobní práh je určen v okamžiku převýšení výdeje oxidu uhličitého nad příjmem kyslíku ($VCO_2/VO_2 < 1,0$; RER - respiratory exchange ratio)
- **Vslope-AT:** Anaerobní práh je určen na začátku příkrého nárůstu výdeje oxidu uhličitého v závislosti na příjmu kyslíku.
- **EqO₂-AT:** Anaerobní práh je v okamžiku začátku nezvratného nárůstu ventilačního ekvivalentu pro kyslík. Ventilační ekvivalent pro kyslík (EqO₂) je množství vzduchu, které musíme vdechnout, abychom získali jeden litr kyslíku.

5. POZNÁMKY K ANAEROBNÍMU PRAHU

- *Dřívější definice Anaerobního prahu (Anaerobic threshold), která hovořila o intenzitě zátěže na přechodu mezi převážně aerobním a převážně anaerobním získáváním energie, je určitým způsobem zpochybněna a nejistá. Důvodem je prokázaná skutečnost, že při zvyšující se intenzitě zátěže se vedle anaerobní glykolýzy (produkující laktát) současně rozvíjí aerobní získávání energie (zdrojem energie je vedle glukózy také laktát, který konvertuje na pyruvát).*
- *Termín „anaerobní práh“ vyjadřuje zřetelné změny respiračních a metabolických ukazatelů při výrazně se rozvíjející anaerobní glykolýze s narůstající intenzitou zátěže.*
- *Pojmy **Laktátový práh (Lactate threshold – LT)** a **Ventilační práh (Ventilatory threshold – VT, VAT)** vyjadřují dynamiku sledovaných ukazatelů, tj. laktátu nebo ventilace. Takže použití těchto dvou pojmů asi není chybná. Synonymem pro Lactate threshold je také **Lactate transition** (přechod).*
- *Na křivce závislosti ventilace zátěži lze často najít dva zlomy. Za „**První ventilační práh (VT1)**“ se považuje taková intenzita zátěže, při níž začíná strmější nárůst ventilačního ekvivalentu pro kyslík (EqO₂; VE/VO₂), ale ještě bez prudkého nárůstu ventilačního ekvivalentu pro oxid uhličitý (EqCO₂; VE/VCO₂). „**Druhý ventilační práh (VT2)**“ je vyšší intenzita zátěže při níž dojde k prudkému nárůstu obou ukazatelů. Podobně lze stanovit tzv. **První ventilační bod obratu (First ventilatory breakpoint – VB1)** v okamžiku začátku prudkého nárůstu závislosti ventilace na příjmu kyslíku a **Druhý ventilační bod obratu (VB2 Second ventilatory breakpoint – VB2)** v okamžiku začátku prudkého nárůstu závislosti ventilace na výdeji oxidu uhličitého.*
- *Při stanovení **ventilačních prahů** různými metodami současně, zjišťujeme často rozdílné výsledky.*
- ***Zvýšení ventilace** s narůstající intenzitou zatížení je nutné pro zvyšující se nároky na přísun kyslíku i pro potřebu vydýchat více oxidu uhličitého.*
- *Ke zvýšení výdeje oxidu uhličitého dochází jednak v důsledku zvýšeného obratu aerobního metabolismu, který jej produkuje, jednak v souvislosti s potřebou kompenzovat metabolickou acidózu (pufrovací systém kyseliny uhličité a oxidu uhličitého).*
- *Bezprostředním hlavním zdrojem acidózy jsou kumulované kationty vodíku, které se uvolňují při rozpadu ATP, který byl získán jak aerobně tak anaerobně.*
- *Problém v dorozumění je často u „**Laktátového prahu**“: Podle mnoha autorů jde o intenzitu zátěže při prvním zvýšení hodnot laktátu nad klidovou hodnotu (kolem 1-2 mmol.l⁻¹; lactate threshold). Ale podle jiných autorů je tato intenzita zátěže označována za „**aerobní práh**“. Tito pak pod „anaerobním prahem“ rozumějí spíše vyšší intenzitu zátěže, kdy začíná a již zcela nepochybný přechod ve strmý a nezvratný nárůst laktátu (**Laktátový bod obratu - Lactate turn- point**) při jeho hodnotách kolem 2-4 mmol.l⁻¹. Mnozí autoři tyto dva laktátové prahy označují jako **první a druhý laktátový práh (LT1 a LT2)**.*
- ***Začátek hromadění laktátu v krvi (Onset blood lactate accumulation – OBLA)**, má reprezentovat nejmenší intenzitu zátěže, při níž začíná narůstat koncentrace laktátu a již nedochází k žádnému jejímu poklesu. Existuje metoda jeho stanovení při koncentraci 4 mmol.l⁻¹, kterou nedoporučuji neboť nerespektuje interindividuální rozdíly.*

- *Problém přináší rozdílná koncentrace laktátu v krvi při různém trvání určitého stupně zátěže. Při delším trvání zátěže stejné intenzity je koncentrace laktátu vyšší. Např. při třiminutovém trvání to mohou být 4 mmol.l⁻¹, ale při třicetiminutovém trvání již 6 mmol.l⁻¹.*
- *Pro nejvyšší intenzitu zátěže, při níž se ještě dosáhne ustálení koncentrace laktátu byl vytvořen termín **Nejvyšší rovnovážný stav laktátu (Maximal lactate steady state - MLSS)**. Asi by byl zajímavý pro nalezení závodní rychlosti v maratónu. Pro jeho stanovení je potřeba provést test s alespoň pěti stupni zátěže (např. rychlost běhu 14-15-16-17-18 km.h⁻¹), přičemž každý stupeň trvá 25-30 minut. Koncentrace laktátu se měří každých 5 minut. Takový časově náročný test (2:30 h) je však pro běžnou sportovní praxi těžko použitelný.*
- *Tzv. **aerobní práh**, který by měl údajně vyjadřovat intenzitu zátěže, při níž se začíná rozvíjet aerobní získávání energie při stupňované zátěži, se jeví z pohledu fyziologie zátěžových testů jako nedetekovatelný, protože přechod od klidového do zátěžového aerobního získávání energie je velmi pozvolný.*
- *Fyziologická logika připouští stanovení **tréninkových zón a přechodů mezi nimi**, jak jsou uvedeny výše podle Jonese (2007) – viz. tab.7.*
- *Z fyziologického hlediska by mohl být popisován také jakýsi práh nebo přechod z klidové acidobazické rovnováhy do zátěžové metabolické acidózy. Mohli bychom hovořit o **Prahu zátěžové metabolické acidózy**. Již dříve se používal zlom na křivce závislosti **Úbytku bazí (base excess – BE)** nebo **koncentrace vodíkových iontů** na intenzitě zátěže nebo příjmu kyslíku k nepřímému stanovení „anaerobního prahu“. Trénink by snad měl zlepšovat schopnosti sportovce kompenzovat metabolickou acidózu a zvýšit výkon na úrovni tohoto „prahu“.*

Tab.7: Tréninkové zóny a přechody mezi nimi (podle Jonese, 2007)

Tréninková zóna „E“ (easy running): lehký běh, asi do 16 km.h ⁻¹
Přechod: Laktátový práh (Lactate threshold)
Tréninková zóna „S“ (steady running): vytrvalý běh, asi 16-18 km.h ⁻¹
Přechod: Laktátový bod obratu (Lactate turn-point)
Tréninková zóna „T“ (tempo running): tempový běh, asi 18-19 km.h ⁻¹
Přechod není definován. (při 80% HRmax?)
Tréninková zóna „I“ (interval running) – rychlý běh při aerobním intervalovém tréninku, rychlost nad 19 km.h ⁻¹

Poznámka: Příklady rychlostí se vztahují k trénovaným špičkovým běžcům. HR (heart rate) – srdeční frekvence. Aerobní intervalový trénink je na HR 80-100% HRmax (viz výše).

Literatura

1. Fox EL, Mathews DK. Interval Training: Conditioning 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. WinterEM et al). Vol. I – Sport Testing. Routledge, Abingdon 2007: 147-154.
3. Hamar D. Výskoková ergometria. In: Telovýchovnolekárske vademecum. Meško D, L. Komadel, eds. Slovenská spoločnosť telovýchovného lekárstva, Bratislava, 2005: 205-206.
4. McArdle VD, Katch FI, Katch VL. Exercise Physiology. Lippincott Williams & Wilkins, Baltimore 2007, 1068 pp.
5. Noakes T. Lore of running. Human Kinetics, Champaign 2003, 930 pp.
6. Powers SK & Howley ET. Exercise Physiology. Theory and Application to Fitness and Performance. 6th Edition. McGraw-Hill International Edition, New York 2007, 540 pp.
7. Sharkey BJ a Gaskill SE. Sport physiology for coaches. Human Kinetics, Champaign 2006, 310 pp.
8. Seiler KS a Kjellerand 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.
9. Smith D et al. Protocols for the physiological assessment of high-performance runners. In: Physiological Tests for Elite Athletes. Australian Sports Commission. Gore ChJ ed. Human Kinetics. Champaign, 2000: 334-344.
10. 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>)
11. Telford RD. Physiological assessment of the runner. In: Draper et al. eds. Test Methods Manual. National Sports Research Centre, section 3, Canberra, 1991.
12. Wilmore JH, Costill DL. Physiology of sport and exercise. Human Kinetics. Champaign 2004, 726 pp.