

ZÁTĚŽOVÉ TESTY VE SPORTOVNÍ MEDICÍNĚ

FYZIOLOGICKÉ TESTY REAKCE A ADAPTACE ČLOVĚKA

prof. MUDr. Jan Novotný, CSc.

- Katedra kineziologie
- Modul: -
- Studium: Ph.D.

Tento výtisk zachycuje stav online materiálu, dostupného na adrese <http://www.fsps.muni.cz/impact/zatezove-testy-ve-sportovni-medicine/> ve stavu ze dne 22. 02. 2015. Online verze materiálu může obsahovat interaktivní či multimediální prvky, které se v tištěné podobě nezobrazují nebo nejsou funkční.

© 2012–2014 Fakulta sportovních studií Masarykovy univerzity Brno v rámci projektu Inovace a modernizace studijních oborů FSpS (IMPACT) pod kódem CZ.1.07/2.2.00/28.0221. Více informací o projektu:

www.fsps.muni.cz/impact ⇨.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Obsah

ÚVOD	1
OBECNÁ ČÁST	4
- CÍLE, PODSTATA A VLASTNOSTI ZÁTĚŽOVÝCH TESTŮ	4
- VOLBA ZÁTĚŽOVÉHO TESTU	7
- ZDRAVOTNÍ RIZIKA ZÁTĚŽOVÝCH TESTŮ	10
- ZDROJE ZÁTĚŽE	12
- UKAZATELE ODEZVY NA ZÁTĚŽ	14
SPECIÁLNÍ ČÁST	15
- SUBJEKTIVNÍ UKAZATELE	15
- DYNAMOMETRICKÉ UKAZATELE	18
- KARDIOVASKULÁRNÍ UKAZATELE	20
- SPIROMETRICKÉ UKAZATELE	30
- SPIROERGOMETRICKÉ UKAZATELE	31
- BIOCHEMICKÉ UKAZATELE	38
- ENDOKRINOLOGICKÉ UKAZATELE	42
- TERMODYNAMICKÉ UKAZATELE	45
- ANAEROBNÍ PRÁH (LA, V-R)	47
- TESTY AEROBNÍHO SYSTÉMU	54
- TESTY GLYKOLYTICKÉHO SYSTÉMU	56
- TESTY ATP-CP SYSTÉMU	58
- ODHAD VÝDEJE ENERGIE	60
- TEST VARIABILITY SRDEČNÍ FREKVENCE	67
POUŽITÁ LITERATURA	72
ANKETA	78
DISKUSNÍ FÓRUM	79
OTESTUJTE SE...	80
MATERIÁL VE ČTEČCE PRO VÁŠ TABLET	81
AUTOŘI	82

prof. MUDr. Jan Novotný, CSc.

Úvod



Vážení studenti, tato e-learningová studijní opora byla vytvořena v rámci inovace celého předmětu. Inovace spočívala také v nákupu moderních pomůcek, přístrojů, studijní literatury dostupné v univerzitní knihovně a v inovaci sylabu.

Financování projektu Inovace a modernizace studijních oborů FSpS (IMPACT – FSPS), registrační číslo CZ.1.07/2.2.00/28.0221) realizovaného v období leden 2012 až prosinec 2014 bylo zajištěno z Operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost.

V případě dotazů Vám rádi odpovíme i po ukončení realizace projektu na impact@fspd.muni.cz.

Projektový tým IMPACT

V online verzi je k dispozici videozáznam:



(Zdroj: moderátor: Zbyněk Loucký, kamera a střih: Jakub Doležal)

Jazykové verze tohoto materiálu:

There is also available English language version named *Stress Tests in Sports Medicine*

[\[http://www.fsps.muni.cz/impact/stress-tests-in-sports-medicine/\]](http://www.fsps.muni.cz/impact/stress-tests-in-sports-medicine/).

Úvodní slovo

Tento volitelný předmět je určen pro studenty, jejichž zaměření vyžaduje znalost testů s fyzickou zátěží. Jde o testy, které se používají ke zjišťování reakce a adaptace fyziologických funkcí člověka při posuzování schopnosti k pohybovému výkonu, případně v diagnostice patologických stavů.

Cíle předmětu: Studenti získají speciální hlubší znalosti v oblasti fyziologických zátěžových testů a budou schopni vybrat správný test a měřené veličiny, plánovat a organizovat jeho realizaci, interpretovat výsledky.

Inovace předmětu spočívá především v komplexním pojetí teorie zátěžových testů, v demonstracích vybraných testů a ve vytvoření elektronického studijního materiálu. Studenti by si měli osvojit obecné principy výběru a realizace těchto testů

Anotace inovovaného materiálu

Předložený studijní materiál je základní informací pro studenty předmětu *Zátěžové testy ve sportovní medicíně*. Poskytuje vysvětlení základních pojmů, principy volby zátěžových testů a pravidla jejich bezpečné realizace. Přináší studentům vodítka pro interpretaci odezvy fyziologických ukazatelů. Jeho součástí je i příslušný seznam další studijní literatury. Připojený autotest, ověřující nově nabyté znalosti studentem, poskytuje v případech nesprávných odpovědí odpovědi správné.

Cílem tohoto materiálu je, aby studenti získali základní orientaci v problematice fyziologických zátěžových testů a v příslušné odborné literatuře, aby si otevřeli bránu a viděli, jaké další znalosti by měli mít v předmětu *Zátěžové testy ve sportovní medicíně*. í.

Anotace inovovaného předmětu

Cíle předmětu:

Studenti budou znát a rozumět fyziologickým testům reakce a adaptace člověka na tělesnou zátěž a budou schopni tyto znalosti aplikovat ve své disertační práci. Dále budou schopni plánovat, provádět a vyhodnocovat zátěžové testy v rámci výzkumných projektů za použití moderní špičkové přístrojové techniky.

Inovace:

Obsah (syllabus)

Zátěžové testy při přirozeném způsobu pohybu – při chůzi a běhu na bezpečném běhacím koberci

v laboratoři (se sledováním kardiopulsačních parametrů odezvy organismu člověka; prolínání s biomechanickými parametry v rámci jiných předmětů doktorského studia). Volba, provedení a vyhodnocení zátěžového testu ve výzkumném projektu studenta v rámci disertační práce.

Forma výuky

Nahrazení většiny individuálních konzultací přednáškami, semináři a praktickými cvičeními – provádění zátěžových testů.

Studijní materiály

V rámci inovace předmětu bude vytvořena e-learningová aplikace – příklady provádění zátěžových testů: spiroergometrie na běhátku, spiroergometrie na bicyklovém ergometru, spiroergometrie v terénu – běh, spiroergometrie v terénu – kolo, spektrální analýza variability srdeční frekvence rovněž bude aktualizována a doplněna studijní literatura v knihovně.

Obecná část

Cíle, podstata a vlastnosti zátěžových testů

Cíle zátěžových testů

- Zjistit funkční (fyziologickou) schopnosti člověka a **posoudit připravenost k pohybovému (sportovnímu) výkonu.**
 - V případě vyhledávání talentů pro sport jde o jednorázové vyšetření.
 - V případě posouzení efektivity tréninku jsou srovnány výsledky alespoň dvou testů – před a po tréninkovém období.
- Získat **vodítka pro řízení intenzity tréninkové zátěže.**
- Zjistit, tedy zda je stav organismu a jeho funkční schopnosti normální – bez poruch (fyziologické) nebo abnormní, s poruchou (patologické, nemoc) – **posoudit druh a míru poškození a dysfunkce orgánů a systémů.**

Podstata zátěžových testů

Fyzickou zátěží (podnětem, stimulem) většinou **bývá svalová práce** (fyzikální výkon po určitou dobu).

Pro dosažení uvedených cílů je potřeba zjistit **odezvu** (reakci) organismu na fyzické zatížení a na základě tohoto zjištění je pak posuzována i míra **přizpůsobení se** zátěži (adaptace).

Existují však i testy, kdy stimuluje podnětem k reakci organismu je i jiná **zátěž fyzikálně-chemická nebo zátěž psychická.**

Test je komplexním procesem zahrnujícím přípravu, měření, zpracování výsledků a jejich vyhodnocení včetně interpretace.

Intenzita a doba zatížení

Nastavením intenzity a doby zátěže tuto zátěž dávkujeme. Existuje mnoho variant – kombinací.

Nastavení se řídí:

- cílem testu,
- stavem a bezpečností testované osoby,

- technickými možnostmi zdroje zatížení.

Intenzita zátěže může být v průběhu testu:

- nízká, střední, submaximální, maximální,
- stále stejná, střídající se,
- vzestupná, sestupná,
- přerušovaná (s přestávkami), nepřerušovaná (kontinuální).

Intenzita zátěže na bicyklovém či veslařském ergometru je vyjádřena výkonem [W] nebo silou – odporem pedálů [N], na běžícím páse rychlostí jeho posunu [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] a sklonem [% , °].

Doba zátěže je velmi rozmanitá (od desítek sekund až po několik měsíců).

- **V laboratoři**

V laboratoři bývá doba zatížení relativně kratší. Např. předtestová zátěž před hlavní částí Vingate testu trvá 10 sekund.

Zátěže při ergometrii a spiroergometrii, s cílem zjistit maximální hodnoty ukazatelů transportního systému pro kyslík (HR_{max} , VO_2max atd.), bývají v trvání 6–20 minut.

- **V terénu**

V terénu bývá trvání zátěže relativně delší. Odezva na specifickou zátěž může být sledována i několik hodin.

Existují standardizované testy s ověřenými metodickými postupy, kde je intenzita a doba zatížení stanovena. Některé příklady jsou uvedeny ve speciální části tohoto textu.

V některých případech se sledují ukazatele odezvy na zátěž i v průběhu několika dnů, např. jaterní enzymy před a po vytrvalostní zátěži, krevní tlak a EKG v průběhu 24 hodin nebo několika dnů až týdne.

Vlastnosti testů

Základní vlastnosti (atributy) testů jsou dány:

- druhem a způsobem zatížení,
- druhem, přesností, stabilitou a spolehlivostí způsobů zjišťování (zobrazení, měření) odezvy organismu na zátěž,
- způsobem zpracování výsledků měření a jejich interpretací.

Za vhodný považujeme ten test, který je:

- příslušný (specifický) a platný (validní) – skutečně zjišťuje to, co chceme zjistit,
- dostatečně přesný (precizní),
- dostatečně nebo přiměřeně citlivý (senzitivní),

- s co nejmenší chybou,
- spolehlivý (reliabilní) – dává stejné výsledky při jeho opakování,
- opakovatelný – lze jej opakovaně provádět stejným způsobem,
- objektivní – je co nejméně ovlivněn osobou testovanou i testující.

Diagnostická schopnost testu v medicíně může být vyjádřena v procentech (%):

- citlivost (senzitivita): $\frac{TP}{(TP+FN)} * 100$
- příslušnost – příznačnost (specifita, specificita): $\frac{TN}{(TN+FP)} * 100$
- falešná pozitivita: $\frac{FP}{(TP+FP)} * 100$
- falešná negativita: $\frac{FN}{(TN+FN)} * 100$

Vysvětlivky:

- **TP** (true-positives) – správně pozitivní = pozitivní test a je prokázáno onemocnění.
- **TN** (true-negatives) – správně negativní = negativní test a je vyloučeno onemocnění.
- **FP** (false-positives) – falešně pozitivní testy = pozitivní test a je vyloučeno onemocnění.
- **FN** (false-negatives) – falešně negativní testy = negativní test a je prokázáno onemocnění.

Zjištění této schopnosti vyžaduje provedení dostatečného počtu zkoumaných testů a stoprocentně pravdivou informaci o tom, zda je nemoc přítomna nebo není (výsledky jiných, již dříve prověřených platných diagnostických metod).

Volba zátěžového testu

Postup při volbě (výběru) testu:

1. uvědomit si, **co je cílem testu**, kterého chceme dosáhnout,
2. promyslet, který z **ukazatelů (parametrů) testované vlastnosti** člověka je nejvhodnější,
3. promyslet **vlastnosti různých testů**, druhy a způsoby zatížení, měření a vyhodnocování výsledků,
4. zvážit další **podmínky realizace** (prostorové, časové, finanční, organizační, personální, přístrojové, materiální)
5. a **vybrat vhodný test** (příklady jsou v tabulce 1).

Cílem bývá úmysl zhodnotit určitou **funkční schopnost** testovaného člověka.

Např.: Jestliže chceme hodnotit celkovou *aerobní kapacitu*, vybereme ukazatel *maximální příjem kyslíku*.

A ten lze zjistit prostřednictvím testu *spiroergometrie*.

Příklady volby testu a fyziologického parametru, který chceme sledovat a hodnotit, jsou v tabulce 1.

Odůvodnění testu označujeme také jako jeho **indikaci**.

Rozhodnutí musíme udělat i ve věci **zdroje a způsobu zatížení**.

U běžce je vhodnější v laboratoři běhátko, u cyklisty bicyklový ergometr. V terénu specifická zátěž, kterou sportovec provádí v tréninku nebo soutěži.

Anaerobní práh, stanovený např. při plavání, je opravdu použitelný pro plánování plaveckého tréninku.

Což o anaerobním prahu plavce z bicyklové ergometrie se říci nedá.

Musíme rozhodnout, zda provedeme test **v laboratoři, nebo v terénu**.

Tab. 1: Příklady volby testu podle cíle testu a fyziologického ukazatele, který chceme sledovat.

Cíl (hodnocená schopnost) ->	-> Měřený ukazatel	-> Zvolený test
Aerobní kapacita (kapacita transportního systému pro kyslík) Celková aerobní schopnost (vytrvalostní)	VO ₂ max	Spiroergometrie
	VO ₂ max/kg	
	VO ₂ max/FSA	Spiroergometrie
	Kyslíkový poločas	
1. ventilační práh (ANP) 2. ventilační práh (RCP)	Ergometrie s měřením laktátu	
LT, OBLA		
	W ₁₇₀ , W ₁₇₀ /kg	Bicyklová ergometrie s měřením HR
Anaerobní schopnost (rychlostní)	Maximální kyslíkový dluh	Spiroergometrie
	Maximální kyslíkový deficit	

Cíl (hodnocená schopnost) ->	-> Měřený ukazatel	-> Zvolený test
	Maximální koncentrace laktátu v krvi	Test s maximální zátěží (ergometrie)
Odhad výdeje energie při převážně aerobní zátěži	Minutový příjem kyslíku	Spiroergometrie (nepřímá energometrie)
Autonomní nervová regulace (aktivita parasympatiku a sympatiku)	Spektrální výkony HRV a jejich hustota	Spektrální analýza HRV při ortoklinostatickém testu
Odezva glykémie na zátěž	Glykémie před a po zátěži	Glukometrie před, při a po zátěži
Odolnost jater vůči tělesné zátěži	Koncentrace AST, ALT, Bilirubin	Biochemické vyšetření před a po tréninku
Reakce elektrické aktivity srdce na fyzickou zátěž	EKG	Zátěžový EKG test
Odezva TK na zátěž	TK	Zátěžový test TK
Diagnostika pozátěžového průduškového astmatu	Dechové parametry (VC, FEV ₁ , PEF _R , VE před a po zátěži	Spirometrie před a po zátěži

Vysvětlivky:

- VO₂max – maximální minutový příjem kyslíku
- VO₂max/kg – maximální minutový příjem kyslíku v přepočtu na 1 kg hmotnosti
- VO₂max/FSA – maximální minutový příjem kyslíku v přepočtu na m² čelní plochy (front surface area)
- ANP – anaerobic threshold – anaerobní práh
- RCP – respiratory compensation point – bod respirační kompenzace
- LT – lactate threshold – laktátový práh
- OBLA – onset blood lactate accumulation – zátěž při zcela jasně a prudce se zvyšující koncentraci laktátu
- HR – heart rate – minutová srdeční frekvence
- W₁₇₀ – výkon při HR 170/min – nepřímý ukazatel tělesné zdatnosti (míry adaptace kardiovasulárního systému) na tělesnou zátěž
- HRV – heart rate variability – variabilita srdeční frekvence
- Ortoklinostatický test – test s posturální zátěží – poloha vleže, vstoje a vleže
- ALT – alanin-amino-transferáza
- AST – aspartát-amino-transferáza
- EKG – elektrokardiografie
- TK – tlak krve
- FEV_C – výdechová vitální kapacita plic
- FEV₁ – nevyšší jednovteřinový výdechový objem
- PEF_R – nejvyšší výdechová rychlost (proud)

- VE – minutová ventilace

Zdravotní rizika zátěžových testů

Zátěžový test představuje fyzickou zátěž pro různé orgány a systémy organismu.

Při mechanické práci člověka jsou svalové kontrakce provázeny reakcí energetického metabolismu, neuroendokrinního systému, transportního systému pro kyslík, minerálního a vodního metabolismu, termoregulace apod.

- a. U *zdravého a dobře adaptovaného člověka* by odezva měla být bezproblémová a zátěž ukončena podle potřeby testu nebo akutní fyziologickou únavou.
- b. V *případě oslabení (nemoci, dysfunkce) kteréhokoliv článku těchto funkčních řetězců* je zvýšené riziko selhání a poškození tohoto článku a dalších komplikací. Tato situace může nastat před nebo až v průběhu testu.

Důvody neprovedení testu – zdravotní kontraindikace k zátěžovým testům

Jsou to poruchy zdraví – nemoci, které by mohly být v důsledku zátěžového testu zhoršeny, nebo by mohly v kombinaci se zátěží přinést další zdravotní komplikace.

Jsou to *důvody k neprovedení zátěžového testu*. Rozlišují se absolutní a relativní kontraindikace.

- **Absolutní**

- a. celkové akutní onemocnění infekční, horečnaté (chřipka, angína atd.)
- b. stav těžkého selhání důležitých orgánů a funkcí ohrožující život (akutní srdeční infarkt, metabolický rozvrat, vyčerpání nadledvin, přehřátí apod.)

- **Relativní**

– onemocnění, jejichž průběh bývá proměnlivý:

- a. ve fázi (stavu) dobré kompenzace a uspokojujivé léčby test nemusí vést ke zhoršení zdraví a lze jej za určitých podmínek provést
- b. ve fázi akutního nebo i chronického zhoršení stavu by test vedl ke zhoršení zdraví a nesmíme jej provést, např.: diabetes mellitus, astma bronchiale, ischemická choroba srdeční, hypertenzní nemoc atd.

Důvody přerušení testu

- U testovaných osob se v průběhu zátěže mohou objevit známky selhání a zhoršení důležitých životních funkcí (krevní oběh, dýchání, vědomí atd.). Rozpoznáváme objektivní a subjektivní **příznaky** těchto změn.

- **Objektivní**
 - nebezpečné a se zátěží se prohlubující poruchy srdeční činnosti
 - pokles krevního tlaku, příliš vysoký TK, nezvyšující se TK při vyšší zátěži
- **Subjektivní**
 - bolest, dušnost, slabost, závrať, vyčerpání
- Případně se mohou vyskytnout i **jiné zdravotní problémy**, které jsou důvodem k přerušení testu (kašel, úraz aj.).

Připravenost k řešení náhlých situací

Pro efektivní řešení vzniklých zdravotních problémů je nutná určitá příprava:

- **Personální zabezpečení**

Vyšetřující personál musí být vybaven znalostmi (vzdělání) a dovednostmi pro:

- indikace, kontraindikace a přerušení testu
- bezpečné provedení testu, včetně řešení náhlých příhod (1. pomoc, kardiopulmonální resuscitace), potřebného transportu na jednotku intenzivní péče atd.
- organizace a řízení testu
- příprava, spolupráce a komunikace s pacientem nebo klientem před, během a po testu
- týmová spolupráce
- dávkování zátěží
- sledování reakce
- interpretace výsledků

- **Organizační zabezpečení** – předem domluvená součinnost zúčastněných osob, jejich jasné kompetence a úkoly, návaznost na další zdravotní pracoviště, spojení komunikace.

- **Materiální zabezpečení** – zdravotnický materiál a přístroje (tonometr, defibrilátor atd.) pro první pomoc a resuscitaci, případně další úkony.

Výukový audiovideomateriál *Základní postupy neodkladné resuscitace, Guidelines, 2005* (Zuchová, 2007), je dostupný jako e-learningový materiál Masarykovy univerzity na <http://is.muni.cz/do/1499/el/estud/fsps/ps07/1pomoc/texty/index.html> ⇨

Zdroje zátěže

Člověka lze zatížit a stimulovat k reakci různým způsobem:

- aktivním pohybem, kterého je dosaženo svalovou prací;
- změnou polohy těla (např. head-up tilt table test, HUT);
- tepelně (chládové testy, např. ponořovacího reflexu);
- psychicky (mental stress test);
- chemicky (lékem – např. atropin, acetylcholin atd.);
- nedostatkem kyslíku (hypoxií);
- elektrickým proudem (např. jícnová stimulace srdce) aj.

Pohybová zátěž je spojena se **svalovou prací** (cyklickou a acyklickou) – **svalovými kontrakcemi** různého druhu a jejich kombinacemi:

- koncentrickou, excentrickou
- dynamickou, statickou

Svalové kontrakce mají různou **sílu** a svalová práce různou **intenzitu**.

Pohybová zátěž v laboratoři

V laboratoři jsou vytvořeny kontrolovatelné standardní podmínky (teplota, vlhkost, proudění vzduchu atd.), což umožňuje přesnější hodnocení a lepší interpretaci získaných výsledků.

K řízení pohybové zátěže slouží zvláštní stroje:

- *Ergometry* jsou speciální stroje s přesně dávkovatelnou mechanickou zátěží – odporem vůči pracujícím svalům. Vyšetřované osobě je poskytována možnost provádět měřitelný výkon [W] po určitou dobu [h:min:s] a vykonat tak práci [$\sigma = W \cdot t$] – cyklickou/acyklickou/lineární, dynamickou/statickou, izokinetickou atd.

Příklady ergometrů: bicyklový, veslařský, ruční jednoklikový (rumpál) nebo dvouklikový, běžecký ergometr a řada dalších. Ergometry bývají brzděny elektromagnetem.

- Zvláštní je *běhátko* (treadmill). Běhátko poskytuje zátěž běžícím pásem (např. 0–25 km/h) a sklonem pro pohyb „do kopce“ (např. až 30–35°).
- Existují i další možnosti pohybové zátěže, např. za použití stupínků (vystupovací test), schodů, dřepů (Ruffierův test s 30 dřepů).

Výhody a nevýhody bicyklového ergometru a běžícího pásu

Výhodou bicyklového ergometru je:

- menší riziko pádu testované osoby,
- minimální pohyby jeho trupu poskytují lepší možnost měření a sledování důležitých ukazatelů, např.:
 - lepší stabilita elektrod a obrazu EKG,
 - lepší možnost odběru krve z ušního lalůčku pro biochemické vyšetření,
 - lepší stabilita náústku nebo masky pro odběr a analýzu ventilovaného vzduchu pro výpočet ventilačně-respiračních ukazatelů,
 - lepší komunikace s testovanou osobou,
- u osob lépe zvládajících jízdu na kole než běh může být lépe dosaženo maximálních hodnot funkčních parametrů cirkulace, respirace a metabolismu.

Nevýhodou bicyklového ergometru je:

- méně přirozený způsob pohybu, než je chůze a běh,
- menší pravděpodobnost dosažení maximální odezvy na zátěž v důsledku zapojení méně svalů.

Výhodou běžícího pásu je, že pro většinu lidí:

- poskytuje možnost přirozenějšího pohybu – chůzi a běh.
- v případě schopnosti běžet do vyčerpání – zatížení více svalových skupin vede k dosažení maximálních hodnot ukazatelů fyziologické odezvy (HRmax, VO₂max atd.).

Nevýhodou běžícího pásu je:

- vyšší riziko pádu a zranění,
- zhoršené podmínky, až znemožnění sledovat fyziologické ukazatele v průběhu zátěže (EKG, odběr krve atd.),
- mírně odlišná technika běhu ve srovnání s přirozeným prostředím venku ve volném prostoru,
- u nováčků – určitá potřeba naučit se běžet na pásu.

Pohybová zátěž v terénu

- Výhoda spočívá v tom, že poznáváme, co se děje se sportovcem při jeho vlastním výkonu v tréninku nebo soutěži (chůze, běh, jízda na kole, plavání, různá cvičení a herní výkony atd.).
- *Terénní testy v terénu* – ve sportovním prostředí vyžadují speciální přístrojovou přenosnou techniku pro sledování fyziologických funkcí. Většinou jde o radiotelemetrické systémy s možností průběžného monitoringu v laptopu nebo osobní záznamníky s možností následného vyhodnocení dat v laptopu.

Ukazatele odezvy na zátěž

Odezva (reakce) organismu na tělesnou zátěž spočívá ve specifických změnách fyziologických funkcí v průběhu fyzického výkonu a bezprostředně po něm.

Ukazatelem odezvy na zátěž je údaj o stavu fyziologické funkce organismu, nikoliv údaj o absolvované zátěži.

Sportovní výkon (délka nebo výška skoku, čas běhu na 100 nebo 1500 m), údaj o intenzitě nebo objemu zátěže (běžecské rychlosti a uběhnuté vzdálenosti) nebo výkon na bicyklovém ergometru je podnětem, který organismus k reakci stimuluje.

Před začátkem zátěže již může jít o tzv. startovní stav. Ten nastává několik minut, až desítek minut před očekávaným testem. Prostřednictvím psychických a neuroendokrinních funkcí se organismus připravuje na výkon. Zvýšená aktivita sympatické části autonomního nervového systému a zvýšené množství jeho mediátorů způsobí zrychlení a zesílení srdečních kontrakcí atd.

V průběhu zátěže se zvyšuje aktivita nervohormonálních řídicích systémů podporující činnost zapojených svalů. Uplatňuje se vliv sympatiku a endokrinních žláz na energetický metabolismus (doplňování zdrojů energie ve svalech a dalších tkáních). Tělo také aktivizuje mechanismy stabilizace vnitřního prostředí (odstraňování přebytečného tepla, kompenzace acidózy atd.). K tomu slouží i změny v krevním oběhu, dýchacích funkcích aj.

Po zátěži (zotavení) některé funkce ve své aktivitě po určitou dobu přetrvávají, pak ustupují a více se uplatňuje řízení parasympatickou částí autonomního nervstva (také prostřednictvím nervus vagus), která má na starosti odstraňování únavy – regeneraci sil sportovce.



K posouzení odezvy na zátěž a míry regenerace sil se používají především měřicí přístroje, méně pak subjektivní hodnotící metody.

Subjektivní (sebe)pozorování testovaného svými smysly (pocit zátěže, míra dušnosti, bolest) je důležité, především pro včasné odhalení zdravotních komplikací.

Objektivní měření přístroji může být zatíženo chybou.

Vybrané ukazatele jsou uvedeny dále ve speciální části.

Speciální část

Subjektivní ukazatele

Pro lepší vyjádření subjektivního pocitu sportovcem (částečnou objektivizací) slouží škály:

Pocit zátěže

Borgova škála je od 6 do 20 (Tab. 2), Fosterova od 0 do 10 (Tab. 3). Experimentálně byly nalezeny korelace ventilačních prahů (viz níže) k určitým hodnotám: V Borgově škále stupeň 13 většinou odpovídá úrovni ventilačního anaerobního prahu (VT2).

Pocit bolesti

Borgova škála je od 0 do 10 (Tab. 4).

Používají se i jednodušší analogové škály pro vyjádření intenzity bolesti: od 0 do 6 nebo od 0 do 10.

Tab. 2 Borgova škála pro pocit zátěže (Borg, 1962)

Číselná hodnota	Slovní hodnota
6	
7	velmi velmi lehká
8	
9	velmi lehká
10	
11	lehká
12	
13	poněkud namáhavá (VT2)
14	
15	namáhavá
16	
17	velmi namáhavá
18	
19	velmi velmi namáhavá
20	

Tab. 3 Fosterova škála pro pocit zátěže s implementací prvního (VT1) a druhého (VT2) ventilačního prahu (Foster et al. 1996)

Číselná hodnota	Slovní hodnota
0	klid
1	velmi lehká
2	lehká
3	mírná
4	poněkud namáhavá
-	VT1
5	těžká
6	
-	VT2
7	velmi těžká
8	velmi velmi těžká
9	blízko maximální
10	maximální

Tab. 4 Borgova škála 0–10 pro pocit bolesti a dušnosti

Číselná hodnota	Slovní hodnota
0	žádná
0,5	velmi velmi slabá
1	velmi slabá
2	lehká
3	střední
4	poněkud silná
5	silná
6	
7	velmi silná
8	
9	
10	velmi velmi silná
*	maximální

(Test du parler)

Je to test pro nalezení nebo ověření určité intenzity zatížení organismu při vytrvalostní (aerobní) zátěži: S rostoucí intenzitou zátěže (rychlost chůze apod.) se zvyšuje ventilace a člověk při určité intenzitě přestává být schopen souvislého mluvení. V tom okamžiku intenzita přibližně odpovídá úrovni prvního ventilačního prahu.



Při přetrvávající únavě nebo při nemoci se ztrácí schopnost souvislé řeči již při nižší zátěži, pomalejším pohybu atd.



Dynamometrické ukazatele

Maximální svalová síla

Maximální svalová síla (F_{max} – force; N). např. nejvyšší dosažená síla zaznamenaná při statické nebo dynamické práci s maximálním úsilím v průběhu času na dynamometru (silová křivka).

Dynamický výkon

Dynamický výkon – jednou opakovatelné maximum (1-RM; kg) – maximální závaží, které již nejsme schopni zvednout dvakrát po sobě.

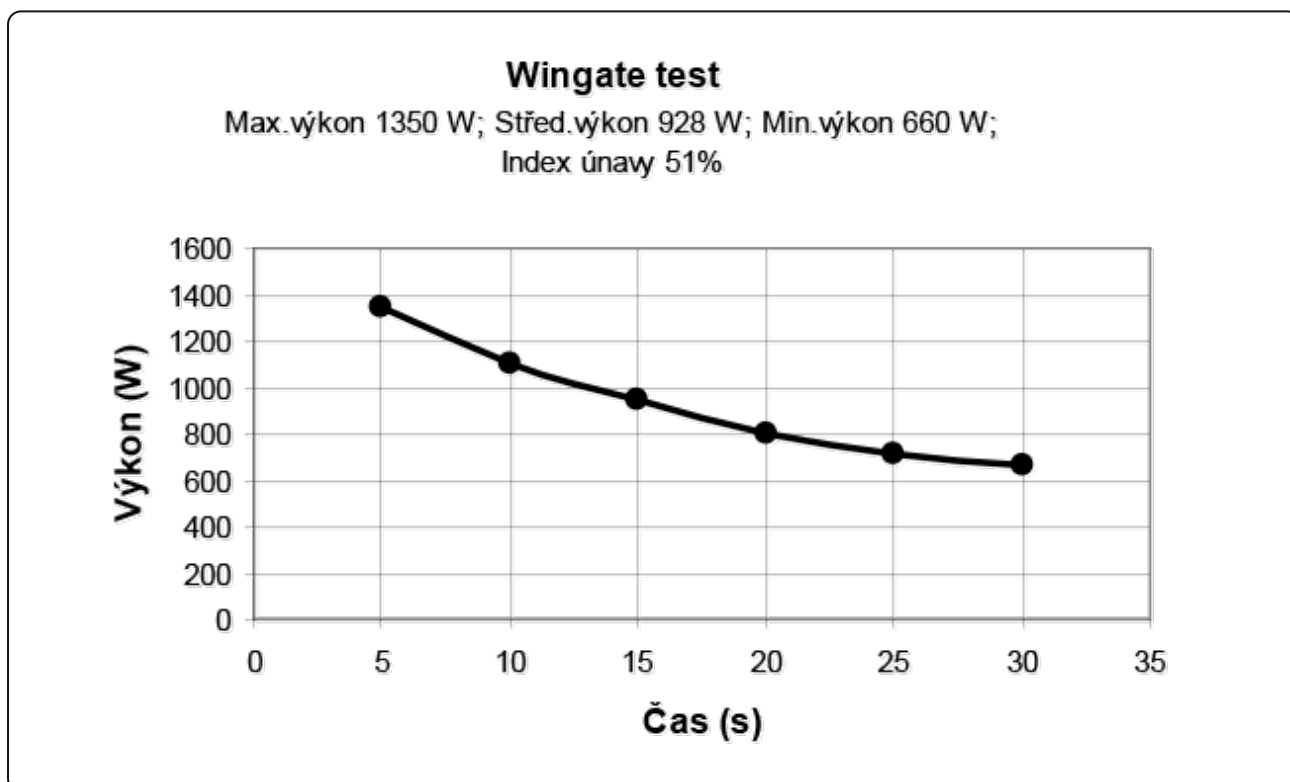
Wingate test

Wingate test (podle institutu Wingate ve městě Netanya v Izraeli, obrázek 1)

Wingate test je tzv. anaerobní test se šlapáním na bicyklovém ergometru maximálním úsilím po 30 sec. Jako zátěž je nastaven konstantní odpor pedálů. Mezi hlavní hodnocené ukazatele patří:

Maximální výkon (P_{max} ; W_{max} ; W), **průměrný výkon** (Mean power; W) a **celková práce** (W – work; J).

Index únavy (FI – fatigue index) = $(W_{max} - W_{min}) * 100 / (W_{max})$ [%] ukazuje na míru únavy v průběhu testovacího anaerobního výkonu.



OBR.1 VÝSLEDKY WINGATE TESTU

Index W^{170}

Index W_{170} (W_{170} ; W, $W \cdot \text{kg}^{-1}$) je výkon, např. na bicyklovém ergometru, který jsme schopni podat při SF $170 \cdot \text{min}^{-1}$.

Jeho **vyšší hodnoty** jsou známkou dobré adaptace oběhového systému na vytrvalostní zatížení (tzv. tělesná nebo aerobní zdatnost).

Nižší a nízké hodnoty jsou známkou nízké úrovně adaptace na zátěž nebo *přetrvávající únavy* či nemoci.

U osob, většinou starších, které nedosahují SF 170, může být stanoven a hodnocen Index W_{150} nebo W_{130} , tj. výkon při SF 150 nebo 130 za min.

Kardiovaskulární ukazatele

Minutová srdeční frekvence

(SF, TF – tepová frekvence, HR – heart rate, f_H – frequency of heart; $t \cdot \text{min}^{-1}$)

Srdeční frekvence by měla být měřena snímáním elektrických impulzů srdce – sporttesterem nebo elektrokardiografem (EKG, viz níže). Měření tepu palpací na zápěstí nemůžeme považovat za měření srdeční frekvence, protože se každý tep srdce nemusí přenést do periferie krevního oběhu.

Případné nepravidelnosti SF sporttester dobře neodhalí. Vhodným prostředkem k diagnostice poruch srdečního rytmu je EKG (viz níže).

Relativně snadné měření SF při zátěži sporttesterem ji činí často používaným indikátorem intenzity zatížení srdce a krevního oběhu (cirkulace). Jako ukazatel zatížení energetického metabolismu je SF o něco méně spolehlivá. Srdeční frekvence může být u zdravých lidí vztažena k určitému příjmu kyslíku; úzce s ním koreluje. Prostřednictvím SF může být přibližně vyjádřena intenzita zatížení energetického metabolismu organismu na úrovni laktátového prahu nebo ventilačního prahu.

Klidová srdeční frekvence

Snížená SF pod 60 se označuje za **bradykardii**, zvýšená nad 90 za **tachykardii**.

Klidová srdeční frekvence je u běžné populace 60–75 $t \cdot \text{min}^{-1}$. U mužů je mírně nižší než u žen. U osob s výraznější vrozenou vagotonií je kolem 45–60 $t \cdot \text{min}^{-1}$; u dospělých vrcholových vytrvalostně trénovaných sportovců i kolem 35–45 $t \cdot \text{min}^{-1}$.

Zvýšená SF je v případě únavy, psychické – emoční zátěže, přehřátí, onemocnění, určité poruchy srdečního rytmu.

Zátěžová SF

Pro skutečně správné individuální posouzení zatížení srdce (a krevního oběhu) je potřeba zátěžovou srdeční frekvenci (SF zátěž) vyjádřit v relativním ukazateli, to znamená ve vztahu k vlastní funkční kapacitě: Přepočte se na **procenta maximální srdeční frekvence** (%SFmax) nebo v **procenta maximální srdeční rezervy** (%MSR). Sto procent MSR je rozdíl mezi maximální a klidovou srdeční frekvencí: $MSR = SF_{\text{max}} - SF_{\text{klid}}$.

Výpočet relativních ukazatelů zátěže srdce je následující:

$$\%SF_{\text{max}} = (SF_{\text{zátěž}} / SF_{\text{max}}) * 100$$

$$\%MSR = ((SF_{zátěž} - SF_{klid}) / (SF_{max} - SF_{klid})) * 100.$$

Například při zátěžové tepové frekvenci 150, maximální SF 210 a klidové SF 58 jsou příslušná procenta zatížení srdce tato:

$$\%SF_{max} = (150/210)*100 = 71,4 \%$$

$$\%MSR = ((150-58)/(210-58))*100 = 60,5 \%$$

Již **těsně před tělesnou zátěží**, v tréninku, sportovní soutěži nebo často i při zátěžovém testu v laboratoři, se srdeční frekvence zvyšuje v rámci startovního stavu, kdy aktivizující se sympatikus připravuje organismus na nadcházející fyzický výkon. Je potřeba o tom vědět, aby mírně vyšší SF v „klidu“ před výkonem (např. 110 tepů/min) nebyla zbytečně považována za známku nedostatečného odpočinku nebo nemoci.

S rostoucí intenzitou zátěže se SF zvyšuje. V průběhu lehké, střední až submaximální intenzity zátěže SF dobře s touto intenzitou koreluje. Je však třeba počítat s tím, že při zátěži stupňované do maxima SF u většiny sportovců po dosažení maximální hodnoty stagnuje, přestože se zátěž i nadále zvyšuje (Obr. 2 a 3).

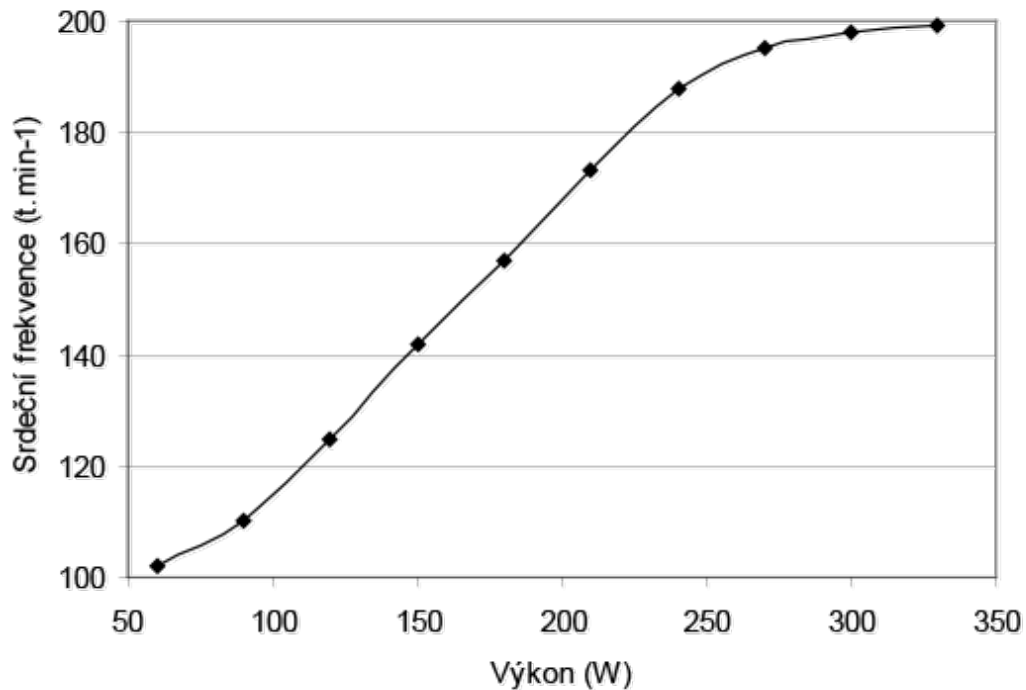
Po skončení zátěže SF klesá. Strmost poklesu srdeční frekvence se odvíjí od intenzity a objemu předchozí zátěže. Při větší únavě po větší zátěži klesá SF pozvolněji.

Nezvykle vyšší srdeční frekvence při určité (stejně) zátěži může být projevem přetrvávající sympatikotonické aktivity nebo nižší parasympatotonické aktivity, přetrvávající zvýšené únavy (akutní nebo chronické), a to nedostatečné regenerace sil, při několikátýdenním náhlém přerušení tréninku („abstinenční syndrom sportovce“), přehřátí, u probíhajícího infekčního nebo jiného onemocnění (srdce, autonomního nervového systému). Vysoká SF v klidu nebo při standardní zátěži může být i poruchou srdečního rytmu (tachydysrytmie), např. při fibrilaci síní a komorové tachykardii (více viz dále u EKG).

Zvlášť výrazné až **extrémní zpomalení SF** (bradykardie) je při tzv. **ponořovacím (diving) reflexu**.

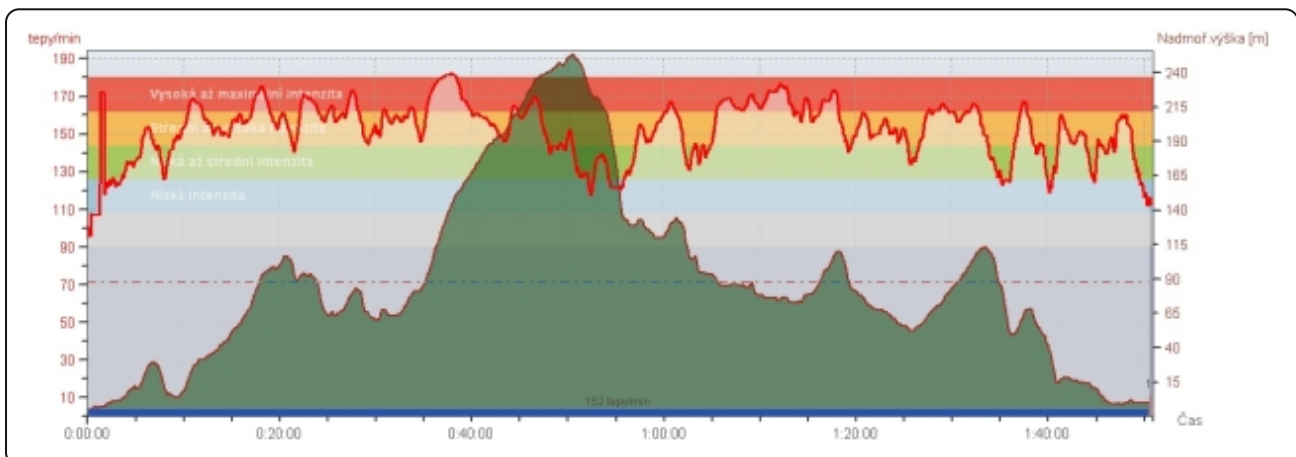
Při podráždění chladových receptorů kůže předloktí a obličeje ponořením do studené vody (pod 10 °C) se spouští vagový zpomalující reflex. U citlivých osob tak může poklesnout SF i pod 30 t.min⁻¹! Někdy dochází až k několikasekundovým zástavám srdce; není vyloučena úplná asystolie a smrt! Proto tento test je rizikový a měl by se dělat postupně: Nejprve pozorovat reakci na ponoření předloktí.

Závislost srdeční frekvence na výkonu



OBR. 2 ZÁVISLOST SRDEČNÍ FREKVENCE NA VÝKONU

Zdroj: archiv autora



OBR. 3 ZÁZNAM SRDEČNÍ FREKVENCE (HORNÍ KŘIVKA) SPORTTESTEREM PŘI BĚHU V KOPCOVITÉM TERÉNU. DOLNÍ KŘIVKA ZOBRAZUJE VÝŠKU TERÉNU

Zdroj: archiv autora

Variabilita srdeční frekvence

(VSF, HRV – heart rate variability)

Variabilita SF je periodické kolísání (oscilace) srdeční frekvence v průběhu času. Její výpočet je založen na měření času, který uplyne mezi dvěma R kmity na elektrokardiografickém záznamu (interval R-R), mezi dvěma sousedními normálními tepey srdce. Zkrácení intervalu je při vyšší SF, prodloužení při nižší SF.

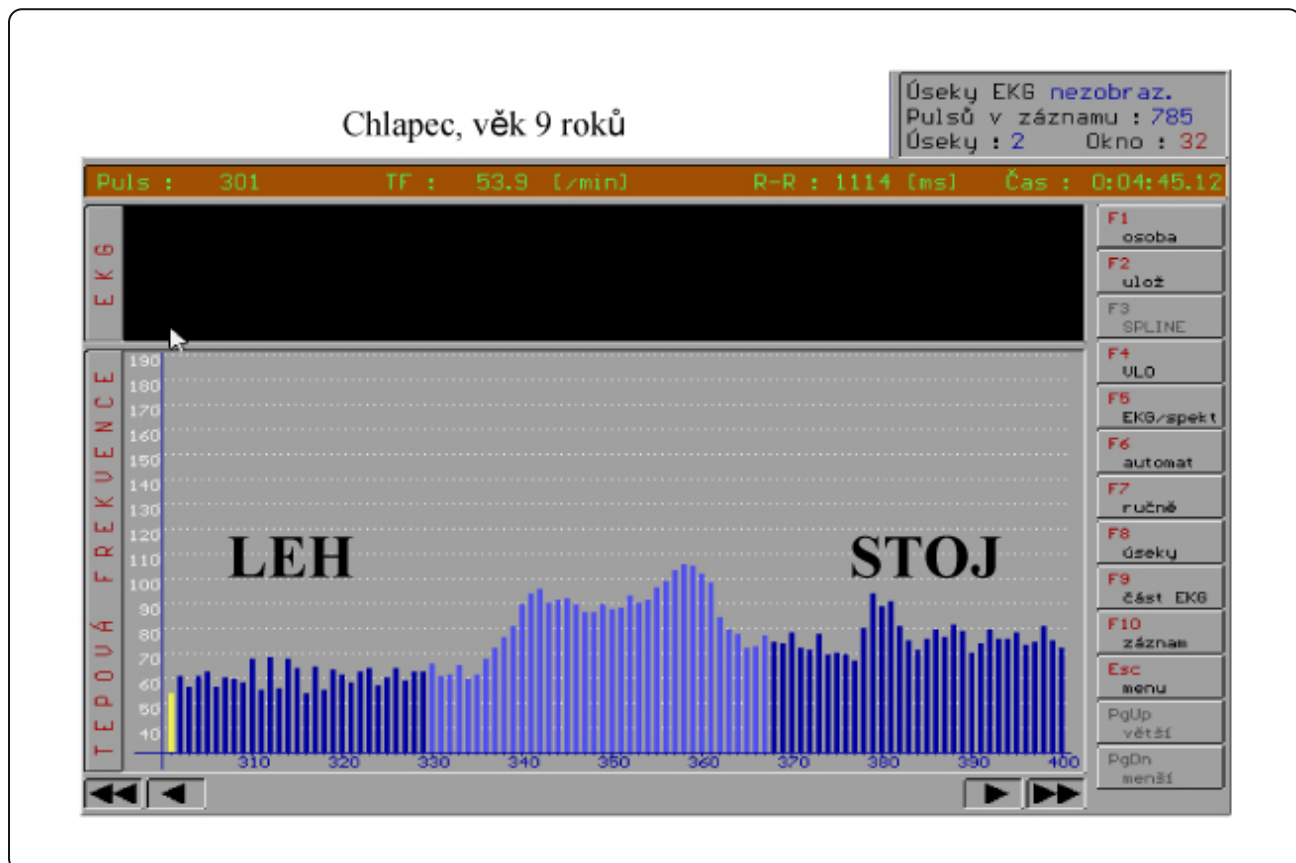
Speciální software analyzuje kolísání této „tep po tepu“ vypočtené srdeční frekvence. Hlavními ukazateli VSF jsou:

- **spektrální výkon** (P – spectral power; ms^2)
- **spektrální výkonová hustota** (PSD – power spectral density; $\text{ms}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$).

Tyto ukazatele se vyhodnocují standardně pro tři frekvenční pásma oscilací intervalů R-R: velmi nízké frekvence (VLF – very low frequency), nízké frekvence (LF – low frequency) a vysoké frekvence (HF – high frequency). Posuzují se také poměry spektrálních výkonů a hustot v uvedených frekvenčních pásmech vzájemně. Ve sportovní medicíně se vypočítávají hodnoty VSF z krátkodobých časových úseků – přibližně z intervalu 5 minut v klidu vleže a 5 minut vstoj; to je vždy alespoň 300 tepů (intervalů R-R).



OBR.4 SYSTÉM PRO ANALÝZU VARIABILITY SRDEČNÍ FREKVENCE VARIACARDIO TF4-VPRAVO HRUDNÍ PÁS S ELEKTRODAMI A VYSÍLAČKOU, VLEVO PŘIJÍMAČ
Zdroj: archiv autora



OBR.5 POHLED NA MONITOR SYSTÉMU VARIACARDIO S GRAFICKÝM ZÁZNAMEM VYPOČTENÝCH SRDEČNÍCH FREKVENCÍ „TEPO TEPU“ V LEŽE A VSTOJE
Zdroj: archiv autora

Analýza VSF přináší zajímavé informace o **stavu aktivity autonomního nervového systému (ANS) – parasympatiku a sympatiku:**

- Vyšší hodnoty P a PSD v pásmu VLF, a zvláště LF je známkou vyšší aktivity sympatiku. Sympatikus dává srdci pokyny ke zrychlení relativně méně často. Vysoká aktivita sympatiku je v době akutní únavy, vyšší aktivita sympatiku může být také známkou sympatikotonické fáze chronické únavy – přetrénování nebo celkového zánětlivého onemocnění.

- Vyšší hodnoty P a PSD v pásmech HF mohou být známkou vyšší aktivity parasympatiku (vagu) po úspěšné adaptaci na vytrvalostní zátěž. Přechodně mohou být tyto vyšší hodnoty také známkou parasympatické fáze přetrénování. V tomto frekvenčním pásmu se také projevuje silnější vazba SF na dechovou frekvenci.
- Velmi vysoké hodnoty P a PSD ve všech pásmech současně mohou být projevem výrazné poruchy srdečního rytmu, např. při fibrilaci síní, četných supraventrikulárních nebo ventrikulárních extrasystol anebo blokády vedení vzruchů v srdci.

Výsledky analýzy VSF mohou pomoci:

- **Při posuzování míry akutní únavy (převaha sympatiku, menší aktivita parasympatiku).**
- **Při diagnostice fáze přetrénování:**
 - Úvodní fáze přetrénování je provázena přetrvávajícími projevy vyšší aktivity sympatiku.
 - V přechodné fázi mohou být projevy instability autonomní nervové regulace (rozmanité projevy vlivu sympatiku i parasympatiku neodpovídající fyziologickým potřebám).
 - V pozdější fázi mohou být v různé míře přítomny projevy vlivu parasympatiku.

K interpretaci výsledků analýzy VSF a rozlišení jednotlivých fází přetrénování je nutno vzít v úvahu také ostatní informace o sportovci a výsledky dalších vyšetření.

- **U podezření na „abstinenční syndrom sportovce“ při několikatýdenním náhlém přerušení tréninku.**

Kolektivem doc. Stejskala z FTK UP v Olomouci byly formulovány komplexní ukazatele VSF, které v sobě sdružují výše uvedené ukazatele „klasické“:

- **index vagové aktivity**(VA – vagal activity),
- **index sympatiko-vagové rovnováhy** (SVB – sympatho-vagal balance)
- **celkové skóre** (TS – total score).

V dlouhodobém sledování sportovce je pak zvýšení TS hodnoceno jako zvýšení výkonnosti ANS, zvýšení VA jako vzestup aktivity vagu a zvýšení SVB jako posun aktivity ANS směrem k vagu.

Posuzování míry únavy s využitím VSF je také součástí některých sporttesterů (např. Polar RS800). Jejich slabinou je měření v pouze 3minutových úsecích, které nedovoluje správný výpočet ukazatelů VSF v pásmu VLF a také přesný výpočet pásma LF. Proto jsou závěry tohoto vyšetření méně spolehlivé a přesné. Slovní hodnocení stavu únavy a regenerace sportovce tímto sporttesterem je v tabulce 5.

Tab. 5 Slovní hodnocení stavu sportovce sporttesterem (Polar RS800)

„Good Recovery“	stav velmi dobrého odpočinku
„Normal State“	normální stav odpočinku
„Training Effect“	stav přiměřené únavy po tréninkové zátěži
„Steady State“	setrvalý stav, ještě dostatečný odpočinek

„Stagnant State“	stagnace adaptace, nedostatečný odpočinek
„Hard Training“	značná únava po těžkém tréninku
„Overreaching“	velké přetížení, příliš velká únava
„Sympathetic Overtraining“	sympatikotonická fáze přetrénování
„Parasympathetic Overtraining“	parasympatikotonická fáze přetrénování

Krevní tlak

(TK, BP – blood pressure; 1 mmHg = 1 torr = 1,333 mbar = 133,3 Pa)

Krevní tlak je hydrostatický tlak v **krevním řečišti**.

Rychle se mění v průběhu každé fáze činnosti srdce (**systola** vede k jeho zvýšení a **diastola** ke snížení). Proto se při jeho měření rozlišuje **systolický tlak** (STK, SBP – systolic blood pressure) a **diastolický tlak** (DTK, DBP – diastolic blood pressure). Navíc je ovlivněn odporem krevního řečiště, pružností cév. Rigidní stěny tepen zvyšují systolický tlak.

Běžně se měří nepřímým tlak v pažní tepně a vyjadřuje se ve starých navyklých jednotkách – milimetrech rtuťového sloupce (mmHg), i když se klasické rtuťové tonometry již prakticky nepoužívají. Na začátku měření se nafoukne tlak vzduchu v manžetě nad očekávanou hodnotu STK a pak se vzduch pomalu vypouští. V okamžiku objevení se zvuků tepu je zaznamenán STK a v okamžiku zmizení zvukových projevů tepu se zapíše hodnota DTK. Střední arteriální tlak (SAT) integruje STK a DTK a vyjadřuje míru tlakového zatížení tepen i srdce. Jeho výpočet: $SAT = (STK + 2DTK) / 3$.

Je potřeba počítat s tím, že i tlak v klidu se může měnit v průběhu několika sekund, a to i o 10–20 mmHg. Proto by mělo být měření prováděno několikrát po sobě, za standardních podmínek. Abnormní hodnoty krevního tlaku mohou být zjištěny při měření v noci nebo jen mimo volný den. Proto je v nejistých případech vhodné monitorovat tlak dlouhodobě – i několik dnů a nocí.

V klidu před zátěží by měly být v závislosti na věku a pohlaví normální hodnoty STK 100–120 mmHg a DTK 60–80 mmHg. U mladších jedinců a žen bývají tlaky nižší. *Zjištěné vyšší nebo naopak nižší STK a SAT může být součástí syndromu přetrénování – v sympatikotonické fázi vyšší, v parasympatikotonické fázi nižší.*

Těsně před zátěží se může STK, SAT i DTK mírně zvýšit jako součást *sympatikotonické aktivace* organismu (startovní stav).

V průběhu zátěže STK a SAT významně rostou a po zátěži klesají. Diastolický TK se s dynamickou zátěží mírně snižuje, nebo je stejný anebo se mírně zvyšuje. Při statické zátěži se zvyšují STK, SAT i DTK. Zátěžové tlaky *závisí na intenzitě zátěže*. U STK to mohou být hodnoty i 180–240 mmHg, (výjimečně i více, 260 mmHg). V případě DTK může být pokles až na neměřitelnou hodnotu nebo zvýšení až na 90–120 mmHg. Vyšší hodnoty (STK nad 240 a DTK nad 120 mmHg) bývají známkou poruchy regulace TK ve smyslu hypertenze. Je to důvod k přerušení zátěže, aby nedošlo k prasknutí tepny a krvácení.



Neočekávaně nižší hodnoty STK a SAT při zátěži nebo snížení tlaku s rostoucí zátěží jsou známkou přetížení myokardu nebo vasomotorické poruchy regulace TK. Normální tlaky při zátěži jsou v obrázku 4.

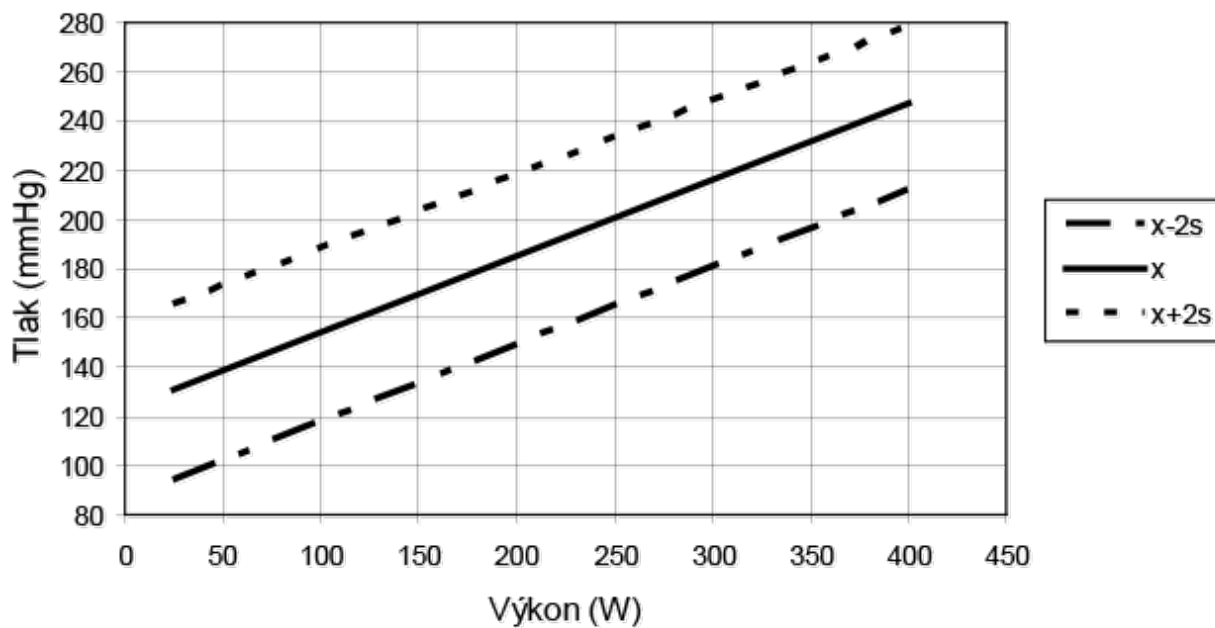
Výrazné snížení systolického TK a SAT (např. pod 90–100 mmHg) může být součástí selhání krevního oběhu – cirkulačního šoku. Při dobré reakci srdce se zrychlí srdeční frekvence, ale pulz je slabý (nitkovitý), jsou poruchy kognitivních funkcí, poruchy vědomí. Příčinou může být dehydratace, přehřátí při náročné vytrvalostní zátěži v horku, se ztrátami tekutin.

Po zátěži se STK u zdravého člověka docela rychle snižuje a klidových hodnot může dosáhnout již za několik minut. Strmost poklesu závisí na předchozím objemu zátěže, na době, po kterou potřebuje organismus udržet vyšší průtok krve regenerujícími svaly. Tlak také snižuje vyšší teplota těla. Po svalové práci, která má termogenní účinek, jsou aktivovány termoregulační mechanismy – kožní vazodilatace a pocení. V době již pokročilého odpočinku se STK i SAT díky uvedeným mechanismům a působení parasympatiku velmi často snižují pod hodnotu před zátěží. (Je to také princip léčebného účinku dynamického vytrvalostního cvičení na pacienty s vysokým krevním tlakem.)

Snížení STK vstoje těsně po zátěži může být projevem *razantního poklesu aktivity sympatiku* a srdeční frekvence. Snížení STK vstoje po postavení může být projevem *neurovegetativní dystonie*. V obou případech může následovat porucha vědomí různého stupně.

Poznámka: *Neurovegetativní dystonie je porucha přiměřené aktivity dvou řídicích částí autonomního nervového systému - sympatiku a parasympatiku. V době klidu by měla převládat aktivita parasympatiku, v době zátěže pak aktivita sympatiku.*

Systolický krevní tlak při zátěži

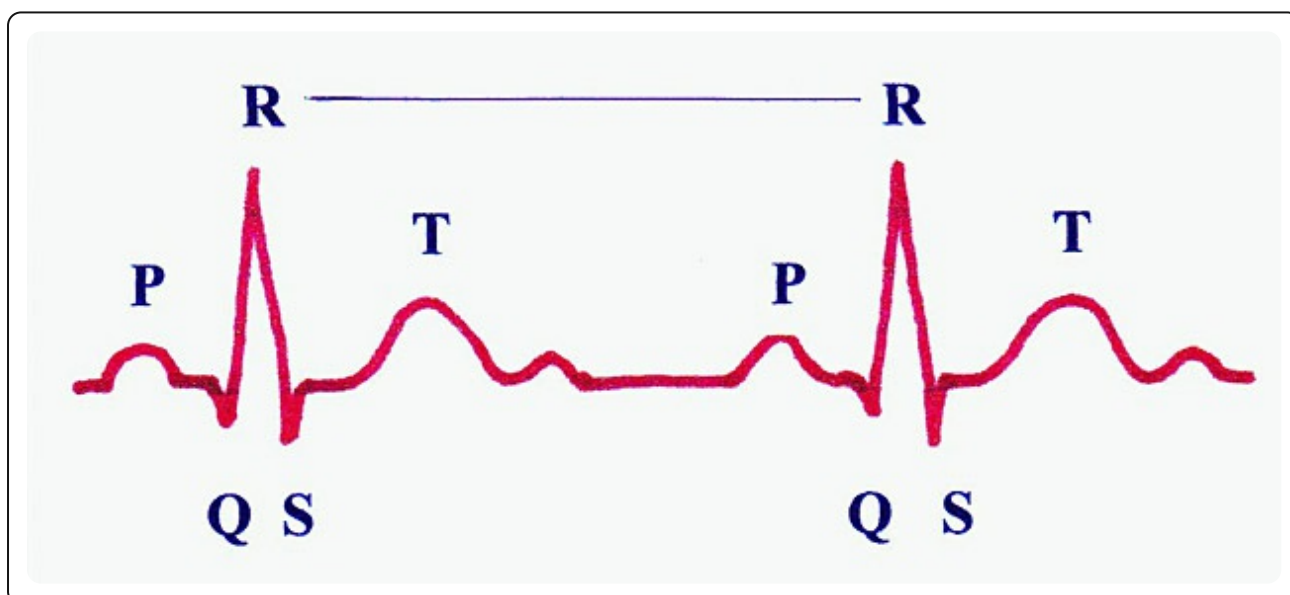


OBR.6 SYSTOLICKÝ TLAK(STK;+2S MMHG) PŘI TĚLESNÉ ZÁTĚŽI NA BICYKLOVÉM ERGOMETRU U ZDRAVÝCH MUŽŮ A ŽEN
Zdroj: archiv autora

Elektrokardiogram

(EKG, ECG – electrocardiogram)

Elektrokardiogram je zobrazení elektrické aktivity srdce v průběhu času (viz Graf. 5). Odhaluje případné poruchy rytmu a repolarizace myokardu. Z času t (s), který uplyne mezi dvěma R kmity (R-R interval) je vypočtena minutová srdeční frekvence ($SF = 60/t$).



OBR.7 DVA KOMPLEXY ELEKTROKARDIOGRAFICKÉ KŘIVKY
Zdroj: archiv autora

Vysvětlivky: vlna P – depolarizace síní, kmity QRS – depolarizace komor, vlna T – repolarizace komor.

Srdeční dysrytmie

- Respirační „arytmie“ v klidu je normální – fyziologická. S nádechem se SF zrychluje, s výdechem zpomaluje. U zdravých lidí je to známka klidového stavu *po dostatečném odpočinku*.
- Některé srdeční dysrytmie v klidu vleže, např. *ojedinělé komorové extrasystoly*, mohou být projevem *výrazné vagotonie u odpočatého zdravého, vysoce vytrvalostně trénovaného sportovce*.
- Klidové dysrytmie však mohou být i známkou velmi vážného onemocnění srdce. Např. *bloky elektrického vedení srdcem vyššího stupně* mohou být příznakem ischemické choroby srdeční, kardiomyopatie. *Četné a polymorfní komorové extrasystoly* provázejí myokarditidy nebo kardiomyopatie (např. arytmogenní dysplazii pravé komory).
- Srdeční dysrytmie při tělesné zátěži jsou známkou nefyziologické elektrické instability myokardu při jeho zatížení. Bývají příznakem onemocnění myokardu (myokarditidy, kardiomyopatie a jiné).
- Srdeční dysrytmie po menší zátěži (např. prudký pokles SF nebo ojedinělé komorové extrasystoly) mohou být výrazem *prudkého nárůstu vlivu vagu u zdravého trénovaného sportovce nebo člověka s výraznější (vrozenou) vagotonií*.
- Srdeční dysrytmie (zvláště tachydysrytmie, četné extrasystoly) po zátěži však mohou být známkou přetrvávajícího *přetížení myokardu, ischemie myokardu, kardiomyopatie* apod.

U zdravého člověka se mohou objevit jen některé ojedinělé občasné poruchy rytmu pouze v klidu a po zátěži.

Při zátěži by měl být pouze pravidelný rytmus, sinusová tachykardie.

Poruchy repolarizace myokardu

Některé poruchy repolarizace (např. *symetrická hrotnatá negativní vlna T, snížení nebo zvýšení úseku ST*) mohou být projevem *ischemie myokardu*. Příčinou této ischemie může být strukturální (ateromatický plát) nebo funkční zúžení koronární tepny. Ischemie může být projevem *přetížení myokardu (např. při tělesné zátěži)* – větších nároků myokardu na prokrvení, které z nějakých důvodů koronární řečiště nemůže zajistit. Současnou typickou známkou ischemie myokardu bývá také svíravá bolest na hrudníku. Pokud zátěž vždy vyvolá projevy ischemie, bývá toto označováno za typickou anginu pectoris. Pokud není zátěž vždy provázena ischemií, je stav označován jako atypická angina pectoris. (Angina pectoris je bolest hrudníku.) Ke spazmu koronární tepny, a tedy i k ischemii myokardu může dojít také v tělesném klidu. Závažnou formou ischemické choroby srdeční je infarkt myokardu. Jde o stav, kdy ischemická srdeční tkáň je nenávratně zničena.

Asymetrická negativní vlna T může mít příčiny polohové, zánětlivé, toxické, nervové, juvenilní.

Další poruchou repolarizace je *prodloužení intervalu QT* (vleže v klidu nad 470 ms u mužů a 480 ms u žen). Jeho příčinou může být těžká *hypokalémie*, která bývá provázena hypomagneziémií a hypokalcémií, např. po těžkém hladovění, po zvracení, průjmech, po diureticích.

Videokázka zátěžového EKG testu:

 [Electrode placement for exercise ecg or ergospirometry according to IEC](#) ⇒



Zdroj: <http://www.youtube.com/watch?v=sc5edSb4cjl>

Spirometrické ukazatele

Spirometrie je metoda zjišťující statické a dynamické dechové objemy vzduchu. Změřené hodnoty se násobí faktorem STPD (Standard Temperature 0 °C and Pressure 760 mmHg, Dry) zohledňujícím aktuální atmosférický tlak a teplotu, aby bylo možné srovnat výsledky získané za různých podmínek. Jeho hodnota bývá kolem 1,09.

Expirační vitální kapacita plic (FEVC – forced expiratory vital capacity) a

Maximální volní ventilace (MVV – maximal voluntary ventilation) mohou být sníženy v důsledku *výrazné únavy dýchacích svalů po velmi intenzivním tréninku s výraznou hyperventilací.*

Jednovteřinový usilovný výdech (FEV₁ – forced expiratory volume in one second; l),

Tiffenau index (poměr FEV₁/FEVC; %) a

Maximální výdechová rychlost (PEF – peak expiratory flow; l.sec⁻¹) se při zátěži zvyšují také díky sympatikotonické bronchodilataci. Jejich zvýšení přetrvává i po zátěži.

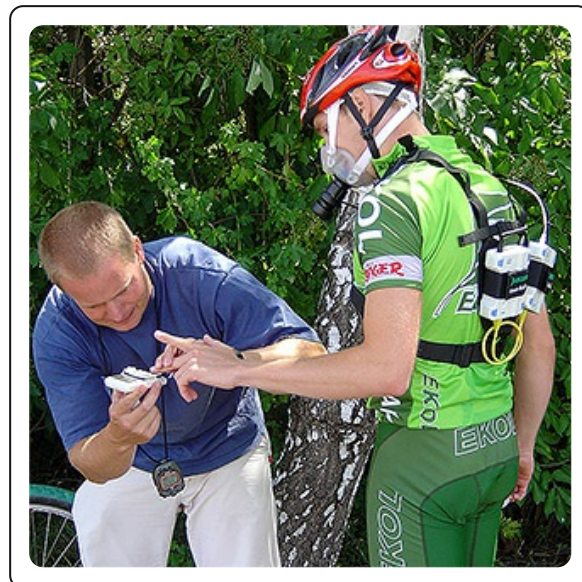
Křivka průtok/objem je komplexním grafickým ukazatelem dechových funkcí – inspiračních i expiračních. Na ose x je ventilační objem (l), na ose y je průtok (l/s).

Spiroergometrické ukazatele

Spiroergometrické ukazatele lze sledovat v laboratoři i v terénu.

Minutová ventilace ($V, VE; L \cdot \text{min}^{-1}$)

Minutová ventilace ($V, VE; L \cdot \text{min}^{-1}$) je jedním ze základních spiroergometrických ukazatelů. Je to objem vzduchu, které prodýcháme za jednu minutu. Je to součin dechového objemu plic a dechové frekvence (také se násobí faktorem STPD). Klidové hodnoty jsou u dospělých osob kolem $5-6 L \cdot \text{min}^{-1}$. Pro jeho správné měření je potřeba kontrolovat těsnost masky nebo náústku a ucpávku nosu. Ventilace může být negativně ovlivněna nepříjemným pocitem, nesnášenlivostí a odporem měřicího zařízení. Maximální hodnoty jsou ovlivněny mírou úsilí sportovce.



OBR. 8 TRIATLONISTA S MASKOU A ANALYZÁTOREM VZDUCHU NA MĚŘENÍ PŘÍJMU KYSLÍKU A DALŠÍCH RESPIRAČNÍCH UKAZATELŮ. ODBĚR KRVE Z BŘÍŠKA PRSTU NA VYŠETŘENÍ LAKTÁTU

Zdroj: archiv autora

Mírné zvýšení (asi na dvojnásobek klidové ventilace) lze pozorovat již **těsně před započítím zátěže** jako projev startovního stavu.

V průběhu zátěže je ventilace výrazně zvýšena (hyperventilace), koreluje s mírou zátěže (rychlostí běhu apod.) a je odrazem zvýšené potřeby přísunu kyslíku při aerobním získávání energie pro svalovou práci. Při dalším zvyšování intenzity zatížení se ventilace zvyšuje ještě strměji, aby umožnila větší výdej oxidu uhličitého, jenž je součástí mechanismu kompenzace zátěžové acidózy. Tím je vlastně ventilace komplexnějším ukazatelem zatížení energetického metabolismu a vnitřního prostředí než pouhý příjem kyslíku. Místo začátku strmějšího nárůstu ventilace (bod zlomu) v závislosti na příjmu kyslíku (nebo intenzitě zatížení) v průběhu rostoucí zátěže je používán ke stanovení tzv. ventilačního anaerobního prahu. Ventilace může dosahovat při maximální zátěži dospělých mužů hodnot kolem $200 L \cdot \text{min}^{-1}$. Maximální hodnoty jsou **vyšší** u sportovce s lepší adaptací na vytrvalostní zatížení (větší respirační objem plic, větší síla a lepší využití dýchacích svalů).

Po skončení zátěže ventilace klesá. Po maximální zátěži a maximální ventilaci bývá návrat ke klidovým hodnotám přibližně za 10–15 minut, o něco dříve než, je tomu u příjmu kyslíku.

Nepřiměřená hyperventilace v klidu nebo při standardní zátěži je známkou aktivity mechanismu pro kompenzace acidózy – zvýšeným výdejem CO_2 . (viz níže – Ukazatelé metabolické acidózy).

Zrychlené dýchání bývá projevem hypoxie.

Ventilační práh

Ventilační práh: Zlom na křivce závislosti VE na tělesném výkonu (na výkonu na bicyklovém ergometru, na rychlosti běhu a pod.) nebo na aerometabolickém zatížení organismu - na příjmu kyslíku (viz níže). Při určité intenzitě zatížení začne VE stoupat strměji v důsledku potřeby více vydychávat oxid uhličitý.

V případě *přetrvávající únavy* po dřívějším namáhavém cvičení se posouvá práh do nižších intenzit.

Minutový příjem kyslíku (VO_2 ; $ml.min^{-1}$ nebo $l.min^{-1}$)

Minutový příjem kyslíku je **vypočtený objem kyslíku**, který přijmeme **do těla na začátku dýchacích cest**.

To je něco jiného než spotřeba kyslíku, což je teoretický objem kyslíku, který spotřebují naše periferní tkáně (svaly, mozek, játra atd.). Tu neměříme. Pro posouzení VO_2 různých velkých lidí je vypočten podíl VO_2 a hmotnosti ($ml.min^{-1}.kg^{-1}$). Pro lepší individuální posouzení aerometabolického obratu je vhodnější jej vyjádřit v procentech maximálního příjmu kyslíku nebo v násobcích klidového příjmu kyslíku (viz níže). Vypočtený příjem kyslíku je ještě vynásoben faktorem BTPS zohledňujícím aktuální astmosférické podmínky (BTPS – Body Temperature and Pressure, generally same as ambient, Saturated; hodnoty kolem 0,868).

Klidové hodnoty VO_2 jsou kolem $3,5 ml.min^{-1}$, např. u člověka s hmotností 70 kg to je $245 ml.min^{-1}$.

Výrazné zvýšení u zdravého člověka (např. o 20–25 % a více) může být známkou ještě přetrvávající potřeby aerobní regenerace tkání po zátěži – při přetrvávající únavě. Vyšší klidový příjem kyslíku však také může být projevem probíhajícího celkového zánětu – infekčního nebo neinfekčního, vyšší aktivity štítné žlázy (hypertyreózy) nebo předávkování látkami stimujícími metabolismus buněk.

Při tělesné zátěži se VO_2 lineárně zvyšuje s intenzitou zátěže. Neočekávaně vyšší VO_2 , při lehké až submaximální zátěži, může být projevem přetrvávající únavy – nedostatečné regenerace sil, včetně přetrénování nebo zdravotních problémů (viz výše – klidové hodnoty).

Maximální VO_2 (VO_{2max})

Maximální VO_2 (VO_{2max}) je již velmi dlouho používaným nejlepším ukazatelem kapacity transportního systému pro kyslík – ukazatelem míry aerobní (oxidativní) schopnosti získávat energii pro pracující svaly. Jeho neočekávané snížení může být známkou *únavy, včetně přetrénování*. Maximální hodnoty jsou ovlivněny mírou úsilí sportovce.

Tab. 6 Maximální příjem kyslíku (VO_{2max}) u špičkových běžců vytrvalců

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

Po zátěži: kyslíkový dluh

Kyslíkový dluh (O₂-dluh, O₂-debt, EPOC – excess post-exercise oxygen consumption); jde o splácení kyslíkového dluhu, který vzniká v průběhu zátěže anaerobním získáváním energie pro pracující svaly. Tzv. čistý kyslíkový dluh je přijatý objem kyslíku bezprostředně po zátěži po odečtení klidové VO₂.

Zátěžový a pozátěžový příjem O₂ je zvýšen v důsledku oxidativně (aerobně) probíhající regenerace energetického metabolismu, především doplňováním vyčerpaných zásob glukosy a glykogenu. Doba, po kterou se tento VO₂ dluh „splácí“, závisí na intenzitě a objemu předcházející zátěže. Po maximální zátěži to bývá přibližně 25–30 minut.

Maximální O₂-dluh je ukazatelem anaerobní energeticko-metabolické kapacity. Např. u vrcholových plavců nabývá hodnot kolem 3–8 l, v závislosti na míře trénovanosti, velikosti člověka (100–150 ml.kg⁻¹) a pohlaví. Koreluje s kyslíkovým deficitem.

Metabolické procesy v době splácení kyslíkového dluhu částečně přispívají k celkovému dennímu výdeji energie. Současné studie popisují vznik „prodlouženého O₂-dluhu“ (trvání 3–24 hodin) po cvičeních vyšší intenzity a minimálního trvání: při submaximální intenzitě cvičení (≥70%VO₂max) trvajících alespoň 50 minut a při supramaximální intenzitě (≥10 %VO₂max) trvajících alespoň 6 minut. Kyslíkový dluh tvoří pouze 6–15 % celkového čistého příjmu zátěžového kyslíku. *Nejsou však důkazy pro to, že by tzv. prodloužený kyslíkový dluh významně přispíval ke snížení celkových zásob energie a léčbě obezity. Hlavním stimulem odbourávání tuků je kumulace výdeje energie v průběhu cvičení.*



Minutový příjem kyslíku je běžně používán jako ukazatel energetické efektivity aerobního výkonu – účinnosti pohybu člověka, např. tzv. ekonomiky běhu.

Nižší příjem kyslíku (nižší potřeba získávání energie) při určité rychlosti běhu (16 km.h⁻¹) znamená lepší ekonomiku. Slovní hodnocení je v tabulce 7. Pro hodnocení ekonomiky lze použít relativní ukazatel, a to minutový příjem kyslíku v přepočtu na 1 km.h⁻¹ rychlosti běhu. To umožňuje srovnání ekonomiky běhu různých rychlostí (Tab. 8).

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. 7 Hodnocení ekonomiky běhu podle příjmu kyslíku při rychlosti běhu 16 km.h-1 a sklonu běhátka 1% do kopce (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. 8 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.min-1.kg-1.km-1)	Hodnocení ekonomiky běhu
170–179	výborná
180–189	velmi dobrá
190–199	nadprůměrná
200–209	podprůměrná
210–219	slabá

Procento maximálního příjmu kyslíku (%VO₂max)

Jde o ukazatel zatížení aerobního energetického metabolismu, který je vztažen k ukazateli celkové oxidativní kapacity. Umožňuje interindividuální srovnání osob s rozdílným VO₂max.

Jeho výpočet: $\%VO_2\max = ((VO_2\text{zátěž} - VO_2\text{klid}) / (VO_2\max - VO_2\text{klid})) * 100$

Interpretace tohoto ukazatele je podobné jako u minutového příjmu kyslíku (VO₂) – viz výše.

Tepový kyslík (TepO₂, O₂/HR; ml)

Neočekávaně nižší hodnoty při standardní zátěži mohou být známkou přetížení myokardu.

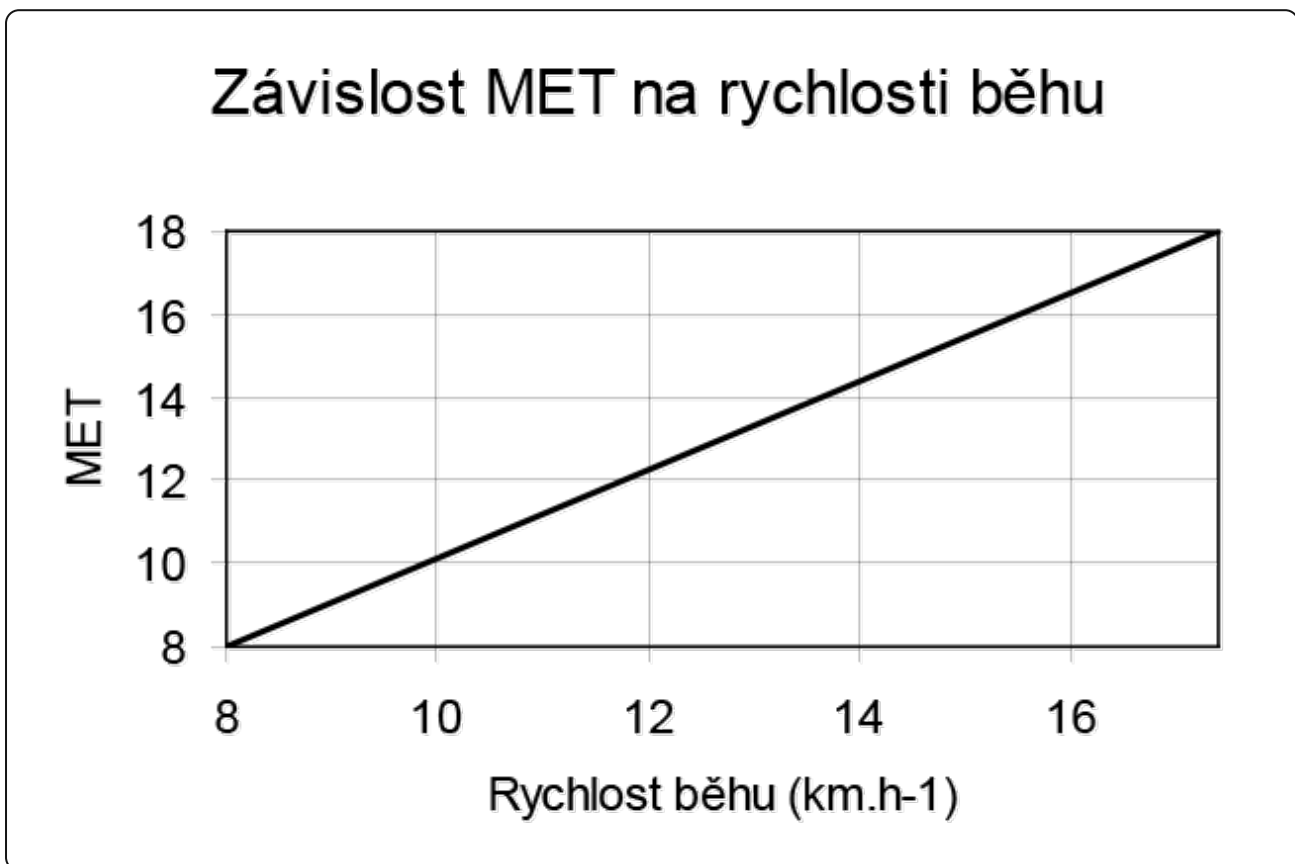
Tepový kyslík je podíl minutového příjmu kyslíku a příslušné minutové srdeční frekvence. Je to odhad objemu kyslíku, který je vypuzen jednou srdeční systolou do krevního oběhu. Jeho maximální hodnota v přepočtu na kg hmotnosti je nepřímým ukazatelem funkční kapacity myokardu. Maximální hodnoty jsou ovlivněny snahou sportovce.

Násobek klidového výdeje energie

(MET – metabolic multiple, multiple of resting metabolic rate)

Jeden MET je spotřeba energie v klidu vsedě v bdělém stavu. U dospělých osob odpovídá přibližně 75 J.min⁻¹ (při příjmu kyslíku 3,5 ml.min⁻¹.kg⁻¹). Používá se k vyjádření metabolicko-energetické náročnosti různých pohybových aktivit (Obr. 9a).

Zvyšuje se v závislosti na fyzické zátěži na násobky jednoho MET: např. 6 MET, 12 MET, 18 MET atd. Použití tohoto ukazatele je podobné jako u minutového příjmu kyslíku (viz výše) nebo nepřímé energometrie (viz níže).



OBR.9A ZÁVISLOST NÁSOBKU KLIDOVÉHO VÝDEJE ENERGIE (MET) NA RYCHLOSTI BĚHU
Zdroj: archiv autora

Nepřímá energometrie (Indirektní kalorimetrie, E; J; J.kg⁻¹)

Energetický výdej v klidu, **při lehké a střední zátěži** (*převážně aerobní*) je odhadnut výpočtem – jako součin příjmu kyslíku (VO₂), energetického ekvivalentu pro kyslík (EEqO₂) a času (t), po který sledovaný pohyb trvá:

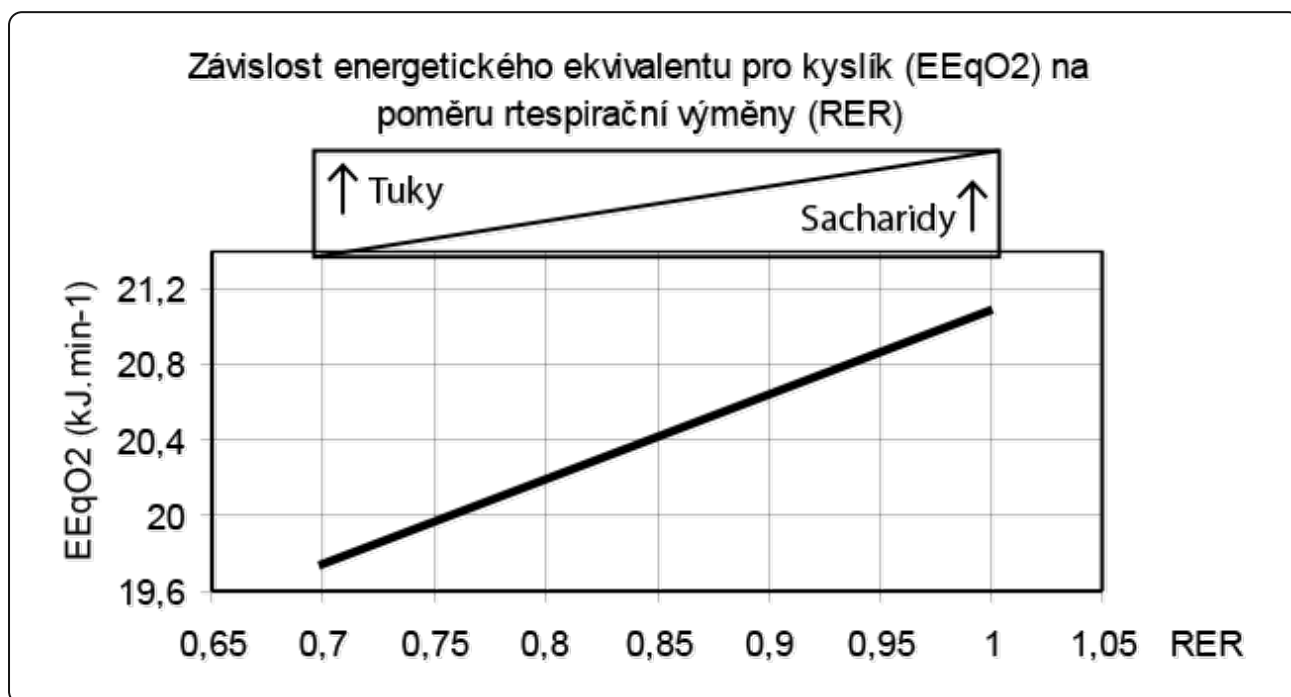
$$E \text{ [kJ]} = \text{VO}_2 \text{ [l]} \cdot \text{EEqO}_2 \text{ [kJ.l}^{-1}\text{]} \cdot t \text{ [min]}$$

Energetický ekvivalent pro kyslík je množství energie, které je vydáno při příjmu jednoho litru kyslíku.

Roste lineárně s intenzitou zatížení a poměrem respirační výměny RER (viz níže). Od 19,5 (při RER 0,7) do 21,5 (při RER 1,0) – viz obr. 9b.

Příklad výpočtu energetického výdeje: $E = 3,5 \cdot 20,5 \cdot 30 = 2153$ [kJ]

Po zátěži je výdej energie vyšší než v klidu před zátěží (viz výše – kyslíkový dluh). Např. 30 minut po absolvování maratónského běhu se zvýšil výdej energie z 8,093 před maratónem na $9,276 \text{ J} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ (v přepočtu kg hmotnosti a $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ standardní testovací rychlosti běhu), to je téměř o 15 %.



OBR.9B ZÁVISLOST ENERGETICKÉHO EKVIValentu PRO KYSlíK (EEqO₂) NA POMĚRU RESPIRAČNÍ VÝMĚNY (RER)

Zdroj: archiv autora

Poměr respirační výměny (R, RER – respiratory exchange ratio)

Poměr respirační výměny je podíl VCO_2 a VO_2 . Platí pro výměnu plynů v plicích. Ukazatelem výměny plynů v buňce periferní tkáně (např. svalové) je respirační kvocient (RQ); nikdy nepřekročí 1,00. RER = RQ pouze v rovnovážném stavu. Protože RER je funkcí VCO_2 , platí i pro něj podobná interpretace (viz výše – minutový výdej oxidu uhličitého).

V klidu před zátěží je RER u odpočatého a nehladovějícího člověka kolem 0,65–0,75. Je mírně vyšší při hladovění nebo nedostatečné regeneraci, kolem 0,80–0,90.

Při zátěži: Na začátku lehké zátěže může být i nepatrný pokles (kolem 0,60–0,70). Při střední zátěži však začne mírně narůstat, až dosáhne hodnoty 1,00 je $VCO_2 = VO_2$. Někdy je tento okamžik a příslušná intenzita zátěže použit pro stanovení „ventilačního anaerobního prahu“. Na konci stupňované zátěže do maxima nabývá RER hodnot přes 1,00, kolem 1,10–1,20, a ještě mírně stoupá i po maximální zátěži, např. na hodnoty až kolem 1,30–1,60. Maximální hodnoty jsou ovlivněny snahou sportovce.

Jeho zátěžové hodnoty pomáhají odhadnout podíl tuků a sacharidů jako zdrojů energie – viz výše (obrázek 9b).

Po zátěži postupně klesá ke klidovým hodnotám s podobnou dynamikou jako pozátěžový příjem kyslíku (viz výše). *Vyšší hodnoty než klidové svědčí pro probíhající aerobní regeneraci energetických zásob a kompenzaci metabolické acidózy. Maximální pozátěžové hodnoty a také doba, kdy je opět dosaženo klidových hodnot, jsou závislé na objemu a intenzitě předcházející zátěže, na velikosti metabolické acidózy, případně na způsobu regenerace (pasivní nebo aktivní odpočinek aj.).*

Minutový výdej oxidu uhličitého (VCO_2 ; $ml \cdot min^{-1}$ nebo $L \cdot min^{-1}$)

Minutový výdej oxidu uhličitého může být mírně vyšší i v klidu při hladovění. Vydýchávání CO_2 je součástí systému kyseliny uhličitě a oxidu uhličitého kompenzujícího metabolickou acidózu, ať už vznikla hladověním nebo intenzivní tělesnou zátěží. U zdravého odpočatého a nehladovějícího člověka je mírně nižší než příjem kyslíku. Poměr výměny těchto dvou plynů vyjadřuje respirační kvocient (viz výše). Maximální hodnoty jsou ovlivněny snahou sportovce.

Biochemické ukazatele

Glukóza

Glukóza – koncentrace glukózy v krvi – glykémie (Glu; 3,3-6,5 mmol.l-1)

Glukóza je zdrojem energie pro buňky, včetně svalových.

Ve svalech a játrech je také uložena ve formě glykogenu. Při a především po intenzivnější námaze je v játrech syntetizována i z laktátu (viz níže).

Klidová koncentrace také značně kolísá v čase, např. i o 1–1,5 mmol.l-1 za 30 sekund. Koncentrace je velmi ovlivněna hladověním, stravou, pitím. O udržení její stability se starají regulační endokrinní systémy (inzulín, glukagon a další).

Při fyzické zátěži se, v důsledku jejího využití jako zdroje energie, její koncentrace v krvi mírně snižuje a kolísá. Při intenzivní a dlouhodobé zátěži se její zásoby vyčerpávají a při současné nedostatečnosti její produkce její koncentrace dále klesá, např. na 2–3 mmol.l-1 – rozvíjí se hypoglykémie.

Při i po zátěži je její koncentrace velmi závislá na syntéze ze sacharidů dodaných výživou a suplementy. Svoji roli hrají funkce trávicí soustavy – trávení a vstřebávání, které jsou při zátěži omezeny, mimo jiné v důsledku redistribuce krve a hormonálních regulací.

Laktát

Laktát – koncentrace soli kyseliny mléčné v krvi (La; 0,63-2,44 mmol.l-1)

Kapka krve pro zjištění koncentrace laktátu se většinou odebírá z ušního lalůčku nebo bříška prstu. V tom případě jde o odebrání vzorku tzv. kapilarizované krve, jejíž složení se blíží krvi arteriální. Ta má o něco nižší koncentrace laktátu než krev z končetinových žil, která sbírá krev ze svalů a ještě nebyla zpracována v játrech a ledvinách.

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 člověka, 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 jsou značně individuální. Správnější je zjistit rozdíl mezi maximální koncentrací laktátu a její hodnotou v klidu před zátěží.

Jeho **koncentrace** v krvi **se s intenzitou zátěže zvyšuje** nárůstem objemu anaerobního získávání energie.

Maximální koncentrace laktátu při a po zátěži s maximálním úsilím do vyčerpání kolem jsou kolem 18–24

mmol.l⁻¹ (Tab. 9).

Výrazné snížení maximální koncentrace bývá projevem únavy, je součástí syndromu přetrénování.

Tab. 9 Nejvyšší koncentrace laktátu po různých pohybových aktivitách

Pohybová aktivita	Laktát (mmol.l-1)
Sjezd na lyžích	12,1
Slalom	14,1
Obří slalom	15,4
Max. výkon – bicyklový ergometr	20,1
Běh 3x1000 m s max. úsilím	20,3
Běh 5x50s sprint max. rychlostí	24,2

Poločas rozpadu laktátu (t/2-La; sec)

Je to čas, za který klesne koncentrace laktátu na polovinu po skončení zátěže.

Jeho opakované stanovení má význam pro posouzení míry únavy sportovce. Jeho prodloužení, proti předchozímu vyšetření, může být známkou narůstající únavy nebo začínajícího onemocnění.

Laktátová křivka

je to grafické vyjádření nárůstu koncentrace laktátu v krvi v závislosti na zvyšující se zátěži (rychlost běhu apod.). Slouží ke stanovení tzv. laktátového prahu a bodu obratu (viz níže).

Jejich opakované stanovení má význam pro posouzení míry únavy sportovce. Jejich posun k nižší zátěži (pomalejší běh apod.), proti předchozímu vyšetření, může být známkou narůstající únavy nebo začínajícího onemocnění. Má podobný význam jako respirační práh.

Ketolátky acetoacetát (3–20 mg.l⁻¹), aceton, kyselina beta-hydroxy-máselná (beta -OH-butyrát) jsou produktem oxidativního metabolismu lipidů, které jsou zdrojem energie v klidu a při lehké zátěži. V krvi se jejich koncentrace **zvyšuje** např. *při intenzivnější zátěži s nedostatečnou zásobou nebo využitelností glukózy jako zdroje energie.*

Parciální tlak kyslíku

Parciální tlak kyslíku v arteriální krvi (PaO₂; 10,67–13,33 kPa; 15–23 objemových procent – vol%)

Je snížen při *nedostatku kyslíku v organismu (hypoxie).*

Parciální tlak oxidu uhličitého

Parciální tlak oxidu uhličitého v arteriální krvi (PaC O₂; 4,7–6,0 kPa).

Relativní **snížení** je projevem reakční hyperventilace v **hypoxickém** prostředí.

Saturace hemoglobinu kyslíkem

Saturace hemoglobinu kyslíkem (SaO_2 ; 95–100 %).

U zdravého člověka ani při vyčerpávající vysoce intenzivní zátěži by neměla klesnout pod 95%.

Existuje také neinvazivní měření pomocí pulzního oxymetru (Obr. 10).

Klesá v hypoxickém prostředí nebo také při respiračním onemocnění a těžké anémii.

Při poklesu na 90–94 % (přechodně ve výšce 1500–2500 m nad mořem) ještě nedochází k závažné hypoxii tkání.



OBR.10 PULZNÍ OXYMETR – SNÍMAČNA MALÍKU, DISPLAY NA ZÁPĚSTÍ
Zdroj: archiv autora

Ukazatele oxidačního stresu

Vysoce reaktivní látky – „radikály“ (RONS – radical – oxygen – nitrogen – species) vznikají v oxido-redukčních procesech energetického metabolismu. Tyto radikály pak rychle oxidují jiné nejbližší látky, jako jsou bílkoviny, lipidy, DNA a další. Vznikají tak např. lipoperoxidy. Oxidací lipoproteinů nitrobuněčných membrán se poškozují buněčné organely i buňky samotné.

Měření ukazatelů oxidačního stresu ve sportovní medicíně je zatím jen v rámci výzkumu. Problémem je značně krátký poločas volných radikálů. Proto se používají pro „měření“ oxidačního stresu nepřímé metody:

Měření probíhající aktivity antioxidačních systémů organismu

- superoxid-dismutázová aktivita (SOD)
- katalázová aktivita (CAT)
- glutathion-peroxidázová aktivita (GPx)

Měření produktů oxidačního stresu

- v krvi: lipoperoxidy, malondialdehyd (MDA), hyperlipoproteinů
- ve vydechaném vzduchu: těkavé uhlovodíky – etan, propan

Zvýšení produkce RONS a následně ukazatelů oxidačního stresu je *při intenzivní tělesné zátěži, zvláště nad úrovní anaerobního prahu*. Volné radikály poškozují leukocyty, erytrocyty, myocyty kosterních svalů a myokardu a další buňky.

Ukazatele acidobazické rovnováhy

Koncentrace vodíkových kationtů v arteriální krvi (H^+ – hydrogenium; 44,7–45,5 mmol.L⁻¹)

Vodíkové kationty jsou podstatou acidózy. Při rozvoji zátěžové metabolické acidózy je hlavním zdrojem H^+ metabolismus adenosin-tri-fosfátu (ATP-lyza).

Záporný logaritmus koncentrace vodíkových iontů v arteriální krvi (pH), (potenciál vodíku; 7,35–7,45).

Při zátěžové metabolické acidóze pH klesá pod hodnoty 7,35, např. až na hodnoty kolem 7,1–6,9. pH, narůstá jako projev rozvoje respirační alkalózy při hyperventilaci, např. v hypoxickém prostředí ve vysoké nadmořské výšce.

Úbytek zásaditých látek v krvi (BE – base excess; $1-2 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$) je množství bází, které organismus použil ke kompenzaci acidózy. Tyto hodnoty mají podobnou dynamiku při a po tělesné zátěži jako koncentrace laktátu, ale dosahují asi o $1-2 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ vyšších hodnot. Maximální jsou kolem $22-26 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$.

Pro posouzení intenzity zatížení energetického metabolismu při fyzické zátěži má podobný interpretační význam jako laktát (viz výše). Lze také vytvořit křivku závislosti BE na intenzitě zátěže a stanovit tzv. BE práh.

Endokrinologické ukazatele

Růstový hormon

Růstový hormon (STH, GH – grow hormon, GF – grow factor; dospělí $46-465 \text{ pmol.l}^{-1}$; $1-10 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$) je hormonem adenohipofýzy s výrazným anabolickým efektem (regenerace) – podněcuje např. syntézu bílkovin. Při zátěži nižší intenzity, kdy jsou hlavním zdrojem energie lipidy, podporuje lipolýzu – katabolický efekt.

K jeho **mírnějšímu zvýšení** dochází **pomaleji při zátěži nízké až střední intenzity a po zátěži**.

Antidiuretický hormon

Antidiuretický hormon (ADH – adiuretin, vasopresin) je hormon zadního laloku hypofýzy; vede ke konstrikci aferentních cév ledvinných glomerulů, tím omezuje tvorbu moči, diurézu. Uplatňuje se v mechanismu šetření vodou v průběhu fyzické zátěže.

Adrenokortikotropin

Adrenokortikotropin (ACTH; mezi 8. a 10. hodinou dopoledne $4-22 \text{ pmol.l}^{-1}$) je stresovým hormonem adenohipofýzy. Uvolňuje se do krve *při fyzické i duševní zátěži* (stresu). Stimuluje uvolňování hormonů kůry nadledvin – kortikoidy (viz níže).

Thyreotropin

Thyreotropin (TSH – thyreostimulační hormon; do 10 mU.l^{-1}) je hormon adenohipofýzy; *uvolňující se také při stresu a stimulující aktivitu štítné žlázy*.

Hormony štítné žlázy

Hormony štítné žlázy (T3 – tri-jod-thyronin, T4 – tetra-jod-thyronin) *jsou stresové hormony stimulující katabolismus – vyčerpávání energetických zásob. Tím zvyšují příjem kyslíku*.

Kortikoidy

Kortikoidy jsou stresové hormony kůry nadledvin a sympatické části autonomního nervového systému.

Jejich **zvýšení** je známkou probíhající *reakce organismu na zátěž*, stres.

- Mineralokortikoid aldosteron stimuluje zadržování Na^+ v ledvinách, a tím i vody v těle.

- Glukokortikoid Kortizol (v plazmě 250–650 nmoL.l⁻¹; 0,55–2,76 μmoL.d⁻¹; 20–100 μg.24h⁻¹) zvyšuje koncentraci glukózy v krvi, k tomu využívá aminokyseliny z bílkovin – v tom smyslu *působí katabolicky*; přitom stoupá vylučování močoviny.

Koncentrace kortikosteroidů nadledvin se zvyšuje jako *projev aklimatizace na vysokou nadmořskou výšku*.

Renin

Renin (1–3 ng.ml⁻¹.h⁻¹) je ledvinný hormon podporující konverzi angiotenzinu, látky zvyšující krevní tlak.

Katecholaminy

Stimulují metabolismus buněk.

Katecholaminy (do 5,5–72 nmoL.l⁻¹; 2–26 μg.24h⁻¹) jsou typické stresové hormony. Jsou to mediátory sympatické části autonomního nervového systému.

Jejich množství v krvi je **vyšší** v průběhu zátěže – *koreluje s intenzitou zatížení*. Pomalejší pokles je po větší zátěži.

- Adrenalin (do 55 nmoL.d⁻¹; do 10 μg.24h⁻¹)
- Noradrenalin (do 590 nmoL.d⁻¹; do 100 μg.24h⁻¹)

Inzulín

Inzulín (29–181 pmoL.l⁻¹; 4–25 mU.l⁻¹) je hormon slinivky břišní (pankreatu) podporující vstup glukózy do buněk, a tím jak její spalování, tak její přeměnu na zásobní glykogen. Snižuje koncentraci glukózy v krvi – vede k hypoglykémii.

Tím je dán jeho *převážně anabolický účinek po zátěži*. V průběhu *lehké a středně intenzivní zátěže jeho koncentrace v krvi klesá*.

Glukagon

Glukagon (20–100 ng.l⁻¹) – rovněž hormon pankreatu – je antagonistou inzulínu. Jeho aktivita je stimulována hypoglykemií. Vede k hyperglykémii.

Jeho koncentrace v krvi při zátěži nižší intenzity roste, při střední intenzitě klesá.

Erythropoetin

Erythropoetin (EPO) je hormon ledvin, který stimuluje tvorbu nových červených krvinek (erythropoézu).

Vysoké koncentrace bývají *příznakem snahy organismu adaptovat se na hypoxické prostředí*, např. ve vysokých nadmořských výškách. Vrchol vyplavení EPO nastává v nočních hodinách.

Termodynamické ukazatele

Vnitřní tělesná teplota

Vnitřní tělesná teplota (t ; °C – stupně Celsia). Buňky těla potřebují pro svoji činnost teplotu 35–41 °C. Tělesné jádro má teplotu 36,5–37,5 °C. Normální klidová teplota člověka v podpažní jamce je o něco nižší – přibližně mezi 36,3 a 36,9 °C.

Hypertermie (rektální teplota nad 41 °C)

Zvýšení teploty je projevem energeticko-metabolické aktivity pracujících kosterních svalů, srdce a jater. Bezprostředně po intenzivním vytrvalostním výkonu, např. tříhodinovém plaveckém tréninku v bazéně s teplotou vody 26–27 °C, může být teplota kolem 37,7 °C.

Tělesnou teplotu zvyšuje vyšší teplota prostředí (nad 30 °C), tepelná izolace oděvem a *snižená kapacita chladících mechanismů termoregulace (omezená tvorba a odpařování potu)*. Vliv horkého prostředí zvyšuje proudění vzduchu. Odpařování potu brání vysoká vlhkost vzduchu (nad 60–70 %). Ochlazování kůže se změní v ohřívání, pokud teplota prostředí je vyšší než teplota kůže, kolem 33–35 °C.



Přehřátí bývá také součástí syndromu schvácení při fyzickém přetížení.

Dobře trénovaný atlet, adaptovaný na fyzickou zátěž v prostředí s vysokou teplotou, **může krátkodobě tolerovat teplotu do 41,5 °C**.

Známkou lepší termoregulace je rychlejší a mohutnější pocení.

Vyšší teplotu, asi o 0,5 °C, mívají těhotné ženy. Tyto ženy (i plod) jsou více ohroženy přehřátím.

Hypotermie

O hypotermii hovoříme při poklesu teploty tělního jádra **pod 35 °C**.

Snížení teploty nastává především v chladném prostředí s nedostatečnou tepelnou izolací, při *vyčerpání energetických zásob* vedoucí k omezení svalové termogeneze a při větších ztrátách tepla kůží (vazodilatace). Vliv chladu prostředí je potencován prouděním vzduchu (nebo vody) a vlhkostí.

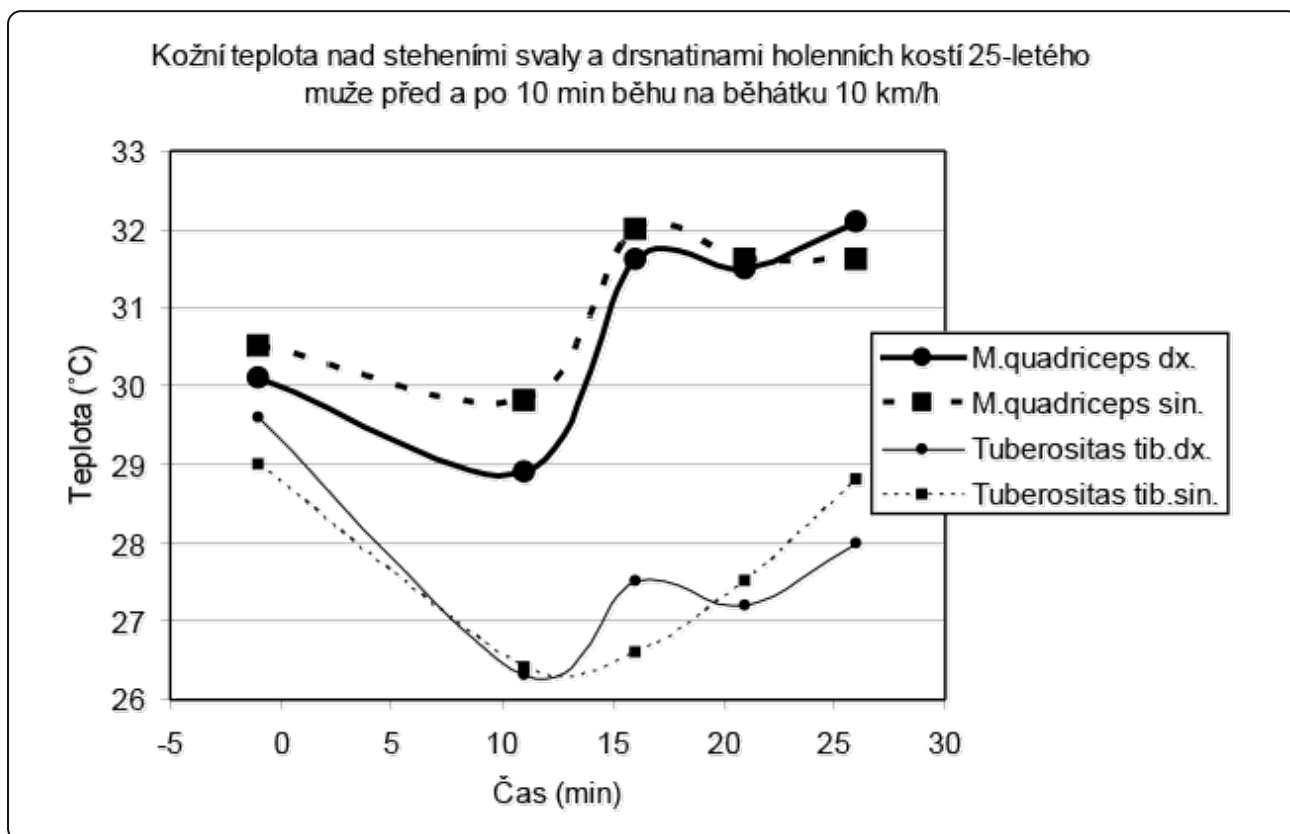
Riziku podchlazení jsou vystaveni plavci ve studené vodě. Voda má 30x lepší teplovodivé (ochlazující) vlastnosti než vzduch.

Povrchová teplota kůže [°C]

Teplotu lze měřit kontaktními teploměry (termometry) nebo zjišťovat pomocí infračervené termografie.

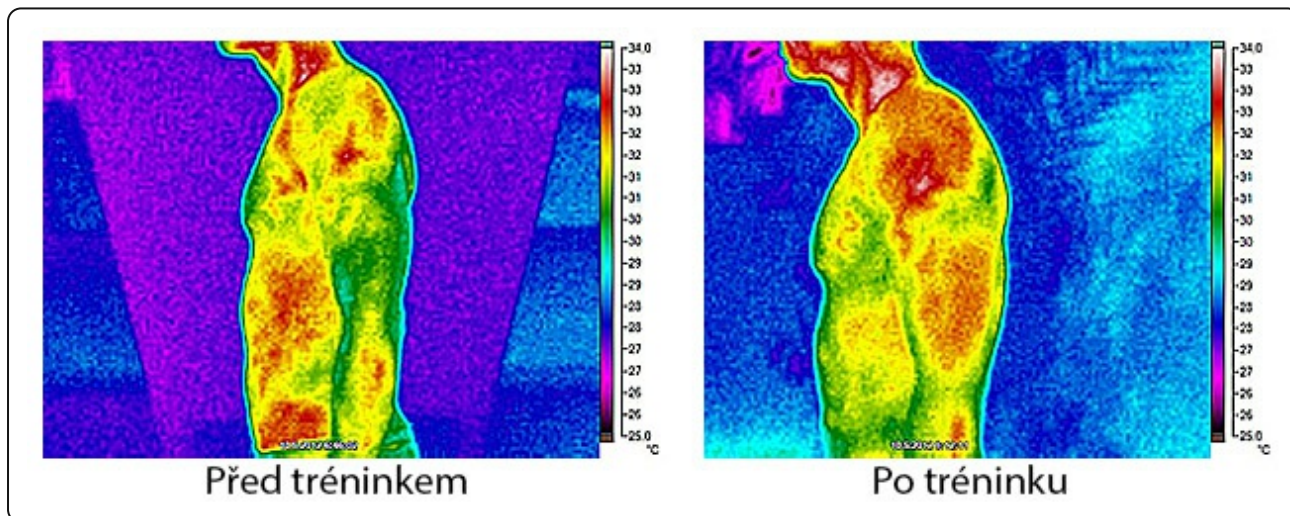
Průměrná teplota kůže je 33 °C.

Zvýšení teploty kůže v blízkosti pracujících svalů je projevem především energeticko-metabolické aktivity a většího prokrvení pracujících svalů (Obr. 11). Pravolevá asymetrie teplot je známkou asymetrie zatížení nebo prokrvení svalů. Svaly vytvářejí teplo při své aktivaci, kontrakci, regeneraci i relaxaci (Obr. 12).



OBR.11 ZVÝŠENÍ TEPLoty KŮŽE V OBLASTI KVADRICEPSŮ PO 10 MINUTÁCH BĚHU NA BĚHÁTKU

Zdroj: archiv autora



OBR.12 TERMOGRAMY LEVÉ PAŽE PŘED A PO TRÉNINKU VRCHOLOVÉHO PLAVCE. JE ZŘETELNÉ ZVÝŠENÍ TEPLoty KŮŽE V OBLASTI DELTOVÉHO SVALU A TRICEPSU PO TRÉNINKU

Zdroj: archiv autora

Anaerobní práh (La, v-r)

Definice a podstata prahu

Placheta definoval v r. 2001 anaerobní práh (stresový práh, metabolický přechod) jako **předěl mezi převážně oxidačním a oxidačně-neoxidačním krytím energetických nároků.**

Jde o časový úsek v průběhu stupňovaného zatížení:

1. Nejprve se začne zvyšovat podíl neoxidační úhrady energie, kumulovat se (zvyšovat) krevní laktát a snižovat množství hydrogenuhličitanů (HCO_3^-) a pH krve (metabolická acidóza). To má za následek hyperventilaci zvýšení VCO_2 , R a V/VO_2 (neroste V/VCO_2); PETCO_2 je konstantní. Jde vlastně o izokapnickou kompenzaci metabolické acidózy.
2. Později, s narůstající zátěží, se začne zvyšovat V/VCO_2 a snižovat PETCO_2 – jde o známky respirační kompenzace metabolické acidózy.

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, a to při výrazně se rozvíjející anaerobní glykolýze s narůstající intenzitou zátěže.

Pojmy **laktátový práh** a **ventilační práh** vyjadřují dynamiku sledovaných ukazatelů, tj. laktátu nebo ventilace.

Důvody stanovení prahu

- **Hodnocení aerobní schopnosti** – poškození funkční schopnosti transportního systému pro kyslík, včetně srdce, např. u kardiologických pacientů (Tab. 10), ale i sportovců.

Tab. 10 Hodnocení funkční schopnosti aerobní schopnosti transportního systému pro kyslík u kardiologických pacientů (Weber, 1988)

Třída	Poškození	$\text{VO}_2 \text{ max(SL)}$ ($\text{mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$\text{VO}_2 \text{ ANP}$ ($\text{mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)
A	Nulové - nízké	20	14
B	Mírné - střední	16-20	11-14
C	Střední - těžké	10-15	8-10

Třída	Poškození	VO ₂ max(SL) (ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹)	VO ₂ ANP (ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹)
D	Těžké	6-9	5-7
E	Velmi těžké	6	5

Vysvětlivky:

VO₂max(SL) – nejvyšší příjem kyslíku v testu s omezujícím faktorem (symptom limited), kdy není jisté, zda se dosáhlo maximální hodnoty; VO₂ANP – příjem kyslíku na úrovni anaerobního prahu.

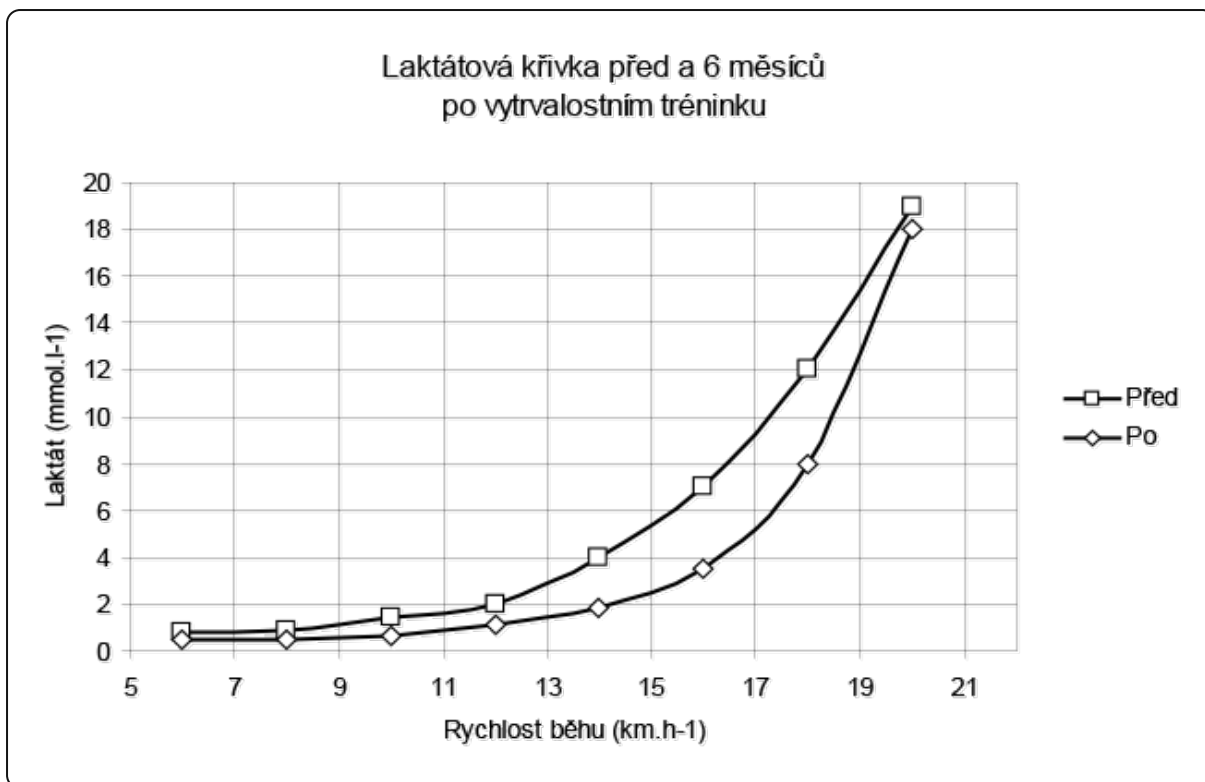
- **Hodnocení připravenosti k aerobnímu (vytrvalostnímu) výkonu sportovce** – predikce výkonu, např. běh na 5 km a více (Tab. 11).

Tab. 11 Hodnocení připravenosti k běžeckému vytrvalostnímu výkonu (predikce)

Běžecká vytrvalost	Rychlost při ANP
Velmi slabá	< 9 km/h
Slabá	9–12 km/h
Dobrá	12–14 km/h
Velmi dobrá	14–16 km/h
Vytrvalci	16–20 km/h
Špičkoví vytrvalci	> 20 km/h

- **Hodnocení účinnosti aerobního (vytrvalostního) tréninku**

Po efektivním vytrvalostním tréninku se posune anaerobní práh doprava, do vyšších intenzit zatížení.



OBR.13 LAKTÁTOVÁ KŘIVKA PŘED A PO 6 MĚSÍCÍCH VYTRVALOSTNÍHO TRÉNINKU
Zdroj: archiv autora

Plánování a řízení aerobního a anaerobního tréninku

Určení vodítka pro řízení intenzity pohybu neboli vymezení pásem (zón) tréninkové intenzity. Např. podle Jonese (2007) byly stanoveny tréninkové zóny pomocí LT a LTP (Tab. 12).

Tab. 12 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).

Laktátový práh

U „laktátového prahu“ je často problém s terminologií. Podle mnoha autorů jde o intenzitu zátěže

při prvním zvýšení hodnot laktátu nad klidovou hodnotu (kolem $1-2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$; ***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 již zcela nepochybný přechod ve strmý a nezvratný nárůst laktátu (***laktátový bod obratu – Lactate turn-point***) při jeho hodnotách kolem $2-4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. 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 $4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, 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 tříminutovém trvání to mohou být $4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, ale při třicetiminutovém trvání již $6 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$.

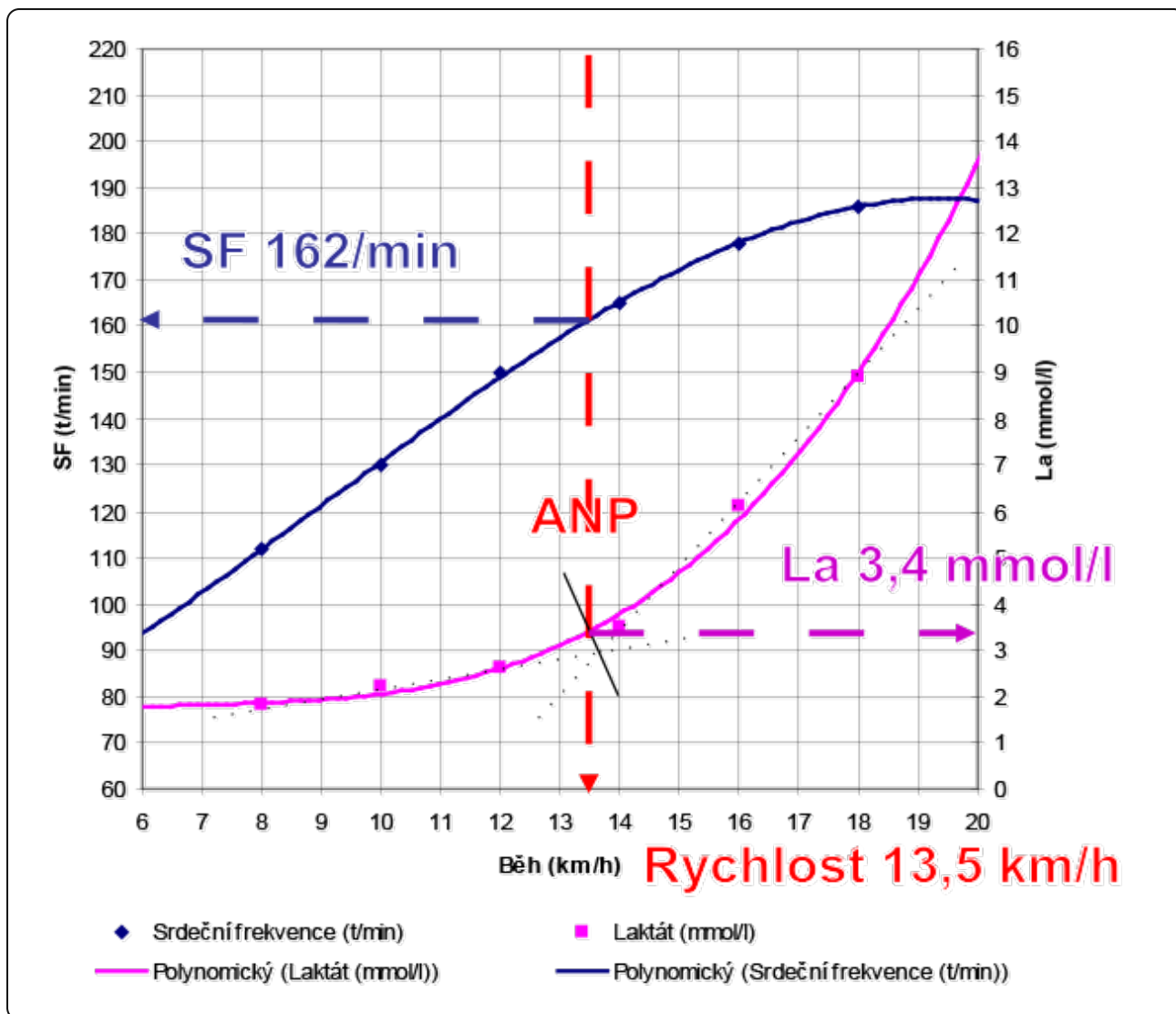
Pro nejvyšší intenzitu zátěže, při níž se ještě dosáhne ustálení koncentrace laktátu, byl vytvořen termín ***nejvyšší rovnovážný stav laktátu (Maximal lactate steady state – MLSS)***. Asi by byl zajímavý pro nalezení závodní rychlosti v maratónu. Pro jeho stanovení je potřeba provést test s alespoň pěti stupni zátěže (např. rychlost běhu $14-15-16-17-18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), přičemž každý stupeň trvá $25-30$ minut. Koncentrace laktátu se měří každých 5 minut. Takový časově náročný test ($2:30 \text{ h}$) je však pro běžnou sportovní praxi těžko použitelný.

Stanovení laktátového prahu

Laktátový práh (LT – Lactate threshold; Jones, 2007) je dobrým prediktorem dlouhodobého vytrvalostního výkonu, např. maratonského běhu. Je vyjádřen rychlostí běhu na začátku prvního zvýšení koncentrace laktátu v krvi nad základní hodnotu (baseline). Příslušné koncentrace se pohybují někde mezi 1 a $2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. V naší praxi jsme tento zlom, nižší práh, neprokázali.

Laktátový bod obratu (LTP - Lactate turn-point; Jones, 2007) je prediktorem o něco kratšího vytrvalostního výkonu (běh na 10 km až půlmaraton). Je vyjádřen rychlostí běhu při zřetelném náhlém a udržitelném, již nezvratném zvýšení koncentrace laktátu v krvi (přibližně kolem $3-5 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$). Tento zlom, vyšší práh, je v praxi skutečně stanovitelný (Obr. 14).

Náš postup stanovení laktátového prahu demonstruje obrázek 14.



OBR.14 STANOVENÍ LAKTÁTOVÉHO PRAHU
Zdroj: archiv autora, 2012

Ventilačně-respirační práh

Na křivce závislosti ventilace na 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 (E_{qO_2} ; VE/VO_2), ale ještě bez prudkého nárůstu ventilačního ekvivalentu pro oxid uhličitý (E_{qCO_2} ; VE/VCO_2).

„**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 uhličitě a oxidu uhličitěho).

Stanovení ventilačně-respiračního prahu

Respirační anaerobní práh je taková intenzita zátěže, při níž dochází k určitému zlomu v závislosti respiračních funkcí na zvyšující se intenzitě zátěže (výkon na ergometru, rychlost běhu apod.).

RER-AT: Anaerobní práh je určen v okamžiku převýšení výdeje oxidu uhličitěho 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 uhličitěho v závislosti na příjmu kyslíku.

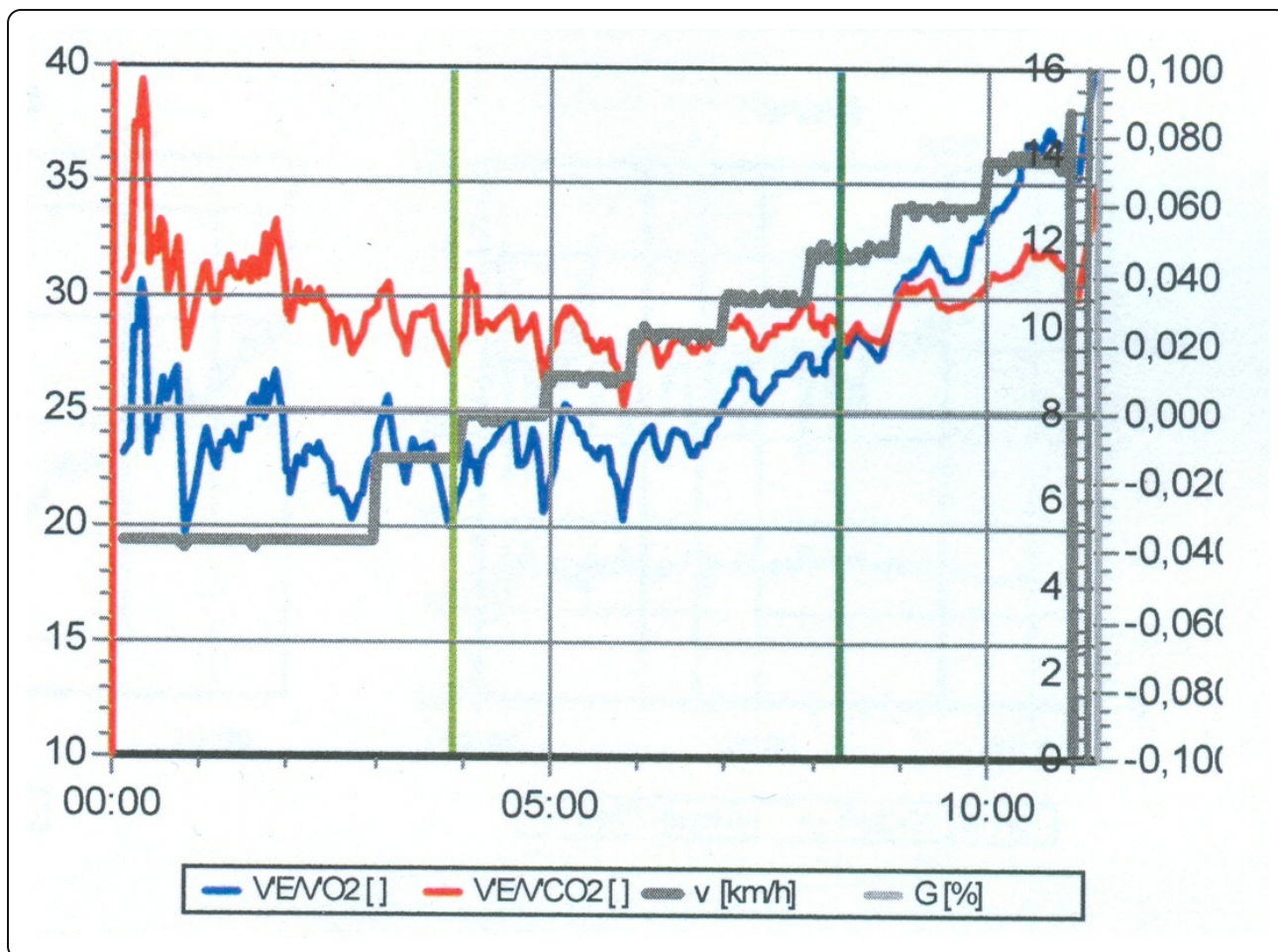
EqO₂-AT: Anaerobní práh je v okamžiku začátku nezvratného nárůstu ventilačního ekvivalentu pro kyslík. Ventilační ekvivalent pro kyslík (EqO₂, VE/VO₂) je množství vzduchu, které musíme vdechnout, abychom získali jeden litr kyslíku.

*Posun respiračního prahu do **vyšší** intenzity zátěže (doprava na ose x) je známkou zlepšení kapacity energetických oxidativních funkcí, efektivního vytrvalostního tréninku, a také dobré regenerace organismu.*

*Posun respiračního prahu do **nižší** intenzity zátěže (doleva) může být známkou přetrvávající únavy, nedostatečné regenerace, zhoršení aerobní schopnosti, akutního onemocnění nebo součástí syndromu přetrénování.*

V posledních letech se rozlišují dva ventilačně-respirační anaerobní prahy na různé úrovni (viz obrázek):

1. **ventilační práh:** zlom s následným výrazným zvyšováním křivky ventilačního ekvivalentu pro příjem kyslíku (VE/VO₂) v závislosti na zvyšující se zátěži. Tento práh bývá také nazýván jako „anaerobní práh“.
2. **ventilační práh:** zlom s následným výrazným zvyšováním křivky ventilačního ekvivalentu pro výdej oxidu uhličitěho (VE/VO₂) v závislosti na zvyšující se zátěži. Tento práh asi odpovídá úrovni **bodu respirační kompenzace (RCP – respiratory compensation point)**.



OBR.15 VENTILAČNÍ EKVIVALENTY PŘI ZÁTĚŽOVÉM TESTU

Zdroj: archiv autora

Vysvětlivky:

VE/VO₂ – ventilační ekvivalent pro kyslík, VE/VC₀₂ – ventilační ekvivalent pro oxid uhličitý, G – stupeň zátěže na běhátku (rychlost běhu $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$). Na ose x je čas (min). Tmavozelená svislá čára označuje 2. ventilační práh.

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.

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 bází (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“.

Bezprostředním hlavním zdrojem **acidózy** jsou kumulované kationty vodíku, které se uvolňují při rozpadu ATP, který byl získán jak aerobně, tak anaerobně.

Testy aerobního systému

Testy jsou zaměřeny na schopnost svalů (typ vláken I a IIa) přeměňovat chemickou energii na mechanickou, a to za spotřeby kyslíku.

Hlavními zdroji oxidativně získané energie jsou při nízké intenzitě zátěže lipidy (mastné kyseliny a triglyceridy), při vyšší karbohydráty (glukóza) a laktát.

U běžců testy slouží ke zjištění účinnosti tréninku a prediktorů běžeckého výkonu od běhu na 800 m až po maraton (McArdle, Katch, & Katch, 2007; Powers & Howley 2007) :

- **Maximální příjem kyslíku** ($VO_2\max$) je dlouhodobě celosvětově uznávaným nejlepším a standardním ukazatelem aerobní kapacity. Čím vyšší, tím lepší.

Poznámky:

Pro zjištění $VO_2\max$ 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, 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 $VO_2\max$ je dosažení jeho plateau VO_2 (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.

Videokázka spiroergometrie:

 **VO2 max testing tutorial** ⇒

Zdroj: http://www.youtube.com/watch?v=1Ub_le_HvL8

- **„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 % $VO_2\max$.
 - Stanovuje se jako začátek nárůstu koncentrace laktátu v krvi (**laktátový práh**) nebo ventilace (**ventilační práh**) při stupňované zátěži.
 - U netréovaných sportovců bývá „anaerobní práh“ při intenzitě aerobního metabolismu

na úrovni 50–60% VO₂max, u vytrvalostně trénovaných na 65–80, resp. 80–90% VO₂max.

- **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.

Poznámky:

- 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).
- Laktátový práh vyžaduje opakované odběry krve v průběhu zátěže, většinou z ušního lalůčku. Ke stanovení ventilačního prahu potřebujeme spiroergometrický systém.
- Tzv. Conconiho anaerobní práh (stanovený ze závislosti srdeční frekvence na rychlosti běhu) nevypovídá o metabolickém 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.

Vodítkem intenzity může být:

- **% VO₂max** – tj. maximální příjem kyslíku.
- **% 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).*
- **% 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 ventilační práh.**

Testy glykolytického systému

Produktem tohoto metabolismu je laktát.

Testy jsou zaměřeny na schopnost svalů (především typ vláken IIa) přeměňovat energii z glukózy na mechanickou bez spotřeby kyslíku (anaerobní glykolýza).

Testy slouží ke zjištění účinnosti tréninku a prediktorů běžeckého výkonu na 200–1500 m (Powers & Howley, 2007).

- **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).

Videoukázka Vingate testu:

 [The Wingate Test](https://www.youtube.com/watch?v=Os_mGLY5eVA) ⇨

Zdroj: http://www.youtube.com/watch?v=Os_mGLY5eVA

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 $4\text{--}5 \text{ W.kg}^{-1}$) a chlapcům ($5\text{--}6 \text{ W.kg}^{-1}$). 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“, a to 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 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

Testy slouží ke zjištění účinnosti tréninku a prediktorů běžeckého výkonu na 60–400 m (Powers & Howley, 2007).

- 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:
Výkon [kg.m.s⁻¹] = {Hmotnost [kg] * Výška schodů [m]} / Čas [s]
Po vynásobení kg.m.s⁻¹ konstantou 9,8 získáme údaj o výkonu ve wattech.
Větší výkon ukazuje na větší kapacitu ATP-CP systému.

Videoukázka testu na schodech:



Margaria Kalamen Stair Test ⇨

Zdroj: <http://www.youtube.com/watch?v=EO3p8r9Pr3I>

- 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 u 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 svalech 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 přepočítat 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 je tomu u osob s lepší aerobní kapacitou.

Poznámka: Měření se provádí 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).

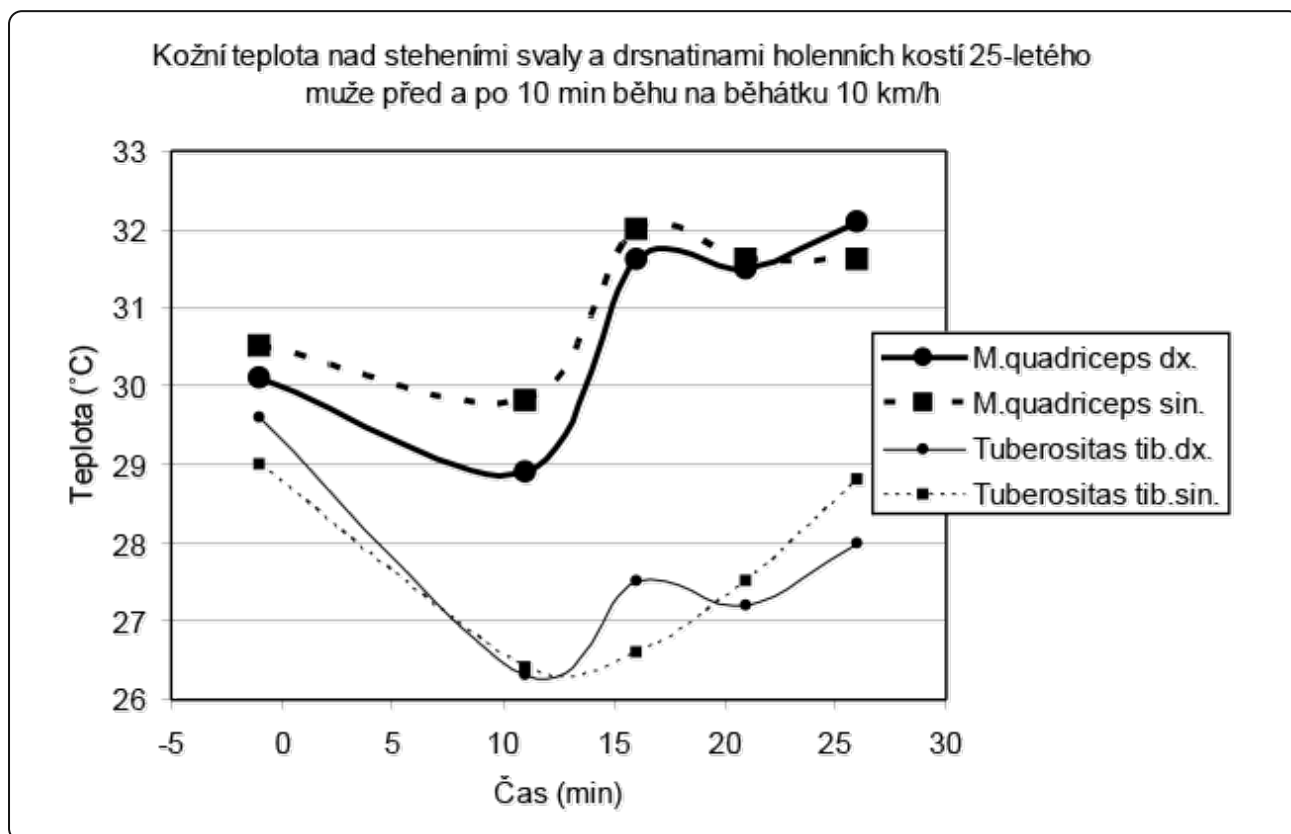
Poznámka: Měření se spiroergometrií. Výpočet není standardní součástí vyhodnocovacího programu.

V běžné praxi se toto vyšetření neprovádí.

Odhad výdeje energie

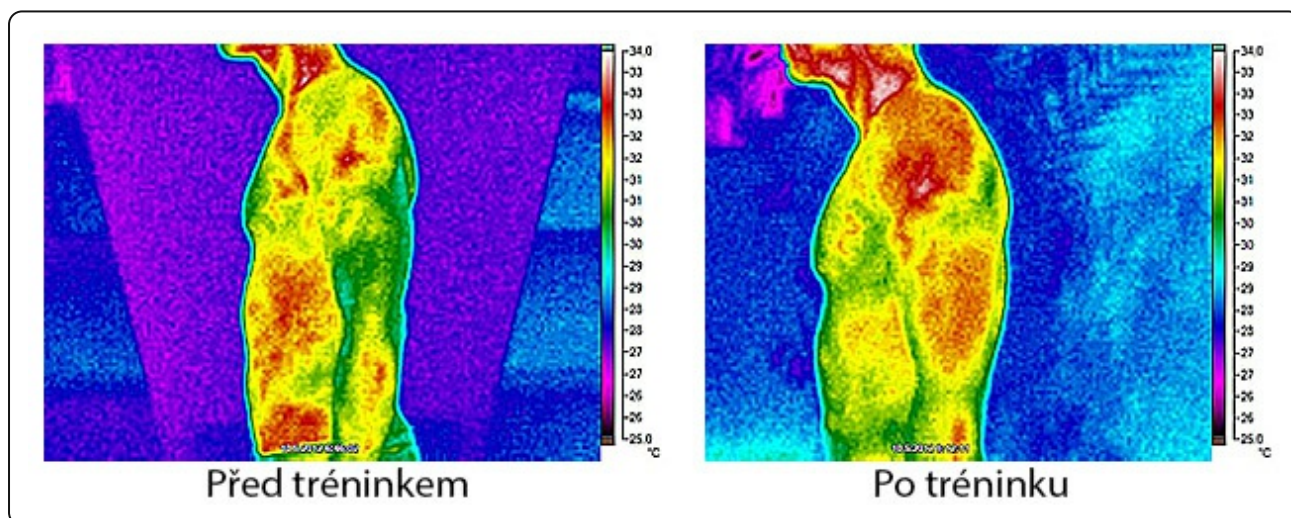
Kosterní svaly – efektoři aktivního pohybu člověka – jsou místem přeměny chemické energie (ATP atd.) na energii mechanickou (pohyb) a tepelnou.

Důkazem tvorby tepla svaly je zvýšení tepla v jejich blízkosti, které lze změřit (Obr. 16) i zobrazit (Obr. 17).



OBR.16 KOŽNÍ TEPLOTA NAD STEHENNÍMI SVALY PŘED A PO 10MINUTOVÉM BĚHU

Zdroj: archiv autora



OBR.17 TERMOGRAMY LEVÉ PAŽE PŘED A PO TRÉNINKU VRCHOLOVÉHO PLAVCE. JE ZŘETELNÉ ZVÝŠENÍ TEPLoty KŮŽE V OBLASTI DELTOVÉHO SVALU A TRICEPSU PO TRÉNINKU

Zdroj: archiv autora

Celková **mechanická účinnost svalové práce** je poměr vykonané mechanické práce k celkově vydané energii. Mění se s druhem svalové práce. Někteří autoři ji odhadují na 25 % při dynamické práci (jízda na bicyklovém ergometru), 50 % při izotonické kontrakci (zvedání břemene). Při izometrické práci (držení břemene) sice není vykonáván vzájemný pohyb tělesných segmentů v trojrozměrném prostoru a čase, avšak je vykonávána práce tím, že částí těla působíme na břemeno v gravitaci Země. Takže ve skutečnosti není tato pracovní účinnost nulová.

K odhadu výdeje energie člověka při jeho aktivním pohybu se používají různé **metody**, například:

- nepřímá energometrie
- měřič tepelného toku kůže
- piezoelektrická akcelerometrie
- energetické tabulky

Nepřímá energometrie

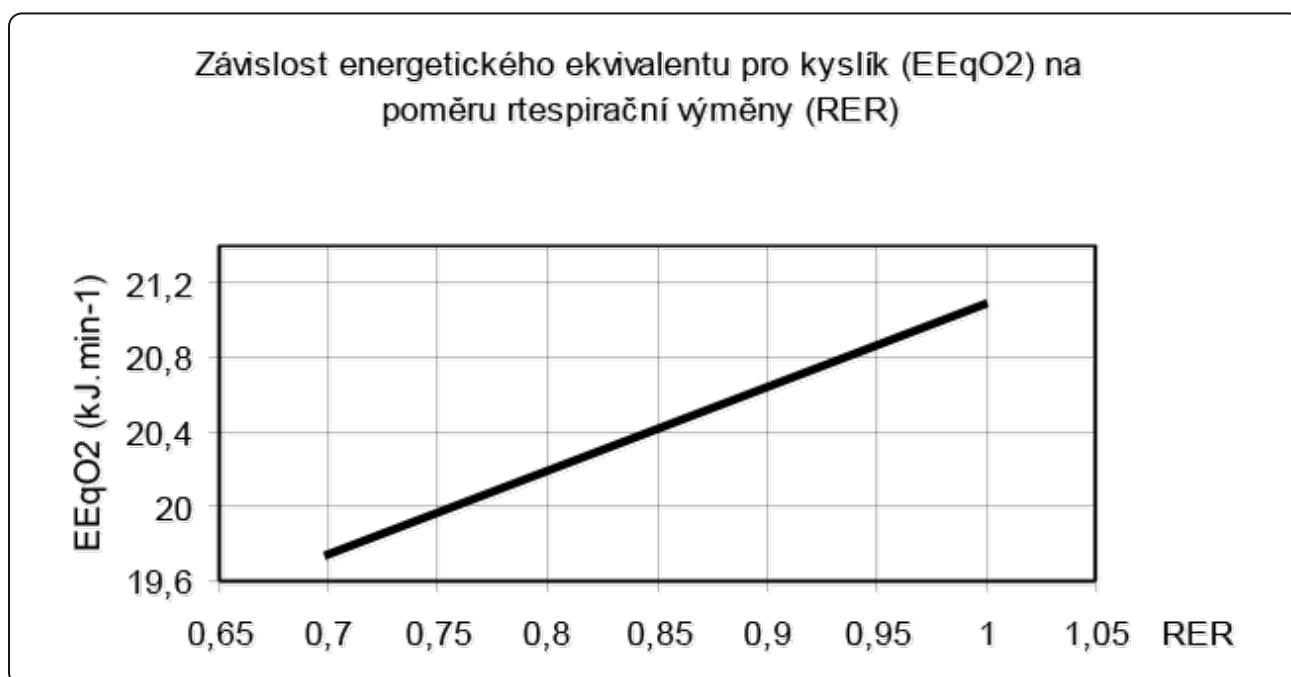
V případě získávání energie převážně aerobním způsobem v energeticko-metabolickém rovnovážném stavu lze odhadnout celkově vydanou energii (E) na svalovou práci z příjmu kyslíku (VO_2) a vyjádřit ji v joulech (J):

$$E(kJ) \sim VO_2[l] * EEqO_2$$

Příklad: $E = 1,5 [l] * 20,5 = 30,8 [kJ]$

$EEqO_2$ je energetický ekvivalent pro kyslík (množství energie, které vydáme při příjmu 1 litru kyslíku).

Kolísá mezi 19,8 a 21,2 kJ, podle intenzity zátěže, v závislosti na výměnném poměru dýchacích plynů (RER). S narůstající intenzitou zátěže (např. rychlostí běhu) se RER i $EEqO_2$ zvyšují (Obr. 18).



Vysvětlivky:

$EEqO_2$ – energetický ekvivalent pro kyslík

RER – výměnný poměr dýchacích plynů (= VCO_2/VO_2)

Minutový příjem kyslíku je používán jako **ukazatel energetické efektivity aerobního výkonu – účinnosti pohybu člověka**, např. tzv. **ekonomiky běhu**.

Nižší příjem kyslíku (nižší potřeba získávání energie) při určité rychlosti běhu ($16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) znamená lepší ekonomiku. Slovní hodnocení je v tabulce 13. Pro hodnocení ekonomiky lze použít relativní ukazatel, a to minutový příjem kyslíku v přepočtu na $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ rychlosti běhu. To umožňuje srovnání ekonomiky běhu různých rychlostí (Tab. 14).

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. 13 Hodnocení ekonomiky běhu podle příjmu kyslíku při rychlosti běhu $16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a sklonu běhátka 1 % do kopce (modifikováno podle Jones, 2007)

Příjem kyslíku ($\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)	Hodnocení ekonomiky běhu
44–47	výborná
48–50	velmi dobrá
51–54	průměrná
55–58	slabá

Tab. 14 Hodnocení ekonomiky běhu podle příjmu kyslíku v přepočtu na $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ rychlosti běhu a sklonu běhátka 1% (modifikováno podle Jones, 2007)

Příjem kyslíku ($\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$)	Hodnocení ekonomiky běhu
170–179	výborná
180–189	velmi dobrá
190–199	nadprůměrná
200–209	podprůměrná
210–219	slabá

Měřič tepelného toku na povrchu kůže

Přenosný senzor (SensWear Pro Armband – obrázek 19) umístěný suchým zipem na paži, je doporučován pro měření energetického výdeje při chůzi, běhu, jízdě na kole atd., i při odporovém cvičení. Obsahuje senzor tepelného toku, termické senzory, galvanický senzor, akcelerometr a senzor tepové frekvence.

Byly publikovány studie prokazující jeho validitu (Randall et al., 2003).

Akcelerometr

Akcelerometry, připnuté k pasu apod., reagují na zrychlení a zpomalení osoby v gravitačním poli Země na principu piezoelektrického efektu (např. Kenzův kalorimetr nebo Caltrac – obrázek 20 a 21), ve dvou nebo třech směrech pohybu v prostoru. Jsou vhodné pro chůzi, běh, skoky a činnosti z těchto základních pohybů vycházející (např. fotbal, volejbal, basketbal atd.).



OBR. 19 SENSEWEAR PRO ARMBAND
Zdroj: <http://www.dietistatrainee.it/images/armband.jpg?465>

Podle zadaných údajů o sledované osobě je vypočítáván energetický výdej, a to po dobu několika minut, až několika týdnů či měsíců.

Použití je však potřeba zvážit. V případě jízdy v autě napočítá falešně více energie a při rovnoměrném pohybu při jízdě na kole falešně méně energie.



OBR. 20 KENZŮV POČÍTAČ KALORIÍ

Zdroj: http://www.suzuken-kenz.com/imgs/lifecorder_plus01.jpg



OBR. 21 AKCELEROMETR CALTRAC

Zdroj: <http://bodyuse.info/wp-content/uploads/Do-You-Want-to-Know-How-Many-Calories-do-You-Really-Burn-Use-Caltrac-Calorie-Counter.jpg>

Energetické tabulky

Na základě mnoha studií byly sestaveny četné tabulky, jež obsahují údaje o energetické náročnosti různých pohybových aktivit. K tomu byly použity metody nepřímé energometrie.

Využití tabulek může být součástí tzv. **chronometráže**, kdy pozorovatel sleduje osoby a zapisuje druh pohybové aktivity po dobu jejího trvání.

Tabulky je možné využít i při „**dotazníkové metodě**“, kdy si zkoumaná osoba sama zapisuje, jaký pohyb jak dlouho prováděla. Výzkumník tyto údaje následně vyhodnocuje. Je zde však větší nebezpečí subjektivního zkreslení údajů. Částečným vylepšením je uvádění intenzity prováděné činnosti sledovanou osobou (např. ve čtyřstupňové škále: nízká – střední – namáhavá – vyčerpávající), která je pak zohledněna ve stanovení METů pro sledovanou činnost.

V tabulkách jsou uvedeny *průměrné hodnoty* určitého vzorku populace. Proto je potřeba upozornit na **vysoké riziko falešného výsledku** při jejich aplikaci u jednotlivých osob, jejichž výdej energie je vzdálen od průměru: U osob s velmi dobrou energetickou účinností (lepší technika pohybu u adaptovaných) je výdej energie ve skutečnosti nižší. U osob méně šikovných (s horší koordinací zapojených svalových skupin svalů atd.) je skutečný výdej energie podstatně vyšší.

V těchto tabulkách je energetický výdej vyjádřen v joulech nebo kaloriích za určitou dobu (např. kJ.min⁻¹) nebo v METech, tj. násobcích klidového výdeje energie.

Tab. 15 Energetická náročnost některých pohybových aktivit

Sebeobsluha	MET	Různé	MET
mytí rukou, holení vstoje	2,5	kreslení, psaní	2
mytí vsedě ve vaně	2	čtení knih, novin	1,3
utírání se osuškou	4	stolní práce vstoje	1,8
oblékání, svlékání	2,5		
stravování vsedě	1,5	Chůze	
vstoje	2	po rovině	
		3,2 km/h	2
Domácí činnost		4,8 (procházka)	3,5
zametání podlahy v pokoji	2,5	5,6	4
mytí oken, auta	4,5	rychlý pochod bez zátěže	6,5
utírání prachu	2,5	pochod se zátěží do 11 kg 4 km/h	3
umývání nádobí	2,3		4
vaření a podávání jídla	2,5		4,5
nákup potravin	3,5	ze schodů a z kopce bez zátěže	3
žehlení	2,3	ze schodů nebo	
lehká práce vsedě	1,5	stoj se zátěží 11–22 kg	5
praní s pračkou	2,0	22–33	6,5
stlání	2,0	33–45	7,5
zametání kolem domu	4,0	nad 45	8,5
drhnutí podlahy	5,5	do schodů a do kopce	
uklizení lehkých věcí	3,5	se zátěží 0,5–6,7 kg	5
přemísťování předmětů ve výškách	9	7,2–10,8	6
domácí opravy automobilu	3	11,2–22	8
lehká truhlářina	3	22,5–33,3	10
těžší truhlářina	5	nad 33,4	12
pokládání linolea, koberce	4,5	v terénu bez zátěže	6
malování zdí uvnitř	4,5	horský výstup	8
malování zdí zvenku	5		
oprava střechy	6	Běh	
elektrotechnické práce	3	jogging	7
		8 km/h	8
Činnost na zahradě		8,3	9
péče o dřeviny	5	9,6	10
úklid pozemku	5	10,7	11
sekání trávy sekačkou	2,5	11,2	11,5
ručně	6	12	12,5
štípání dříví	6,5	12,8	13,5
řezání ruční pilou	7,4	13,8	14
hrabání trávníku	4	14,4	15
odhrnování sněhu	6	16	16
kopání a rytí půdy	5,5	17,4	18
zalévání	1,5	terén	9
		na místě	8
		do schodů	15

Zdroj: Novotný, 1999

Jeden MET je **spotřeba energie** v klidu a to v sedě a v bdělém stavu.

MET – metabolic multiple, multiple of resting metabolic rate je násobek klidového výdeje energie.

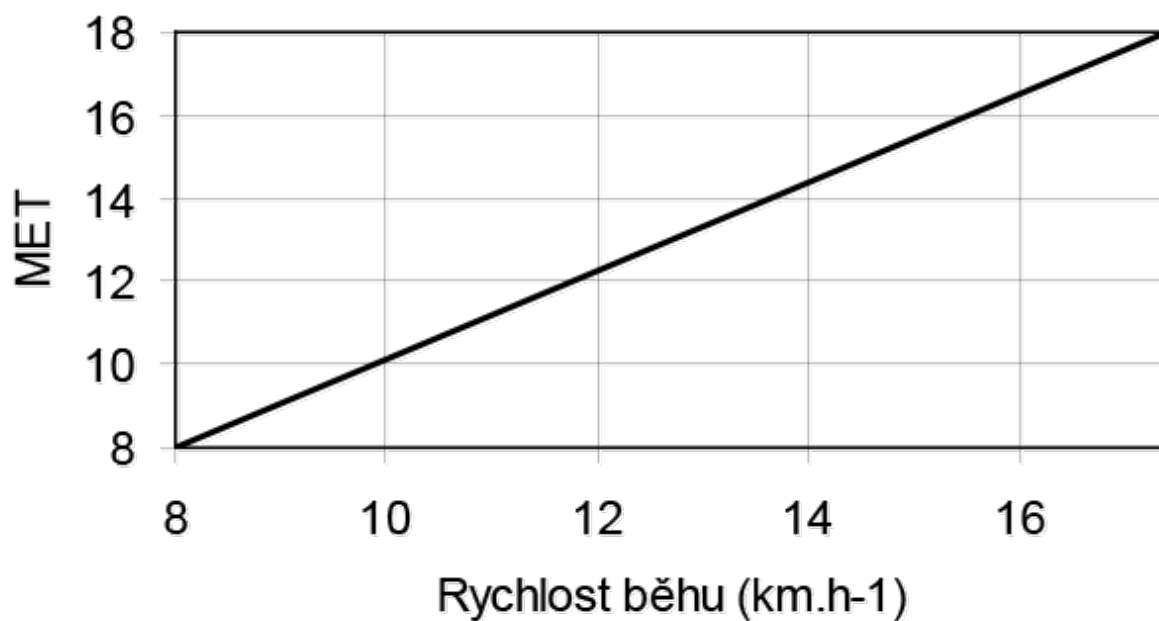
U dospělých osob odpovídá přibližně $75 \text{ J} \cdot \text{min}^{-1}$ (při příjmu kyslíku $3,5 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$).

Pro výpočet energetického výdeje podle METů je potřeba METy při pohybu vynásobit hodnotou klidového výdeje energie.

Po stanovení energetického výdeje za časovou jednotku (většinou za 1 minutu) je pak celkový výdej dán součinem minutového výdeje energie a počtem minut doby, po kterou pohyb trval.

Vztah ukazatele energetické náročnosti (MET) a intenzity pohybu ukazuje obrázek 22.

Závislost MET na rychlosti běhu



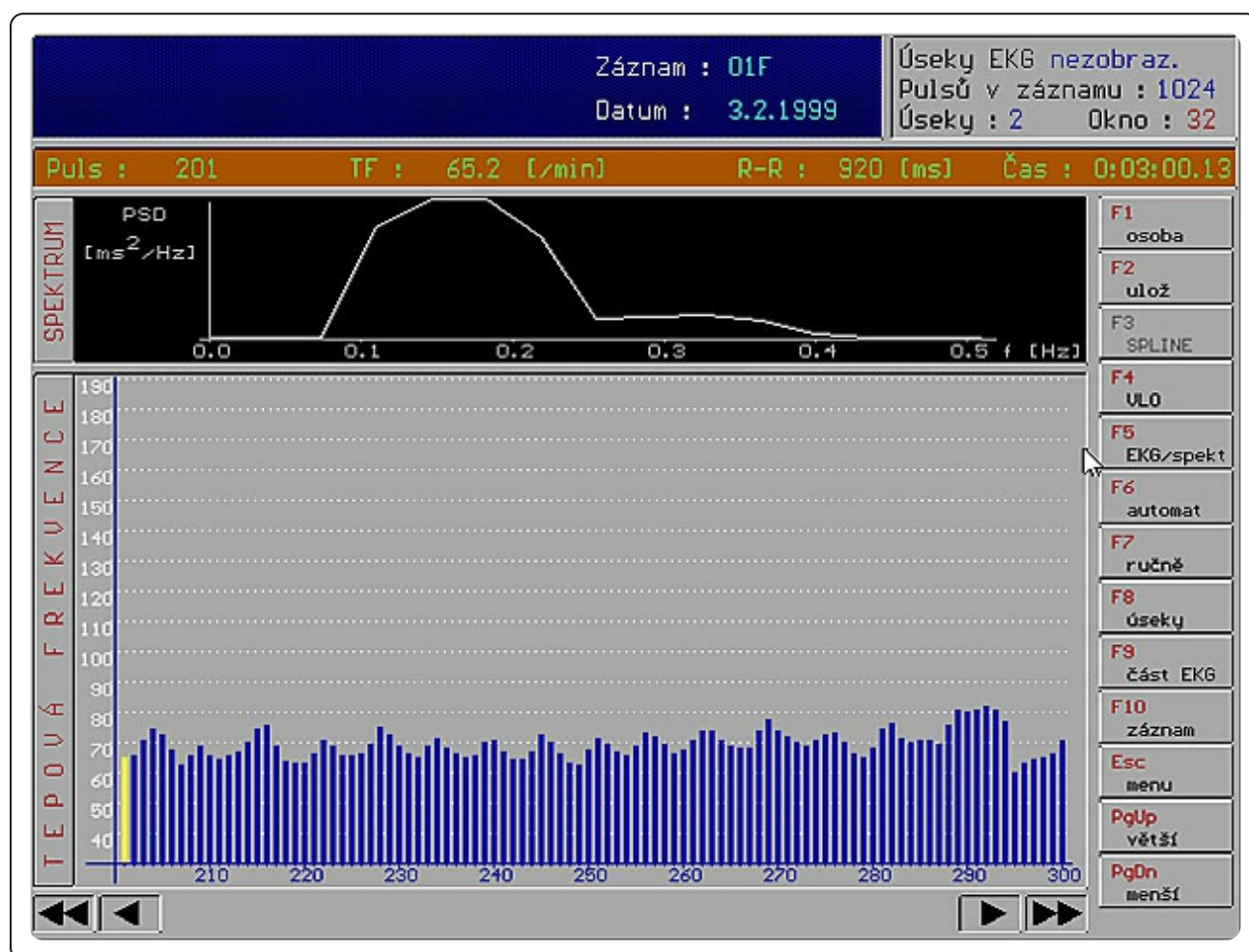
OBR.22 ZÁVISLOST NÁSOBKU KLIDOVÉHO VÝDEJE ENERGIE (MET) NA RYCHLOSTI BĚHU
Zdroj: archiv autora

Test variability srdeční frekvence

Analýza variability srdeční frekvence (Heart rate variability, HRV) je detailní analýza délek RR intervalů se schopností odhalit poruchy neurovegetativní regulace činnosti srdce.

Jedná se o neinvazivní diagnostickou metodu používanou v tělovýchovném lékařství, kardiologii, diabetologii, onkologii, neurologii, neonatologii či psychologii. Analýza HRV se využívá i v časné diagnostice toxické kardiomyopatie u pacientů léčených např. antracyklinovými antibiotiky pro zhoubné tumory, a to jak dospělých, tak u dětí. Ukazatelé HRV jsou používány v monitorování změn autonomních nervových regulací v průběhu různé zátěže i u dětí.

V péči o sportovce se začíná test uplatňovat ve více oblastech, např. v regulaci sportovního tréninku, hodnocení stavu únavy a diagnostice přetrénování, v hodnocení adaptace na časový posun.



OBR.23 ZOBRAZENÍ PO SOBĚ JDoucÍCH R-R INTERVALŮ SYSTÉMEM VARIAPULSE TF3
Zdroj: archiv autora

Fyziologické faktory variability srdeční frekvence

Měření HRV a její interpretace je popisována v řadě prací, z nichž zřejmě nerozsáhlejší a nekomplexnější je zpráva pracovní skupiny Task Force of ESC and NASPE.

Princip měření HRV: Srdeční frekvence se v průběhu 24 hodin periodicky mění především v závislosti na tonizaci SA-uzlu sympatickým a parasympatickým autonomním nervovým systémem. Sympatikus srdeční frekvenci zvyšuje a naopak parasympatikus ji snižuje.

Uvádíme základní přehled vybraných faktorů s periodickým vlivem na srdeční tep a přibližné frekvence jejich uplatnění:

- sympatický autonomní nervový systém (ve frekvenčním rozsahu 0,07–0,15 Hz);
- parasympatický autonomní nervový systém ($f \approx 0,2-0,5$ Hz), o němž je známo, že jeho zvýšený tonus brání vzniku náhlé srdeční smrti, stejně jako zabraňuje vzniku komorové fibrilace srdce (4);
- respirace ($f \approx 0,25-0,35$) mající vliv na vznik respirační dysrytmie, kdy v inspiriu srdeční frekvence vzrůstá, naproti tomu v expiriu tato klesá;
- baroreflexní senzitivita ($f \approx 0,07-0,15$ Hz), která koresponduje s oscilacemi krevního tlaku;
- chemorecepce ($f < 0,07$ Hz);
- cirkulující katecholaminy ($f \approx 0,03-0,07$ Hz);
- termoregulace ($f \approx 0,03-0,07$ Hz);
- renin-angiotenzinový systém ($f < 0,04$ Hz).

Ukazatele frekvenční analýzy variability srdeční frekvence

Z výše uvedeného vyplývá, že můžeme při vyšetření frekvenční analýzou **hodnotit 3 hlavní komponenty** (frekvenční pásma) srdeční frekvence:

- velmi pomalou frekvenci (VLF = 0,01–0,05 Hz), která se vztahuje k termoregulační sympatické aktivitě cév, k hladině cirkulujících katecholaminů a k oscilacím v renin-angiotenzinovém systému; toto pásmo lze dobře hodnotit z dlouhodobějších záznamů (alespoň 60 minut), protože jde o oscilace v trvání až 100 s; při pořizování pětiminutového záznamu se od něj upouští;
- nízkou frekvenci (LF = 0,05–0,15 Hz), tak zvanou „Mayerovu tlakovou vlnu“, která, jak její název napovídá, je nejvíce ovlivněna baroreflexní sympatickou aktivitou a pomalými oscilacemi variability arteriálního krevního tlaku;
- vysokou frekvenci (HF = 0,15–0,5 Hz), též „respirační vlnu“, korespondující s periodicitou dýchání i s tonem vagu.

Základními parametry spektrální analýzy HRV jsou:

- výkonová spektrální hustota (PSD = power spectral density) [$\text{ms}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$]
- spektrální výkon ($P = \text{power}$) v jednotlivých pásmech VLF, LF, HF a celkový výkon TP [ms^2]

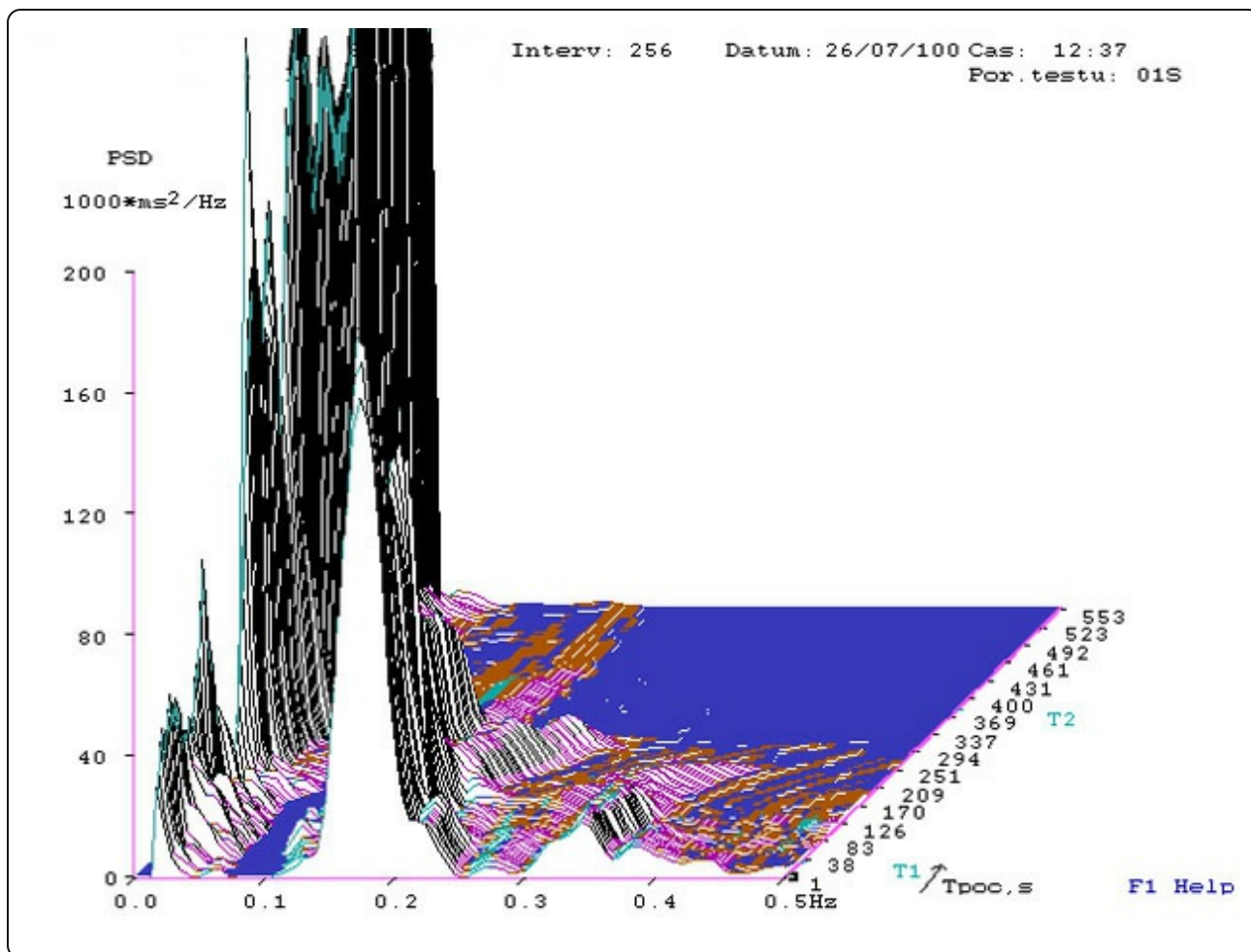
Vedle parametrů frekvenční analýzy se hodnotí také **parametry časové analýzy:**

- RR interval – doba mezi dvěma sousedními R kmity na EKG, což je vlastně převrácená hodnota tepové frekvence /s/

- směrodatná odchylka RR intervalu (SDRR) [ms]
- průměr čtverců rozdílů sousedních RR intervalů (MSSD) [ms²]

Tab. 16 Vybrané ukazatele variability srdeční frekvence

TP (ms²)	Celkový spektrální výkon / Total spectral power = VLF+LF+HF
VLF (ms²)	Výkon velmi nízké frekvence / Power of very low frequency
LF (ms²)	Výkon nízké frekvence / Power of low frequency
HF (ms²)	Výkon vysoké frekvence / Power of high frequency
VLF (%)	Výkon velmi nízké frekvence / Power of very low frequency = (VLF/TP)*100
LF (%)	Výkon nízké frekvence / Power of low frequency = (LF/TP)*100
HF (%)	Výkon vysoké frekvence / Power of high frequency = (HF/TP)*100
LF (nu)	Výkon nízké frekvence / Power of low frequency = (LF/(TP-VLF))*100
HF (nu)	Výkon vysoké frekvence / Power of high frequency = (HF/(TP-VLF))*100
PSD-VLF (ms².Hz⁻¹)	Výkonová hustota velmi nízké frekvence / Power spectral density of very low frequency
PSD-LF (ms².Hz⁻¹)	Výkonová hustota nízké frekvence / Power spectral density of low frequency
PSD-HF (ms².Hz⁻¹)	Výkonová hustota nízké frekvence / Power spectral density of low frequency
SDRR (s)	Směrodatná odchylka RR / Standard deviation of RR
SDRR (%)	Směrodatná odchylka RR / Standard deviation of RR
MSSD (ms²)	Průměr druhých mocnin diferencí po sobě jdoucích R-R intervalů / Mean of the sum of the square of differences between adjacent RR intervals
RR (s)	R-R interval
HR (b.min⁻¹)	Srdeční frekvence /Heart rate



OBR.24 PŘÍKLAD GRAFICKÉHO VÝSLEDKU ANALÝZY HRV (OSA X – FREKVENCE, Y – VÝKONOVÁ SPEKTRÁLNÍ HUSTOTA, Z – ČAS)
Zdroj: archiv autora

Způsob a podmínky vyšetření

Vyšetření by mělo probíhat v dopoledních hodinách, v klidných vyhrazených místnostech s běžnou teplotou (22–26°C) a vlhkostí (40–60 %), bez přítomnosti nezúčastněných osob. Nebyly použity žádné tlumiče hluku, ba ani zakrytí očí nebo zatemnění. Dýchání spontánní, případně regulované (podle potřeby). Po 10 minutách zklidnění vleže, kdy už nedochází k dalšímu pozorovatelnému poklesu srdeční frekvence, měřit po dobu 5 minut 256 R-R intervalů vleže. Potom se měřená osoba během 2–3 vteřin sama postaví a nadále zůstává v přirozeném postoji bez jiné opory. Po 15 vteřinovém intervalu, kdy se přibližně stabilizuje (zvýšila a opět snížila) srdeční frekvence, jsou snímány a zaznamenávány, po dalších 5 minut, délky 256 RR intervalů vstoje.

Přístrojová technika a výpočet ukazatelů HRV

K měření může být použit např. systém VariaPulse TF-3 nebo VariaCardio TF4 SimaMedia Olomouc (Obr. 25): Snímač má na elastickém páse dvě integrované elektrody a infračervený vysílač s dosahem 6 metrů. Přijímač je současně PC interface. Příslušný software umožňuje zobrazení a archivaci průběhu srdeční frekvence (HR) v čase, provedení spektrální analýzy rychlou Fourierovou transformací a výpočet základní statistické charakteristiky zvolených úseků záznamu – průměry a směrodatné odchylky spektrálního výkonu pro pásma velmi nízké frekvence (VLF: 0,01-0,05 Hz), nízké frekvence (LF: 0,05-0,15 Hz) a vysoké frekvence (HF: 0,15-0,5 Hz). Seznam sledovaných ukazatelů HRV je uveden v tabulce č. 16. Vzorkovací

frekvence snímání dat byla 500 Hz.



OBR.25 SYSTÉM PRO MĚŘENÍ A ANALÝZU R-R INTERVALŮ
VARIA CARDIO TF4
Zdroj: archiv autora

Použitá literatura

Akselrod, S. (1995). Components of heart rate variability. In: M. Malik, A.J. Camm (Eds.). *Heart Rate Variability*. New York, NY: Futura Publishing.

Åstrand, P. O. (2003). *Textbook of work physiology: Physiological bases of exercise* (4th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Borer, K. T. (2003). *Exercise endocrinology*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Borg, G. (2012). *Physical performance and perceived exertion*. Gleeurup, Sweden: Lund.

Bourdon P. (2000). Blood lactate transition thresholds: Concepts and controversies. In: C. J. Gore (ed.). *Psychological tests for elite athletes*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Botek M. (2007). *Sledování aktivity autonomního nervového systému metodou spektrální analýzy variability srdeční frekvence u sportovců* (Dissertation thesis). Olomouc, Czech Republic: Fakulta tělesné kultury Univerzity Palackého.

Brunetto A. F. (2005). Effect of gender and aerobic fitness on cardiac autonomic response to head-up tilt in healthy adolescents. *Pediatr Cardiol* 26, 418-424.

Burr, J. F. (2012). Systemic arterial compliance following ultra-marathon. *Int J Sports Med*, 33(3), 224–229.

Coumel, P. (1990). Heart rate variability. In: C. Lentner, (ed.). *Geigy Scientific Tables. Vol. 5. Heart and Circulation*. New Jersey, NJ: CIBA-GEIGY.

Fejfar, Z. (1994). Variabilita srdeční frekvence a riziko náhlé srdeční smrti. *Cor Vasa*, 36, 299–309.

Farrel, P.A. (2012). *ACSM's Advanced exercise physiology*. Baltimore, MD: Wolters Kluwer.

Foster, C. (1996). Athletic performance in relation to training load. *Wis Med J*, 95(6), 370-374.

Finley, J. P., Nugent, S. T., & Hellebrandt, W. (1987). Heart-rate variability in children. Spectral analysis of development changes between 5 and 24 years. *Can J Physiol Pharm*, 65, 2048–2052.

Fox, E. L., & Mathews, D. K. (1974). *Interval Training: Conditioning for Sports and General Fitness*. Orlando, FL: Saunders College Publishing.

Ganong, W. F. (1999). *Přehled lékařské fyziologie*. Praha, Czech Republic: H&H.

- Hamar, D. (2005). Výskoková ergometria. In: Meško, D., Komadel, L. (eds.). *Telovýchovnělékárske vademecum*. Bratislava, Slovakia: Slovenská spoločnosť telovýchovného lekárstva, 205–206.
- Hargreaves, M. (2006). *Exercise metabolism*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Heymsfield, S. B. (2005). *Human body composition*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Hoffman, J. (2002). *Physiological Aspects of Sports Training and Performance*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Honzíková, N. (1995). Circadian changes of heart rate variability after myocardial infarction. *Scripta Medica*, 67, Suppl 2, 81–84.
- Hrstková, H., Novotný, J., & Pejchlová, M. (1996). *Hodnocení funkční zdatnosti a somatického vývoje dětí s prodělanou leukémií*. Závěrečná zpráva o řešení IGA Mzd ČR 2165–3, 12–17.
- Iwasa, Y. (2005). The relationship between autonomic activity and physical activity in children. *Pediatrics International*, 47, 361–371.
- Javorka, K. (2008). *Variabilita frekvencie srdca. Mechanizmy, hodnotenie, klinické využitie*. Martin, Slovakia: Osveta.
- Jones, A. M. (2007). Middle-and long-distance running. In: E. M. Winter (ed.). *Sport and Exercise. Physiology Testing Guidelines Vol. I – Sport Testing*. Abingdon, United Kingdom: Routledge, 147–154.
- Juujärvi, P. (2006). Effects of physical provocations on reactivity and reactive aggression in children. *Aggressive Behavior*, 32, 99–109.
- Kang, J. (2008). *Bioenergetics primer for exercise science*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Kenny, W. L. (2012). *Physiology of sport and exercise*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Kjaer, M. (2003). *Textbook of Sports Medicine*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Klener, P. (2001). *Vnitřní lékařství* (2nd ed.). Praha, Czech Republic: Galén.
- Kraemer, W.J. (2012). *Exercise physiology*. Baltimore, MD: Wolters Kluwer.
- Krivickas, L. S. (2006). Recurrent rhabdomyolysis in a collegiate athlete: A case report. *Med Sci Sports Exercise* 38(3), 407–410.
- Kučera, M. (1999). *Sportovní medicína*. Praha, Czech Republic: Grada/Avicenum.
- Kučera, M. (2011). *Dítě, sport a zdraví*. Praha, Czech Republic: Galén.

- Laforgia, J. (2006). Effects of exercise intensity and duration on the excess post-exercise oxygen consumption. *J Sports Sci*, 24(12), 1247–1264.
- Lentner, C., Lentner, Ch., & Wink, A. (eds.) (1982). *Geigy Scientific Tables 2*. New Jersey, NJ: Ciba–Geigy.
- Lin, C. M., Wang, T. L., & Leu, J. G. (2005). Rhabdomyolysis in 119 students after repetitive exercise. *Br J Sports Med* 39, e3.
- MacAuley, D. (2007). *Oxford Handbook of Sport and Exercise Medicine*. Oxford, United Kingdom: Oxford University Press.
- MacLaren, D., & Morton, J. (2012). *Biochemistry for sport and exercise*. Oxford, United Kingdom: Wiley–Blackwell.
- Malliani, A. (1995). Association of heart rate variability components with physiological regulatory mechanisms. In: M. Malik, A. J. Camm (eds.). *Heart Rate Variability*. New York, NY: Futura Publishing, 173–188.
- Máček, M. (2001). *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Praha, Czech Republic: Galén.
- McArdle, V. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2007). *Exercise Physiology*. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins.
- Mooren, F. C. (2005). *Molecular and cellular exercise physiology*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Murray, R. K. (2002). *Harperova biochemie*. Praha, Czech Republic: H&H.
- Na Du (2005). Heart rate recovery after exercise and neural regulation of heart rate variability in 30–40 year old female marathon runners. *J Sports Sci Med*, 4, 9–17.
- Nagai, N. (2004). Moderate physical exercise increases cardiac autonomic nervous system activity in children with low heart rate activity. *Child's Nervous System*, 20, 209–214.
- Noakes, T. (2003). *Lore of running*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Novotný, J. (1998). Variabilita srdeční frekvence u zdravých dětí vleže. *Med Sport Boh Slov*, 7, 35–40.
- Novotný, J. (1999). Energetická náročnost různých pohybových činností (MET). In: Z. Placheta. *Zátěžová diagnostika v ambulanci a klinické praxi*. Praha, Czech Republic: Grada.
- Novotný, J., Hrstková, H., & Novotná, M. (2003). Heart rate variability analysis and toxic cardiomyopathy

screening in population after oncological treatment. In: J. Salinger (ed.). *Heart Rate Variability and its Assessment in Biomedical Fields – from Theory to Clinical Practise*. Olomouc, Czech Republic: Faculty of Physical Culture, Palacky University, 70–74.

Olosová, A. (1999). Spektrálna analýza variability frekvencie akcie srdca u juvenilných hypertonikov. *Cs Pediat*, 54, 7, 340-343.

Petersen, K. (2007). Muscle mechanical characteristics in fatigue and recovery from a marathon race in highly trained runners. *Eur J Appl Physiol*, 101, 385–396.

Placheta, Z. (1988). Submaximal exercise testing. *Acta facultatis medicae Universitatis Brunensis*, 102, 268.

Placheta, Z. (1999). *Zátěžové diagnostika v ambulanti a klinické praxi*. Praha, Czech Republic: Grada/Avicenum.

Placheta, Z. (2001). *Zátěžové vyšetření a pohybová léčba ve vnitřním lékařství*. Brno, Czech Republic: Masarykova univerzita.

Powers, S. K., & Howley, E.T. (2007). *Exercise Physiology. Theory and Application to Fitness and Performance* (6th ed.). New York, NY: McGraw–Hill International Edition.

Randall, C. R. (2003). Validation of Senswear pro Armband calorimeter to assess energy expenditure during various mode of activity. *Med Sci Sports Exerc* 35, 284.

Raven, P. B. (2013). *Exercise physiology and integrated approach*. Wadsworth, United Kingdom: Cengage Learning.

Rekawek, J. (2003). Heart rate variability in healthy children. *Folia Cardiologica*, 10, 203-211.

Saka, T. (2007). Exertional rhabdomyolysis of the bilateral adductor magnus. *Journal Sports Science and Medicine* 6, 568–571.

Salinger, J. (1994). Programové vybavení měřicího systému, typ TF–2, určené pro spektrální analýzu variací R-R intervalů v kardiologii. *Lek Tech*, 25, 58–62.

Seiler, K. S., & Kjerland, G.O. (2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an „optimal“ distribution? *Scand J Med Sci Sports*, 16, 49–56.

Sharkey, B. J., & Gaskill, S. E. (2006). *Sport physiology for coaches*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Siegelová, J. (1995). Circaseptan rhythm in blood pressure and heart rate in newborns. *Scripta Medica*, 67, Suppl 2, 63–70.

Smith, D. (2000). Protocols for the physiological assessment of high-performance runners. In: C. J. Gore (ed.). *Physiological Tests for Elite Athletes. Australian Sports Commission*. Champaign, IL: Human Kinetics, 334–344.

Solberg, G. (2005). Respiratory gas exchange indices for estimating the anaerobic threshold. *J Sport Sci Med* 4, 29–36. (<http://www.jssm.org> ⇒)

Srinivasan, K. (2002). Effect of standing on short term heart rate variability across age. *Clin Physiol and Func Im*, 22, 404–408.

Stella, J. J., & Shariff, A.H. (2012). Rhabdomyolysis in a recreational swimmer. *Singapore Med J.*,

Stejskal, P., & Salinger, J. (1996). Spektrální analýza variability srdeční frekvence. *Med Sport Boh Slov*, 5, 33–42.

Stejskal, P. (2003). *Využití nové metodiky hodnocení SA HRV pomocí komplexních indexů v klinické a sportovní praxi*. In: J. Salinger (ed.). *Variabilita srdeční frekvence a její hodnocení v biomedicínských oborech – od teorie ke klinické praxi*. Olomouc: Fakulta tělesné kultury UP, 105–116.

Stejskal, P. (2004). Vliv osmihodinového časového posunu po přeletu přes poledníky na východ na spektrální analýzu variability srdeční frekvence u vrcholového sportovce. *Med Sport Boh Slov*, 13,(1), 2–10.

Štejfa, M. (1998). *Kardiologie*. Praha, Czech Republic: Grada/Avicenum.

Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. (1996). *Heart rate variability. Standards of Measurement, Physiological Interpretation, and clinical use. Circulation*, 93, 1043-1065.

Telford, R. D. (1991). Physiological assessment of the runner. In: Draper et al. (eds.) *Test Methods Manual*. Canberra, Australia: National Sports Research Centre.

Tonhajzerová, I. (1998). Náležité hodnoty parametrů variability frekvence srdce u mladých lidí vo věku 15-19 rokov. *Cs Pediatr*, 53, 530–532.

Van Ravenswaaij-Arts. (1993). Heart rate variability. *An Int Med*, 118, 436–447.

Vuksanovic, V. (2005). Effect of posture on heart rate variability spectral measures in children and young adults with heart disease. *Int J Cardiol*, 101, 273-278.

Wawryk, A. M., Bates, D.J., & Couper, J. J. (1997). Power spectral analysis of heart rate variability in children and adolescents with IDDM. *Diabetes Care*, 20, 1416–1421.

Wilmore, J. H., & Costil, D. L. (2004). *Physiology of sport and exercise*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Winter, E. M. (2007). *Sport and exercise physiology testing guidelines*. London, United Kingdom: Routledge.

Zygmunt, A., & Stanczyk, J. (2004). Heart rate variability in children with neurocardiogenic syncope. *Clin Aut Research*, 14, 99–106.

Literatura zakoupená v rámci inovace předmětu

Draper, N., & Marshall, H. (2012). *Exercise Physiology: For Health and Sports Performance*. New York, NY: Pearson Education.

Anketa

Vážená studentko, vážený studente,

FSpS MU v procesu svého hodnocení a sebehodnocení (auto/evaluace) a za využití projektu IMPACT – Inovace a modernizace studijních oborů FSpS – potřebuje analyzovat a vyhodnotit kvalitu a efektivitu výuky jednotlivých předmětů. Proto se na Vás obracíme s žádostí o vyplnění anonymního elektronického hodnotícího formuláře – *Studentského hodnocení předmětu*. Jeho vyplnění by nemělo zabrat více než 15 minut Vašeho času. Toto Studentské hodnocení předmětu je Vám současně dostupné po přihlášení do ISu u příslušného předmětu.

Děkujeme za Váš čas a za důležité připomínky a podněty pro práci naší fakulty.

- d017: https://is.muni.cz/auth/elearning/test_pruchod.pl?testurl=/el/1451/jaro2014/d017/odp/Anketa_test.gref ⇒

Eva Valkounová,
administrace dotazníků projektu IMPACT
e-mail: valkounova@fsps.muni.cz

Vladimír Jůva,
evaluace v rámci projektu IMPACT
e-mail: juva@fsps.muni.cz

Anketa byla ukončena k 31.12.2014. Pro vyjádření názorů a reakcí na materiály projektu mohou studenti využít [Diskuzní fórum](#) ⇒ , které je funkční i v době po ukončení projektu.

Tým projektu IMPACT

Diskusní fórum

Vážení studenti,

pro vyjádření Vašich názorů k výstupům projektu IMPACT máte možnost využít **diskusní fórum** projektu.

- <https://is.muni.cz/auth/bt/impact/> ⇨

Otestujte se...

Online verze tohoto materiálu, kterou najdete na <http://www.fsps.muni.cz/impact/zatezove-testy-ve-sportovni-medicine/> obsahuje navíc interaktivní test, kde můžete zjistit, nakolik jste vstřebali probíraná témata.

Materiál ve čtečce pro Váš tablet

Tato elektronická studijní opora je studentům k dispozici ve čtečce, připravené pro platformu iOS a Android. Vhodnou verzi čtečky si můžete nainstalovat použitím tlačítek, která najdete v menu v online verzi materiálu na adrese <http://www.fsp.muni.cz/impact/zatezove-testy-ve-sportovni-medicine/>. Materiály, které si z nabídky ve čtečce stáhnete do vašeho zařízení, budete moci studovat i offline, tedy bez nutnosti stálého internetového připojení.



Autoři

Hlavní autor (autoři)

prof. MUDr. Jan Novotný, CSc.

Technické zpracování

Jakub Doležal, Mgr. Aneta Fedrová, David Jindra, DiS., Mgr. Olga Krčmařová, Jiří Matoušek, Mgr. Milan Mojžíš, Mgr. Martin Novotný, Mgr. Jindřich Pavlík, Ing. Jiří Voldán, Mgr. Petr Zaoral

ISBN 978-80-210-7295-4

Tato online aplikace pro elektronické studijní materiály byla vyvinuta na míru pro účely projektu vývojovými pracovníky projektu. Neustále jsou doplňovány další funkcionality a rozšíření. *Videozáznamy* používají formát MP4 v kódování h264, 25fps. Videozáznamy pořízené pracovníky projektu jsou vystaveny v rozlišení 960 x 540 px. Přehrávač používá technologii HTML5 Video MediaElement API nebo Flash, příp. Silverlight podle toho, jakou technologii daný prohlížeč podporuje. Existuje též varianta přehrávače s *playlisty*, která šetří místo, pokud je v dané kapitole mnoho souvisejících videozáznamů zároveň. Vpravo nahoře najdou uživatelé aplikace *přepínač barevného schématu*, aby si mohli zvolit světlé či tmavé provedení pro pohodlné čtení materiálu. Systém používá *přívětivá URL* s pochopitelným obsahem – URL obsahuje názvovou cestu stromu kategorií. Je implementováno funkční *fulltextové vyhledávání* v materiálu a zvýraznění nalezených slov na stránce. Mezi možnostmi systému nechybí *vkládání obrázků*, které mohou obsahovat pozitivní/negativní verzi podle zvoleného barevného schématu, mohou obsahovat *legendu s popisky*. Systém podporuje vložení *aktivního glosáře* a *aktivních poznámek pod čarou*. Stroj pro samotestování řeší náhodný výběr z repositáře otázek pro daný studijní materiál, sestavení testu pro danou kapitolu i sestavení závěrečného testu, umožňuje vložení voleb odpovědí do proudu textu otázky, umožňuje též přiložení obrázku k otázce. Texty materiálů mohou doplňovat rozbalovací seznamy, speciální boxy pedagoga, je zabudována podpora pro *zobrazování matematických vzorců* ve standardním zápisu LaTeX.

Online aplikace je kompatibilní se všemi běžně používanými prohlížeči v jejich aktuálních verzích. Vývoj aplikace se testuje ve Firefoxu, aktuální verzi, Internet Exploreru 7, 8, 9, 10, Safari v aktuální verzi, Chrome v aktuální verzi, Opera v aktuální verzi, Opera Next v aktuální verzi.



Firefox



Internet Explorer



Safari



Chrome



Opera



Opera Next

Tento výtisk zachycuje stav online materiálu, dostupného na adrese

<http://www.fsps.muni.cz/impact/zatezove-testy-ve-sportovni-medicine/> ve stavu ze dne 22. 02. 2015.