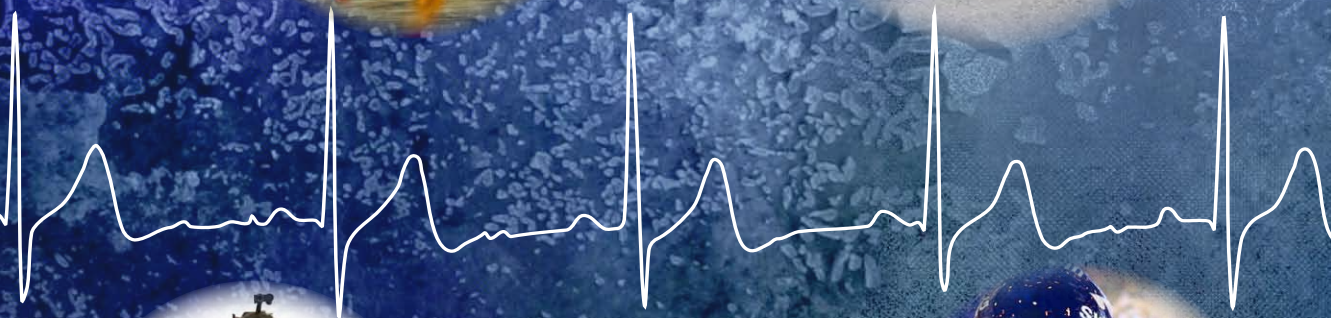


# Variabilita srdeční frekvence v tréninkovém procesu: historie, současnost a perspektiva

Michal Botek, Jakub Krejčí, Andrew J. McKune



Univerzita Palackého v Olomouci  
Fakulta tělesné kultury

# **Variabilita srdeční frekvence v tréninkovém procesu: historie, současnost a perspektiva**

Michal Botek, Jakub Krejčí, Andrew J. McKune



Olomouc 2017

Oponenti: doc. MUDr. Pavel Stejskal, CSc.  
doc. PaedDr. František Langer, CSc.

Předložená publikace byla vytvořena jako součást výzkumného projektu ve spolupráci s Aplikačním centrem BALUO Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Aplikační centrum BALUO bylo mimo jiné vystavěno z dotačních prostředků operačního programu: PODNIKÁNÍ A INOVACE – Prioritní osa 5 – Prostředí pro podnikání a inovace, výzva č. II, vyhlášeného Ministerstvem průmyslu a obchodu ČR dne 15. 9. 2009. Samotný výzkumný projekt, jehož součástí je i předložená publikace, je realizován pod názvem „Posouzení efektu zdravého a aktivního životního stylu dospělých jedinců na vybrané ukazatele zdraví u účastníků výzkumu Aplikačního centra BALUO Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci – retrospektivní studie“ schválený EK FTK UP dne 28. 11. 2016 pod č. j. 72/2016. K výše uvedenému je předložená publikace dedikována.

Neoprávněné užití tohoto díla je porušením autorských práv a může zakládat občanskoprávní, správněprávní, popř. trestněprávní odpovědnost.

1. vydání

© Michal Botek, Jakub Krejčí, Andrew McKune, 2017

© Univerzita Palackého v Olomouci, 2017

DOI 10.5507/ftk.16.24452029

ISBN 978-80-244-5203-6 (online : PDF)

ISBN 978-80-244-5202-9 (print)

# Obsah

Předmluva	5
1 ÚVOD	7
2 ZÁKLADNÍ VÝCHODISKA SPORTOVNÍHO TRÉNINKU	11
2.1 Definice	11
2.2 Periodizace	11
2.3 Zatížení a zatěžování	12
2.4 Přetížení	14
2.5 Strategie ladění sportovní formy	15
2.6 Fyziologická únava	17
2.7 Zotavení a princip superkompenzace	19
2.8 Patologická únava – etiologie, symptomy, diagnostika a prevence	22
2.9 Detrénink	33
2.10 Hodnocení velikosti zatížení a odezvy organismu	34
3 AUTONOMNÍ NERVOVÝ SYSTÉM	39
3.1 Anatomická a funkční charakteristika	39
3.2 Mechanismy regulace srdečního rytmu	40
4 VARIABILITA SRDEČNÍ FREKVENCE	43
4.1 Historie	43
4.2 Vymezení pojmu a interferující faktory	44
4.3 Měření RR intervalů a kontrola záznamu	48
4.4 Časové a geometrické ukazatele VSF	53
4.5 Frekvenční ukazatele VSF	55
4.6 Nelineární ukazatele VSF	70
4.7 Výhody a limity ukazatele Ln rMSSD pro monitorování vagové aktivity	72
4.8 Vyšetření aktivity ANS během dne	76
4.9 Standardizace podmínek před vyšetřením aktivity ANS	78
4.10 Standardizované polohy při vyšetření aktivity ANS	79
4.11 Doba trvání vyšetření aktivity ANS a doporučená frekvence měření během tréninkového mikrocyklu	81
5 VÝZNAM DIAGNOSTIKY AKTIVITY ANS V TRÉNINKOVÉM PROCESU	91
5.1 Změny v aktivitě ANS během tělesné práce	91
5.2 Změny v aktivitě ANS spojené se zotavením	99
5.3 Efekt pravidelného vytrvalostního tréninku na kardiovaskulární systém a aktivitu ANS	108
5.4 Kardiální vagová regulace jako významný determinant odezvy organismu na aerobní trénink	111
5.5 Monitoring aktivity ANS jako instrument optimalizace tréninkového zatížení	122
6 ZÁVĚRY	135
7 SUMMARY	137
8 REFERENČNÍ SEZNAM	141



---

## Předmluva

Sofistikovaná diagnostika patří k nedílné součásti efektivního řízení sportovního tréninku. Systematický monitoring zatížení již dávno není jen doménou vrcholových či výkonnostních sportovců a jejich trenérů. Diagnostika odezvy organismu na zatížení, například v podobě monitorů srdeční frekvence, se stává stále populárnější také u amatérských sportovců, kteří trénink nebo svoji oblíbenou pohybovou aktivitou často berou jen jako mentální relaxaci k psychicky náročnému zaměstnání nebo jako vhodný způsob, jak si udržovat zdraví a kondici. Obecně lze říci, že dosahování maximálních výkonů je svým způsobem trenérská alchymie, která se však opírá o fyziologické principy adaptace. Často se v praxi setkáváme se sportovci, kteří v dobré víře trénují podle dopředu vypracovaného tréninkového plánu mnohdy až do úmuru, avšak jejich výkonnost se zlepšuje jen nepatrně. Po letech zkušeností s optimalizací tréninkového zatížení u profesionálních i amatérských sportovců se naším mottem stalo: „Trénuj tvrdě, ale chytře!“ Ne vždy je totiž organismus připravený na náročný trénink nebo blok tréninků a vhodnější alternativou z hlediska aktuálních potřeb organismu je pak zařadit méně náročný trénink, či dokonce regeneraci a naopak.

Záměrem autorů knihy bylo rámcově popsat základní východiska sportovního tréninku, aktuální způsoby zatížení a zatěžování, tréninkovou periodizaci, způsoby hodnocení velikosti tréninkového zatížení a fyziologické principy vedoucí ke zvyšování výkonnosti. Dále také upozornit na rizika, která mohou nastat v momentu excesivního zvyšování zatížení, popřípadě dlouhodobé disproporce mezi zatížením a zotavením. Možná i proto se ústředním motivem pro sepsání knihy stala snaha o sumarizaci současného poznání kolem způsobů hodnocení variability srdeční frekvence (VSF) a jejího využití ve sportovní oblasti. Právě schopnost jednoduchým způsobem zrcadlit funkční změny v organismu, které jsou subjektivně mnohdy velmi obtížně postihnutečné, činí z monitorování VSF pro trenéra velmi cenný diagnostický instrument pro stanovení vhodné velikosti zatížení a také se jedná o určitou formu prevence přetížení nebo přetrénování.

Přejeme si, aby kniha našla své čtenáře nejenom z řad odborníků na VSF, ale především mezi profesionálními trenéry, kondičními trenéry, popřípadě amatérskými sportovci, které osloví a inspiruje pro hledání nových vizionářských tréninkových strategií a přispěje tak ke splnění jejich sportovních či trenérských ambicí.

Autoři



---

# 1 ÚVOD

Ve snaze o dosažení stále vyšší výkonnosti v duchu olympijského hesla *Citius, Altius, Fortius* absolvují vrcholoví sportovci bloky kvalitativně i kvantitativně náročnějších tréninků, přičemž extrémní zatížení často doprovází jen omezený čas na regeneraci (Laursen, 2010; Plews, Laursen, Stanley, Kilding, & Buchheit, 2013; Seiler, 2010). Tento tréninkový model je postavený na samou hranu adaptačních možností organismu. Sportovci balancují mezi funkčním přetížením, ze kterého je možné při adekvátním odpočinku profitovat vzestupem výkonnosti (Plews, Laursen, Stanley, et al., 2013; Stanley, Peake, & Buchheit, 2013), a patologickými stavy, jako je chronická únava nebo syndrom přetrénování, které jsou recentními studiemi konsenzuálně spojovány s poklesem sportovní výkonnosti a ztrátou sportovní formy (Bosquet, Merkari, Arvisais, & Aubert, 2008; Meeusen et al., 2013).

V minulém století, když ještě nebyly diagnostické přístroje v tréninkovém procesu tak rozšířené, jako jsou dnes, např. z důvodu jejich nedostatečné technické vyspělosti či vysoké ceny, museli se trenéři při řízení tréninkového procesu často spolehnout na svůj instinkt, dlouholetou empirii nebo na komunikaci se sportovci, která zpravidla spočívala v hodnocení jejich subjektivních pocitů. Jinými slovy, na základě omezených znalostí o objektivní odezvě organismu na tréninkové zatížení a zatěžování lze z pohledu dnešního sofistikovaného přístupu k tréninkovému procesu ten empirický s jistou nadšázkou přirovnat k alchymii, ale v mnoha případech i k umění. V současnosti k úkolům trenéra či kondičního trenéra jednoznačně patří mimo jiné i pravidelný monitoring odezvy organismu sportovců na podstupované tréninkové dávky z důvodu optimálního vybalancování velikosti tréninkových adaptačních impulzů a doby nezbytné pro zotavení (Joyce & Lewindon, 2014).

Pro rozvoj trénovanosti a sportovní výkonnosti je klíčovým faktorem velikost zatížení (Borresen & Lambert, 2009). I v současnosti se v různých výkonnostních kategoriích vyskytuje bezpočet empiriků, kteří se od sebe v otázce způsobu a velikosti zatěžování zásadně liší. První skupina zastává filozofii „raději nedotrénovat nežli přetrénovat“, zatímco ti druzí preferují strategii „čím více, tím lépe“. Obě skupiny se snaží hledat optimální cestu ke zvyšování výkonnosti, ale jak se ukazuje, vztah mezi velikostí tréninkového zatížení a úrovní sportovní výkonnosti není lineární, ale spíše připomíná tvar obráceného písmene U, přičemž optimální čili vrcholová část této křivky je stále obtížně definovatelná (Kuipers, 1998). Na jedné straně tak sportovcům hrozí chronické překračování adaptační kapacity a riziko kumulace únavy a přetrénování, zatímco na druhé straně může v důsledku nedostatečného zatížení docházet k omezenému rozvoji vrozených dispozic (talentu) sportovce a příznakům detréningu (Borresen & Lambert, 2009; Bouchard & Rankinen, 2001). V dnešní době již začíná v odborné literatuře převládat názor, že efektivní zvyšování kondice a sportovní výkonnosti lze dosáhnout nejlépe cestou individuálního přístupu k dávkování velikosti zatížení a diferenciaci zátěže (Borresen & Lambert, 2009; Botek, McKune, Krejčí, Stejskal, & Gába, 2014; Buchheit, 2014; Hautala, Kiviniemi, & Tulppo, 2009; Plews, Laursen, Stanley, et al.,



2013; Stanley et al., 2013). Taková tréninková strategie však vyžaduje nejlépe každodenní znalost informací o změnách vnitřního prostředí organismu (o rozvratu buněčné homeostázy), protože ta zásadním způsobem ovlivňuje průběh zotavných procesů (Viru & Tendzegolskis, 1995), s jistým omezením i velikost a nástup superkompenzace a také výsledný tréninkový efekt (Stejskal, 2002). Bohužel ani pomocí současné vyspělé techniky neumíme v rutinní tréninkové praxi přesně určit nástup a kulminaci superkompenzace jakožto optimální začátek další tréninkové jednotky, kdy je sportovec plně zregenerován a disponuje přechodně zvýšeným energetickým potenciálem. Pro monitorování únavy či zotavných procesů se v tréninku využívá analýza biochemických markerů a hormonů invazivní cestou z krve (Heisterberg, Fahrenkrug, Storskov, Kjær, & Andersen, 2013) nebo neinvazivní např. ze slin (Halson & Jeukendrup, 2004; McKune, Bach, Semple, & Dyer, 2014; Meeusen et al., 2013). S ohledem na invazivní povahu biochemických vyšetření a jejich ještě vysokou cenu si lze jen velmi obtížně představit, že by sportovci byli ochotní dlouhodobě se podrobovat každodenním odběrům krve za účelem posouzení jejich aktuální připravenosti na trénink. Z tohoto pohledu se jako vhodná alternativa krevních biomarkerů jeví monitorování srdeční frekvence (SF) jakožto neinvazivní metodika hodnocení stavu organismu (Achten & Jeukendrup, 2003; Borresen & Lambert, 2009; Buchheit, 2014). Vlivem rostoucí technické vyspělosti zařízení monitorujících srdeční rytmus se během posledních dvaceti let dostalo do popředí zájmu kondičních trenérů, fyziologů a výzkumníků v oblasti sportovní i zátěžové fyziologie hodnocení změn SF na úrovni po sobě jdoucích srdečních stahů (na elektrokardiografické křivce RR intervalů), pro které se v odborné literatuře vžil název *Heart Rate Variability* (Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, 1996) neboli variabilita srdeční frekvence (VSF) (Stejskal & Salinger, 1996). Kvantifikace VSF umožňuje posoudit aktuální funkční stav autonomního nervového systému (ANS), primárně však aktivity parasymptiku (Akselrod et al., 1981; Aubert, Seps, & Beckers, 2003). Je známo, že aktivita ANS se vyznačuje vysokou senzitivitou na změny vnitřního prostředí organismu, které mohou být vyvolány nejrůznějšími faktory včetně tréninkového zatížení. Z tohoto důvodu někteří autoři vnímají úroveň VSF jako marker aktuální adaptability (trénovatelnosti) jedince zejména v kontextu aerobního tréninku (Botek, Krejčí, & Weisser, 2014; Buchheit, 2014; Buchheit, Plaat, Oujaa, & Simon, 2007; Hautala et al., 2009; Hautala et al., 2003; Hedelin, Bjerle, & Henriksson-Larsén, 2001; Kiviniemi, Hautala, Kinnunen, & Tulppo, 2007; Vesterinen et al., 2013; Vesterinen, Häkkinen, et al., 2016), přičemž adaptabilitu jedince lze jinými slovy popsat také jako dynamicky se měnící dispozici organismu se adaptovat na tréninkové podněty vytrvalostního charakteru v závislosti na aktuální úrovni kardiální vagové aktivity. Atraktivitu hodnocení kardiální vagové regulace ve vztahu k tréninku dokumentuje na počátku roku 2017 bezmála 1 700 odkazů v prestižní medicínské databázi *PubMed* při zadání klíčových slov heart + rate + variability + training. Stále větší pozornost na sebe hodnocení VSF v tréninku obrací patrně i z toho důvodu, že byl opakovaně prokázán pozitivní vztah mezi klidovou úrovní aktivity vagu a adaptační odezvou organismu při rozvoji vytrvalosti, konkrétně maximální spotřebou kyslíku (Botek, Krejčí, & Weisser, 2014; Buchheit,

2014; Boutcher, Park, Dunn, & Boutcher, 2013; Hautala et al., 2003, 2009; Hedelin et al., 2001), u běžecké výkonnosti na delší tratě (Kiviniemi et al., 2007; Vesterinen et al., 2013, Vesterinen, Häkkinen, et al. 2016, Vesterinen, Nummela, et al.; 2016), nebo silových schopností (Chen et al., 2011). Vzestup sportovní výkonnosti, převážně v individuálních sportech, je v literatuře také často asociován s vzestupem klidové aktivity vazu (Atlaoui et al., 2007; Garet et al., 2004; Koenig, Jarczok, Wasner, Hillecke, & Thayer, 2014; Pichot et al., 2000; Schmitt et al., 2006), přičemž znalosti vztahu mezi oběma proměnnými bylo využito k vytvoření matematických modelů predikujících nástup sportovní formy např. u plavců (Chalencon et al., 2012, 2015). Na základě dosavadních vědeckých poznatků v oblasti VSF a tréninku a více jak desetiletých zkušeností autorů s aplikací VSF v oblasti sportu si dovolueme s jistou obezřetností podotknout, že vstupem VSF do řízení tréninkového procesu došlo u některých trenérů k určitému názorovému posunu na dosavadní tréninkovou praxi a zažité stereotypy zatěžování, což se později pozitivně odrazilo v dosahované výkonnosti nebo redukcí výskytu zdravotních komplikací souvisejících s chronickým přetěžováním. Alternativní přístup k řízení tréninku v podobě aplikace VSF může také prodloužit dobu trvání profesionální kariéry např. cestou hledání nejefektivnější regenerační strategie vyhovující přesně individuálním potřebám jednotlivce (Botek, Krejčí, McKune, & Klimešová, 2016) a v neposlední řadě také může hodnocení VSF přispět k identifikaci mladých adaptovatelných sportovců jako jeden z dalších významných atributů talentu.

Autoři předkládané publikace si tak kladou za cíl představit čtenáři aktuální a relevantní informace o možnostech uplatnění diagnostiky VSF při řízení tréninkového procesu u profesionálních i amatérských sportovců. V publikaci jsou popsány zásadní výhody této perspektivní diagnostiky společně s možnými úskalími při měření a korektní interpretaci výsledků VSF. Autorský tým je přesvědčený, že publikace přispěje ke zvýšení povědomí o fyziologickém fenoménu VSF, podstatě jeho vzniku, modifikujících faktorech a současně tím napomůže rozptýlit předsudky či obavy z něčeho nového a prozatím málo známého ve světě sportovního tréninku.



---

## 2 ZÁKLADNÍ VÝCHODISKA SPORTOVNÍHO TRÉNINKU

### 2.1 Definice

*Sportovní trénink* je považován za jistý druh biologicko-sociální adaptace a jako takový je výsledkem paralelně probíhajících procesů morfologicko-funkční adaptace, motorického učení a psychosociální interakce (Dovalil et al., 2009), jehož hlavním cílem je snaha o dosažení relativně maximální sportovní výkonnosti ve zvoleném sportovním odvětví (Lehnert, Novosad, Neuls, Langer, & Botek, 2010).

Někteří autoři (Dovalil et al., 2009; Měkota & Cuberek, 2007) charakterizují *sportovní výkon* jako průběh a výsledek pohybové činnosti realizovaný v konkrétním sportu s úsilím o maximální uplatnění výkonových předpokladů. V časovém kontextu je prováděný sportovní výkon nahrazen pojmem *sportovní výkonnost*, která je chápána jako určitá dispozice jedince podávat opakovaně poměrně stabilní výkony (Novosad, Frömel, & Lehnert, 1998). Výkonnost může být považována také za výraz nového přizpůsobení se organismu požadavkům vnějšího prostředí, které v sobě zahrnuje změny na úrovni dovedností, vědomostí, schopností a somatických předpokladů (Dovalil et al., 2009). V souvislosti s dobou trvání přípravy Neumann, Pfützler a Hottenrott (2005) uvádějí, že vrcholných sportovních výsledků bývá zpravidla dosahováno po 8 až 12 letech intenzivní tréninkové přípravy. Novosad et al. (1998) považují za hlavní determinanty ovlivňující sportovní výkon genetické předpoklady jedince, vlastní působení adaptačních tréninkových podnětů a prostředí. Genetické predispozice k výkonu pak Dovalil et al. (2009) dělí na morfologickou složku (tělesná výška, hmotnost a konstituce), fyziologickou složku (aerobní a anaerobní kapacita, reakční rychlost, síla) a psychologickou složku (temperament, morálně volní vlastnosti, intelekt). Míra podílu jednotlivých genetických složek na sportovním výkonu se odvíjí od specifických požadavků dané sportovní disciplíny na organismus.

### 2.2 Periodizace

Z literatury vyplývá, že existuje větší množství modelů periodizace (Bompa, 1999). Tréninková jednotka je základním stavebním kamenem periodizace, kterou dále tvoří po sobě jdoucí tréninkové cykly, jejichž obsah, velikost tréninkového zatížení a opakování se podílejí na zvyšování trénovanosti a tvorbě sportovní formy (Bompa, 1984). *Periodizaci* lze vnímat také jako proces systematického plánování krátkodobých či dlouhodobých tréninkových celků s odlišnou velikostí zatížení doprovázených adekvátní

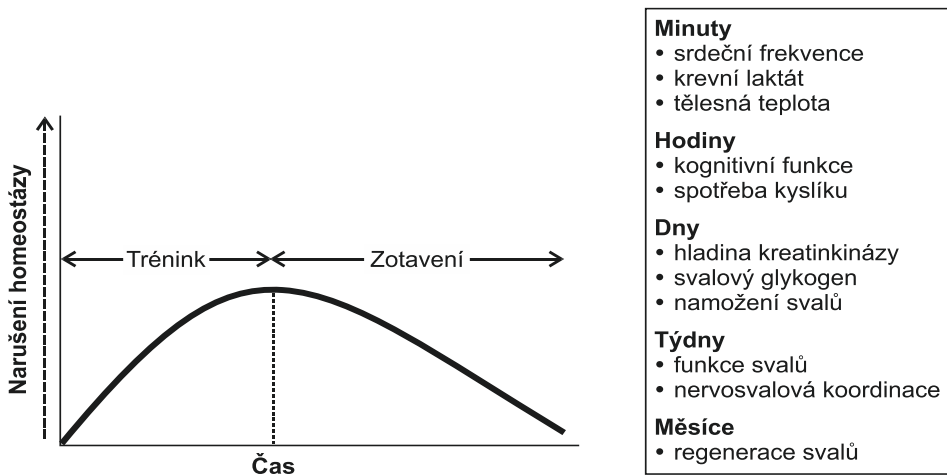
dobou regenerace (Lambert, Viljoen, Bosch, Pearce, & Sayers, 2008), který poskytuje základní oporu pro kontrolu a management tréninku s cílem zvyšovat výkonnost a zároveň eliminovat výskyt tréninkového stereotypu či monotónnosti souvisejícího s rizikem vzniku maladaptace (Foster, 1998).

Klasický model periodizace (Matvejev, 1964, 1977) se dělí do několika vzájemně provázaných celků o různé době trvání, z nichž nejkratší je označován za *mikrocycklus*, který svojí délkou většinou kopíruje trvání jednoho týdne. Mezi časově delší periody se řadí *mezocycklus* (2 týdny až několik měsíců) a *makrocycklus* (roční cyklus), přičemž dlouhodobý (víceletý) tréninkový cyklus, např. olympijský, v sobě zahrnuje čtyři makrocykly a je nazýván *megacyklem*, ovšem tento název nebyl autory obecně akceptován (Dovalil et al., 2009). Roční tréninkový cyklus se obecně dělí podle obsahu, struktury a velikosti tréninkového zatížení na přípravné, závodní a přechodné období, přičemž každé z nich plní v rámci makrocycclu svou specifickou úlohu. Tento obecně akceptovaný model dělení makrocycclu je v současném moderním pojetí sportovního tréninku sice stále platný, avšak Mujika (2012) podotýká, že klasické členění periodizace se ukazuje jako vhodnější pro výkonnostní či amatérské sportovce, zatímco v systému tréninku především vrcholových sportovců se více preferuje alternativní tréninková periodizace využívající *tréninkových bloků* (Issurin, 2008), které svým obsahem reprezentují jeden až tři mikrocykly, a střídání bloků kopíruje mezocycklus (Lehnert, Novosad, & Neuls, 2001). Hlavní limity klasického pojetí periodizace spatřuje u vícevrcholového makrocycclu Mujika (2012) v oblasti fyziologie, psychologie a metodologických aspektů tréninku. Velmi přesvědčivě byly demonstrovány výhody využití blokové periodizace (5týdenní bloky) na přípravě kajakářů, kteří absolvovali oproti klasickému modelu periodizace o 50 % nižší objem, přesto vykazovali zlepšení kondice i specifické výkonnosti (García-Pallarés, García-Fernández, Sánchez-Medina, & Izquierdo, 2010).

## 2.3 Zatížení a zatěžování

*Zatížení* je základním atributem tréninkového procesu, který za určitých podmínek iniciuje adaptační odezvu organismu. *Za zatížení se považuje pohybová činnost, která je vykonávána tak, že vyvolává žádoucí aktuální změnu funkční aktivity člověka a ve svém důsledku trvalejší funkční, strukturální a psycho-sociální změny* (Lehnert et al., 2001). Tělesná práce, která reprezentuje adaptační stresový podnět, v organismu vyvolává akutní odezvu neboli stresovou (poplachovou) reakci. Termín stres byl prvně použit kanadským endokrinologem maďarského původu Selye (1950), který ho definoval jako „nespecifickou reakci organismu na stresový podnět v teorii adaptačního syndromu“. Ten se podle reakce organismu na stresový podnět dělí na poplachovou reakci, fázi rezistence a vyčerpání. *Za stres lze obecně považovat jakýkoliv podnět, který vyvolá narušení homeostázy organismu*. Stresová (poplachová) reakce pak spočívá v aktivaci homeostatických regulačních mechanismů s cílem přizpůsobit činnost orgánů a orgánových soustav aktuálním požadavkům pracujících svalů. Stresové podněty lze rozdělit

např. na *mentální* (strach, vztek, obava), *environmentální* (chlad, horko, vlhko, hypoxie) a *fyzické* (tělesná práce). Velikost odezvy organismu se odvíjí od síly stresového (adaptačního) podnětu čili od velikosti zatížení (Viru, 1995). Základem odezvy organismu na stres je aktivace stresové osy, kterou tvoří autonomní (vegetativní) systém společně s humorálním systémem, především katecholaminy (Máček & Radvanský, 2011). Oba těsně kooperující regulační systémy iniciují během tělesné práce např. zvýšení minutového srdečního výdeje (vzestup SF a systolického objemu), tlaku krve, síly srdečního stahu, zvýšení ventilace, zvýšení katabolických procesů nebo redistribuci krve (Åstrand, Rodahl, Dahl, & Strømme, 2003). Zatížení se z hlediska velikosti podnětu a reakce organismu dělí na vnější a vnitřní (Halson, 2014). *Vnější zatížení* vyjadřuje velikost zatížení, která se odvíjí od vzájemného poměru mezi intenzitou a objemem zatížení, frekvence, doby trvání a použité metody zatížení (Bompa, 1999). Naopak *vnitřní zatížení* odpovídá velikosti odezvy organismu a narušení homeostatické rovnováhy v důsledku vnějšího zatížení, přičemž shodné vnější zatížení může u téhož jedince reprezentovat kvalitativně i kvantitativně odlišnou velikost vnitřního zatížení (Dovalil et al., 2009), se kterou souvisí i doba zotavení. Jak vyplývá z Obrázku 2.1, doba návratu jednotlivých systémů aktivně zapojených v zatížení na jejich předzátěžovou úroveň se významně liší a je modifikována velikostí stresového impulsu (Hauswirth & Mujika, 2013).



**Obrázek 2.1** Doba návratu na výchozí úroveň po jednorázovém zatížení (upraveno podle Hauswirth & Mujika, 2013)

Do několika minut se upravují hodnoty SF, laktátu (La), potažmo tělesné teploty, zatímco návrat kognitivních funkcí nebo spotřeby kyslíku se pohybují v řádech hodin. V případě prolongovaného zatížení se délka zotavení ještě prodlužuje, protože dochází k významnější depleci glykogenových zásob, ke vzniku svalových mikrotraumat spojených se zvýšenou svalovou bolestí, které se projevují např. zvýšenou koncentrací kreatinkinázy v cirkulující krvi po dobu 24–48 hod. od ukončení zatížení (Russell, Sparkes, Northeast, & Kilduff, 2015).

Podle Coffey a Hawley (2007) je zatěžování záměrné, dlouhodobé a kumulované působení tréninkových podnětů na organismus s cílem zvyšování výkonnosti, která je z fyziologického hlediska výsledkem působení dlouhodobých adaptačních mechanismů. Z praxe je známo, že při počátečních fázích tréninku, tedy za situace nízké úrovně trénovanosti, dochází k výraznější stresové odezvě organismu na tělesné zatížení (zvýšená SF, ventilace, koncentrace katecholaminů v cirkulující krvi atd.) v důsledku většího narušení vnitřního prostředí organismu (Åstrand et al., 2003). Zpravidla po několika týdnech tréninku dochází k postupnému oslabování této poplachové reakce na stejně silný stresový podnět, protože trénink v organismu již nevyvolá tak výrazné narušení homeostázy jako na počátku. O snížené regulační odezvě na stresový podnět konstatní velikosti hovoříme jako o adaptaci (přizpůsobení).

*Adaptaci* je možné diferencovat na *nespecifickou* a *specifickou* (Lehnert et al., 2010). Nespecifická adaptace (zdatnost) organismu je výsledkem působení velkého množství různých podnětů z vnějšího prostředí, zatímco při opakovaném působení specifického podnětu dochází ke specifické reakci a postupnému rozvoji specifické adaptace (vzestupu výkonnosti). Z fyziologického hlediska lze proces adaptace popsat jako schopnost různých orgánových systémů přizpůsobovat se jak po stránce funkční, tak po stránce morfologické mnohonásobně opakovaným a dlouhodobým vlivům zatížení (Placheta et al., 2001). Aby došlo k manifestaci projevů adaptace, resp. funkčnímu přizpůsobení zainteresovaných systémů, musí být z hlediska fyziologických principů splněny následující podmínky (Hauswirth & Mujika, 2013): a) stresový podnět musí být dostatečně intenzivní pro vyvolání adaptační odpovědi; b) stresový podnět musí působit opakovaně a dlouhodobě; c) z dlouhodobého hlediska je nezbytná vyváženost zatížení a zotavení.

## 2.4 Přetížení

V rámci dlouhodobé tréninkové přípravy může nastat situace, kdy je sportovec po určitou dobu vystavován relativně konstantnímu zatížení a objeví se *adaptační plató*. Proto při tréninku vrcholových sportovců se lze často setkat se zařazováním speciálních tréninkových bloků, které mají primárně za cíl vyvolat maximální adaptační odpověď prostřednictvím záměrného přetížení organismu (Foster, Daines, Hector, Snyder, & Welsh, 1996) doprovázeného vzestupem výkonnosti v době zotavení (Virus, 1995).

Způsob provedení přetížení se významně liší podle druhu sportu včetně specifických požadavků na výkon, protože jiné nároky kladou individuální sporty a jiné kolektivní, ve kterých je navíc výkon kromě vysoké úrovně kondice podmíněn i technicko-taktickou přípravou (Bompa, 1999). Obecně lze říci, že velikost zatížení lze ovlivňovat manipulací s frekvencí tréninkových jednotek, intenzitou zatížení, dobou trvání (objemem) zatížení a v neposlední řadě také s dobou zotavení např. při intervalovém tréninku.

*Počet tréninkových jednotek* v rámci jednoho týdne (mikrocyklu) se v závislosti na druhu sportu a období periodizace u vrcholových sportovců pohybuje v relativně širokém rozsahu od 5 do 14 jednotek (Smith, 2003). Přestože vrcholoví sportovci vykazují vysokou heterogenitu v četnosti tréninkových jednotek, doba strávená tréninkovou

přípravou u sportovců mezinárodní výkonnostní úrovně odpovídá zhruba 1 000 tréninkohodinám ročně (Bompa, 1999).

Další definovanou proměnnou je *intenzita zatížení*, která zjednodušeně vyjadřuje náročnost prováděné pohybové činnosti. K parametrům umožňujícím kvantifikaci intenzity zatížení patří SF (Lambert, Mbambo, & Gibson, 1998) jakožto velmi dostupný a jednoduchý ukazatel. Intenzitu zatížení lze také monitorovat např. pomocí submaximální úrovně  $VO_2$  (Daniels, 1985), koncentrace krevního La (Swart & Jennings, 2004), hmotnosti závaží nazvedané během rezistentního tréninku (Sweet, Foster, McGuigan, & Brice, 2004) nebo subjektivně vnímané náročnosti pohybové činnosti (Foster et al., 2001). Možnosti manipulace se zatížením přehledně mapuje Tabulka 2.1.

**Tabulka 2.1** Tréninkový podnět může být k vyvolání tréninkového přetížení modifikován těmito způsoby (upraveno podle Hausswirth a Mujika, 2013)

Vytrvalostní trénink	Silový trénink
<ul style="list-style-type: none"> <li>- délka tréninkové jednotky</li> <li>- intenzita tréninkové jednotky</li> <li>- délka odpočinku mezi tréninkovými jednotkami</li> <li>- délka odpočinku mezi intervalovými jednotkami</li> <li>- změna ve výživě</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- počet sérií a opakování</li> <li>- hmotnost zátěže</li> <li>- počet sérií ve cviku</li> <li>- typ cviku</li> <li>- pořadí cviků</li> <li>- délka odpočinku mezi sériemi</li> <li>- délka odpočinku mezi tréninkovými jednotkami</li> </ul>

U ultramaratonců byla také zaznamenána tréninková technika spočívající v začátku tréninku, nikoliv když kulminuje sacharidová superkompenzace a svalová buňka je přeplněna glykogenem, ale když jsou zásoby glykogenu naopak redukovány. Smyslem této strategie je napodobit metabolický diskomfort spojený s nízkou dostupností sacharidů, který se dostavuje ke konci dlouhodobých vytrvalostních závodů (Hausswirth & Mujika, 2013). Umístění speciálních tréninkových bloků v rámci periodizace včetně velikosti dávkovaného zatížení musí být v souladu s dlouhodobou tréninkovou strategií. Laursen a Jenkins (2002) upozorňují, že k zařazování vysoce intenzivních tréninků do systému přípravy by mělo docházet pouze u sportovců, kteří již mají v dostatečné míře vybudovanou základní úroveň kondice. V případě příliš časných intenzifikací tréninku u kondičně nedokonale připravených jedinců hrozí nadměrná únava spojená v chronické podobě se zvýšeným rizikem vzniku syndromu přetrénování (Meeusen et al., 2006).

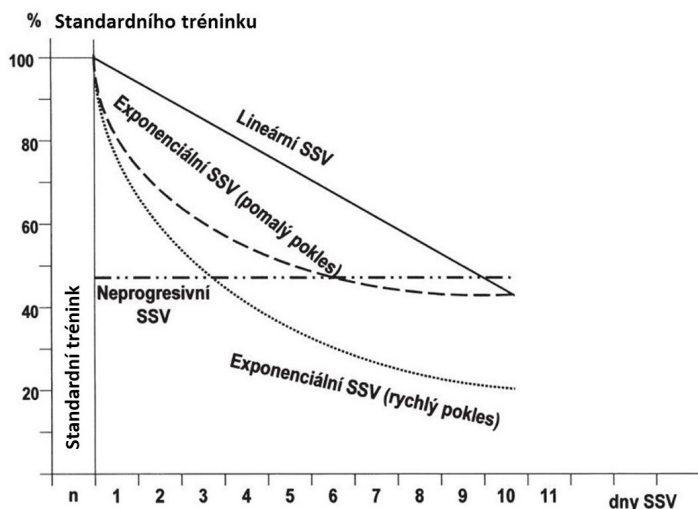
## 2.5 Strategie ladění sportovní formy

Pro *ladění sportovní formy* se v anglicky psané literatuře používá ekvivalent *taper* či *tapering*. Jedná se o sofistikovaný a vysoce specializovaný tréninkový blok, který se zařazuje podle druhu sportu několik dnů až týdnů před důležitými závody s cílem připravit organismus k podání maximálních výkonů.



Základem ladění formy je manipulace s kvalitativními i kvantitativními složkami zatížení tak, aby došlo k postupnému odstranění únavy z předcházejících intenzivních tréninků při současném zachování dosažené úrovně adaptace (Neary, Martin, Reid, Burnham, & Quinney, 1992). Podle některých studií vede správně designovaný a provedený *taper* ke zlepšení funkcí kardiovaskulárního (Mujika, Padilla, Pyne, & Busso, 2004), hormonálního a imunitního (Izquierdo et al., 2007; Mäestu, Jürimäe, & Jürimäe, 2005), neuromuskulárního (Luden et al., 2010; Trappe et al., 2006) a imunitního systému (Mujika, Chatard, & Geysant, 1996) a také ke stimulaci metabolismu (Neary, Martin, & Quinney, 2003). Kromě výše zmíněných systémů se ladění formy pozitivně odráží také v oblasti psychologických aspektů sportovní výkonnosti, kdy se popisuje (Zehsaz, Azarbajani, Farhangimaleki, & Tiidus, 2011) zlepšení subjektivních indikátorů nálady vyjadřované pomocí škály POMS (*Profil of Mood State*). Mezi parametry, jejichž úroveň se vlivem *taperu* snižuje, patří subjektivní pocit únavy, deprese a hněvu (Morgan, Brown, Raglin, O'Connor, & Ellickson, 1987). Ve studii španělských autorů Mujika a Padilla (2003), kteří se dlouhodobě věnují problematice tréninku elitních vytrvalců, se uvádí, že vzestup výkonnosti po období ladění formy se u vrcholových sportovců pohybuje od 0 do 6 %.

Za klíčové atributy pro dosažení maximálního efektu z fáze ladění formy považují Pyne, Mujika a Reilly (2009) dobu jejího trvání, velikost redukce objemu zatížení, intenzitu zatížení a vzájemnou interakci procesu ladění formy s předcházejícím tréninkem. Tímto klíčovým obdobím sportovní přípravy se v kontextu změn v aktivitě ANS zabýval také Stejskal (2004), který na základě literárních poznatků (Mujika & Padilla, 2003) popsal patrně nepoužívanější experimentálně ověřené varianty redukce velikosti tréninkového objemu v rámci ladění formy (viz Obrázek 2.2), přičemž optimální velikost redukce se podle zvolené varianty pohybuje okolo 45–75 % (Thomas et al., 2009).



**Obrázek 2.2** Odlišné strategie stupňování sportovní výkonnosti – SSV (podle Stejskal, 2004)

Podobné závěry byly publikovány v meta-analýze provedené Bosquet, Montpetit, Arvisais a Mujika (2007), kdy autoři dospěli k názoru, že velikost redukce zatížení s ohledem na dosahovanou výkonnost se jeví být optimální v rozmezí 41–60 % původního tréninkového objemu při zachování vysoké až závodní intenzity zatížení. Změna kvality a kvantity tréninkového zatížení před důležitými závody podle dostupných studií většinou trvá od 4 do 28 dnů (Harber, Gallagher, Creer, Minchev, & Trappe, 2004; Mujika, Busso, et al., 1996; Neary et al., 1992), přičemž tradičně delší doba ladění formy, okolo 3–4 týdnů, je typická pro plavce (Mujika, 2012). Podle Pyne et al. (2009) je optimální doba ladění formy 2–3 týdny, zatímco Bosquet, Montpetit et al. (2007) doporučují spíše kratší variantu 8–14 dnů.

Zařazení bloku ladění sportovní formy před závody však nemusí automaticky vést ke zvýšení výkonnosti. Podle Mujika et al. (2004) je před zařazením tohoto specializovaného tréninkového bloku do periodizace nutno vzít do úvahy vliv faktorů, jako je výživa, extrémní environmentální stresory (chlad, horko, hypoxie, rychlé přesuny přes časová pásma) či kvalita tréninku, který ladění formy předcházet. Právě *kvalita a kvantita* tréninku těsně před obdobím ladění formy je podle Thomas, Mujika a Busso (2009) zcela zásadním faktorem pro dosažení optimální výkonnosti v rámci ladění formy. Má se za to, že např. použití varianty progresivně-exponenciální redukce objemu zatížení (Mujika et al., 2000) nebo progresivně-lineární redukce objemu zatížení (Neary, Bhambhani, & McKenzie, 2003) povede ke zvýšení výkonnosti pouze za předpokladu, že mu bude předcházet vysoce náročný trénink vedoucí až k přetížení.

## 2.6 Fyziologická únava

Únava reprezentuje fyziologicky velmi komplexní jev, který je obecně chápán jako signalizátor funkčních změn v organismu, které se podle recentní přehledové studie Zajac, Chalimoniuk, Gołaś, Lngfort a Maszczyk (2015) manifestují ve změnách regulačních struktur, např. CNS, až po změny na periférii. Stav únavy je obecně vnímán jako nedílná součást tréninkového procesu. Svalovou únavu lze jednoduše charakterizovat jako pokles výkonnosti a neschopnost dále pokračovat v pohybové aktivitě (Brooks, Fahey, White, & Baldwin, 2000; Costill, Wilmore, & Kenney, 2008). V tomto případě se jedná o *únavu fyziologickou*, pro kterou je typická dynamika spočívající v nástupu, kulminaci a postupném vymizení v rámci zotavení (Máček & Vávra, 1980). Chronické nerespektování či záměrné potlačování symptomů fyziologické únavy může vést ke vzniku *patologické únavy* a s ní spojených negativních zdravotních a sportovních sekvencí (Meeusen et al., 2013).

Podle místa vzniku dělí únavu Åstrand et al. (2003) na *centrální* a *periferní*, i když vzápětí dodávají, že názvy přesně neodpovídají anatomickému významu slov z důvodu možnosti vzniku „*centrální únavy*“ na periférii. O genezi centrální únavy na periférii se zmiňují také Guezennec et al. (1998), kteří při studii na krysách zjistili, že po vyčerpávajícím tělesném zatížení došlo ke zvýšení amoniaku v krvi o 140 %, což vedlo ke