

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury

VLIV SYSTEMATICKÉHO TRÉNINKU NA ZMĚNU  
KONDIČNÍ ÚROVNĚ U AMATÉRSKÝCH CYKLISTŮ

Diplomová práce

(Magisterská)

Autor: Michal Schuran, učitelství tělesné výchovy pro 2. stupeň

ZŠ a SŠ se specializacemi

Vedoucí práce: doc. PhDr. Michal Botek, Ph.D.

Olomouc 2022

## Bibliografická identifikace

**Jméno a příjmení autora:** Michal Schuran

**Název magisterské práce:** Vliv systematického tréninku na změnu kondiční úrovně u amatérských cyklistů

**Pracoviště:** Katedra přírodních věd v kinantropologii

**Vedoucí bakalářské práce:** doc. PhDr. Michal Botek, Ph.D.

**Rok obhajoby diplomové práce:** 2022

**Abstrakt:** Diplomová práce se zaměřuje na 18 amatérských cyklistů, kteří podstoupili stejný systematický tréninkový plán po dobu osmi měsíců. Hlavním cílem práce je zjistit vliv systematického tréninku na kondiční úroveň amatérských cyklistů po čtyřech a osmi měsících tréninku. V rámci třech laboratorních testů se sledují fyziologické a antropometrické ukazatele: srdeční frekvence (SF), výkon na aerobním prahu (AEP) a anaerobním prahu (ANP), hmotnost, měkká tukuprostá tkáň (S.L.M.) a procento tělesného tuku (P.B.F.). Výsledky ukázaly signifikantní zlepšení ( $p < 0.01$ ) výkonu na AEP i ANP během prvního a druhého měření. V prvním měření byl výkon AEP  $2,94 \pm 0,57$  W / kg a ANP  $3,71 \pm 0,65$  W / kg. V druhém měření se AEP zlepšil na  $3,20 \pm 0,54$  W / kg a ANP na  $3,96 \pm 0,59$  W / kg. Mezi druhým a třetím měřením nedošlo k signifikantním změnám u žádného z fyziologických ukazatelů ( $p > 0,05$ ). Antropometriční ukazatele nevykázaly žádné signifikantní změny v průběhu všech testů. Byla zjištěna střední závislost mezi vstupní úrovní výkonu a velikostí změny výkonu (AEP:  $r = -0,5261$ ;  $p < 0,05$ ) a ANP:  $r = -0,5371$ ;  $p < 0,05$ ). Ze závěru vyplývá, že 4 měsíce systematického tréninku je dostatečná doba pro signifikantní zlepšení ( $p < 0,01$ ) výkonu AEP i ANP u již trénovaných cyklistů.

**Klíčová slova:** aerobní práh, anaerobní práh, srdeční frekvence, sportovní trénink, laktátová křivka, zátěžová diagnostika

Souhlasím s půjčováním magisterské práce v rámci knihovních služeb.

## Bibliographical identification

**Author's first name and surname:** Michal Schuran

**Title of the master thesis:** The influence of systematic training on the change of fitness level in amateur cyclists

**Department:** Department of Natural Sciences in Kinanthropology

**Supervisor:** doc. PhDr. Michal Botek, Ph.D.

**The year of presentation:** 2022

**Abstract:** The diploma thesis focuses on 18 amateur cyclists who underwent the same systematic training plan for eight months. The main goal of this work is to determine the effect of systematic training on the fitness level of amateur cyclists after four and eight months of training. Physiological and anthropometric indicators are monitored in three laboratory tests: heart rate (HR), power output at aerobic and anaerobic threshold, weight, soft lean mass (S.L.M.) and percentage of body fat (P.B.F.). The results showed a significant improvement ( $p < 0.01$ ) in performance at aerobic and anaerobic threshold during the first and second measurements. In the first measurement, the power output at aerobic thresholds was  $2.94 \pm 0.57$  W / kg and at anaerobic threshold was  $3.71 \pm 0.65$  W / kg. In the second measurement, power output at aerobic threshold improved to  $3.20 \pm 0.54$  W / kg and at anaerobic threshold to  $3.96 \pm 0.59$  W / kg. There were no significant changes in any of the physiological parameters between the second and third measurements ( $p > 0.05$ ). Anthropometric indicators did not show any significant changes during all tests. The mean dependence between the basic power output level and the size of the power change was found (aerobic threshold:  $r = -0.5261$ ;  $p < 0,05$  and anaerobic threshold:  $r = -0.5371$ ;  $p < 0,05$ ). On the contrary, no relationship was found between age and the size of performance changes. In conclusion, 4 months of systematic training is sufficient time to significantly improve ( $p < 0,01$ ) the power output at aerobic and anaerobic threshold in already trained cyclists.

**Keywords:** aerobic threshold, anaerobic threshold, heart rate, sport training, lactate curve, performance diagnostic

I agree the thesis paper to be lent within the library service.

Prohlašuji, že jsem závěrečnou písmenou práci zpracoval samostatně s odbornou pomocí doc. PhDr. Michala Botka, Ph.D., uvedl jsem veškeré literární a odborné zdroje a řídil se zásadami vědecké etiky.

V Olomouci dne 20. dubna 2022

.....

Děkuji doc. PhDr. Michalu Botkovi, Ph.D. za pomoc a cenné rady, které mi poskytl při zpracování závěrečné práce.

# Obsah

<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>TEORETICKÁ VÝCHODISKA</b> .....	<b>10</b>
STRUKTURA SPORTOVNÍHO VÝKONU V CYKLISTICE .....	14
<i>Vytrvalostní schopnosti a energetické zdroje</i> .....	14
<i>Aerobní systém</i> .....	17
<i>Laktátový systém</i> .....	17
<i>ATP-CP systém</i> .....	18
<i>Typologie svalových vláken</i> .....	18
<i>Aerobní výkon (<math>VO_{2max}</math>)</i> .....	19
<i>Aerobní práh</i> .....	22
<i>Anaerobní práh</i> .....	22
<i>Ekonomika pohybu</i> .....	24
<i>Antropometrické vlastnosti</i> .....	25
STRUKTURA TRÉNINKOVÉHO PLÁNU U VYTRVALOSTNÍCH SPORTŮ .....	27
<i>Periodizace</i> .....	27
<i>Silové cvičení ve vytrvalostních sportech</i> .....	28
<i>Polarizovaná, prahová a pyramidová metoda</i> .....	30
DIAGNOSTIKA A ZÁTĚŽOVÉ TESTY V CYKLISTICE .....	32
<i>Ukazatelé v zátěžové diagnostice</i> .....	33
<i>Laktátová křivka</i> .....	35
<i>Další zátěžové testy</i> .....	41
<b>CÍLE A HYPOTÉZY</b> .....	<b>44</b>
<b>METODIKA</b> .....	<b>45</b>
CHARAKTERISTIKA VZORKU .....	45
METODIKA SBĚRU DAT .....	45
METODIKA SBĚRU DAT .....	45
<i>Měření antropometrických parametrů</i> .....	45
<i>Měření fyziologických parametrů</i> .....	46
STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ DAT .....	47
<b>VÝSLEDKY</b> .....	<b>48</b>
MĚŘENÍ FYZIOLOGICKÝCH UKAZATELŮ .....	48
MĚŘENÍ ANTROPOMETRICKÝCH UKAZATELŮ .....	49
ZÁVISLOST VĚKU NA DYNAMICE VÝKONU .....	50
ZÁVISLOST VSTUPNÍ ÚROVNĚ VÝKONU NA DYNAMICE VÝKONU.....	51

<b>DISKUZE .....</b>	<b>52</b>
<b>ZÁVĚRY .....</b>	<b>56</b>
<b>SOUHRN .....</b>	<b>57</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>58</b>
<b>REFERENČNÍ SEZNAM .....</b>	<b>60</b>
<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>71</b>

## Úvod

Mnoho amatérských cyklistů si klade otázku, proč se jim již nedaří dále zlepšovat. Často jsou ochotni zaplatit nemalé peníze za lepší materiál nebo v lepším případě za tréninkové vedení, které by jim dopomohlo k lepší výkonnosti. Často jsou očekávány výsledky v krátkém časovém horizontu a když tato očekávání nejsou splněna, většinou nad trenérem zanevrou. Ne vždy je však na vině trenér. U některých sportovců již bylo dosaženo jejich výkonnostního stropu, u jiných zase můžou hrát roli horší genetické predispozice a u dalšího zase chybí potřebná motivace.

Jak praví pořekadlo, dobrého trenéra dělají dobří svěřenci, nikoliv naopak. Trenér musí mít štěstí na jedince, který má danou vysokou trénovatelnost organismu a společně s dobrým systematickým tréninkem povede jeho výkonnost vzhůru. Samozřejmě zde bude hrát významnou roli mentální stránka jedince, kdy bez vysoké motivace nelze očekávat velkých výsledků. Jak se autoři shodují, maximální výkonnosti je člověk schopen dosáhnout po osmi až dvanácti letech systematického tréninku nebo po deseti tisících hodin tréninku (Dovalil et al., 2012; Neumann, Pfützer, & Hottenrot, 2005).

Jak deklarují výsledky práce Lortie et al. (1984), při totožném tréninku u skupiny cyklistů bylo dosaženo výrazných rozdílů u sledovaných ukazatelů výkonu. Někteří cyklisté zlepšili svůj výkon o pár procent, kdežto jiní se dokázali zlepšit i o 90% a více. Další autoři hovoří o genetice, která předurčuje vstupní úroveň hodnoty maximální spotřeby kyslíku, ale zároveň i její trénovatelnost, neboli o kolik se hodnoty můžou posunout (Bacon, Carter, Ogle, & Joyner, 2013; Botek, Neuls, Klimešová, & Vyhnánek, 2017). Hodnota maximální spotřeby kyslíku, neboli  $VO_{2max}$  je nejčastějším ukazatelem predikce výkonu u vytrvalostních sportovců (Lehnert, Novosad, Neuls, Langer & Botek, 2010).

Většina studií se zaměřuje na sledování ukazatelů výkonu a velikost změn v rámci stejné přípravy přisuzují primárně genetickým predispozicím. V diplomové práci bylo cílem zaměřit se na dynamiku změn v závislosti na věku jedinců a vstupní úrovni ukazatelů. V práci byly zaznamenány změny fyziologických a somatických ukazatelů u skupiny amatérských cyklistů po několika měsíčním



systematickém tréninku. Primárně se práce zaměřila na motivy tréninku a jejich vlivu na dynamiku výše uvedených ukazatelů.

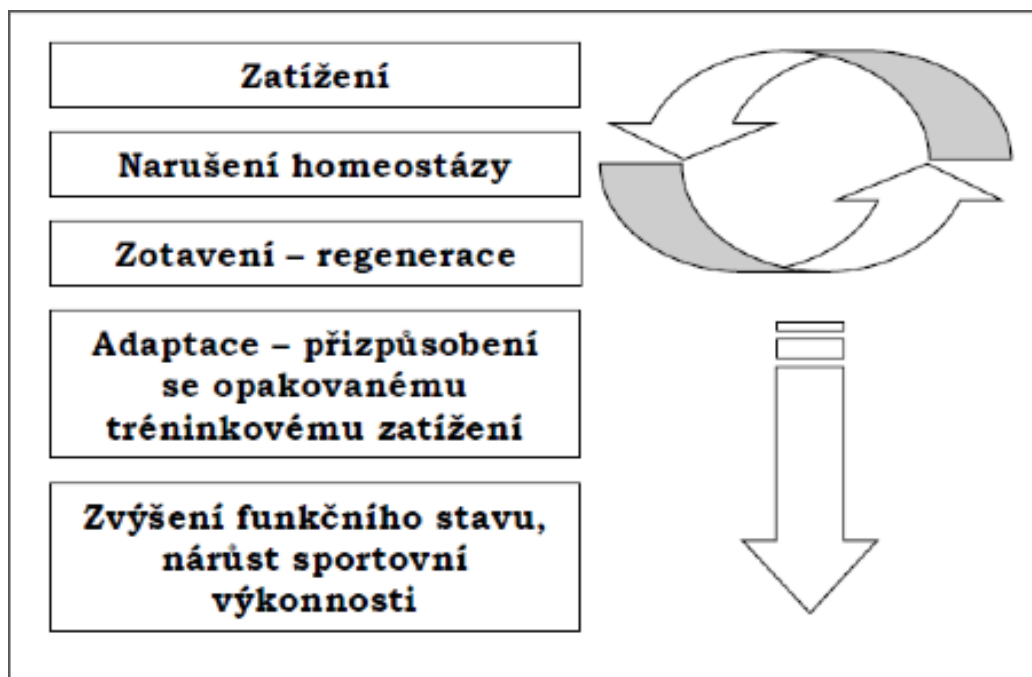
# Teoretická východiska

## Struktura sportovního výkonu

Sportovní výkon lze chápat jako vymezený systém prvků, který má zákonité uspořádání a propojení sítí vzájemných vztahů. Dispozice opakovaně podávat výkon se nazývá sportovní výkonnost. Formování sportovní výkonnosti je dlouhodobé a postupné. Do faktorů ovlivňující sportovní výkonnost se řadí vrozené dispozice, které se dělí na morfologické (tělesná výška, hmotnost, složení a stavba těla), fyziologické (např. transportní kapacita pro kyslík) a psychologické. Dále podmínky životního prostředí (přírodní, sociální), schopnosti (vlohy, nadání, talent), sportovní trénink a trénovanost (Dovalil et al., 2012). Jako hlavní determinanty pro sportovní výkonnost uvádí Novosad, Frömel a Lehnert (1998) vrozené předpoklady jedince, vlastní působení adaptačních tréninkových podnětů a prostředí.

Za základní atribut tréninkového procesu se považuje *zatížení*. V jednoduchosti se dá říct, že *zatížení* je jakákoliv pohybová činnost. *Zatížení* však musí být takového charakteru, aby vyvolalo žádoucí aktuální změnu funkční aktivity sportovce a později došlo k trvalejším, funkčním, strukturálním a psychosociálním změnám (Obrázek 1) (Lehnert, Novosad, & Neuls, 2001). V tréninkovém procesu nám *zatížení* reprezentuje adaptační stresový podnět, který vyvolá stresovou reakci organismu. Podle reakce organismu se rozlišuje poplachová reakce, fáze rezistence a vyčerpání. Jakýkoliv podnět, jenž naruší homeostázu organismu, se nazývá stres. Stresové podněty se rozlišují na mentální (strach, vztek, obava), environmentální (chlad, horko, vlhko, hypoxie) a fyzické (tělesná práce). Od velikosti podnětu (*zatížení*) se následně bude odvíjet velikost reakce organismu. Čím větší podnět, tím je větší odezva (Virus, 1995). Halson (2014) rozděluje *zatížení* na vnější a vnitřní v závislosti na velikosti stresového podnětu a reakce organismu. Do vnějšího *zatížení* se řadí objem, intenzita, frekvence, doba trvání a frekvence a použité metody *zatížení* (Bompa, 1999). Vnitřní *zatížení* je charakterizováno velikostí odezvy organismu a narušením homeostatické rovnováhy v důsledku vnějšího *zatížení* (Dovalil et al., 2012). Jestliže dochází k opakovanému, záměrnému, dlouhodobému a kumulovanému *zatížení*, nazývá se tento stav *zatěžování*. Cílem *zatěžování* je zvýšení výkonnosti (Coffey & Hawley, 2007). Je znám fakt, že při nízké úrovni trénovanosti vyvolá

prvotní trénink větší stresovou reakci a narušení homeostázy organismu. Po několika týdnech tréninku se však reakce organismu snižuje a dochází k tzv. adaptaci organismu (Botek, Krejčí, & McKune, 2017).



Obrázek 1. Zatížení jako rozhodující faktor vytváření kondice (Lehnert et al., 2010).

Botek et al. (2017b) uvádí následující dobu návratu na výchozí úroveň po jednorázovém zatížení:

Minuty

- SF
- Krevní laktát
- Tělesná teplota

Hodiny

- Kognitivní funkce
- Spotřeba kyslíku

Dny

- Hladina kreatinkinázy
- Svalový glykogen

- Namožení svalů

#### Týdny

- Funkce svalů
- Nervoslavová koordinace

#### Měsíce

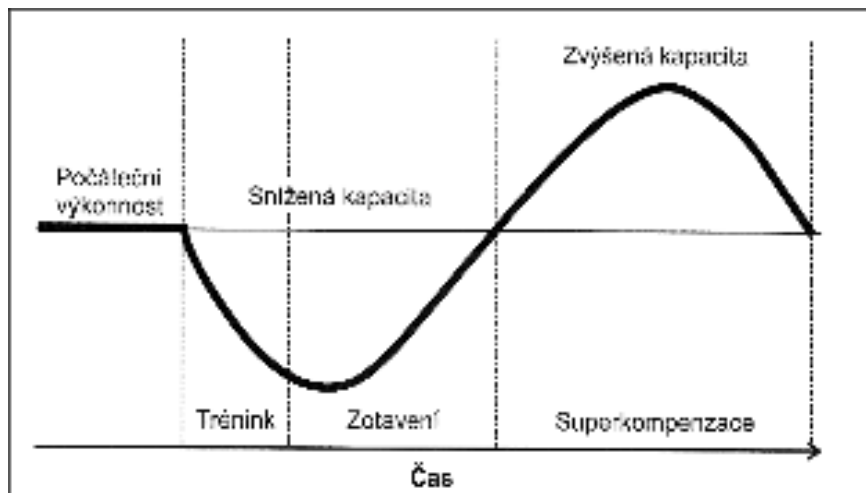
- Regenerace svalů

Ve sportovní terminologii se často setkáváme s pojmem periodizace. Jedná se o proces, kdy se tréninkové jednotky systematicky plánují do krátkodobých či dlouhodobých tréninkových celků o různé velikosti zatížení (Lambert, Viljoen, Bosch, Pearce, & Sayers, 2008). Jak uvádí Dovalil et al. (2012), nejkratší tréninkové období je nazýváno mikrocyklus. Pro mikrocyklus je typické období jednoho týdne a je tvořen několika tréninkovými jednotkami. Spojením několika mikrocyklů vzniká mezocyklus, který se svou délkou pohybuje v rozmezí dvou týdnů až několika měsíců. Největším celkem je makrocyklus (zpravidla roční cyklus). V jednom makrocyklu se rozlišuje období přípravné, závodní a přechodné, kdy každé z nich je specifické svým charakterem zatížení. Dle Mujika (2012) se klasická periodizace využívá především u amatérských a výkonnostních sportovců. Naopak u profesionálních sportovců převažuje využití tzv. tréninkových bloků.

V závislosti na druhu sportu a období periodizace se liší počet tréninkových jednotek za týden (mikrocyklus). U vrcholových sportovců se většinou jedná o pět až čtrnáct tréninkových jednotek v rámci jednoho mikrocyklu (Smith, 2003). Počty tréninkových jednotek se sice velmi liší, avšak ve výsledku je celková doba strávená tréninkovou přípravou zhruba tisíc tréninkových hodin ročně (Bompa, 1999). Jako další se v tréninkovém procesu sleduje intenzita zatížení. Intenzita se obecně označuje jako náročnost prováděné pohybové činnosti. Parametry pro kvantifikaci intenzity jsou následující. Nejvíce dostupný ukazatel je měření SF (Lambert, Mbambo, & Gibson, 1998). Dále lze intenzitu sledovat pomocí submaximální úrovně  $VO_2$  (Daniels, 1985), koncentrace krevního La (Swart & Jennings, 2004), hmotnosti závaží nazvedaného během odporového tréninku (Sweet, Foster,

McGuigan & Brice, 2004) nebo subjektivně vnímané náročnosti pohybové činnosti (Foster et al. 2001). Z výzkumů vyplývá, že vysoce intenzivní tréninky by měly být zařazeny do systému sportovní přípravy, až když má sportovec dostatečně vybudovanou základní úroveň kondice (Laursen & Jenkins, 2002). Při příliš častém zařazování intenzivních tréninků do přípravy sportovců, kteří nemají vybudovanou dostatečnou kondici, hrozí ve větší míře vznik syndromu přetrénování (Meeusen et al., 2006).

Fáze zatížení se rovněž střídá s fází zotavení. Dovalil et al. (2012) popisuje fázi zotavení jako nedílnou součást tréninkové cyklu, kde jsou dominantní mechanismy přestavby organismu nezbytné k progresivnímu růstu výkonnosti sportovce. Zotavení může nastat již v rámci tréninkové jednotky (intermitentní zatížení) nebo až po ukončení jednotky (kontinuální zatížení) v závislosti na použité metodě zatížení (Botek et al. 2017b). Lehnert et al. (2001) uvádí, že rychlost zotavných procesů je vysoce individuální záležitost a je závislá především na velikosti a druhu zatížení. Dále popisuje závislost na míře trénovanosti, věku jedince, genetických predispozicích nebo na okolních podmínkách. Dalším z faktorů ovlivňující rychlost zotavení je množství přijatých sacharidů ve stravě. Při vysokosacharidové dietě se po supramaximálním zatížení dostaly hodnoty glykogenu během 24h zotavení nad původní úroveň (Fairchild et al. 2002). Přechodné navýšení energetického substrátu se nazývá superkomezace. Jako nejvhodnější moment pro zahájení dalšího tréninku je právě kulminace superkomezace. Čím je vychýlení homeostázy silnější, tím je následně delší stav superkomezace (Stejskal 2002).



Obrázek 2. Princip superkompenzace (Botek et al. 2017).

Lehnert et al. (2010) podotýká, že není možné rozumět superkompenzaci jako nekonečné možnosti zvyšování sportovní výkonnosti (Obrázek 2). Každý sportovec disponuje jistou adaptační hranicí, kterou nazývá adaptační strop. Rozdíl mezi adaptačním stropem a aktuální mírou adaptace se říká adaptační rezerva.

Trénovanost sportovce charakterizuje aktuální míra adaptace v závislosti na požadavky příslušného sportovního odvětví. Jedná se o aktuální stav, který se mění v čase a je ovlivnitelný. Tréninkem se rozumí nástroj pro ovlivnění trénovanosti jedince. Mezi dynamikou rozvoje trénovanosti a sportovní výkonností je velmi úzký vztah. Pro zkoumání míry trénovanosti jsou velmi vhodné diagnostické prostředky jako například měření funkční kapacity systémů organismu nebo testy pohybových schopností. Trénovanost je typická svým fázovým charakterem a odpovídá periodizaci tréninku (Dovalil et al., 2012).

## Struktura sportovního výkonu v cyklistice

### Vytrvalostní schopnosti a energetické zdroje

Jak uvádí Konopka (2007), cyklistika klade vysoké nároky na dlouhodobou vytrvalost společně se silovými schopnostmi. Úroveň vytrvalostních schopností hraje v cyklistických výkonech zásadní roli (95–98 %). Dovalil et al. (2012) popisuje vytrvalostní schopnosti jako komplex predispozic provádět činnost požadovanou intenzitou co nejdéle nebo co nejvyšší intenzitou ve stanoveném čase. Tento koncept je založen na pochopení aerobních a anaerobních procesech.

Tabulka 1

*Hodnoty vybraných fyziologických funkcí při sportovních výkonech v cyklistice. Upraveno dle Neumann, Pfützner & Berbacha, (1988).*

Trvání výkonu	35 s - 2 min	2 - 10 min	10 - 30 min	30 - 90 min	90 - 360 min
	1000m, sprint, keirin	3000m Ž, 4000M M	časovka, bodovací závod	30-60km časovka, 30-50km MTB	60-80km časovka, etapy
TF (počet/min)	185-205	190-210	180-195	175-190	140-180
% VO <sub>2</sub> max	95-100	97-100	90-95	80-95	60-85
Produkce energie					
% aerobně	50	80	85	95	98
% anaerobně	50	20	15	5	2

Úroveň vytrvalostních schopností je podle Dovalila et al. (2012) determinována výkonností dýchacího a srdečně-cévního systému při přijímání a transportu kyslíku a energetických zdrojů do činných svalů (Tabulka 1). Zároveň i metabolismus (látková výměna a uvolňování energie ve svalu, vytváření optimálních zásob energie a jejich mobilizace, efektivnost využívání zdrojů při aerobní i anaerobní činnosti a enzymatický systém svalu). V poslední řadě potom souhra pracujících svalů (agonistů a antagonistů) a s tím spojená ekonomika pohybu. Botek, Neuls, Klimešová a Vyhnálek (2017) uvádí jako hlavní determinanty vytrvalostního výkonu typologii svalových vláken, úroveň VO<sub>2</sub>max, úroveň aerobního a anaerobního prahu a ekonomiku pohybu. Lehnert et al. (2010) doplňuje úroveň vytrvalostních schopností o faktor optimální tělesné hmotnosti, úrovní volní koncentrace na překonání vznikající únavy a rozvoji druhu vytrvalosti, která je pro daný sport specifická.

Dovalil et al. (2012) dále rozděluje vytrvalostní schopnosti do čtyř kategorií, které jsou vymezeny na základě převažující aktivace energetických systémů:

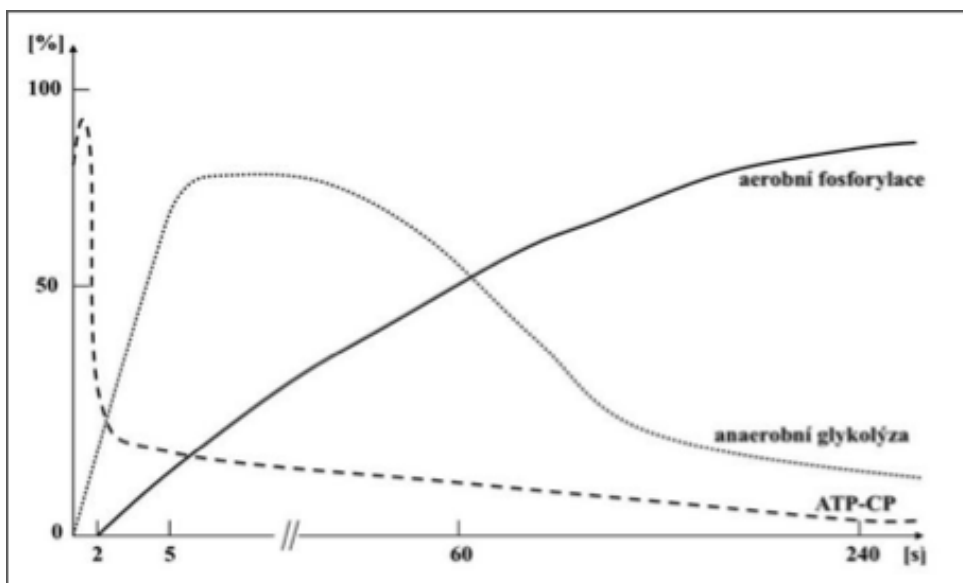
- Dlouhodobá vytrvalost (nad 10 min) - Zisk energie (glykogen, lipidy) probíhá výhradně aerobním systémem. Hlavní příčinou únavy je vyčerpání glykogenu.
- Střednědobá vytrvalost (8-10 min) - Aktivita je na úrovni intenzity, která odpovídá nejvyšší možné spotřebě kyslíku (VO<sub>2</sub>max).

Limitujícím faktorem je doba využití individuálně nejvyšších aerobních možností. Zároveň je aktivován i La systém. Únava je způsobena vyčerpáním glykogenu.

- Krátkodobá vytrvalost (2-3 min) - Vyznačuje se schopností vykonávat činnost relativně co nejvyšší intenzitou. Nejvíce se pro získání energie využívá anaerobní glykolýza (štěpení glykogenu bez využití kyslíku). Rychlá kumulace laktátu (kyseliny mléčné) je hlavní příčinou únavy.
- Rychlostní vytrvalost (20-30 s) - Činnost je prováděna absolutně nejvyšší intenzitou po co nejdelší dobu. Energetickým zdrojem je ATP-CP systém bez využití kyslíku. Společně s energetickými limity je zde limitující i nervová únava.

Z poznatků Lehnerta et al. (2010) vyplývá, že doba zapojení energetických systémů se vzhledem k maximální intenzitě snižuje. ATP-CP systém je dominantním zdrojem v prvních 2s, poté se energie využívá primárně anaerobní glykolýzou (anaerobně laktátový systém) a po 60-75s maximální intenzity se vyrovnává získání energie z aerobního i anaerobního systému. Po 4 min maximální intenzity je využití aerobní glykolýzy společně s ATP-CP systémem pouze na 20 % využito a dominantním procesem se stává aerobní fosforylace (využití energie za přístupu  $O_2$ ). Graf (Obrázek 3) vypovídá o zapojení energetických systémů při maximální možné intenzitě. Je-li intenzita nižší, tak se rychleji začíná získávat energie aerobní fosforylací.





Obrázek 3. Zapojování energetických systémů a jejich přibližný podíl na produkci energie při jednorázové vysoce intenzivní práci (Lehnert et al., 2010).

### Aerobní systém

Aerobní systém štěpí sacharidy, tuky a bílkoviny za přítomnosti kyslíku v organismu. Odpadními produkty metabolismu jsou  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$  a jako hlavní zdroj energie využívá svalový glykogen, triglyceridy kosterního svalu, glukózu obsaženou v krvi, volné mastné kyseliny, v určitých případech i bílkoviny (Dovalil et al., 2012). Jedná se o pomalejší cestu vytvoření energie (ATP), ale za to efektivnější, protože nevznikají kyselé metabolity (Botek et al., 2017). Aerobní systém pokrývá 70–90 % zisku energie při dlouhodobé aktivitě střední intenzity (Grosser, Starischka, & Zimmermann, 2008).

### Laktátový systém

Jedná se o anaerobní zisk energie, jindy přezdívaný jako anaerobní laktátový systém, kdy se využívá štěpení svalového glykogenu (anaerobní glykogenolýza) nebo krevní glukózy (glykolýza) (Botek et al., 2017b). Při anaerobním metabolismu je finálním produktem kyselina mléčná (Dovalil et al., 2012). Ta se ve svalové buňce okamžitě disociuje na laktátový aniont ( $\text{La}^-$ ) a vodíkový kationt ( $\text{H}^+$ ). Dříve docházelo k mylnému názoru, že laktát (sůl kyseliny mléčné) je odpadním produktem a anaerobní glykolýza pouze slepá metabolická kolej. Laktát je při tělesné zátěži preferovaným substrátem a podle potřeb organismu se dále (Lehnert et al., 2010):

1. oxiduje v mitochondriích v Krebsově cyklu,
2. přeměňuje na zásobní glykogen nebo
3. prostupuje buněčnou membránou do mezibuněčného prostoru a dále je transportován krví do jiných svalových buněk v pracujících či nepracujících kosterních svalech nebo v myokardu.

Stejskal (2007) uvádí, že vyšší koncentrace La ve svalu nezpůsobuje pokles pH (acidózy) a s tím spojené pálení či bolest svalů. Za snížení acidózy může zvýšená koncentrace  $H^+$ . Intenzivní činnost spojená s vyšší úrovní  $H^+$  v organismu je příčinou vzniku únavy, jelikož snížené pH inhibuje fosfofruktokinázu a dochází k nedostatečné tvorbě ATP. Dále Stejskal (2007) souhlasí s tvrzením Lehnerta et al. (2010), kdy rovněž uvádí využití La pro pracující svaly a myokard, avšak dodává, že využití La jako zdroje energie je možný pouze při aerobní práci metabolismu.

### **ATP-CP systém**

Jedná se rovněž o anaerobní metabolismus, přezdívaný jako anaerobně alaktátový systém. energii získává z přítomných energeticky bohatých fosfátů, které jsou uloženy v každé živé buňce (Dovalil et al. 2012). Při svalové kontrakci se štěpí ATP (adenosintrifosfát) na ADP (adenosindifosfát) a P (fosfát). V buňce se nachází další fosfát v podobě CP (kreatinfosfát), který se krátkodobě podílí na resyntéze ATP (Lehnert et al., 2010). ATP-CP systém má hlavní zastoupení v prvních sekundách zatížení maximální intenzity, poté jeho podíl prudce klesá, a proto má význam u aktivit pouze velmi krátkého charakteru nebo v určitých fázích výkonu (Botek et al., 2017). Zisk energie probíhá bez přístupu kyslíku, nevzniká žádné zakyselení organismu (Lehnert et al., 2010). Pro efektivní práci ATP-CP systému jsou podmiňující vrozené předpoklady (zastoupení svalových vláken) a také trénink (Dovalil et al., 2010).

### **Typologie svalových vláken**

Kosterní svaly jsou strukturálně tvořeny svalovými vlákny, které se typologicky dělí na vlákna červená, přechodná a bílá. Dovalil et al. (2012) popisuje svalová vlákna následovně:

**Červené vlákno** obsahuje více myoglobinu (váže ve svalu kyslík), je velmi odolné vůči únavě, stahuje se pomaleji, reaguje méně pohotově, vlákna jsou

proto běžně nazývána „pomalá“, většinou se značí symbolem SO (z angl. slow-oxidative).

**Přechodné vlákno** je ve srovnání s předchozím méně odolnější vůči únavě, kontrahuje se však rychleji, považuje se za typ vláken spíše „rychlých“, většinou se značí symbolem FOG (z angl. fast oxidative-glycolytic).

**Bílé vlákno** obsahuje méně myoglobinu, stahuje se rychle, je více unavitelné, s ohledem na typické vlastnosti se obvykle nazývá vlákno „rychlé“, značí se symbolem FG (z angl. fast glycolytic). (p. 47)

Botek et al. (2017b) uvádí, že v běžné populaci mírně převažuje typologie rychlých svalových vláken (55 % rychlých, 45 % pomalých), ale díky vysoce specializovaným požadavkům sportovních disciplín se procentuální zastoupení velmi liší (Tabulka 2). U vytrvalostních sportů převládá zastoupení oxidativních vláken (až 80 %), které jsou výhradním konzumentem O<sub>2</sub> během zatížení. Vytrvalci tak mohou využívat zisk energie štěpením volných mastných kyselin a také se podílejí na metabolizaci laktátu spíše, nežli na jeho tvorbě (Botek et al., 2017)

Tabulka 2

*Vybrané charakteristiky různých typů svalových vláken u dospělých netrénovaných jedinců (Melichna, 1990).*

	Typ svalových vláken		
	SO	FOG	FG
doba izometrické kontrakce (ms)	99–140		40–88
maximální tenze (g)	12		25
unavitelnost	pomalá		rychlá
obsah ATP (mol.g <sup>-1</sup> )	4,9	5,3	4,9
obsah CP (mol.g <sup>-1</sup> )	12,6	14,5	14,8
obsah glykogenu (mol.g <sup>-1</sup> )	77,8	83,1	89,2
aktivita glykolytických enzymů	nízká	střední	vysoká
aktivita oxidativních enzymů	vysoká	střední	nízká

### **Aerobní výkon (VO<sub>2max</sub>)**

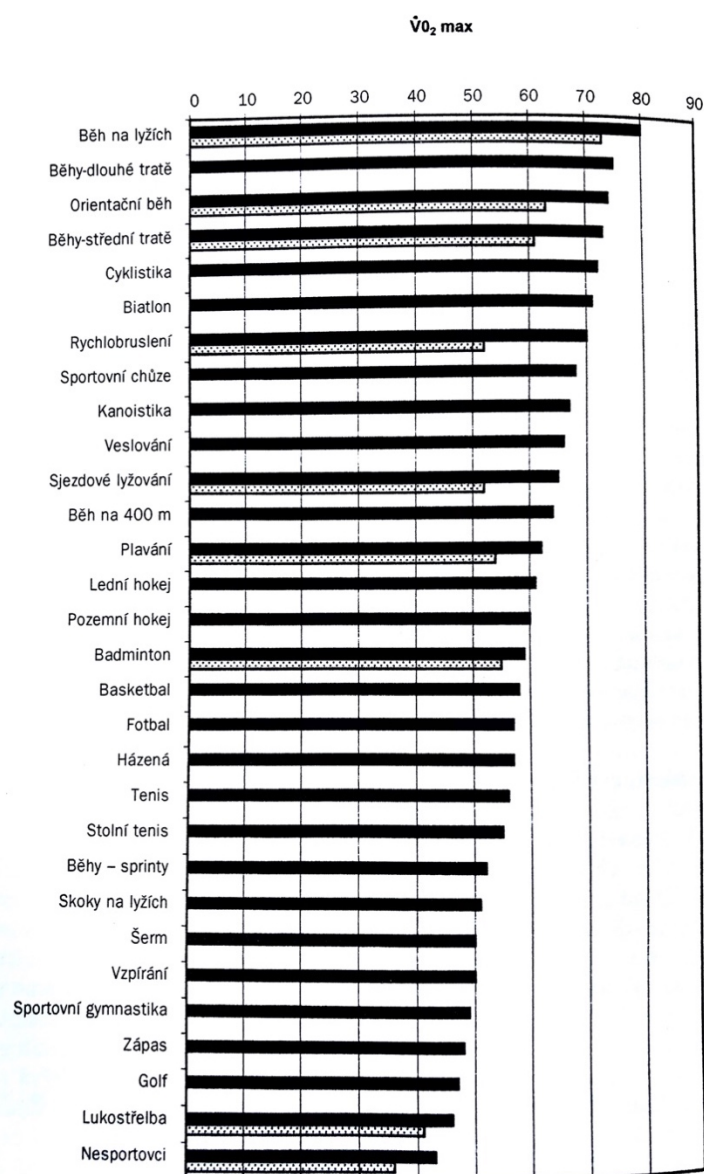
VO<sub>2max</sub> se rovná maximální spotřebě kyslíku. Nejčastěji se vyjadřuje v relativních číslech pro srovnání mezi sportovci (ml/kg/min). Ke zjištění anaerobního výkonu se nejčastěji využívá funkčních laboratorních vyšetření. VO<sub>2max</sub> prokazatelně koreluje s vytrvalostními výkony. Platí, že čím delší

je výkon, tím je užší závislost (Dovalil et al., 2012). Lehnert et al. (2010) poukazuje na  $VO_{2max}$  jako na ukazatel maximálního potenciálu aerobní produkce energie a také jako vhodným ukazatelem regeneračních schopností sportovců. Dále hovoří o ovlivnitelnosti aerobního výkonu a to v průměru o 20 % a u vysoce predisponovaných jedinců až o 50 %.

Při diagnostice  $VO_{2max}$  je důležité, aby bylo zapojeno co nejvíce svalových skupin. Z porovnání výsledků na běhátku a bicyklovém ergometru vyplývá naměření vyšších hodnot právě při běhu (průměrně o 5-10 %), kde je zapojeno celé tělo (Botek, Neuls, Klimešová, & Vyhnálek, 2017). Také se musí rozlišovat testování sportovců v rámci jejich sportu a tím pádem jejich dobře naučeném pohybu (např. cyklista na bicyklovém ergometru) – naměření vyšších hodnot  $VO_{2max}$ . V rámci své sportovní specializace jsou zvýšené hodnoty spojené s lokální trénovaností (Botek et al., 2017b). V poslední řadě upozorňuje Botek et al. (2017b) na pouhou predikci vytrvalostního výkonu v rámci diagnostiky  $VO_{2max}$ . Vysokou úroveň vytrvalostního výkonu lépe zohledňuje ekonomika pohybu společně s úrovní anaerobního prahu.

S maximální spotřebou kyslíku je spojen pojem aerobní kapacita. Aerobní kapacitu definuje Lehnert et al. (2010) jako využití co největšího procenta maximální individuální spotřeby kyslíku. Při diagnostice se zkoumá, na kolika procentech  $VO_{2max}$  dokáže sportovec udržet tzv. setrvalý stav (rovnováha mezi dodávkou a potřebou kyslíku při pohybové činnosti) (Dovalil et al., 2012). Lehnert et al. (2010) určuje intenzitu pro sledování aerobní kapacity na úrovni anaerobního prahu.

Průměrné hodnoty  $VO_{2max}$  se pohybují u netrénovaných mužů okolo 45 ml/kg/min a u žen 36 ml/kg/min. Jako vynikající hodnoty u vytrvalců se považují hodnoty nad 70 ml/kg/min a u světové špičky vytrvalostních sportů mohou čísla dosahovat až k 80–90 ml/kg/min (Obrázek 4) (Botek et al., 2017b).



Obrázek 4. Porovnání spotřeby kyslíku ( $VO_{2max}$  v ml/kg/min) u výkonných sportovců (černý sloupec) a sportovkyň (tečkovaný sloupec) v různých specializacích (Dovalil et al., 2012).

Limitujícím faktorem hodnoty maximální spotřeby kyslíku je u běžné populace výkonnost srdce (omezené možnosti přečerpání objemu krve společně se schopností extrakce  $O_2$  z protékající krve kapilárním systémem svalů), kdežto u excelentně trénovaných vytrvalců ( $VO_{2max}$  nad 75 ml/kg/min) může být limitující příliš vysoká rychlost proudění krve plicemi, kdy se krev nestihne plně saturovat kyslíkem (Botek et al., 2017b).

### **Aerobní práh**

Aerobní práh (AEP) je první ze dvou metabolických předělů. Za aerobní práh se považuje hranice, kdy se začíná zvyšovat hladina laktátu a energie (ATP) se přestává tvořit výhradně z aerobních procesů (Botek et al., 2017b). Lehnert et al., (2010) udává hodnotu aerobního prahu při koncentraci cca 2 mmol laktátu na litr krve, kdy do úrovně AEP jsou hodnoty laktátu stabilní a zůstávají na úrovni klidových hodnot. U běžné populace se pohybují hodnoty aerobního prahu okolo 50 %  $VO_{2max}$ , u cyklistů se hodnoty AEP dostávají až k 60–65 %  $VO_{2max}$ , kde se zároveň nachází hranice nejvyššího mitochondriálního obratu mastných kyselin (Botek et al., 2017b).

### **Anaerobní práh**

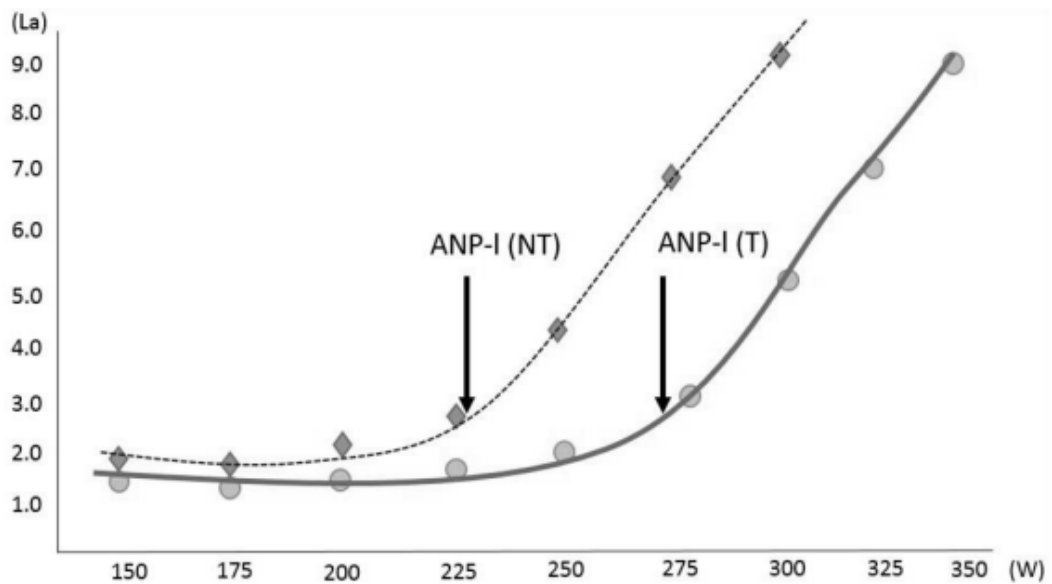
Anaerobní práh (ANP) je spojen s nejvyšší intenzitou konstantního zatížení, kdy se začínají ve větší míře uplatňovat i anaerobní procesy, ale systém látkové výměny je stále v dynamické rovnováze tvorby a utilizace laktátu (Dovalil et al., 2012). Přesná hodnota anaerobního prahu je závislá na genetických předpokladech a u trénovaných vytrvalců se pohybuje mezi 85 a 90 %  $VO_{2max}$  (Lehnert et al., 2010). U netrénovaných jedinců se pohybuje ANP na úrovni 50–70 %  $VO_{2max}$  (Dovalil et al., 2012). Botek et al. (2017b) rozlišuje tři druhy ANP:

1. ANP cirkulační (ANP-c) – Stanovuje se na základě změn SF při zátěžovém testu do maxima. Od úrovně 110–120 tepů/min je lineární vztah mezi konstantním zvyšováním zátěže a růstem SF. V určitý moment dochází k odklonu od linearity a SF se nadále zvyšuje pozvolněji. Vytvořením přímky první linearity a druhé pozvolnější přímky vznikne bod, který určuje cirkulační anaerobní práh.
2. ANP ventilační (ANP-v) – Ventilační práh se stanovuje na základě změn výměny dýchacích plynů ( $CO_2$  a  $O_2$ ) rovněž při stupňovaném testu do maxima. Při zvýšené aktivaci anaerobních procesů se dýchací systém musí vypořádat se změnou acidobazické rovnováhy a přebytečným  $CO_2$  v krvi, kdy dochází ke stimulaci dýchacího centra a následně zvýšené ventilační odpovědi (hyperventilaci). V bodě začínající hyperventilace se nachází ANP-v.

3. ANP laktátový (ANP-l) – Stanovení laktátové prahu se určuje převážně konstrukcí laktátové křivky. V určitý moment intenzity se začne kumulovat laktát, protože tělo není schopno dále využít laktát aerobním způsobem. Bod, kdy se začíná laktátová křivka prudce zvedat, je úroveň ANP-l. Dříve se stanovovala hranice 4 mmol/l krve, jež určovala metabolické rozhraní mezi aerobním a anaerobním vznikem ATP. Dnes se více používá tzv. individuální práh, který se většinou nachází na úrovni 3–6 (8) mmol/l.

Existují i další metody pro stanovení anaerobního prahu pomocí laktátové křivky. Více se o laktátovém prahu pojednává v kapitole Diagnostika a zátěžové testy v cyklistice – laktátová křivka.

Anaerobní práh má zásadní význam pro trénink aerobního systému, jelikož klade vysoké nároky na spotřebu kyslíku, acidóza zůstává v mezích přijatelné tolerance a cvičení může probíhat po delší dobu (Dovalil et al., 2012). Vlivem tréninku dochází ke zvyšování aerobní kapacity a zároveň i úrovně anaerobního prahu. Je dokázáno, že u vytrvalostně trénovaných jedinců jsou již minimální změny hodnot  $VO_{2max}$ , ale dynamicky více se mění podaný výkon (W) na úrovni ANP a slouží tak jako ukazatel trénovanosti sportovce (Obrázek 5) (Botek et al., 2017b). Na úrovni ANP jsou vytrvalostně trénovaní sportovci schopni podávat kontinuální výkon po dobu 40–60 min při velké spotřebě glykogenu (Botek et al., 2017b). Z toho důvodu se doporučuje trénink na úrovni ANP maximálně 2–3x týdně formou intervalového tréninku, kdy se opakovaně stimuluje anaerobní metabolismus (Botek et al., 2017b; Dovalil et al., 2012; Lehnert et al., 2010).



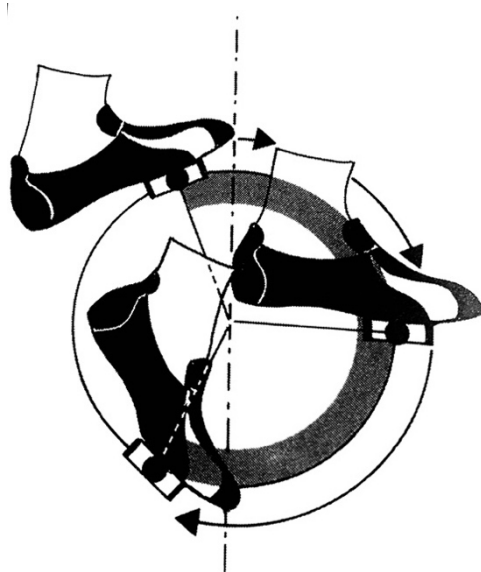
Obrázek 5. Efekt vytrvalostního tréninku na úroveň ANP – laktátová křivka netrénovaného jedince (NT) a trénovaného jedince (T) (Botek et al., 2017).

### Ekonomika pohybu

Mezi ekonomikou a technikou prováděného pohybu je úzký vztah. Technikou se rozumí účelný způsob řešení pohybového úkolu, který je v souladu s možnostmi jedince s biomechanickými zákonitostmi pohybu a uskutečňuje se na základě neurofyziologických mechanismů řízení pohybu (Dovalil, 2012). Ekonomika pohybu se často znázorňuje jako množství spotřebovaného kyslíku při dané rychlosti (výkonu) na ergometru, kdy sportovec s horší ekonomikou pohybu bude při stejné spotřebě  $O_2$  podávat horší výkon nežli sportovec s lepší ekonomikou (Botek et al., 2017b). V porovnání s anaerobním prahem a  $VO_{2max}$  je ekonomika pohybu cyklisty nejlépe trénovatelná (Friel, 2013). V cyklistice se jedná především o práci dolních končetin a s tím spojené tzv. kulaté šlapání (Obrázek 6). Kulaté šlapání se dá znázornit na kruhu, kde síla působící na pedál by měla být co nejvíce podobná kružnici (obrázek 6) (Konopka, 2007).

V ekonomice pohybu hrají zásadní vlivy i exogenní faktory. V cyklistice se jedná např. o odpor vzduchu (čelní plocha jezdce, jízda v tzv. větrném háku) (Botek et al., 2017b).



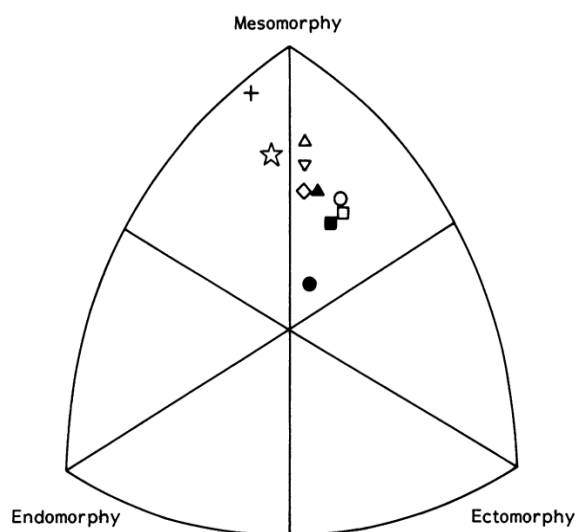


Obrázek 6. Efektivita šlapání – pohyblivost kotníku a využití delšího působení síly na pedál (Konopka, 2007).

### **Antropometrické vlastnosti**

Silniční cyklistika je sport, který vyžaduje výkon ve velké rozmanitosti terénů (tj. rovinaté závody nebo do kopce) a v různých soutěžních situacích (tj. individuální jízda na kole nebo jízda ve větrném stínu). Cyklistický výkon v každém ze soutěžních terénů je částečně dán individuálními morfologickými charakteristikami (tělesná hmotnost, výška, povrch těla a čelní partie, index tělesné hmotnosti – BMI) (Padilla, Mujika, Cuesta, & Goiriena, 1999). Antropometrické proměnné se tak mohou značně lišit v závislosti na specialitě každého profesionálního cyklisty. Specialisté na časovku nebo na rovinatý terén jsou obvykle vyšší a těžší (výška 180 až 185 cm, váha 70 až 75 kg, BMI ~22) než ti, kteří vynikají jízdou do kopce (výška 175 až 180 cm, váha 60 až 66 kg, BMI 19-20) (Padilla et al., 1999; Lucía, Joyos, & Chicharro, 2000). Morfometrické vlastnosti aktuálních šampionů, kteří jsou schopni vyniknout v obou typech terénů, se blíží časovkářům (tj. ~180 cm vysoký, váží ~70 kg) (Padilla et al., 1999). Procento tělesného tuku se naproti tomu u různých typů cyklistů výrazně neliší: začíná na hodnotách blízkých 10 % (za použití techniky kožních řas) v zimních měsících, v průběhu sezóny postupně klesá, až dosahuje hodnot kolem 9 % během jara a téměř 8 % během 3týdenních tour závodů (konec jarních a letních měsíců) (Hoogeveen, 2000; Hoogeveen & Zonderland, 1996; Lucía et al., 1996; Lucía, Hoyos, Carvajal, & Chicharro, 1999).

Jiná studie porovnávala čtyři skupiny cyklistů v rámci rozdílnosti somatotypu (Obrázek 7). Jednalo se o profesionální cyklisty zaměřené na silniční závody (bez specializace), sprintery, dráhové stíhače a časovkáře. Mezi těmito čtyřmi skupinami byla zjištěna řada zřetelných významných muskuloskeletálních rozdílů. Sprinteři byli nejkratší a nejvíce mezomorfní. Časovkáři byli nejvyšší, nejvíce ektomorfní, měli nejdelší nohy a zároveň nejvyšší poměr délky nohou k výšce. Měli také výrazně širší bitrochanterickou šířku (Foley, Bird, & White, 1989). Vzhledem k provázanosti růstu a vývoje kostry ve všech částech těla je obtížné navrhnout, které antropometrické charakteristiky jsou důležité při určování úspěchu v konkrétních událostech (Foley et al., 1989). Lze spekulovat, zda kratší délka končetin a vyšší mezomorfní hodnocení sprinterů jsou výhodou při generování síly a dosažení vysoké rychlosti otáček pedálů. Naopak delší končetiny mohou přinést výhodu v časovkách, kde se obvykle používají vyšší převodové poměry (Foley et al., 1989). Proto lze naznačit, že jelikož různé formy soutěžní cyklistiky kladou na tělo různé požadavky, každá forma cyklistiky může vyžadovat jinou optimální tělesnou stavbu, spíše než celkovou tělesnou stavbu cyklisty pro všechny typy soutěží.



Obrázek 7. Průměrný somatotyp cyklistů. Upraveno dle Foley et al. (1989).

*Poznámka.*

+ sprinteři; ▲ dráhaři stíhačka; ■ silniční cyklistika; ● časovkáři (Foley et al., 1989)

Porovnání dalších studií:

☆ sprinteři; □ silniční cyklistika (White, Quinn, Al-Dawalibi, & Mulhal, 1982a; White, Quinn, Al-Dawalibi, & Mulhal, 1982b);

△ sprinteři; ▽ dráhaři stíhačka; ◇ silniční cyklistika (De Garay, Levine, & Carter, 1974);

○ vrcholoví cyklisté bez specializace (Carter, 1982).

## Struktura tréninkového plánu u vytrvalostních sportů

### Periodizace

Periodizace tréninku je spojena s rozdělením tréninkových období (přípravné, závodní atd.), ve kterých jsou typické změny v objemech a intenzitách tréninku, ale také se různí míra specifčnosti tréninku. Existují dva typy periodizace tréninku. Tradiční periodizace, která koreluje s tréninkovým plánem v diplomové práci a obrácená periodizace. Tradiční periodizace se zaměřuje na snížení intenzity a zvýšení objemu v přípravném období a vzhledem k závodnímu období se snižuje objem a narůstá intenzita. Obrácená periodizace cílí v přípravném období zejména na intenzitu a vzhledem k závodnímu období narůstá objem a klesá intenzita.

Bohužel neexistuje mnoho poznatků, které by se zabývaly srovnáním těchto dvou periodizací u vytrvalostních sportovců. Sylta et al. (2016) se zaměřil na porovnání změn u cyklistů v rámci rozdílného dávkování intenzity. Cyklisty rozdělil na tři skupiny. První skupina trénovala tradiční metodou (postupné navyšování intenzity), druhá skupina obrácenou metodou (postupné snižování intenzity) a třetí skupina měla smíšenou intenzitu. Po 3 měsících tréninku nebyly zaznamenány výrazné rozdíly mezi skupinami. Avšak o něco lepších výsledků dosahovali jedinci s tradiční periodizací. Při plánování tréninku je tedy vhodné intenzitu tréninku postupně navyšovat v následujících tréninkových cyklech.

V tradiční periodizaci je během pozávodního a přípravného období obvyklé snížení intenzity na minimální úroveň a cílit hlavně na tréninkový objem. Rønnestad, Askestad, & Hansen (2014) se zaměřili na pozávodní období u dobře trénovaných cyklistů, kde zkoumali rozdíl mezi skupinou, která měla zaměřený trénink pouze na nízkou intenzitou a druhou skupinu, ve které byl kromě tréninku nízké intenzity 1 trénink vysoké intenzity každých 7–10 dní. Nebylo překvapením, že cyklisté s vysoko intenzivním tréninkem měli po 2 měsících tréninku lepší výkonnost než druhá skupina. Předpokládalo se, že skupina bez intenzivního tréninku dožene druhou skupinu během následujících týdnů přípravného období, kde již bude stejný trénink intenzity. Výsledky byly ovšem ve prospěch skupiny s intenzivním tréninkem během pozávodního období, kdy si cyklisté i po 16 týdnech tréninku v přípravném období udrželi vyšší  $VO_{2max}$  než skupina bez intenzity v pozávodním období. Galy et al. (2003) porovnávali výkonnostní testy na konci závodního období, na konci pozávodního období a v předzávodním období

u dobře trénovaných triatlonistů. Jak ukázaly výsledky, 6 týdnů pozávodního období nízké intenzity a nízkého objemu je příliš dlouhé období pro udržení dosavadní adaptace na trénink. Stabilní hodnoty během všech měření byly zaznamenány pouze u  $VO_{2max}$ . Jak se ukazuje, intenzivní tréninky je vhodné zařadit i do pozávodního období, i když ve značně snížené míře než je tomu v závodním období, aby nedošlo k rychlému přetrénování.

Billat, Flechet, Petit, Muriaux a Koralsztejn (1999) se zaměřili na optimální množství intenzity. Skupina běžců trénovala 4 týdny s intenzivním tréninkem 1x za týden na úrovni  $VO_{2max}$  a druhá skupina se stejně intenzivním tréninkem 3x za týden. Výsledky neprokázaly žádnou výhodu u tréninku s vyšším počtem intenzity za týden. Bylo zaznamenáno pouze zvýšené množství noradrenalinu v plazmě. Seiler (2010) ve studii zaměřenou na optimalizaci tréninku pro vytrvalostní sportovce došel k závěru, že pro dobře trénované vytrvalce jsou nejvhodnější dlouhé tréninky nízké intenzity společně v kombinaci s 2–3 kratšími tréninky vysoké intenzity za týden. Tento typ tréninku vede stabilně k lepším výsledkům a zároveň s sebou nese nízké riziko přetrénování. Dlouhé tréninky nízké intenzity nesou nízké riziko přetrénování v komparaci s častými vysoce intenzivními tréninky.

S přibývajícím věkem se po intenzivním tréninku oddaluje doba nástupu regenerace, zvyšuje se vnímání bolesti svalů a následně se snižuje motivace u starších sportovců pro další intenzivní výkon (Borges, Reaburn, Doering, Argus, & Driller, 2018). Při plánování tréninku u starších sportovců je vhodné myslet na tento fakt a mírně snížit počet intenzivních tréninků za týden. Za optimální by se mohlo považovat 1–2 intenzivní tréninky týdně v předzávodním a závodním období a 1 intenzivní trénink za 7–14 dní v pozávodním a přípravném období u starších sportovců.

### **Silové cvičení ve vytrvalostních sportech**

V pozávodním a přípravném období bývá u vytrvalostních sportovců často zařazeno silové posilování. Jedná se o aktivitu, která není aerobního charakteru jako je například cyklistika. Mohlo by se zdát, že pro sporty aerobního charakteru bude efektivnější využití aerobního tréninku. Výsledky ale ukazují pravý opak. Sunde et al. (2010) se zaměřil na rozvoj maximální síly u dobře trénovaných cyklistů. Při porovnání výsledků mezi skupinou pouze s vytrvalostním tréninkem a skupinou

s vytrvalostně-silovým tréninkem bylo zaznamenáno výrazně zlepšení u skupiny se silovým tréninkem. Mimo zlepšení maximální síly (1 opak.) došlo ke zlepšení ekonomiky šlapání, efektivity výkonu a prodloužení doby do vyčerpání při intenzitě 100 %  $VO_{2max}$ . Veškeré zlepšení bylo zaznamenáno bez změn v tělesné hmotnosti.

V další studii (Marcinik et al., 1991) se zaměřili na efekt silového tréninku na laktátový práh a vytrvalostní výkon. Výsledky poukazují, že silový trénink nemá žádný efekt na zlepšení  $VO_{2max}$ . Stejně jako v předešlé studii ale došlo ke zlepšení doby vyčerpání při intenzitě 70 %  $VO_{2max}$  a zároveň došlo ke snížení hodnot laktátu při intenzitě 50–70 %  $VO_{2max}$ , což vedlo ke zlepšení na laktátovém prahu o 12 %.

Rønnestad a Mujika (2014) potvrdili výsledky předešlé studie, kde zjistili nulový efekt silového tréninku na  $VO_{2max}$ . Silový trénink má vliv na zlepšení ekonomiky pohybu, zlepšení anaerobní kapacity, zlepšení výkonu na laktátovém prahu, snížení nebo oddálení únavy, zlepšení maximální síly, zlepšení rozvoje rychlosti, zlepšení maximální rychlosti a zlepšení vytrvalostního výkonu. Zlepšení vytrvalostní výkonu je pravděpodobně způsobeno opožděnou aktivací méně účinných svalových vláken typu II, zlepšené neuromuskulární účinnosti, přeměny rychlých vláken typu IIX na vlákna typu IIA, která jsou odolnější vůči únavě nebo zlepšené svalově-šlachové tuhosti.

Je jisté, že silový trénink by měl být považován za jeden z nejdůležitějších bodů v přípravě vytrvalostních sportovců alespoň v mimozávodním období. Je důležité říct, že zároveň nebyl pozorován žádný negativní efekt spojený se silovým tréninkem. Ještě větší efekt mohou zaznamenat starší sportovci po zařazení silového tréninku do tréninkového plánu, jelikož s přibývajícím věkem dochází k postupnému úbytku svalové hmoty a nárůstu procenta tělesného tuku (Louis, Hausswirth, Easthope, & Brisswalter, 2012).

Ve výše uvedené literatuře se jednalo o silový trénink nízkého počtu opakování a těžké zátěže, který má největší efekt pro zlepšení vytrvalostního výkonu. Při nízkém počtu opakování (1–6 opak.) nedochází k takové hypertrofii svalu a zároveň se nejvíce stimuluje neuromuskulární koordinace a je zapojen maximální počet motorických jednotek (Lehnert et al., 2010). V cyklistice je hmotnost jedna z určujících veličin výkonu, a proto není žádoucí nabrání svalové hmoty spojené s hypertrofií svalu.

### **Polarizovaná, prahová a pyramidová metoda**

Pro lepší pochopení uvedených metod tréninku je vhodné rozdělit intenzitu tréninku do tří zón. První zóna (nízké intenzity) se nachází pod úrovní AEP. Druhá zóna (střední intenzity) je v rozmezí AEP a ANP, jinak nazývaná meziprahová intenzita. Poslední zóna (vysoké intenzity) je charakteristická od úrovně ANP až do maxima. V polarizované metodě je cílem tréninku nejvíce času (4/5) strávit v první zóně nízké intenzity a zbylý čas (1/5) věnovat tréninku vysoké intenzity. U prahové metody (angl. Sweet Spot Training) se sportovci primárně soustředí na střední intenzitu, kde se snaží trávit většinu času a zbylý čas bývá rozhozen buď do nízké intenzity anebo do nízké i vysoké intenzity. Pyramidový trénink je dost podobný polarizovanému, jen s tím rozdílem, že kromě vysoké intenzity je zařazen i trénink střední intenzity. Většina času se však stále odehrává v nízké intenzitě.

Neal et al. (2013) se zaměřili na efektivitu polarizované a prahové metody tréninku u vytrvalostních sportovců. Výsledky byly v jasný prospěch polarizovaného tréninku. Během prahového tréninku sportovci netrénovali ve vysoké intenzitě a jak se zdá, vysoká intenzita má na vliv výkonnosti nejvyšší podíl. Muñoz et al. (2014a) se snažil více zaměřit na vyšší intenzitu v prahovém tréninku. Běžci byli rozděleni na dvě skupiny (polarizovaný trénink vs. prahový trénink). Rozdělení tréninkového času pro prahový trénink bylo 46 % v nízké intenzitě, 35 % ve střední intenzitě a 19 % ve vysoké intenzitě. U polarizovaného tréninku se jednalo o 77 % času v nízké intenzitě, 3 % ve střední intenzitě a 20 % ve vysoké intenzitě. Obě skupiny zlepšily svůj čas pro běh na 10 km. Ale opět dosáhla lepších výsledků skupina polarizovaného tréninku. Je zajímavé, že stejných výsledků bylo dosaženo i u vytrvalostních disciplín jako je Ironman, kdy se sportovci pohybují v závodě převážně v meziprahové intenzitě. Lepších výsledků stejně dosáhla skupina, která se v tréninku více věnovala nízké intenzitě, než skupina se střední intenzitou (Muñoz, Cejuela, Seiler, Larumbe, & Esteve-Lanao, 2014). Hydren a Cohen (2015) došli k závěru, že polarizovaný trénink vede stabilně k lepším výkonům a také s sebou nese nižší riziko přetrénování oproti prahovému tréninku.

Jak se ukázalo, přetrénování nebo vyhoření může být způsobeno příliš častou a příliš vysokou intenzitou. Bylo zjištěno, že vytrvalostní trénink nízké intenzity (pod úrovní prvního ventilačního prahu) u vysoce trénovaných sportovců navrácí variabilitu SF (HRV – Heart Rate Variability) do předtréninkových hodnot za 5–10 min. Po tréninku na úrovni ANP, nebo nad ANP se hodnoty HRV navrácí

až po 30 min. U méně trénovaných až po 90 min. Intenzita nad prvním ventilačním prahem vyvolává větší stres pro autonomní nervový systém (Seiler, Haugen, & Kuffel, 2007). Je prokázáno, že autonomní nervový systém úzce souvisí s velikostí adaptační kapacity organismu, tzv. adaptability (trénovatelnosti) (Botek et al., 2017b). Jak z předchozích studií vyplývá, intenzivní trénink má větší efekt pro růst výkonnosti. Tréninků vysoké a střední intenzity však nesmí být příliš, jelikož každý tento trénink má dočasný vliv na snížení aktivity autonomního nervového systému a s tím spojené oddálení nástupu regenerace.

Selles-Perez, Fernández-Sáez, & Cejuela (2019) se zaměřili na polarizovaný a tzv. pyramidový trénink u triatlonistů, specializující se na poloviční Ironman. Distribuce tréninkového času byla pro polarizovaný trénink 84,5 % v nízké intenzitě, 4,2 % ve střední intenzitě a 11,3 % ve vysoké intenzitě. U pyramidového tréninku byl čas v nízké intenzitě 77,9 %, ve střední intenzitě 18,8 % a ve vysoké intenzitě 3,3 %. Mezi skupinami nebyl po absolvování 20týdenního tréninku zaznamenán rozdíl ve výsledku v polovičním Ironmanu (5s rozdíl při závodě delším než 5h). Obě metody vedly k signifikantnímu zlepšení fyziologických ukazatelů. Autoři studie se shodují, že by trenéři neměli zavrhnout trénink ve střední intenzitě.

Vytrvalostní sportovci by měli ve svém tréninku nejvíce času (~80 %) strávit v nízké intenzitě (do úrovně AEP) (Billat, Demarle, Slawinski, Paiva, & Koralsztein, 2001; Lúcia et al., 2000; Plews & Laursen, 2017; Seiler & Kjerland, 2006;). Upřednostnění tréninku nízké intenzity před střední intenzitou vede k prokazatelně lepším výsledkům u různých vytrvalostních sportů, jako např. veslování (Ingham, Carter, Whyte, & Doust, 2008), běhání (Muñoz et al., 2014a) nebo triatlonu (Muñoz et al., 2014b).

Bohužel v současné době zatím neexistuje mnoho studií, které by se zabývaly srovnáním pyramidového a polarizovaného tréninku. Je zřejmé, že obě metody jsou efektivnější než prahový trénink. Dosud ale nejsou jasné důkazy o korelaci mezi zlepšením výkonu a distribucí tréninkových hodin mezi střední a vysokou intenzitou.

## Diagnostika a zátěžové testy v cyklistice

Diagnostiku popisuje (Botek et al., 2017b) jako komplexní proces záměrné analýzy aktuálního stavu sportovce, dále jeho připravenosti podstoupit zatížení nebo podat sportovní výkon za cílem zefektivnění tréninkové procesy. Při diagnostice získáváme představu o souboru požadavků na výkon (schopnosti, dovednosti, vědomosti, stavy, apod.), které reprezentují adaptační odpověď sportovců a jsou lépe identifikovány u sportovců na vyšší úrovni (Dovalil et al., 2012). Dovalil et al. (2012). Dále uvádí, že právě diagnostika příslušných požadavků jednotlivých sportů společně s vymezením struktury sportovních výkonů vedlo v posledních padesáti letech ke značnému zvýšení sportovní výkonnosti.

Botek et al. (2017b) vymezuje následující vlastnosti zátěžových testů:

- bezpečnost – prováděný test by nijak neměl ohrozit sledovanou osobu, ať již na úrovni nesprávně definované zátěže nebo technických požadavků;
- jednoduchost – provedení testu by nemělo být příliš náročné;
- objektivnost – výsledek by měl být objektivní, vylučující faktory, které mohou výsledek ovlivnit;
- reprodukovatelnost – možnost správně interpretovat výsledek, porovnání jednotlivých výsledků testů mezi sebou, případně s průměry;
- validita (správnost) – test by měl poskytovat správné výsledky pro určení konkrétní odezvy;
- reliabilita (spolehlivost) – test by měl při opakování poskytovat velmi blízké výsledky;
- senzitivita – test by měl být dostatečně citlivý vzhledem ke sledovaným parametrům;
- specifická – test by měl maximálně odpovídat druhu zátěže, resp. sportovní disciplíny, pro kterou se test provádí. (p 147-148)

Úroveň vytrvalostních schopností nelze sledovat přímo stejně jako ostatní kondiční schopností, ale podle naměřených ukazatelů lze usuzovat o úrovni schopností (Lehnert et al., 2010). Pro samotný výběr zátěžového testu je nutné znát



fyziologické požadavky daného sportu a vychází ze znalosti cíle, kterého má být dosaženo (Botek et al., 2017b).

Botek et al. (2017b) dělí zátěžové testy následovně:

Dělení podle typu prostředí:

- laboratorní testy,
- terénní testy.

Dělení podle velikosti zatížení:

- maximální zátěžové testy se provádějí do doby dosažení SF<sub>max</sub> nebo  $\dot{V}O_{2max}$ . Test by neměl přesáhnout 12 min, kdy již nastupuje únava svalů,
- submaximální zátěžové testy pracují s velikostí zatížení na nižší úrovni, cca 70–80 % určené SF,
- supramaximální zátěžové testy jsou určeny pro testování anaerobní výkonnosti.

Podle metabolických pochodů můžeme dále testy dělit na anaerobní a aerobní. Dle druhu zatížení pak rozlišujeme testy dynamické, statické, elektrické stimulační, farmakologické, chladové, hypoxické nebo psychotesty. (p 148)

### **Ukazatelé v zátěžové diagnostice**

Při zkoumání vytrvalostních schopností se využívá především terénních testů, které slouží k objektivizaci a diagnóze. Laboratorní měření se provádí pro zpřesnění funkčních požadavků výkonu (Lehnert et al., 2010). Pro terénní testování je stanovena délka zatížení a odpočinku, kdy se opakovaně na stejném úseku měří dosažený čas a případně se na konci každého úseku měří hodnoty laktátu (Lehnert et al., 2010). V laboratorních podmínkách se nejčastěji využívá bicyklových ergometrů, kde se používají stupňované testy – postupné přidávání zátěže (W) a sledují se převážně ukazatelé (Lehnert et al., 2010):

- SF – klidová, maximální, změny při daných zátěžích a pokles po zátěži;
- spotřeba kyslíku až na hranici  $\dot{V}O_{2max}$  a spotřeba kyslíku vzhledem k tělesné hmotnosti;

- hodnoty laktátu pro určení aerobního a anaerobního prahu, dosažení maximální hodnoty laktátu;
- maximální ventilace ( $V_{\max}$ )

Botek et al. (2017b) dále doplňuje o ukazatele výkonu, respiračního kvocientu a ventilačního ekvivalentu pro kyslík:

**Výkon:** Výkon se jako ukazatel silové vytrvalostních schopností používá zejména v cyklistice. Při sledování aktuálního výkonu a SF je možné odhadnout, zda vzniká kyslíkový dluh nebo se splácí a jak dlouho bude přibližně stav trvat. Díky sledování výkonu se může nepřímo určit kalorickou spotřebu, která slouží jako přesnější ukazatel vynaložené práce než například kilometry a čas. Sleduje se  $W_{\max}$ ,  $W_{170}$  (výkon při SF 170), FTP (funkční prahový výkon – maximální výkon, který je cyklista schopen udržet po dobu 1 h).

**Respirační kvocient (RQ):** Ukazatel poměru vyloučeného  $\text{CO}_2$  ke spotřebovanému  $\text{O}_2$ . Při klidových podmínkách RQ závisí na stravě, avšak při kombinaci sacharidů, tuků a bílkovin je respirační kvocient vždy nižší než 1 (0,80 – 0,85). Při tělesné aktivitě se hodnoty RQ začínají zvyšovat společně s intenzitou, kdy ANP-v se rovná respiračnímu kvocientu 1. Po ukončení zátěže maximálního úsilí se dostávají hodnoty na 1,3 – 1,6. Sledování poklesu RQ na klidové hodnoty se používá pro stanovení míry a způsobu regenerace. Ukazatel respiračního kvocientu se používá v diagnostice spiroergometrie.

**Ventilační ekvivalent pro kyslík:** Tento parametr ukazuje na efektivitu dýchání. Ventilační ekvivalent pro  $\text{O}_2$  je množství vzduchu, které musí sportovec proventilovat, aby získal 1 l kyslíku. Při zvyšujícím se zatížení můžeme sledovat nejdříve lehký pokles, následné mírné stoupaní a od oblasti ventilačního prahu (ANP-v) ventilační ekvivalent dramaticky roste. Při maximální zátěži dosahuje tato hodnota 30–35 l.

#### *Borgova škála (RPE)*

Jako poslední ukazatel se nejen v diagnostice, ale také i pro kvantifikaci tréninku využívá „hodnocení vnímané námahy“, angl. RPE (Ratings of Perceived Exertion). Borg (1982) uvádí škálu lineárního vzestupu SF a spotřeby kyslíku během zatížení. Pro jednoduchý odhad SF se používá škála hodnocení vnímané

námahy v rozmezí 6-20. Číslo 6 značí nulovou zátěž a číslo 20 naopak maximální zátěž (např. sprint). Při tréninku se Borgova škála používá pro odhad SF. Během určité zátěže se hodnotí RPE a při vynásobení 10 se zjistí přibližná SF jedince. Jak se ukázalo, tyto hodnoty však platí pouze pro mladé sportovce. U starších jedinců dochází ke snížení max SF a odhad SF není tak přesný (Borg, 1982)

Pro jednodušší zaznamenávání se v poslední době spíše přistupuje ke škále od 1 do 10, kdy 10 znamená maximální intenzitu (Borg, 1982). Tyto škály se používají i v elektronických záznamech tréninků (např. Trainingpeaks, Strava). Borg (1982) dále uvádí, že přesnější ukazatel zátěže je monitoring SF, ale RPE může doplnit tento ukazatel o subjektivní vnímání dané SF. Jeden den se může zdát 150 t/min jako lehká námaha, zatímco další den může jedinec vnímat stejnou SF jako náročnou. Proto je vhodné dbát i na subjektivní vnímání námahy a následně diagnostikovat nebo upravovat trénink.

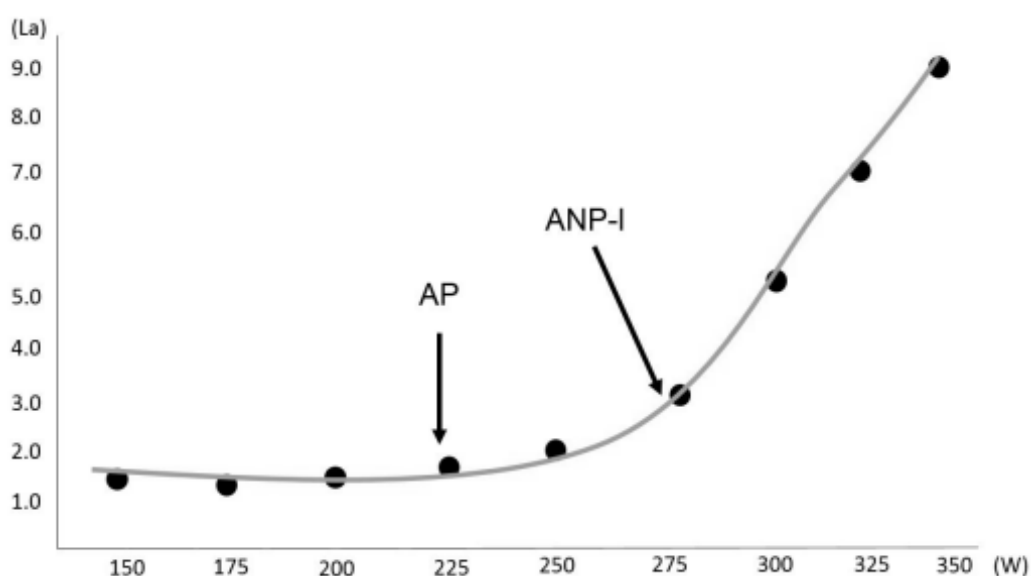
V tréninkovém plánu (Příloha 1) v diplomové práci se rovněž využívá hodnocení RPE na škále od 1 do 10 pro lepší kvantifikaci tréninku.

### **Laktátová křivka**

V dřívější kapitole bylo nastíněno téma anaerobního prahu v rámci třech metod stanovení. Při tzv. invazivní metodě stanovení anaerobního prahu se nejčastěji jedná o laktátový práh. Anaerobní práh, změřený na základě vzestupu laktátu, je podle Botka et al. (2017b) považovaný za nejpřesnější metodu, nevýhodou je však její invazivnost. Jedná se o stupňovaný zátěžový test rostoucí intenzity, kdy na konci každého stupně se odebírá krev z ušního lalůčku nebo z konce prstu pro stanovení hladiny laktátu (Botek et al., 2017b).

Akumulace laktátu během zátěžových testů se běžně používá k hodnocení účinků tréninku, k nastavení tréninkové intenzity a k predikci výkonu. Typicky se to provádí stanovením bodů odchylky nebo stanovením prahů na křivce úrovně laktátu společně s intenzitou cvičení. Přestože se koncept krevních laktátových prahů vyvíjel již více než 70 let, stále existuje mnoho sporů jak o vysvětlení těchto jevů, tak o metodách, které by měly být použity k jejich identifikaci. Počet sporných bodů ve skutečnosti převyšuje počet shod, což může frustrovat ty, kdo hledají praktické aplikace těchto pojmů (Macdougall, Wenger, & Green, 1993). Jones a Doust (1998) ve svém přehledu uvedli, že mnoho studií o reakci

krevního laktátu na cvičení nabízí platné informace, které lze uplatnit ve sportu. Použití těchto pojmů však vyžaduje přesný popis intenzity a trvání jednotlivých stupňů zátěže a také pečlivě definované techniky výpočtu. Obliba používání prahů souvisejících s laktátem v krvi jako ukazatelů výkonu za posledních 20 let dramaticky vzrostla, přičemž mnoho cvičebních vědeckých laboratoří po celém světě nyní běžně měří různé prahové hodnoty laktátu v krvi jako nedílnou součást fyziologického hodnocení vytrvalosti (Tanner & Gore, 2013).



Obrázek 8. Konstrukce laktátové křivky a determinace aerobního (AP) a anaerobního (ANP-I) individuálního prahu (Botek et al., 2017).

Na ose X se nejčastěji zobrazuje výkon případně čas a osa Y zobrazuje koncentraci laktátu. Z křivky je možné vypočítat devět odběrů laktátu, respektive devět stupňů zatížení, které se postupně zvyšovalo o 25 W (Obrázek 8). Křivka má exponenciální tvar a jelikož dochází ke kumulaci laktátu až v pozdější fázi, jedná se patrně o vytrvalostně zaměřeného sportovce. U rychlostně trénujících sportovců lze zaznamenat zvýšení hodnot laktátu již při prvním zvýšení zátěže, zatímco u vytrvalců se drží koncentrace laktátu na klidových hodnotách (0,8 – 1,5) delší dobu (Botek et al., 2017b).

## Testovací protokol

Faktory související s testovacím protokolem, jako je místo odběru vzorků, trvání a intenzita jednotlivých schodů, kontinuální versus přerušované cvičení, způsob cvičení, faktory prostředí a vlastnosti subjektu, to vše může ovlivnit měření reakce laktátu v krvi, a proto je zapotřebí na všechny tyto faktory myslet při vytváření testovacího protokolu (Tanner, & Gore, 2013).

Tanner a Gore (2013) stanovují optimální počet stupňů pro správnou identifikaci prahů na 5–7 stupňů a délka jednotlivých stupňů intenzit by měla být v rozmezí 5–8 min. Dále uvádí, že většina zátěžových laboratoří využívá pouze 3–5min dlouhé stupně, které jsou dostatečné pro měření spotřeby kyslíku a SF. Mohou však vést k nadhodnocení laktátového prahu. Bylo prokázáno, že čím delší jednotlivé stupně zátěže jsou, tím jsou hodnoty anaerobního prahu nižší.

V některých laboratořích se využívá intervalu odpočinku mezi jednotlivými stupni většinou pro jednodušší odběr vzorku krve. Tanner a Gore (2013) tvrdí, že interval odpočinku v rámci stupně zatížení může ovlivnit stanovení prahů laktátu v krvi. S delšími přestávkami mezi jednotlivými stupni mají prahové hodnoty laktátu tendenci vzrůstat směrem k vyšší intenzitě (Heck et al., 1985; Maud & Foster, 2006). Dalším faktorem spojeným s intervalem odpočinku je načasování odběru krve. Neexistuje žádná shoda ohledně toho, jak dlouhý by měl být interval odběru vzorků po skončení stupně – jedna studie však ukázala, že neexistuje žádný rozdíl v hodnotách laktátu v krvi odebraných v rozmezí 15 až 45 s po cvičení u veslařů během testování na ergometru (Kass & Carpenter 2009). Jakékoli intervaly mezi jednotlivými pracovními fázemi by proto měly být co nejkratší a standardizované maximálně do jedné minuty (Tanner & Gore, 2013).

V další řadě se stále vedou spory, jak velké mají být přírůstky intenzity u stupňovitého testu. Zatím neexistuje určitá standardizace, která by přesně definovala míru přidání zátěže. Avšak většina studií se shoduje, že čím menší jsou přírůstky, tím se přesněji determinuje anaerobní práh (Coen, Urhausen, & Kindermann, 2001; Foxdal et al., 1994; Stockhausen, Grathwohl, Bürklin, Spranz, & Keul, 1997). Tanner a Gore (2013) doporučují pro optimální identifikaci laktátového prahu sestavit takový testovací protokol, aby jednotlivé stupně zatížení trvaly déle než 5 min a zároveň by měl testovací subjekt zvládnout alespoň 5 odběrů laktátu, respektive 5 stupňů zátěže. Z osobních zkušeností nám na bicyklovém ergometru jako optimální velikost přírůstků zátěže vycházelo přidání do 0,5 W/kg

u trénovaných osob. U méně trénovaných osob docházelo k rychlejší kumulaci laktátu a bylo zapotřebí přírůstky intenzity snížit v porovnání s trénovanými sportovci.

Bylo prokázáno, že místo odběru krevních cév ovlivňuje měření vztahu mezi intenzitou cvičení a koncentrací laktátu v krvi (El-Sayed, George, & Dyson, 1993; Foxdal et al., 1990; Welsman 1992; Yoshida, Takeuchi, & Suda 1982). Různá místa odběru zahrnují arteriální krev, venózní krev, kapilární krev a arterializovanou venózní krev. Prahové hodnoty laktátu v krvi stanovené z různých míst odběru nejsou srovnatelné, pokud nebyl aplikován korekční faktor. Vzorky odebrané ze stejného typu cévy, ale z různých míst na těle – například kapilární vzorky odebrané z prstu na noze, konečku prstu a ušního lalůčku – ukázaly, že hladiny laktátu krve v kapilárách na konečcích prstů jsou vyšší než hladiny kapilár v ušním lalůčku během stupňovaného testu jak v cyklistice, tak při běhu (Dassonville et al., 1998; Feliu et al. 1999).

Pro zátěžové laboratoře je velmi důležitá standardizace testovacích protokolů, aby se mohly porovnávat jednotlivé výsledky mezi sebou. Také zde dochází k problému s komparací výsledků mezi jednotlivými studiemi, kdy nebyl testovací protokol jednotný (např. doba stupňů zátěže, místo odběru, přístroj pro vyhodnocení laktátu, bicyklový ergometr aj.).

### **Laktátový práh**

Jak již bylo zmíněno dříve, laktátový práh se z laktátové křivky může stanovit individuálně nebo fixně. Individuální laktátový práh se podle Botka et al. (2017b) nachází mezi 3–6, respektive 8 mmol / l. Podle Tannera a Gore (2013) se individuální hodnoty většinou nachází v rozmezí 2,5–5-5 mmol/l. Důvod pro zavedení individuálního anaerobního prahu byl ten, že stabilní hodnoty laktátu se u sportovců ve vysoké míře liší a zároveň autoři upozorňovali na problematiku difúze laktátu z aktivních svalů do krve (Stegmann, Kindermann, & Schnabel, 1981). Při stanovení fixního anaerobního prahu bylo cílem zajistit minimalizaci problémů biologických odchylek spojených s detekcí prahů v laktátové křivce a zátěžových nebo fyziologických proměnných (Tanner & Gore, 2013). Fixní laktátový práh se u různých autorů liší (2–4 mmol / l), avšak nejvíce studií stanovilo anaerobní práh na hodnotu 4 mmol / l (Tanner & Gore, 2013).

V poslední řadě se u laktátové křivky mluví o tzv. maximálním laktátovém setrvalém stavu, který je spojen s anaerobním prahem (v angl. MLSS – maximum lactate steady state). **MLSS** se definuje jako maximální intenzita zatížení udržitelná po delší čas bez dalšího zvýšení laktátu (Beneke 1995, 2003; Faude, Kindermann, & Meyer 2009; Heck et al., 1985; Smekal et al., 2002). MLSS dále představuje kvantitativní měřítko chování koncentrace laktátu související s cvičením (Beneke et al., 2001) a je považováno za nejlepší index kapacity pro vytrvalostní cvičení (Jones & Carter, 2000). Jak uvádí Botek et al. (2017b), je nutné si uvědomit, že hladina laktátu na úrovni MLSS není rozhodujícím faktorem výkonnosti, ale důležitý je podaný výkon (W) na této hodnotě.

Dalším často používaným termínem ve spojení s laktátovým prahem je **OBLA** (Onset of Blood Lactate Accumulation). V překladu se jedná o bod nástupu akumulace krevního laktátu. Jinými slovy se jedná o intenzitu cvičení, při které produkce laktátu převyšuje nad utilizací. OBLA se vztahuje k fixní hodnotě laktátu 4 mmol/l (Sjodin, & Jacobs, 1981).

Autoři Tanner & Gore (2013) rozlišují dva laktátové prahy (angl. LT – Lactate Threshold) – LT1 (aerobní práh) a LT2 (anaerobní práh). LT1 definují jako nejnižší intenzitu, při které dochází k trvalému zvýšení koncentrace laktátu v krvi nad klidové hodnoty. LT2 jako intenzitu, která způsobí rychlé zvýšení hladiny laktátu v krvi při dosažení horní hranice rovnováhy mezi produkcí laktátu a utilizací.

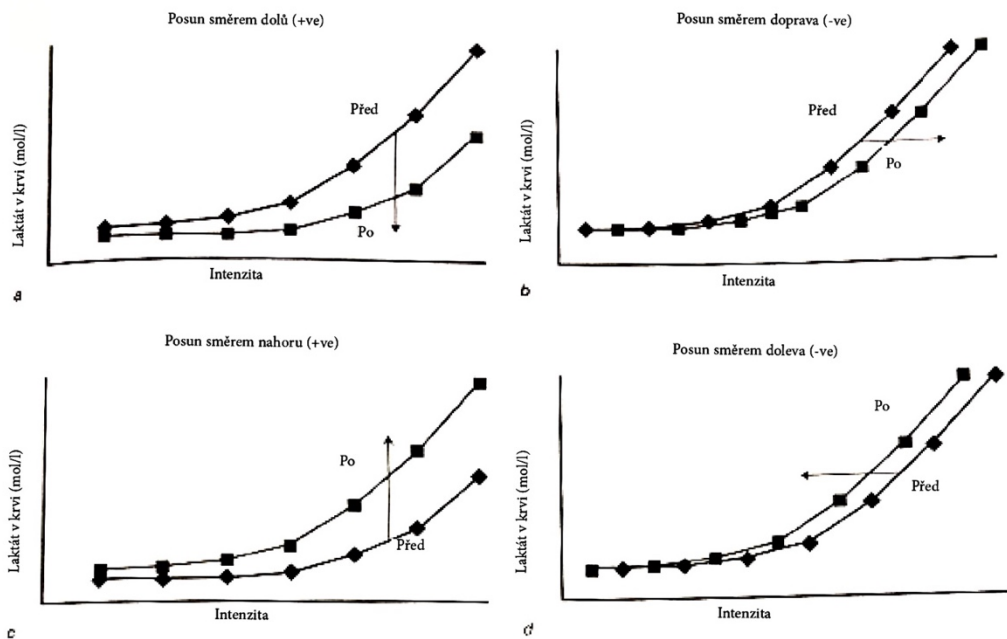
### **Změny v laktátové křivce**

Vztah mezi krevním laktátem a zvyšující se intenzitou cvičení může poskytnout užitečné informace pro hodnocení adaptace na vytrvalostní trénink (Denis, Dormois, & Lacour, 1984; Hurley et al., 1984; Katch, Weltman, Sady, & Freedson 1978; Sjodin, Jacobs, & Svedenhag, 1982). Jakákoli analýza nebo interpretace křivky krevní laktátové odezvy se nejlépe provádí na individuální úrovni, protože hodnoty mohou být ovlivněny různými faktory. I poté, co se vědci zabývali co možná nejvíce matoucími faktory, výsledky každého sportovce by měly být analyzovány a interpretovány samostatně, i když v některých situacích bychom neměli podceňovat hodnotu mezisubjektových nebo skupinových srovnání (Tanner & Gore, 2013). Existují dvě běžně používané metody měření laktátových křivek pro zlepšení, udržení nebo snížení kondice. Ty zahrnují (1) subjektivní hodnocení

grafických a hrubých dat a (2) objektivní nebo statistické hodnocení dat (Tanner & Gore, 2013).

Grafické překryvy testů laktátových křivek jednotlivých sportovců se subjektivním posouzením případných posunů křivky jsou nejběžněji používanou metodou stanovení rozsahu jakékoli adaptace. Některé z nejběžnějších změn v křivce intenzity laktátu v krvi a jejich interpretace (Madsen & Lohberg, 1987; Pyne, 1989; Weltman, 1995) jsou následující:

- Posun křivky dolů, doprava nebo obojí naznačuje zvýšení specifické aerobní kapacity sportovce. To je vyjádřeno schopností sportovce cvičit s vyšší intenzitou pro danou hladinu laktátu v krvi nebo vyjádřeno nižší hladinou laktátu pro stejnou intenzitu (Obrázek 9; a, b).
- Posun křivky nahoru, doleva nebo obojí naznačuje zhoršení specifické aerobní kapacity sportovce pro daný sport. To je vyjádřeno tím, že sportovec cvičí s nižší intenzitou pro danou hladinu krevního laktátu nebo že dosahuje vyšší hladiny laktátu při stejné intenzitě (Obrázek 9; c, d).



Obrázek 9. Interpretace změn laktátové křivky. Upraveno dle Tanner & Gore, (2013).



Změny specifických prahových hodnot laktátu mohou také sloužit jako zřetelné indikátory změn v tréninkovém procesu sportovce. Zvýšení intenzity na úrovni aerobního prahu odráží zlepšení základní aerobní kondice. Tato adaptace se na začátku prezentuje jako posun dolů, doprava nebo obojí. Předpokládá se, že je to důsledek opožděné tvorby krevního laktátu v důsledku zvýšené oxidace tuků a zesílených aerobních mechanismů. Podobné zvýšení intenzity cvičení na úrovni anaerobního prahu, reprezentované grafickými posuny dolů, doprava nebo obojím, může znamenat zlepšení aerobní vytrvalosti na vyšší úroveň. Možné příčiny jsou snížená produkce laktátu, zlepšená utilizace laktátu nebo zlepšené pufrací systémy (Tanner & Gore, 2013).

### **Další zátěžové testy**

Jak již bylo uvedeno, laktátová křivka patří k jedním z nejpřesnějších a nejvyužívanějších diagnostik u vytrvalostních sportovců. Není však jediným testem, který se používá pro determinaci výkonnosti sportovců, zjištění funkčních hodnot a nastavení tréninkových zón, respektive určení optimální zátěže.

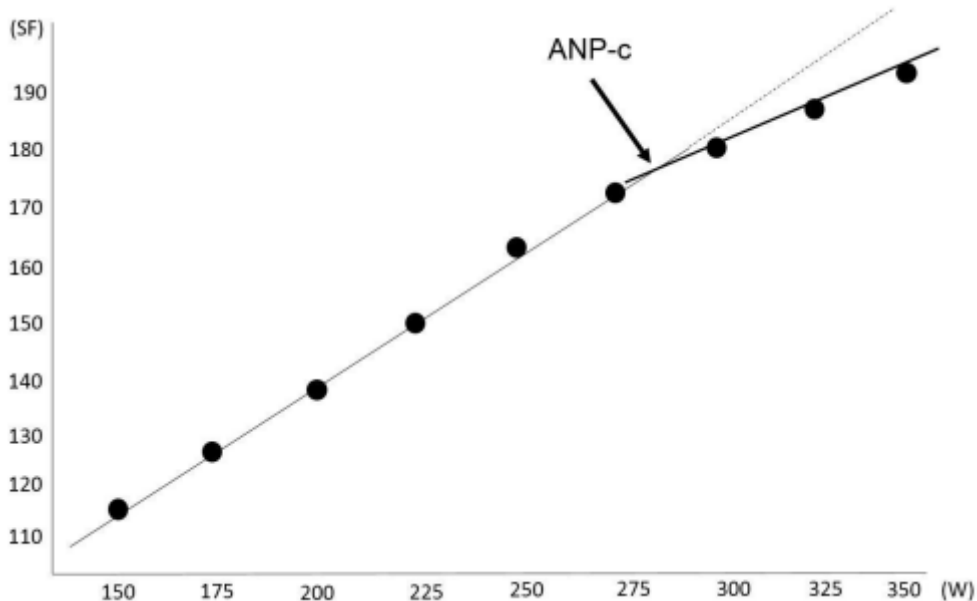
#### *Spiroergometrie*

Diagnostika spiroergometrie se považuje za jeden z nejkompexnějších a nejpropracovanějších metod vyšetření transportního systému. Při zátěži se v laboratorních podmínkách sleduje spotřeba kyslíku a množství vydechnutého CO<sub>2</sub> ke stanovení aerobní kardiorespirační zdatnosti (Botek et al., 2017b). Při vyhodnocení se získají hodnoty klidové spirometrie, VO<sub>2max</sub>, hodnoty minutové ventilace, RQ, SF, výkon na úrovni ANP, %  $\dot{V}O_{2max}$  na úrovni ANP a stanovení intenzit zátěže v jednotlivých energetických zónách (Botek et al., 2017b).

#### *Conconiho test*

Určení anaerobního prahu v závislosti na linearitě vzestupu SF (Obrázek 10) se jedná o tzv. cirkulační ANP (ANP-c), o kterém už byla zmínka v dřívější kapitole. Conconiho test se využívá pro stanovení tohoto prahu a je náročný na technické vybavení, zpracování dat a obzvláště na správné provedení. V cyklistice

je možné provést test na dráze nebo na ergometru, kdy se stupňují úseky bez přerušení jízdy.



Obrázek 10. Stanovení cirkulačního anaerobního prahu v rámci Conconiho testu (Botek et al., 2017).

Je nutné provést minimálně 8 stupňů zvýšení zátěže a test končí při nezvládnutí další zátěže. Z grafu křivky je možné zjistit aerobní i anaerobní vytrvalost sportovce. U aerobní vytrvalosti se jedná o podaný výkon (W), nebo ujeté vzdálenosti na dráze. U anaerobní vytrvalosti se sleduje, jestli byl sportovec po překročení anaerobního prahu schopen stále zvyšovat rychlost, výkon (W) společně se vzestupem SF (vysoká anaerobní vytrvalost), nebo se tep a výkon zvyšoval již nepatrně (nízká anaerobní vytrvalost) (Botek et al., 2017b).

#### *Moxy monitoring*

Moxy je zařízení určené na sledování kyslíku zatěžovaných svalů. V několika zátěžových laboratořích se v rámci sledování saturace kyslíku provádí zátěžové testy pro zjištění limitujících faktorů ve výkonu nebo se využívá jako další zpřesňující ukazatel během testu laktátové křivky. Moxy je na kůži umístěný monitor svalového kyslíku, který tvrdí, že měří lokální saturaci kyslíkem ( $SmO_2$ ) a celkový hemoglobin (THb) pomocí blízké infračervené spektroskopie (Crum, O'Connor, Van Loo, Valckx, & Stannard, 2017). Ve studii zaměřující se na

realibilitu a validitu Moxy zařízení v terénu bylo prokázáno, že Moxy je spolehlivé zařízení pro měření SmO<sub>2</sub> při nízkých až středních intenzitách, ale při vyšších intenzitách dochází k větším odchylkám v měření, pravděpodobně v důsledku tkáňové ischemie nebo zvýšených pohybových artefaktů v důsledku častějších svalových kontrakcí. THb má nízkou variabilitu během cvičení a nezdá se být platným indikátorem okysličení svalů (Crum et al., 2017).

Jiná studie zjistila významnou korelaci mezi saturací svalů kyslíkem, VO<sub>2max</sub> a laktátovým prahem. V nižších intenzitách se saturace kyslíku držela blízko klidových hodnot a byla stálá. Při intenzitě odpovídající úrovni anaerobního prachu docházelo ke strmé desaturaci kyslíku ve svalu a poté znovu k pozvolné desaturaci až na minimální úroveň, která odpovídala intenzitě VO<sub>2max</sub>. (Belardinelli, Barstow, Porszasz, & Wasserman, 1995). Sledování lokální saturace kyslíkem zatěžovaných svalů může být dalším ukazatelem v zátěžové diagnostice, ovšem zatím se nezdá být tak spolehlivý jako například hladina laktátu nebo spotřeba kyslíku. Pro metodu blízké infračervené spektroskopie může hrát roli i například tloušťka podkožního tuku, která negativně ovlivňuje měření (van der Zwaard, 2016).

## **Cíle a hypotézy**

### **Hlavní cíl**

Hlavním cílem práce je zjistit vliv systematického tréninku na změnu kondiční úrovně u amatérských cyklistů po čtyřech a osmi měsících.

### **Dílčí cíle**

Dílčím cílem práce je zjistit velikost změn fyziologických a antropometrických parametrů

### **Hypotézy**

H1: Systematický cyklistický trénink trvající čtyři měsíce povede ke zvýšení výkonu na aerobním prahu.

H2: Systematický cyklistický trénink trvající čtyři měsíce povede ke zvýšení výkonu na anaerobním prahu.

### **Výzkumné otázky**

K jakým změnám fyziologických ukazatelů výkonnosti vedl systematický trénink po čtyřech a osmi měsících?

K jakým změnám antropometrických ukazatelů vedl systematický trénink po čtyřech a osmi měsících?

Existuje vztah mezi věkem a velikostí změny výkonu ( $W / kg$ ) na úrovni aerobního a anaerobního prahu?

Existuje vztah mezi vstupní úrovní výkonu aerobního a anaerobního prahu a velikostí změny výkonu ( $W / kg$ ) na úrovni aerobního a anaerobního prahu?

# Metodika

## Charakteristika vzorku

Výzkumný soubor tvořilo 18 amatérských cyklistů. Jedná se o skupinu pravidelně trénujících mužů, kteří byli 3x testováni v období jednoho roku a zároveň podstoupili stejný systematický trénink viz příloha 1. Z výzkumného vzorku byli vyřazeni probandi s dlouhodobými zdravotními problémy. Všichni probandi podepsali informovaný souhlas o anonymním využití naměřených dat pro účely diplomové práce. Pro zachování anonymity se použila data pouze o věku, výšce, hmotnosti, SF, dosaženém výkonu, množství tukuprosté tkáně a procento tělesného tuku.

Tabulka 3

Základní charakteristika vzorku

	Věk	Výška (cm)	Hmotnost (kg)	BMI	P.B.F. (%)
<i>n</i>	<i>M ± SD</i>	<i>M ± SD</i>	<i>M ± SD</i>	<i>M ± SD</i>	<i>M ± SD</i>
18	37,2 ± 11,4	179,0 ± 8,5	76,1 ± 11,9	23,6 ± 2,5	17,2 ± 4,4

*Poznámka.* *n* = počet; *M* = průměr; *SD* = směrodatná odchylka; *BMI* = body mass index; *P.B.F.* = procento tělesného tuku

## Metodika sběru dat

Vzorek byl vybrán z databáze centra pro zátěžovou diagnostiku z roku 2019/2020. Pro každého cyklistu byli stejné pokyny k testování. Den před testem žádná náročná fyzická aktivita. V den testu nejíst 3 h před testováním, dbát na pitný režim a odskočit si na toaletu před zahájením testu. Před zahájením testu se každému účastníkovi změřil krevní tlak a klidová SF. Následovalo měření antropometrických parametrů, po kterém se přestoupilo k zátěžové diagnostice na bicyklovém ergometru.

### Měření antropometrických parametrů

Výška probandů byla změřena pomocí klasického svinovacího metru. Hmotnost byla naměřena na přístroji Jawon Medical X-contact 357, který se využil i pro následné měření tělesného složení pomocí bioelektrické impedance. Vážení probíhalo na boso, pouze v cyklistických kraťasech. Před zahájením měření

tělesného složení byl dán pokyn pro symetrické postavení chodidel na snímací ploše a přenesení těžiště rovnoměrně mezi obě dolní končetiny. Následovalo chycení ručních madel, upažení poníž a stisknutí tlačítek na palci, které zahájily měření. Probandi se dle pokynů nehýbali, nemluvili a dýchali v klidu. Po skončení analýzy tělesného složení se data automaticky přeposlala do počítačového programu BodyPass, kde se uložila do databáze. Následovalo obutí do cyklistických treter, upnutí hrudního pásu a přesunutí na bicyklový ergometr.

Pro diplomovou práci byla využita data o výšce, hmotnosti, BMI, zastoupení svalové hmoty a procento tělesného tuku.

### **Měření fyziologických parametrů**

Zátěžový test byl proveden na bicyklovém ergometru Cyclus 2. Před zahájením testu byla nastavena výška sedla tak, aby koleno cyklisty svíralo úhel mezi 25-35° v dolní úvrati kliky. Všichni zúčastnění podstoupili všechny testy s cyklistickými tretrami a nášlapnými pedály. Pro měření hodnot SF se použil hrudní pás Garmin HRM Dual, který byl před nasazením navlhčen.

Testovací protokol obsahoval 5–8 odběrů laktátu s následným zvýšením zátěže. Odběr laktátu se provedl z kapilární krve z konečku prstu za pomoci přístroje Lactate Scout+. Před vpichem byla kůže v okolí konečku prstu vydezinfikována Septonexem a ořena lékařskými tampony. K vpichu byly použity lancety ACCU-CHEK. Po vpichu a před každým dalším odběrem byla několikrát vymáčknuta kapka krve z konečku prstu, která se otřela do tamponu a až následná kapka se použila pro odběr laktátu. Začátek testu se stanovil na takovou zátěž, která odpovídala výkonu 1 W/kg. Jednotlivé schody zatížení byly stanoveny na 3 min. Na konci každého stupně byl v posledních desítkách vteřin odebrán laktát a následná hodnota zapsána do záznamového archu společně se SF, naměřenou v posledních desítkách sekund každého schodu. Zvýšení zátěže představovalo přidání výkonu přibližně o 0,5W/kg. Pro všechny probandy byla stanovena kadence pro test v rozmezí 80-100 ot./min. Ukončení testu bylo při celkovém vyčerpání jedince a nemožnosti pokračovat, případně při poklesu kadence pod 60 ot./min. Maximální SF byla zapsána jako nejvyšší dosažená SF v testu.

Poté byla data ze záznamového archu převedena do softwaru Lactate Scout Assistant, kde byl výstupem graf La křivky. Pro stanovení AEP a ANP se určily fixní hodnoty laktátu. AEP na úrovni 2 mmol/l a ANP na úrovni 4 mmol/l pro SF i

výkon. Hodnoty výkonu se zároveň vydělily aktuální hmotností jedince naměřenou před testem, aby se získaly hodnoty W/kg u AEP i ANP.

### **Statistické zpracování dat**

Naměřené údaje byly zapsány do programu Microsoft Office Excel. Zde se provedly základní statistické funkce pro výpočet průměru a směrodatné odchylky. Dále se provedla analýza dat pomocí ANOVA: Two-Factor Without Replication (ANOVA s opakováním měření). Pro analýzu byla stanovena hodnota  $p < 0,05$ . Při zjištění rozdílu byly provedeny párové t-testy jako post-hoc analýza a hladina významnosti byla stanovena na  $p < 0,016$  ( $0,05/3$ ) za pomoci Bonfferoniho metody. Pro výpočet a grafické zpracování Pearsonova korelačního koeficientu se využil statistický program Statistica 12.5 a statická významnost byla stanovena na hodnotě  $p < 0,05$ .

## Výsledky

### Měření fyziologických ukazatelů

Mezi žádnými měřeními (Tabulka 4) se neprokázaly výrazné změny ( $p > 0,05$ ) SF na úrovni AEP, ANP ani maximální SF. Výrazná změna ( $p < 0,01$ ) byla zjištěna mezi prvním a druhým měřením W / kg AEP a W/kg ANP. Čtyři měsíce se ukázaly jako dostatečná doba pro signifikantní zlepšení výkonu na úrovni AEP i ANP. První i druhá hypotéza se tak potvrdila. AEP se z původního výkonu  $2,94 \pm 0,57$  W / kg zlepšil na  $3,20 \pm 0,54$  W / kg. ANP se zlepšil z  $3,71 \pm 0,65$  W / kg na  $3,96 \pm 0,59$  W / kg. Mezi druhým a třetím měřením výkonu došlo k nevýraznému zhoršení ( $p > 0,05$ ) u AEP i ANP.

Tabulka 4

*Fyziologické ukazatele během jednotlivých měření*

	1. Měření (květen/červen)	2. Měření (září/říjen)	3. Měření (leden/únor)	F	p
	M ± SD	M ± SD	M ± SD		
SF AEP 2 mmol/l	147,4 ± 12,5	148,7 ± 12,0	147,4 ± 12,3	0,1386	0,8710
SF ANP 4 mmol/l	167,8 ± 11,2	167,5 ± 10,6	165,4 ± 12,1	0,8586	0,4327
SF Max	185,7 ± 9,8	184,1 ± 10,8	183,7 ± 11,1	1,2571	0,2974
W/kg AEP 2 mmol/l	2,94 ± 0,57	3,20 ± 0,54**	3,12 ± 0,47	4,3372	0,0210
W/kg ANP 4 mmol/l	3,71 ± 0,65	3,96 ± 0,59**	3,88 ± 0,63	5,9722	0,0060

*Poznámka.* M = průměr; SD = směrodatná odchylka; F = F-test (ANOVA); p = statistická významnost; SF = srdeční frekvence; SF Max = maximální srdeční frekvence; AEP = aerobní práh; ANP = anaerobní práh



## Měření antropometrických ukazatelů

Během měření antropometrických parametrů (Tabulka 5) nebyla zjištěna výrazná změna hmotnosti ( $p > 0,05$ ). U výsledků tělesného složení nedošlo k žádným signifikantním změnám u měkké tukuprosté tkáně ( $p > 0,05$ ) ani u procenta tělesného tuku ( $p > 0,05$ ) během všech měření.

Tabulka 5

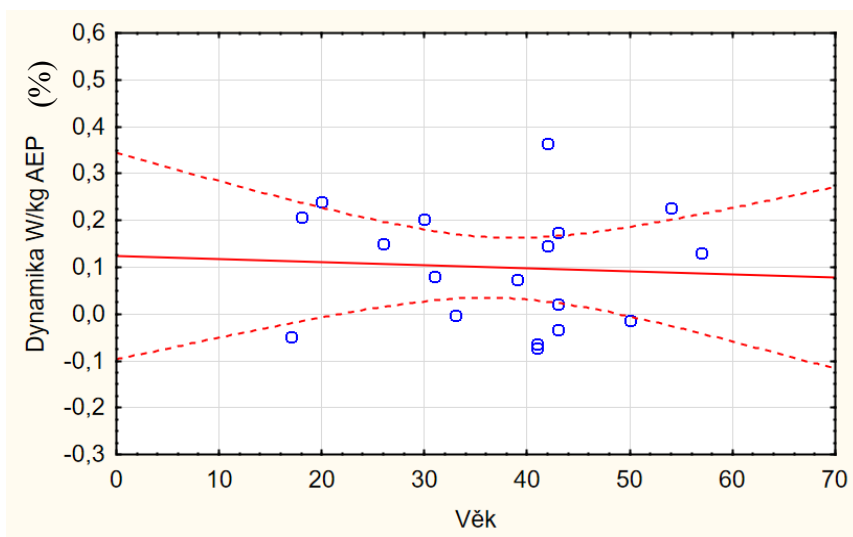
*Antropometrické ukazatele během jednotlivých měření*

	1. Měření (květen/červen)	2. Měření (září/říjen)	3. Měření (leden/únor)	<i>F</i>	<i>p</i>
	<i>M</i> ± <i>SD</i>	<i>M</i> ± <i>SD</i>	<i>M</i> ± <i>SD</i>		
Hmotnost (kg)	76,1 ± 11,9	75,5 ± 12,0	76,4 ± 11,6	1,9461	0,1584
S.L.M. (kg)	58,7 ± 9,1	58,3 ± 8,3	58,5 ± 8,6	0,6833	0,5117
P.B.F. (%)	17,2 ± 4,4	16,3 ± 4,6	17,3 ± 4,4	2,2281	0,1232

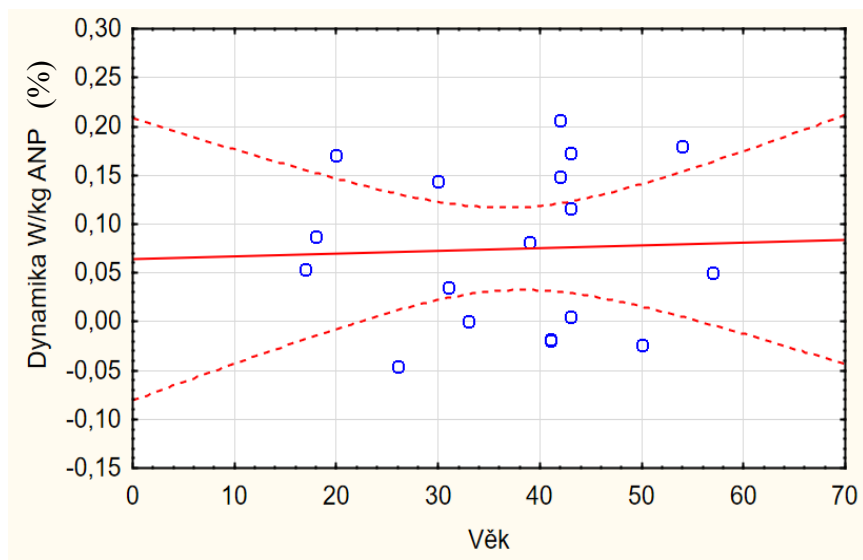
*Poznámka.* *M* = průměr; *SD* = směrodatná odchylka; *F* = F-test (ANOVA); *p* = statistická významnost; *S.L.M.* = měkká tukuprostá tkáň; *P.B.F.* = procento tělesného tuku

## Závislost věku na dynamice výkonu

Dynamika W/kg reprezentuje výkonnostní změny v procentech mezi prvním a druhým měřením. Následná korelace s věkem (Obrázek 11) neprokázala významnou závislost ( $r = -0,0611$ ;  $p > 0,05$ ). Podobné výsledky byly zaznamenány i při korelaci dynamiky W/kg ANP a věku ( $r = 0,0412$ ;  $p > 0,05$ ) (Obrázek 12).



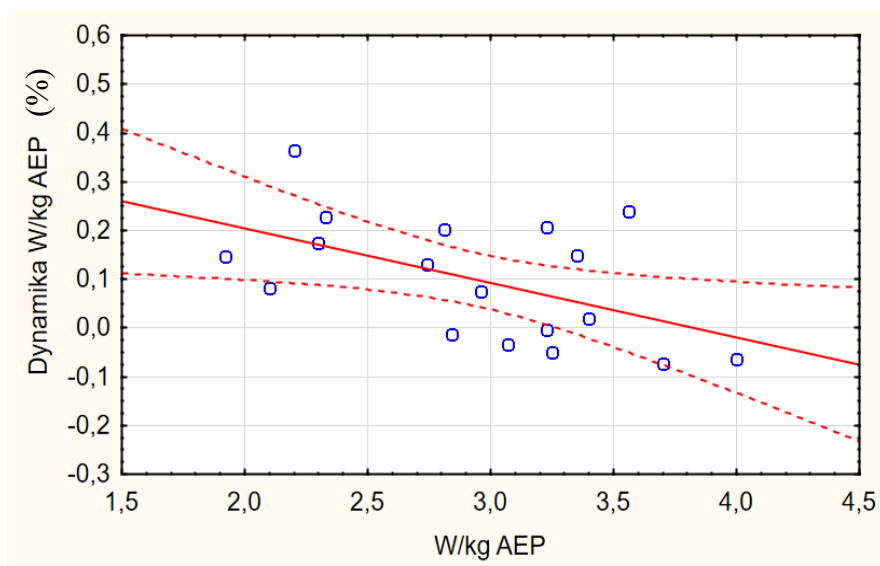
Obrázek 11. Závislost věku respondentů (osa X) a procentuální změny výkonu (W / kg) na úrovni aerobního prahu (osa Y)



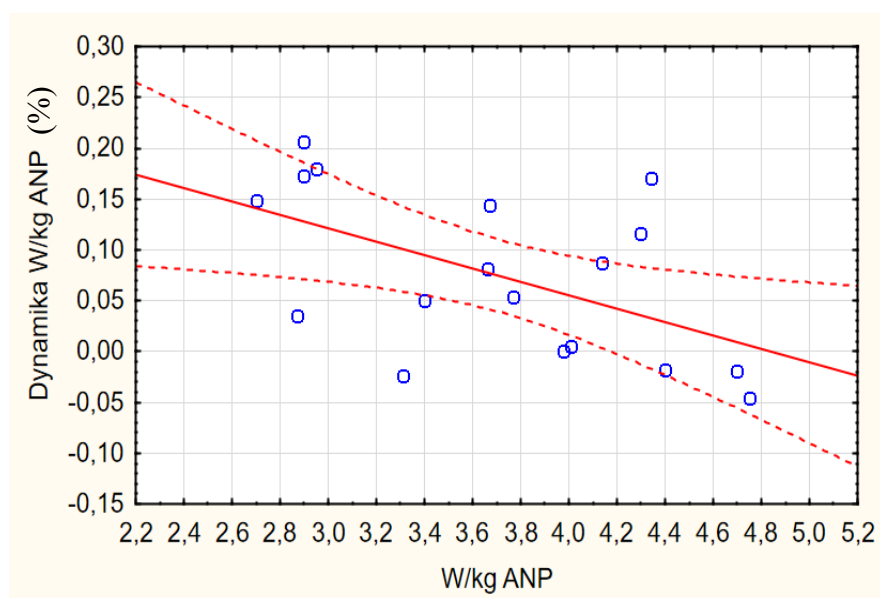
Obrázek 12. Závislost věku respondentů (osa X) a procentuální změny výkonu (W / kg) na úrovni anaerobního prahu (osa Y)

## Závislost vstupní úrovně výkonu na dynamice výkonu

Dynamika W/kg reprezentuje výkonnostní změny v procentech mezi prvním a druhým měřením. Korelace mezi úrovní výkonu AEP a dynamikou W/kg AEP (Obrázek 13) prokázala střední závislost mezi hodnotami ( $r = -0,5261$ ;  $p < 0,05$ ). Téměř identických hodnot bylo dosaženo při korelaci úrovně výkonu ANP a dynamice W/kg ANP (Obrázek 14) ( $r = -0,5371$ ;  $p < 0,05$ ).



Obrázek 11. Závislost vstupní úrovně výkonu aerobního prahu (osa X) a procentuální změny výkonu (W/ kg) na úrovni aerobního prahu (osa Y)



Obrázek 12. Závislost vstupní úrovně výkonu anaerobního prahu (osa X) a procentuální změny výkonu (W / kg) na úrovni anaerobního prahu (osa Y)

## Diskuze

Výsledky diplomové práce prokázaly signifikantní zlepšení ( $p < 0,01$ ) výkonu (W/kg) po 4 měsících systematického tréninku v rámci prvních dvou měření (Tabulka 4). Jak již bylo dříve zmíněno v teoretické části, ukazatel výkonu ANP je pro sledování změn trénovanosti jedince efektivnější, jelikož je dynamika změn výraznější než např. změny  $VO_{2max}$  (Botek et al., 2017; Dovalil et al., 2012; Lehnert et al., 2010; Rønnestad et al., 2014). První a druhé měření bylo v závodním období dle tréninkového plánu (Příloha 1). Jedná se o období větší specifikace tréninku, kde se pro rozvoj výkonnosti jezdce využívají tréninky pouze na kole a zároveň se jedná o období s větším důrazem na intenzitu (závody, intervalové tréninky na úrovni ANP).

Výsledky studie Lucie et al. (2000), ve které se věnovali profesionálním cyklistům, rovněž deklarují nejvyšší výkon na úrovni ANP v závodním období, kde se dá předpokládat největší specifčnost tréninků a větší intenzita. V závodním období dosahovali profesionální cyklisté výkonu na úrovni ANP  $5,47 \pm 0,12$  W / kg, v předzávodním  $4,97 \pm 0,11$  W / kg a v pozávodním období  $4,53 \pm 0,13$  W / kg (Lucie et al., 2000).

V provedeném výzkumu došlo mezi druhým a třetím měřením k nepatrnému zhoršení výkonu na úrovni AEP i ANP, ale nejedná se o statisticky významnou změnu ( $p > 0,05$ ). Jelikož bylo třetí měření provedeno v zimě, dalo se předpokládat jisté zhoršení. V tréninkovém plánu (Příloha 1) se jedná o přípravné období, které je charakteristické obecnou přípravou (běh, běžky, posilování) a v nižší míře je zařazena cyklistika. Objem je již podobný jako v závodním období, ale intenzita je snížena. Tomuto období předcházelo pozávodní období, kde je zřejmý úbytek objemu a intenzita není v plánu vůbec zařazena. Období je typické pro roční periodizaci tréninku, kdy si sportovci potřebují odpočinout od systematického a náročného tréninku, respektive od závodů a načerpat tak síly pro další tréninková období (Dovalil et al., 2012). Jelikož zhoršení výkonu nebylo přes zimní období markantní, mohl by se očekávat další nárůst výkonu v následujícím závodním období.

Jednou z výzkumných otázek bylo zjištění, jestli je pozorovatelný vliv věku na dynamiku výkonu. Jak výsledky ukazují (Obrázek 11, Obrázek 12), nebyl prokázán žádný vztah mezi sledovanými proměnnými. V diplomové práci byl

průměrný věk probandů  $37,2 \pm 11,4$ . Jak se ukázalo, mezi držiteli světových rekordů na dráze (200 m, 500 m) nebo 40 km časovce jsou minimální rozdíly časů u cyklistů ve věku 35–49 let (Ransdell, Vener, & Huberty, 2009) a s největší pravděpodobností tyto výsledky podporují fakt, proč nebyly zaznamenány změny výkonu v závislosti na věku v diplomové práci. Zároveň je nutné podotknout, že probandi podstoupili stejný tréninkový program. Podle výsledků Ransdella et al. (2009) a Tanaka a Sealse (2008), se zvětšuje rozdíl výkonů až mezi věkem 50–60 let.

Jak výsledky poukazují, dynamika výkonu bude více spojena s adaptabilitou (trénovatelností) sportovců, kde může být jeden z ukazatelů například reakce autonomního nervového systému (ANS), nebo také počáteční výkon sportovců. Výsledky korelace mezi úrovní výkonu a velikostí změn prokázaly střední závislost mezi proměnnými ( $r = -0,5261$ ;  $p < 0,05$ ) na úrovni AEP (Obrázek 13) a ( $r = -0,5371$ ;  $p < 0,05$ ) na úrovni ANP (Obrázek 14). Jinými slovy, s nižším výkonem se dají očekávat větší změny ve výkonu.

V provedeném výzkumu byl průměrný výkon cyklistů na ANP během prvního měření  $3,71 \pm 0,65$  W / kg, což dle tabulek Allena a Coggana (2010) odpovídá „dobře trénovaným“ cyklistům (3,47 – 4,18 W / kg). Několik cyklistů však spadalo i do kategorie „uspokojivé“, která je na úrovni 2,40 – 3,11 W / kg. Za netréňované jedince se považují výkonu ANP pod 2,40 W / kg (Allen & Coggan, 2010). Do této kategorie nikdo z probandů nezasahoval.

I přesto byl ve výsledcích zaznamenán tzv. „Law of Initial Value“, který hovoří o tom, že nižší vstupní hodnoty povedou k větší reakci než při počátečních vyšších hodnotách. Převáděno do fyziologických parametrů, člověk s nižším výkonem (menší trénovaností) bude dosahovat snáz zlepšení než jedinec, který je již dobře trénovaný (Bouchard & Rankinen, 2001). Po určité době systematického tréninku dochází u sportovců k tzv. plató efektu. Jedná se o stagnaci výkonnosti, kdy sportovec dosáhl svého vrcholu a další zlepšení je již velmi obtížné (Gelman, Berg, & Ilan (2022)). Například u skupiny amatérských cyklistů v diplomové práci může být jedním z rozhodujících faktorů samotný objem tréninků, protože nemají dostatek času (práce, rodina a jiné povinnosti).

Plató efektu je dosaženo u každého sportovce na jiné výkonnostní úrovni a z největší míry je na vině genetika. Jedná se o výše uvedenou trénovatelnost jedinců. Lortie et al. (1984) zkoumali vliv stejného vytrvalostního tréninku na

netrénovaných jedincích. Aerobní výkon se po 20týdenním tréninku zlepšil o 5–88 % a aerobní kapacita o 16–97 %. Výsledky tak prokazují velkou rozdílnost zlepšení. Autoři uvádí, že je to výsledkem jistých genotypů, které jsou senzitivnější na trénink než jiné genotypy. Stejných výsledků bylo dosaženo i při zkoumání rozdílu hodnot  $VO_{2max}$ . Genetika předurčuje vstupní úroveň hodnoty maximální spotřeby kyslíku, ale rovněž i trénovatelnost  $VO_{2max}$ , neboli o kolik se hodnoty můžou posunout (Bacon, Carter, Ogle, & Joyner, 2013; Botek et al., 2017b).

Jak ukázaly výsledky fyziologického měření (Tabulka 4), SF je v závislosti na laktát velmi stabilní. Mezi jednotlivými testy nedošlo k výrazným změnám ( $p > 0,05$ ) na úrovni AEP ani ANP. Skupina cyklistů již byla dobře trénovaná při prvním měření (ANP =  $3,71 \pm 0,65$  W/kg) a nebylo tak možné pozorovat snížení hodnot SF v důsledku začínajícího vytrvalostního tréninku. Allen a Coggan (2010) uvádí, že „dobře trénované“ cyklisti mají výkon ANP na úrovni 3,47 – 4,18 W/kg. Nelze tak předpokládat změny SF jako u skupiny netrénovaných jedinců (Saltin, Hartley, Kilbom, & Astrand, 1969). Kromě netrénovaných sportovců byly zaznamenány změny SF u profesionálních cyklistů v pozávodním období (Lucía et al., 2000), kdy došlo ke zvýšení SF oproti sezónnímu testování v důsledku snížení objemu i intenzit tréninků.

Stabilita SF v závislosti na laktát je velmi vysoká a deklarují to i další studie (Hurley et al., 1984; Saltin et al., 1969). Podle Lucía et al. (2000) a Foster, Fitzgerald a Spatz (1999) je u vytrvalostně trénovaných jedinců dostatečné provést jedno testování ročně pro stanovení hodnot SF na úrovni AEP i ANP a podle těchto hodnot stanovit tréninkový objem.

Naměřené hodnoty SF na úrovni ANP odpovídají  $90,4 \pm 4,1$  % z max SF (Tabulka 4). Tyto výsledky souhlasí s doporučeným rozmezím ostatních studií pro hodnoty ANP vzhledem k % max SF (Foster et al., 1999; Foster et al., 1995; Snyder, Woulfe, Welsh, & Foster, 1994).

Ve výsledcích diplomové práce nebyly zaznamenány signifikantní změny u tělesného složení v závislosti na podstoupeném tréninku ( $p > 0,05$ ). Sledované hodnoty byly procento tělesného tuku (P.B.F.) a měkká tukuprostá tkáň (S.L.M. – tukuprostá tkáň bez kostí). Trexler, Smith-Ryan a Norton (2014) upozorňují na adaptace těla, která nastává po prvotním úbytku tělesného tuku. Zjistili, že po určitém snížení hmotnosti, respektive snížením procenta tělesného tuku se tělo na tento stav adaptuje a další snížení je již velmi obtížné. Probandi trénovali již před

zahájením výzkumu a k prvotnímu úbytku tělesného tuku mohlo dojít dříve. Ani Carter, Rennie, Hamilton a Tarnopolsky (2001) nezaznamenali změny v objemu svalů v souvislosti s vytrvalostním tréninkem. Vytrvalostní trénink vedl pouze ke změnám oxidačního potenciálu u kosterních svalů.

Doporučení pro tréninkové plány u vytrvalostních sportovců je následující. Měl by převažovat vytrvalostní trénink nízké intenzity cca z 80 % veškerého času. Zbýlých 20 % by se sportovci měli pohybovat ve střední a vysoké intenzitě. Tréninky vysoké intenzity zařazovat 1–2x týdně tak, aby byl mezi nimi dostatek prostoru pro regeneraci. U mladších jedinců může být intenzivní trénink až 3x týdně. Pro velmi dobře trénované sportovce, kteří již stagnují se svou výkonností, se doporučuje využívat blokový trénink než tradiční periodizaci. Důraz by měl být na zařazení silového cvičení do tréninkového plánu alespoň v mimozávodním období. Také bylo prokázáno zlepšení při zařazení intenzivních tréninků do pozávodního a přípravného období, avšak v nízké míře, aby nedošlo k následnému přetrénování nebo vyhoření.

Mezi limitace diplomové práce patří neověřitelnost stoprocentního plnění tréninkového plánu předepsaných intenzit a objemu. Další limitací práce je kratší doba stupňů zátěže (3 min) než je doporučovaná. Tanner & Gorre (2013) uvádí, že většina laboratoří zátěžové diagnostiky provádí 3–5 min dlouhé stupně zátěže. Dále však dodává, že taková doba je dostatečná pro měření hodnot SF a  $VO_2$ , ale pro stanovení laktátového prahu doporučuje delší stupně zátěže (5–8 min), aby nedocházelo k nadhodnocení laktátového prahu. Tréninkový plán, který probandí podstoupili, není v plném souhlasu s výše uvedenou literaturou a doporučeními. V tréninkovém plánu je častěji zařazen trénink vysoké a střední intenzity a může tak docházet k přetrénování. V pozávodním a přípravném období není zařazen žádný trénink vysoké intenzity. Také není dán důraz na silový trénink, který může být v plánu nahrazen během a je zařazenou pouze do jednoho období.

Pro budoucí studie by bylo vhodné se zaměřit na uvedený pyramidový trénink a více prozkoumat následnou distribuci času pro tréninky vysoké a střední intenzity. Jaké rozvržení času v zónách je nejefektivnější pro většinu vytrvalostních sportovců. Dále by bylo zajímavé u podobných studií sledovat, jak jsou amatérští sportovci aktivní mimo tréninky (v práci, volný čas) a jaký to má vliv na výkonnost sportovce společně s tréninkem.

## Závěry

Hlavním cílem práce bylo zjistit vliv systematického tréninku na kondiční úroveň amatérských cyklistů po 4 a 8 měsících. Dílčím cílem práce bylo zjistit velikost změn fyziologických a antropometrických parametrů.

V diplomové práci byla stanovena jedna hypotéza, která předpokládala, že systematický cyklistický trénink trvající čtyři měsíce povede ke zvýšení výkonu na AEP i ANP. Během prvního a druhého měření došlo k významnému zlepšení na úrovni AEP i ANP a první i druhá hypotéza byla potvrzena.

Z fyziologických parametrů došlo pouze k významnému zlepšení výkonu na AEP i ANP v průběhu prvních dvou měření. Doba mezi prvními dvěma testy spadá do závodního období, kde v tréninkovém plánu bylo zařazeno více intenzit a rovněž byl trénink nejvíce specifický vzhledem k disciplíně. Ostatní fyziologičtí ukazatelé byli bez změn. U somatických ukazatelů nebyla zaznamenána žádná změna u procenta tělesného tuku ani měkké tukuprosté tkáně během závodního a přípravného období.

V diplomové práci nebyl prokázán vliv věku na dynamiku výkonu. Naopak byl vyzorován vztah mezi vstupní úrovní výkonu a dynamikou výkonu, kde při nižším vstupním výkonu byly zaznamenány větší změny.

Před samotným výzkumem se očekávala větší dynamika změn u vybraných ukazatelů. Došlo však k významným změnám pouze u parametru výkonu aerobního a anaerobního prahu a nebylo tak možné dále zkoumat dynamiku ostatních ukazatelů v závislosti na tréninkovém období.



## Souhrn

Hlavním cílem práce bylo zjistit vliv systematického tréninku na kondiční úroveň amatérských cyklistů po čtyřech a osmi měsících tréninku. Výzkum se zaměřil na 18 amatérských cyklistů, kteří byli 3x laboratorně testováni v období jednoho roku a zároveň podstoupili stejný systematický trénink. Laboratorní vyšetření se skládalo z měření antropometrických a fyziologických ukazatelů. Měření antropometrických ukazatelů zahrnovalo analýzu složení těla pomocí bioelektrické impedance. Sledovali se ukazatelé hmotnosti, měkké tukuprosté tkáně (S.L.M.) a procenta tělesného tuku (P.B.F.). Měření fyziologických ukazatelů probíhalo na bicyklovém ergometru, kde se sledovaly hodnoty SF, výkonu (W) a laktátu. Za pomoci softwaru Lactate Scout Assistant se stanovila laktátová křivka a zaznamenaly se hodnoty na 2 mmol/l (AEP) a 4 mmol/l (ANP), kde se na dané úrovni stanovila SF a výkon pro AEP a ANP. Podle aktuální hmotnosti byl vypočítán relativní výkon (W/kg).

U fyziologických ukazatelů bylo dosaženo signifikantního rozdílu ( $p < 0,01$ ) u ukazatele výkonu na AEP během prvního měření ( $2,94 \pm 0,57$  W / kg) a druhého měření ( $3,20 \pm 0,54$  W / kg). Rovněž byl zaznamenán signifikantní rozdíl ( $p < 0,01$ ) u ukazatele výkonu na ANP mezi prvním měřením ( $3,71 \pm 0,65$  W / kg) a druhým měřením ( $3,96 \pm 0,59$  W / kg). V průběhu druhého a třetího měření došlo k nevýraznému zhoršení ( $p > 0,05$ ) výkonu na AEP ( $3,12 \pm 0,47$  W / kg) i ANP ( $3,88 \pm 0,63$  W / kg). U ukazatelů  $SF_{max}$ ,  $SF_{AEP}$  a  $SF_{ANP}$  nebyl zaznamenán žádný signifikantní rozdíl ( $p > 0,05$ ) v průběhu všech měření.

Signifikantní rozdíl ( $p > 0,05$ ) nebyl zaznamenán u žádného z antropometrických ukazatelů. Hodnoty hmotnosti, měkké tukuprosté tkáně a procenta tělesného tuku zůstaly na původní úrovni během všech měření. Hmotnost při prvním měření byla  $76,1 \pm 11,9$  kg, při druhém  $75,5 \pm 12,0$  kg a třetím  $76,4 \pm 11,6$  kg. Měkká tukuprostá tkáň byla v prvním měření  $58,7 \pm 9,1$  kg, v druhém  $58,3 \pm 8,3$  kg a třetím  $58,5 \pm 8,6$  kg. V prvním měření bylo naměřeno procento tělesného tuku  $17,2 \pm 4,4$  %, v druhém  $16,3 \pm 4,6$  % a třetím  $17,3 \pm 4,4$  %.

V diplomové práci byla zjištěna střední hodnota závislosti mezi vstupní hodnotou výkonu a velikostí změn výkonu u AEP ( $r = -0,5261$ ;  $p < 0,05$ ) i ANP ( $r = -0,5371$ ;  $p < 0,05$ ). Závislost se nepotvrdila mezi věkem probandů a velikostí změn výkonu u AEP ( $r = -0,0611$ ;  $p > 0,05$ ) ani ANP ( $r = 0,0412$ ;  $p > 0,05$ ).

## Summary

The main aim of this thesis was to determine the effect of systematic training on the fitness level of amateur cyclists after four and eight months of training. The research was focused on 18 amateur cyclists who underwent 3 laboratory tests over a period of one year and at the same time underwent the same systematic training. The laboratory test included anthropometric measuring and physiological measuring. Measurement of anthropometric indicators included analysis of body composition using bioelectric impedance. In the reaserach were monitored folowing indicators: weight, soft lean mass (S.L.M.) and percentage of body fat (P.B.F.). The measurement of physiological indicators took place on a bicycle ergometer, where the values of HR, power output (W) and blood lactate were monitored. Using Lactate Scout Assistant software, the lactate curve was determined and values were recorded at 2 mmol / l (aerobic threshold) and 4 mmol / l (anaerobic threshold), where HR and power for aerobic and anaerobic threshold were determined at a certain level. Relative power output (W / kg) was calculated according to the actual weight.

For physiological indicators, a significant difference ( $p < 0.01$ ) was achieved in the performance indicator at the aerobic threshold level during the first measurement ( $2.94 \pm 0.57$  W / kg) and the second measurement ( $3.20 \pm 0.54$  W / kg). There was also a significant difference ( $p < 0.01$ ) in the performance indicator at the anaerobic threshold level between the first measurement ( $3.71 \pm 0.65$  W / kg) and the second measurement ( $3.96 \pm 0.59$  W / kg). During the second and third measurements, there was a slight decline ( $p > 0.05$ ) in performance at aerobic threshold level ( $3.12 \pm 0.47$  W / kg) and at anaerobic threshold level ( $3.88 \pm 0.63$  W / kg). For  $HR_{max}$ ,  $HR_{aerobic\ threshold}$  and  $HR_{anaerobic\ threshold}$ , no significant difference ( $p > 0.05$ ) was observed during all measurements.

No significant difference ( $p > 0.05$ ) was observed for any of the anthropometric indicators. Weight, soft lean mass and body fat percentages remained at the same level during all measurements. The weight at the first measurement was  $76.1 \pm 11.9$  kg, at the second  $75.5 \pm 12.0$  kg and at the third  $76.4 \pm 11.6$  kg. Soft lean mass was  $58.7 \pm 9.1$  kg in the first measurement,  $58.3 \pm 8.3$  kg

in the second and  $58.5 \pm 8.6$  kg in the third. In the first measurement, the percentage of body fat was measured to be  $17.2 \pm 4.4\%$ , in the second  $16.3 \pm 4.6\%$  and in the third  $17.3 \pm 4.4\%$ .

In the thesis, the mean value of the dependence was found between the basic level of power output and the size of power output changes at aerobic threshold level ( $r = -0.5261$ ;  $p < 0.05$ ) and anaerobic threshold level ( $r = -0.5371$ ;  $p < 0.05$ ). The dependence was not found between the age of probands and the size of power output changes at aerobic threshold level ( $r = -0.0611$ ;  $p > 0.05$ ) or at anaerobic threshold level ( $r = 0.0412$ ;  $p > 0.05$ ).

## Referenční seznam

- Allen, H. & Coggan, A. (2010). Training and racing with a power meter. 2nd ed. Boulder, Colo.: VeloPress.
- Belardinelli, R., Barstow, T. J., Porszasz, J., & Wasserman, K. (1995). Changes in skeletal muscle oxygenation during incremental exercise measured with near infrared spectroscopy. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 70(6), 487-492. doi: 10.1007/BF00634377
- Beneke, R. (1995). Anaerobic threshold, individual anaerobic threshold, and maximal lactate steady state in rowing. *Medicine and science in sports and exercise*, 27(6), 863-867. Retrieved from: <https://europepmc.org/article/med/7658947>
- Beneke, R. (2003). Methodological aspects of maximal lactate steady state—implications for performance testing. *European journal of applied physiology*, 89(1), 95-99. doi: 10.1007/s00421-002-0783-1
- Beneke, R., Leithäuser, R. M., & Hütler, M. (2001). Dependence of the maximal lactate steady state on the motor pattern of exercise. *British journal of sports medicine*, 35(3), 192-196. doi: 10.1136/bjism.35.3.192
- Billat, V. L., Demarle, A., Slawinski, J., Paiva, M., & Koralsztein, J. P. (2001). Physical and training characteristics of top-class marathon runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 33(12), 2089-2097. doi: 10.1097/00005768-200112000-00018
- Billat, V. L., Flechet, B., Petit, B., Muriaux, G., & Koralsztein, J. P. (1999). Interval training at VO<sub>2</sub>max: effects on aerobic performance and overtraining markers. *Medicine and science in sports and exercise*, 31(1), 156-163. doi: 10.1097/00005768-199901000-00024
- Bomba, T. O. (1999). *Periodization. Theory and methodology of training*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine & science in sports & exercise*.
- Borges, N. R., Reaburn, P. R., Doering, T. M., Argus, C. K., & Driller, M. W. (2018). Age-related changes in physical and perceptual markers of recovery following high-intensity interval cycle exercise. *Experimental Aging Research*, 44(4), 338-349. doi: 10.1080/0361073X.2018.1477361

- Botek, M., Krejčí, J., & McKune, A. J. (2017a). Variabilita srdeční frekvence v tréninkovém procesu: Historie, současnost a perspektiva. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Botek, M., Neuls, F., Klimešová, I., & Vyhnánek, J. (2017b). Fyziologie pro tělovýchovné obory (vybrané kapitoly, část I.). Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Bouchard, C., & Rankinen, T. (2001). Individual differences in response to regular physical activity. *Medicine and science in sports and exercise*, 33(6; SUPP), S446-S451. doi:
- Carter, J.E.L. (1982). Physical structure of Olympic athletes (Part 1). The Montreal Olympic Games Anthropological Project. *Medicine and Sport* 16. Basel: S. Karger, Basel, 1982 In: Foley, J. P., Bird, S. R., & White, J. A. (1989). Anthropometric comparison of cyclists from different events. *British journal of sports medicine*, 23(1), 30-33
- Coen, B., Urhausen, A., & Kindermann, W. (2001). Individual anaerobic threshold: methodological aspects of its assessment in running. *International journal of sports medicine*, 22(01), 8-16. doi: 10.1055/s-2001-11332
- Crum, E. M., O'connor, W. J., Van Loo, L., Valckx, M., & Stannard, S. R. (2017). Validity and reliability of the Moxy oxygen monitor during incremental cycling exercise. *European journal of sport science*, 17(8), 1037-1043. doi: 10.1080/17461391.2017.1330899
- Daniels, J. T. (1985) A physiologist's view of running economy. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(6), 970-977. Retrieved from: <https://europepmc.org/article/med/3894870>
- Dassonville, J., Beillot, J., Lessard, Y., Jan, J., Andre, A. M., Le Pourcelet, C., ... Carre, F. (1998) Blood lactate concentrations during exercise: effect of sampling site and exercise mode. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. Mar;38(1):39-46. Retrieved from: <https://europepmc.org/article/med/9638031>
- De Garay, A. L., Levine, L., Carter, J. L., & Montoye, H. J. (1975). *Genetic and anthropological studies of Olympic athletes* (Vol. 7, No. 2, p. vii). LWW. In: Foley, J. P., Bird, S. R., & White, J. A. (1989). Anthropometric comparison of cyclists from different events. *British journal of sports medicine*, 23(1), 30-33

- Denis, C., Dormois, D., & Lacour, J. R. (1984). Endurance training, VO<sub>2</sub> max, and OBLA: a longitudinal study of two different age groups. *International journal of sports medicine*, 5(04), 167-173. doi: 10.1055/s-2008-1025899
- Dovalil, J. Choutka, M. Svoboda, B., Hošek, V., Perič, T., Potměšil, J., ... Bunc, V. (2012). *Výkon a trénink ve sportu* (4th ed.). Praha: Olympia, s.r.o.
- El-Sayed, M.S., George, K.P., & Dyson, K. (1993). The influence of blood sampling site on lactate concentration during submaximal exercise at 4 mmol · l<sup>-1</sup> lactate level. *Europ. J. Appl. Physiol.* 67, 518–522. doi: 10.1007/BF00241648
- Fairchild, T. J., Fletcher, S., Steele, P., Goodman, C., Dawson, B., & Fournier, P. A. (2002). Rapid carbohydrate loading after a short bout of near maximal-intensity exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(6), 980-986. doi: 10.1097/00005768-200206000-00012.
- Faude, O., Kindermann, W., & Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts. *Sports medicine*, 39(6), 469-490. doi: 10.2165/00007256-200939060-00003
- Feliu, J., Ventura, J. L., Segura, R., Rodas, G., Riera, J., Estruch, A., ... & Capdevila, L. (1999). samples from ear lobe and the finger tip. *J. Physiol. Biochem*, 55(4), 333-340. Retrieved from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10731085/>
- Foley, J. P., Bird, S. R., & White, J. A. (1989). Anthropometric comparison of cyclists from different events. *British journal of sports medicine*, 23(1), 30-33. doi: 10.1136/bjism.23.1.30
- Foster, C., Crowe, M. P., Holum, D., Sandvig, S., Schragger, M., Snyder, A. C., & Zajakowski, S. (1995). The bloodless lactate profile. *Medicine and science in sports and exercise*, 27(6), 927-933. Retrieved from: [https://journals.lww.com/acsm-msse/Abstract/1995/06000/The\\_bloodless\\_lactate\\_profile.20.aspx](https://journals.lww.com/acsm-msse/Abstract/1995/06000/The_bloodless_lactate_profile.20.aspx)
- Foster, C., Fitzgerald, D. J., & Spatz, P. (1999). Stability of the blood lactate-heart rate relationship in competitive athletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 31(4), 578-582. doi: 10.1097/00005768-199904000-00014
- Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., ... Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(1), 109-115. Retrieved

from: [https://journals.lww.com/nsca-jscr/abstract/2001/02000/a\\_new\\_approach\\_to\\_monitoring\\_exercise\\_training.19.aspx](https://journals.lww.com/nsca-jscr/abstract/2001/02000/a_new_approach_to_monitoring_exercise_training.19.aspx)

- Foxdal, P., Sjödin, B., Rudstam, H., Ostman, C., Ostman, B., & Hedenstierna, G. (1990). Lactate concentration differences in plasma, whole blood, capillary finger blood and erythrocytes during submaximal graded exercise in humans. *Eur J Appl Physiol* **61**, 218–222. doi: 10.1007/BF00357603
- Foxdal, P., Sjödin, B., Sjödin, A., & Östman, B. (1994). The validity and accuracy of blood lactate measurements for prediction of maximal endurance running capacity. *International journal of sports medicine*, *15*(02), 89-95. doi: 10.1055/s-2007-1021026
- Friel, J. (2015). *Tréninková bible pro cyklisty*. Praha: Mladá fronta a.s.
- Galy, O., Manetta, J., Coste, O., Maimoun, L., Chamari, K., & Hue, O. (2003). Maximal oxygen uptake and power of lower limbs during a competitive season in triathletes. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, *13*(3), 185-193. doi: 10.1034/j.1600-0838.2003.10170.x
- Gelman, R., Berg, M., & Ilan, Y. (2022). A Subject-Tailored Variability-Based Platform for Overcoming the Plateau Effect in Sports Training: A Narrative Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(3), 1722. doi: 10.3390/ijerph19031722
- Grosser, M., Starischka, S., & Zimmermann, E. (2008). *Das neue Konditionstraining*. München: BLV
- Halson, S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Medicine*, *44*(Suppl. 2), 139-147. doi: 10.1007/s40279-014-0253-z
- Heck, H., Mader, A., Hess, G., Mücke, S., Müller, R., & Hollmann, W. (1985). Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *International journal of sports medicine*, *6*(03), 117-130. doi: 10.1055/s-2008-1025824
- Hoogeveen, A. R. (2000). The effect of endurance training on the ventilatory response to exercise in elite cyclists. *European journal of applied physiology*, *82*(1), 45-51. doi: 10.1007/s004210050650
- Hoogeveen, A. R., & Zonderland, M. L. (1996). Relationships between testosterone, cortisol and performance in professional cyclists. *International journal of sports medicine*, *17*(06), 423-428. doi: 10.1055/s-2007-972872

- Hurley, B. F., Hagberg, J. M., Allen, W. K., Seals, D. R., Young, J. C., Cuddihee, R. W., & Holloszy, J. O. (1984). Effect of training on blood lactate levels during submaximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, *56*(5), 1260-1264. doi: 10.1152/jappl.1984.56.5.1260
- Hydren, J. R., & Cohen, B. S. (2015). Current scientific evidence for a polarized cardiovascular endurance training model. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *29*(12), 3523-3530. doi: 10.1519/JSC.0000000000001197
- Ingham, S. A., Carter, H., Whyte, G. P., & Doust, J. H. (2008). Physiological and performance effects of low – versus mixed-intensity rowing training. *Medicine and science in sports and exercise*, *40*(3), 579–584. doi: 10.1249/MSS.0b013e31815ecc6a
- Jones, A. M., & Carter, H. (2000). The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports medicine*, *29*(6), 373-386. doi: 10.2165/00007256-200029060-00001
- Jones, A. M., & Doust, J. H. (1998). The validity of the lactate minimum test for determination of the maximal lactate steady state. *Medicine and science in sports and exercise*, *30*(8), 1304–1313. doi: 10.1097/00005768-199808000-00020
- Kass, L., & Carpenter, R. (2009). The effect of sampling time on blood lactate concentration ([Bla]) in trained rowers. *International journal of sports physiology and performance*, *4*(2), 218-228. doi: 10.1123/ijsp.4.2.218
- Katch, V., Weltman, A., Sady, S., & Freedson, P. (1978). Validity of the relative percent concept for equating training intensity. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, *39*(4), 219-227. doi: 10.1007/BF00421445
- Konopka, P. (2007). *Cyklistika: rádce pro vybavení, techniku, trénink, výživu, závody a medicínu*. Jablonec nad Nisou: Jana Hájková.
- Lambert, M. I., Mbambo, Z. H., & Gibson, A. S. C. (1998). Heart rate during training and competition for longdistance running. *Journal of Sports Science*, *16*(Suppl. 1), 85-90. doi: 10.1080/026404198366713
- Lambert, M. I., Viljoen, W., Bosch, A., Pearce, A. J., & Sayers, M. (2008). General principles of training. In M. P. Swellnus (Ed.), *Olympic textbook of*



- medicine in sport* (pp. 1-48). Chichester: Blackwell. Retrieved from: <http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/69479/1/52.pdf.pdf#page=13>
- Laursen, P. B., & Jenkins, D. G. (2002). The Scientific basis for high intensity interval training: Optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Medicine*, 32(1), 53-73. doi: 10.2165/00007256-200232010-00003
- Lehnert, M., Novosad, J. & Neuls, F. (2001). *Základy sportovního tréninku*. Olomouc: Hanex
- Lehnert, M., Novosad, J., Neuls, F., Langer, F., & Botek, M. (2010). *Trénink kondice ve sportu*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Lortie, G., Simoneau, J. A., Hamel, P., Boulay, M. R., Landry, F., & Bouchard, C. (1984). Responses of maximal aerobic power and capacity to aerobic training. *International journal of sports medicine*, 5(05), 232-236. doi: 10.1055/s-2008-1025911
- Louis, J., Hausswirth, C., Easthope, C., & Brisswalter, J. (2012). Strength training improves cycling efficiency in master endurance athletes. *European journal of applied physiology*, 112(2), 631-640. doi: 10.1007/s00421-011-2013-1
- Lucia, A., Hoyos, J., Carvajal, A., & Chicharro, J. L. (1999). Heart rate response to professional road cycling: the Tour de France. *International journal of sports medicine*, 20(03), 167-172. doi: 10.1055/s-2007-971112
- Lucía, A., Hoyos, J., Pérez Ruiz, M., & López Chicharro, J. (2000). Heart rate and performance parameters in elite cyclists: A longitudinal study. doi: 10.1097/00005768-200010000-00018
- Lucía, A., Chicharro, J. L., Pérez, M., Serratos, L., Bandrés, F., & Legido, J. C. (1996). Reproductive function in male endurance athletes: sperm analysis and hormonal profile. *Journal of Applied Physiology*. doi: 10.1152/jappl.1996.81.6.2627
- Lucia, A., Joyos, H., & Chicharro, J. L. (2000). Physiological response to professional road cycling: climbers vs. time trialists. *International journal of sports medicine*, 21(07), 505-512. doi: 10.1055/s-2000-7420
- Neal, C. M., Hunter, A. M., Brennan, L., O'Sullivan, A., Hamilton, D. L., DeVito, G., & Galloway, S. D. (2013). Six weeks of a polarized training-intensity distribution leads to greater physiological and performance adaptations than

- a threshold model in trained cyclists. *Journal of applied physiology*. doi: 10.1152/jappphysiol.00652.2012
- Macdougall, J.D., Wenger, H.A., & Green, H.J. (1993). Physiological testing of the high-performance athlete. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25, 305. doi:10.1249/00005768-199302000-00027
- Maud, P. J., & Foster, C. (2006). *Physiological assessment of human fitness*. Human Kinetics. Retrieved from: [https://books.google.es/books?hl=cs&lr=&id=rtTokQPt9rIC&oi=fnd&pg=PA1&ots=j4oM\\_VeAXs&sig=af1luocZB8iEul-w-b\\_MNyG9W1E#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=cs&lr=&id=rtTokQPt9rIC&oi=fnd&pg=PA1&ots=j4oM_VeAXs&sig=af1luocZB8iEul-w-b_MNyG9W1E#v=onepage&q&f=false)
- Madsen, O., & Lohberg, M. (1987). The lowdown on lactates. *Swimming technique* May – July Volume 4 Issue 1:21-28. In: Tanner, K. R., & Gore, J. C. (2013) *Physiological Tests for Elite Athletes (2nd Ed)*. Australian Institute of Sport: Human Kinetics.
- Marcinik, E. J., Potts, J., Schlabach, G., Will, S., Dawson, P., & Hurley, B. F. (1991). Effects of strength training on lactate threshold and endurance performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 23(6), 739-743. Retrieved from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1886483/>
- Meeusen R., Duclos, M., Gleeson, M., Rietjens, G. J., Steinacker, J. M., & Urhausen, A. (2006). Prevention, diagnosis and treatment of the overtraining syndrome. *European Journal of Science*, 6(1), 1-14. doi: 10.1080/17461390600617717
- Melichna, J. (1990). *Pohyb a morfologická adaptabilita kosterního svalů*. Praha: Karolinum.
- Mujika, I. (2012). *Endurance training: Science and practice*. Vitoria-Gasteiz: Author.
- Muñoz, I., Cejuela, R., Seiler, S., Larumbe, E., & Esteve-Lanao, J. (2014a). Training-intensity distribution during an ironman season: relationship with competition performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(2), 332-339. doi: 10.1123/ijsp.2012-0352
- Muñoz, I., Seiler, S., Bautista, J., España, J., Larumbe, E., & Esteve-Lanao, J. (2014b). Does polarized training improve performance in recreational runners?. *International journal of sports physiology and performance*, 9(2), 265-272. doi: 10.1123/ijsp.2012-0350

- Neumann, G., Pfützer, A., & Berbach, A. (1998). *Optimiertes Ausdauertraining*. Aachen: Meyer und Meyer.
- Neumann, G., Pfützer, A., & Hottenrot, K. (2005). *Trénink pod kontrolou. Metody, kontrola a vyhodnocení vytrvalostního tréninku* (A. tvrzník, Trans). Praha: Grada.
- Novosad, J., Frömel, K., & Lehnert, M. (1998). *Základy sportovního tréninku*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Padilla, S., Mujika, I., Cuesta, G., & Goiriena, J. J. (1999). Level ground and uphill cycling ability in professional road cycling. *Medicine and science in sports and exercise*, 31(6), 878-885. doi: 10.1097/00005768-199906000-00017
- Plews, D. J., & Laursen, P. B. (2017). Training Intensity Distribution Over a Four-Year Cycle in Olympic Champion Rowers: Different Roads Lead to Rio. *International journal of sports physiology and performance*, 1–24. Advance online publication. doi: 10.1123/ijsp.2017-0343
- Pyne, D. B. (1989). The use and interpretation of blood lactate testing in swimming. *Excel* 5:23-26. In: Tanner, K. R., & Gore, J. C. (2013) *Physiological Tests for Elite Athletes (2nd Ed)*. Australian Institute of Sport: Human Kinetics
- Ransdell, L. B., Vener, J., & Huberty, J. (2009). Masters athletes: an analysis of running, swimming and cycling performance by age and gender. *Journal of Exercise Science & Fitness*, 7(2), S61-S73. doi: 10.1016/S1728-869X(09)60024-1
- Rønnestad, B. R., Askestad, A., & Hansen, J. (2014). HIT maintains performance during the transition period and improves next season performance in well-trained cyclists. *European journal of applied physiology*, 114(9), 1831-1839. doi: 10.1007/s00421-014-2919-5
- Rønnestad, B. R., Ellefsen, S., Nygaard, H., Zacharoff, E. E., Vikmoen, O., Hansen, J., & Hallén, J. (2014). Effects of 12 weeks of block periodization on performance and performance indices in well-trained cyclists. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 24(2), 327-335. doi: 10.1111/sms.12016
- Rønnestad, B. R., & Mujika, I. (2014). Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 24(4), 603-612. doi: 10.1111/sms.12104

- Saltin, B., Hartley, L. H., Kilbom, A., & Astrand, I. (1969). Physical training in sedentary middle-aged and older men. II. Oxygen uptake, heart rate, and blood lactate concentration at submaximal and maximal exercise. *Scandinavian journal of clinical and laboratory investigation*, 24(4), 323–334. doi: 10.3109/00365516909080169
- Seiler, S. (2010). What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes. *Int J Sports Physiol Perform*, 5(3), 276-291. doi: 10.1123/ijsp.5.3.276
- Seiler, S., Haugen, O., & Kuffel, E. (2007). Autonomic recovery after exercise in trained athletes: intensity and duration effects. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(8), 1366-1373. doi: 10.1249/mss.0b013e318060f17d
- Seiler, K. S. & Kjerland, G. Ø. (2006) Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: Is there evidence for an “optimal” distribution? *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 16(1), 49–56. doi: 10.1111/j.1600-0838.2004.00418.x
- Selles-Perez, S., Fernández-Sáez, J., & Cejuela, R. (2019). Polarized and pyramidal training intensity distribution: Relationship with a half-ironman distance triathlon competition. *Journal of Sports Science & Medicine*, 18(4), 708. Retrieved from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6873141/>
- Sjödin, B., & Jacobs, I. (1981). Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *International journal of sports medicine*, 2(01), 23-26. doi: 10.1055/s-2008-1034579
- Sjödin, B., Jacobs, I., & Svedenhag, J. (1982). Changes in onset of blood lactate accumulation (OBLA) and muscle enzymes after training at OBLA. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 49(1), 45-57. doi: .1007/BF00428962
- Snyder, A. C., Woulfe, T., Welsh, R., & Foster, C. (1994). A simplified approach to estimating the maximal lactate steady state. *International journal of sports medicine*, 15(1), 27–31. doi: 10.1055/s-2007-1021015
- Smekal, G., Scharl, A., von Duvillard, S. P., Pokan, R., Baca, A., Baron, R., ... & Bachl, N. (2002). Accuracy of neuro-fuzzy logic and regression calculations in determining maximal lactate steady-state power output from incremental tests in humans. *European journal of applied physiology*, 88(3), 264-274. doi: 10.1007/s00421-002-0702-5

- Smith, D. J. (2003). A framework for understanding the training proces leading to elite performance. *Sports Medicine*, 33(15), 1103-1126. doi: 10.2165/00007256-200333150-00003
- Stegmann, H., Kindermann, W., & Schnabel, A. (1981). Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *International journal of sports medicine*, 2(03), 160-165. doi: 10.1055/s-2008-1034604
- Stejskal, P. (2002). Trénink v oblasti přetížení a možné důsledky. Možnosti časné diagnostiky a prevence přetrénování a optimalizace tréninku. In D. Tomajko (Ed.), *Sborník referátů ze 4. mezinárodního vědeckého semináře Efekty pohybového zatížení v edukačním prostředí tělesné výchovy a sportu* (pp. 333-359). Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci
- Stejskal, P. (2007). Konec tradičního pojetí energetických zón? In *Efekty pohybového zatížení v edukačním prostředí tělesné výchovy a sportu*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Stockhausen, W., Grathwohl, D., Bürklin, C., Spranz, P., & Keul, J. (1997). Stage duration and increase of work load in incremental testing on a cycle ergometer. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 76(4), 295-301. doi: 10.1007/s004210050251
- Sunde, A., Støren, Ø., Bjerkaas, M., Larsen, M. H., Hoff, J., & Helgerud, J. (2010). Maximal strength training improves cycling economy in competitive cyclists. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(8), 2157-2165. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181aeb16a
- Swart, J., & Jennings, C. (2004). Use of blood lactate concentration as a marker of training status. *South African Journal of Sports Medicine*, 16(3), 1-5. Retrieved from: <https://journals.co.za/doi/abs/10.10520/EJC66927>
- Sweet, T. W., Foster, C., McGuigan, M. R., & Brice, G. (2004). Quantitation of resistance training using the session rating of perceived exertion method. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(4), 796-802. doi: 10.1519/14153.1
- Sylta, Ø., Tønnessen, E., Hammarström, D., Danielsen, J., Skovereng, K., Ravn, T., ... & Seiler, S. (2016). The effect of different high-intensity periodization models on endurance adaptations. doi: 10.1249/MSS.0000000000001007

- Tanaka, H., & Seals, D. R. (2008). Endurance exercise performance in Masters athletes: age-associated changes and underlying physiological mechanisms. *The Journal of physiology*, 586(1), 55-63. doi: 10.1113/jphysiol.2007.141879
- Tanner, K. R., & Gore, J. C. (2013) *Physiological Tests for Elite Athletes (2nd Ed)*. Australian Institute of Sport: Human Kinetics.
- Trexler, E. T., Smith-Ryan, A. E., & Norton, L. E. (2014). Metabolic adaptation to weight loss: implications for the athlete. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 11(1), 1-7. doi: 10.1186/1550-2783-11-7
- van der Zwaard, S., Jaspers, R. T., Blokland, I. J., Achterberg, C., Visser, J. M., den Uil, A. R., ... & de Ruiter, C. J. (2016). Oxygenation threshold derived from near-infrared spectroscopy: reliability and its relationship with the first ventilatory threshold. *PloS one*, 11(9), e0162914. doi: 10.1371/journal.pone.0162914
- Viru, A. (1995). *Adaptation in sports training*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Welsman, A. (1992). Methodological problems of lactate testing. *Coaching Focus*: 21:14-15. In: Tanner, K. R., & Gore, J. C. (2013) *Physiological Tests for Elite Athletes (2nd Ed)*. Australian Institute of Sport: Human Kinetics.
- Weltman, A. (1995). The Blood Lactate Response to Exercise. *Champaign IL: Human Kinetics*. In: Tanner, K. R., & Gore, J. C. (2013) *Physiological Tests for Elite Athletes (2nd Ed)*. Australian Institute of Sport: Human Kinetics.
- White, J.A., Quinn, G., Al-Dawalibi, M., & Mulhall, J. (1982a). Seasonal changes in cyclists' performance – part 1. The British Olympic road race squad Br I Sports Med, 16(1), 4-12 In: Foley, J. P., Bird, S. R., & White, J. A. (1989). Anthropometric comparison of cyclists from different events. *British journal of sports medicine*, 23(1), 30-33
- White, J.A., Quinn, G., Al-Dawalibi, M., & Mulhall, J. (1982b) Seasonal changes in cyclists' performance – part 2. The British Olympic track squad Br J Sports Med, 16(1), 13-21. In: Foley, J. P., Bird, S. R., & White, J. A. (1989). Anthropometric comparison of cyclists from different events. *British journal of sports medicine*, 23(1), 30-33
- Yoshida, T., Takeuchi, N., & Suda, Y. (1982) Arterial versus venous blood lactate increase in the forearm during incremental bicycle exercise. *Europ. J. Appl. Physiol.* **50**, 87–93. doi: 10.1007/BF00952247

# Přílohy

## Příloha 1 Tréninkový plán

### Přípravné období (prosinec - únor)

Den	Objem	RPE (1-10)	Motiv tréninku
Pondělí	Volno	Volno	Volno
Úterý	1-1,5h	4-6 RPE	Běh (fártlék)/kondiční posilování (rozvoj silové vytrvalosti, všeobecný trénink)
Středa	1-1,5h	1-3 RPE	Silnice/MTB (vytrvalostní/regenerační trénink)
Čtvrtek	Volno	Volno	Volno
Pátek	1-1,5h	4-6 RPE	Běh (fártlék/výběhy do kopce)/kondiční posilování/silový trénink (rozvoj síly, silové vytrvalosti, kruhový trénink)
Sobota	3-5h	2-4 RPE	Silnice/MTB/horská turistika/běžky (vytrvalostní trénink)
Neděle	3-5h	2-4 RPE	Silnice/MTB/horská turistika/běžky (vytrvalostní trénink)

### Předzávodní období (březen - květen)

Den	Objem	RPE (1-10)	Motiv tréninku
Pondělí	Volno	Volno	Volno
Úterý	1-1,5h	2-4 RPE	Silnice/MTB/trenažer (vytrvalostní trénink)
Středa	1-1,5h	2-5 RPE	Silnice/MTB/trenažer (vytrvalostní trénink, rozvoj silové vytrvalosti)
Čtvrtek	Volno	Volno	Volno
Pátek	1-1,5h	5-8 RPE	Běh (výběhy do kopce)/silový trénink/Silnice/MTB (rozvoj síly, silové vytrvalosti, kruhový trénink)
Sobota	3-5h	2-5 RPE	Silnice/MTB/běžky (vytrvalostní trénink, rozvoj silové vytrvalosti)
Neděle	3-5h	2-5 RPE	Silnice/MTB/běžky (vytrvalostní trénink, rozvoj silové vytrvalosti)

### Závodní období - bez závodu o víkend (květen - říjen)

Den	Objem	RPE (1-10)	Motiv tréninku
Pondělí	Volno	Volno	Volno
Úterý	1-1,5h	3-5 RPE	Silnice/MTB/trenažer (rozvoj silové vytrvalosti, intervalový trénink do úrovně ANP)
Středa	1-1,5h	5-9 RPE	Silnice/MTB/trenažer (intervalový trénink na úrovni ANP a nad)
Čtvrtek	Volno	Volno	Volno
Pátek	1-1,5h	5-8 RPE	Silnice/MTB/trenažer (rozvoj silové vytrvalosti na úrovni ANP)
Sobota	4-5h	4-7 RPE	Silnice/MTB (rozvoj vytrvalosti a silové vytrvalosti, kopce na úrovni ANP)
Neděle	3-5h	2-4 RPE	Silnice/MTB (rozvoj vytrvalosti)

↓↓↓

### Závodní období - \*závody o víkend (květen - říjen)

Den	Objem	RPE (1-10)	Motiv tréninku
Pondělí	Volno	Volno	Volno
Úterý	1-1,5h	5-9 RPE	Silnice/MTB/trenažer (intervalový trénink na úrovni ANP a nad)
Středa	1-1,5h	2-4 RPE	Silnice/MTB/trenažer (rozvoj vytrvalosti)
Čtvrtek	Volno	Volno	Volno
Pátek	1-1,5h	2-5 RPE	Silnice/MTB/trenažer (rozjetí na závody - vytrvalost + 1-3 krátké intervaly do úrovně ANP)
Sobota	2-5h	8-10 RPE	Silnice/MTB Závod
Neděle	3-5h	2-4 RPE	Silnice/MTB (rozvoj vytrvalosti)

### Pozávodní období (listopad)

Den	Objem	RPE (1-10)	Motiv tréninku
Pondělí	Volno	Volno	Volno
Úterý	1-1,5h	1-3 RPE	Libovolná aktivita nízké intenzity nebo volno
Středa	Volno	Volno	Volno
Čtvrtek	1-1,5h	1-3 RPE	Libovolná aktivita nízké intenzity nebo volno
Pátek	Volno	Volno	Volno
Sobota	1-2h	1-3 RPE	Libovolná aktivita nízké intenzity nebo volno
Neděle	1-2h	1-3 RPE	Libovolná aktivita nízké intenzity nebo volno

Poznámka. RPE (1-10) = Hodnocení vnímané námahy na stupnici od 1 do 10.