

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

PEDAGOGICKÁ FAKULTA

KATEDRA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2022

Jakub KADLEC



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta

Katedra tělesné výchovy a sportu

Diplomová práce

**Ověření využití variability srdeční
frekvence při řízení tréninkového procesu
u adolescentních závodníků na horských
kolech**

Vypracoval: Bc. Jakub Kadlec

Vedoucí práce: PhDr. Petr Bahenský Ph.D.

České Budějovice, 2022



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

University of South Bohemia in České Budějovice

Faculty of Education

Department of Sports Studies

Graduation thesis

The Verification of the Use of the Heart Rate Variability in the Management of Training Process in Adolescent Mountain Bikers

Author: Bc. Jakub Kadlec

Supervisor: PhDr. Petr Bahenský Ph.D.

České Budějovice, 2022

Bibliografická identifikace

Název diplomové práce: Ověření využití variability srdeční frekvence při řízení tréninkového procesu u adolescentních závodníků na horských kolech

Jméno a příjmení autora: Bc. Jakub Kadlec

Studijní obor: Učitelství tělesné výchovy pro střední školy (jednooborové)

Pracoviště: Katedra tělesné výchovy a sportu PF JU

Vedoucí diplomové práce: PhDr. Petr Bahenský Ph.D.

Rok obhajoby diplomové práce: 2022

Abstrakt:

Závody horských kol jsou jedním z vytrvalostních sportů. Při tréninkovém procesu závodníku disciplíny cross-country (XCO) dochází ke komplexnímu zatížení organismu. Alfou a omegou tréninkového procesu je správné načasování zatížení a odpočinku. Variabilita srdeční frekvence (HRV) nám může pomoci hodnotit stav organismu a jeho připravenost na trénink. V rámci praktické části práce byl uskutečněn experiment, kterého se zúčastnilo 8 adolescentů zaměřených na závody horských kol (XCO). Experiment proběhl během tréninkového soustředění a celková doba intervence byla čtyři týdny. Probandi byli rozděleni na dvě skupiny. První, experimentální skupina (ES) (n = 4) podstoupila tréninkové soustředění řízené pomocí HRV. Druhá, kontrolní skupina (KS) (n = 4) absolvovala klasický periodizovaný trénink. Pro hodnocení výkonnosti před a po experimentu byl zvolen test $VO_2\max$ a 20minutová časovka na ergometru (20TT). Ve výsledcích studie je prezentováno zlepšení při 20TT v hodnotách průměrného výkonu experimentální skupiny z 303,5 W na 317,5 W a v relativních hodnotách (PRE 4,58 W.kg⁻¹; POST 4,68 W.kg⁻¹), kdežto u skupiny komparační nebyli naměřeny žádné signifikantní změny průměrného výkonu (PRE 308 W; POST 305,7 W) a v relativních hodnotách (PRE 4,20 W.kg⁻¹; POST 4,20 W.kg⁻¹). Ze statistického hlediska nedošlo k žádnému vlivu HRV tréninku na ukazatele výkonnosti ($p < 0,05$). V rámci našeho experimentu se nepodařilo potvrdit využitelnost HRV tréninku u cyklistů.

Klíčová slova: Variabilita srdeční frekvence, cyklistika, horská kola, vytrvalostní trénink, sprioergometrie, adolescenti, únava, zotavení, autonomní nervový systém, superkompenzace.

Bibliographical identification

Title of the graduation thesis: The Verification of the Use of the Heart Rate Variability in the Management of Training Process in Adolescent Mountain Bikers

Author's first name and surname: Bc. Jakub Kadlec

Field of study: Physical Education

Department: Department of Sports studies

Supervisor: PhDr. Petr Bahenský Ph.D.

The year of presentation: 2022

Abstract:

Cross-country Olympic (XCO) is one of the endurance sports. The training process of mountain bikers is very demanding because the rider must be complex in endurance and anaerobic skills. Alfa and omega of the training process is a periodization of training load and recovery. Heart rate variability (HRV) can help us assess body's condition and readiness for training. In the practical part of the work, an experiment was carried out, which was attended by eight adolescent mountain bikers. The intervention took place during the training camp. The total intervention time was four weeks. The participants were randomized into two groups. The first experimental group (ES) (n = 4) was a graduated training camp with a heart rate variability guided training load. The second group was a control group that used a classical predefined training plan. For evaluation of HRV training efficiency a $VO_2\text{max}$ test and 20 minutes time trial (20TT) on an ergometer were used. The results showed an improvement in mean power output during 20TT in the experimental group (PRE 303.5 W; POST 317.5 W) and relative values (PRE 4.58 $\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$; POST 4.68 $\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$). On the other hand, there were no changes in average power (PRE 308 W; POST 305.7 W) and relative values (PRE 4.20 $\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$; POST 4.20 $\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$). From a statistical point of view, there was no effect of HRV training on performance indicators ($p < 0.05$). Our experiment failed to confirm the usefulness of HRV training for cyclists.

Keywords: Heart rate variability, cycling, cross-country Olympic, endurance training, spiroergometry, adolescents, fatigue, recovery, autonomic nervous system, supercompensation.

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě archivovaných fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Podpis studenta

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce panu PhDr. Petru Bahenskému, Ph.D. za mnoho cenných rad, připomínek, zapůjčený materiál a možnost využití laboratoře KTVS. Mé poděkování patří také cyklistům a jejich trenérům, kteří byli ochotni podstoupit celou intervenci experimentu.

Obsah

1 Úvod	8
2 Metodologie	9
2.1 Cíl, úkoly a hypotézy	9
2.2 Použité metody výzkumu	10
2.3 Rešerše literatury	12
3 Přehled poznatků	16
3.1 Kineziologický rozbor jízdy na horském kole	16
3.2 Závodní horských kol Cross-country Olympic (XCO)	19
3.3 Tréninkové metody využívané v cyklistice	20
3.4 Faktory ovlivňující tréninkový proces	21
3.5 Periodizace tréninkového procesu v cyklistice	26
3.6 Charakteristika variability srdeční frekvence a její využití ve sportu	28
3.7 Funkční zátěžová diagnostika využívaná v cyklistice	36
4 Projekt experimentu, jeho organizace a průběh	39
4.1 Organizační a přístrojové zabezpečení experimentu	39
4.2 Charakteristika souboru	46
4.3 Sběr dat	46
5 Výsledky	47
5.1 Souhrnné výsledky laboratorních šetření	47
5.2 Objem tréninkového zatížení	48
5.3 Individuální výsledky laboratorních šetření	50
5.4 Výsledky HRV	53
6 Diskuse	57
7 Závěr	60
Referenční seznam literatury	62
Referenční seznam internetových zdrojů	67

1 Úvod

Závody horských kol jsou jedním z vytrvalostních sportů. Při tréninkovém procesu dochází ke komplexnímu zatížení organismu. Jedinci věnující se horským kolům jsou vystaveni velkému fyzickému i psychickému zatížení. Podstatnou součástí tréninkového procesu je regenerace, výživa, spánek a další. Variabilita srdeční frekvence (dále HRV – „heart rate variability“) je komplexním ukazatelem, kterým můžeme hodnotit stav organismu a jeho připravenost na trénink. Na základě hodnocení stavu autonomního nervového systému můžeme tedy periodizovat tréninkový proces. Tato práce navazuje na znalosti získané při tvorbě bakalářské práce, ve které jsme shrnuli základní teoretické poznatky o řízení tréninku pomocí HRV (Kadlec, 2019). Vzniku tématu práce přidala skutečnost, že doposud nevíme o zveřejnění žádné studie, která by se zabývala problematikou řízení tréninku pomocí HRV u závodníků věnujících se horské cyklistice.

V rámci naší práce jsme uskutečnili experiment, kterého se zúčastnilo 8 adolescentů zaměřených na závody horských kol (XCO – „Cross-country Olympic“). Experiment proběhl během dvoutýdenního tréninkového soustředění, celková délka mezi pretestem a posttestem byla čtyři týdny. Probandi byli rozděleni na dvě skupiny. První, experimentální skupina (ES) podstoupila tréninkové soustředění řízené pomocí HRV. Druhá, kontrolní skupina (KS) absolvovala trénink řízený klasickou periodizační metodou. Úspěšnost experimentu jsme hodnotili, před i po tréninkovém soustředění, testem $VO_2\max$ a 20minutovou časovkou na ergometru (dále 20TT – „20 minute time trial“). Základním kritériem hodnocení jsou spiroergometrické i výkonnostní parametry z obou testů.

2 Metodologie

2.1 Cíl, úkoly a hypotézy

2.1.1 Cíl práce

Cílem diplomové práce je ověřit využití variability srdeční frekvence v tréninkovém procesu adolescentních cyklistů.

2.1.2 Úkoly práce

- Provést obsahovou analýzu odborné literatury zabývající se sportovním tréninkem, variabilitou srdeční frekvence, periodizací tréninkového procesu, řízením tréninku pomocí HRV, zásadami tréninku adolescentních cyklistů a zásadami sportovní přípravy závodníků na horských kolech. Tento rozbor navazuje na teoretická východiska bakalářské práce (Kadlec, 2019). Jako nadstavbu provést syntézu v oblastech kineziologie a regenerace.
- Na základě obsahové analýzy zpracovat teoretická východiska vztahená k problematice využití variability srdeční frekvence a sportovní přípravě adolescentních závodníků na horských kolech.
- Stanovit soubor vhodných probandů, kteří odpovídají požadované specializaci a požadovanému věku. Tyto probandy důkladně informovat o průběhu experimentu.
- Vytvořit vhodný tréninkový plán pro probandy a následně probandy seznámit se způsobem jeho plnění.
- Rozdělit probandy dle randomizace do dvou skupin.
- U probandů experimentální skupiny zahájit opakované každodenní měření variability srdeční frekvence pro stanovení výchozích hodnot.
- Provést úvodní testování $VO_2\max$ a 20TT všech probandů.
- Absolvovat s jedinci tréninkové jednotky podle stanoveného tréninkového plánu. U probandů experimentální skupiny individualizovat zatížení podle stavu jejich HRV.
- Provést závěrečné testování $VO_2\max$ a 20TT všech probandů.
- Statisticky ověřit a vyhodnotit naměřená data pomocí metody ANOVA.
- Provést diskusi výsledků a porovnat výsledky s ostatními odbornými publikacemi.
- Stanovit závěry a východiska práce.

2.1.3 Hypotézy

H1) Předpokládáme, že tréninkový proces řízený dle variability srdeční frekvence bude mít významný vliv na spiroergometrické ukazatele.

H2) Předpokládáme, že tréninkový proces řízený dle variability srdeční frekvence bude mít významný vliv na ukazatele výkonnosti zjišťované pomocí 20TT testu.

2.2 Použité metody výzkumu

2.2.1 Obsahová analýza

Pro systematický, objektivní a kvalitativní rozbor literatury byla využita obsahová analýza. Byli využity zejména informace z odborné literatury a odborných článků. Veškeré literární zdroje jsou zmíněny v referenčním seznamu literatury.

2.2.2 Metoda měření variability srdeční frekvence

Pro metodu měření variability srdeční frekvence jsme zvolili spektrální analýzu, kterou nám umožnil software mySASY. Tento software monitoruje klidovou srdeční frekvenci s přesností na 0,001 s. Pro měření HRV jsme využili hrudního pásu Garmin HRM DUAL. Pro měření HRV software využívá jednoduchý ortoklinostatický test. Konkrétní průběh testu:

1. leh – po dobu přibližně 2 minut (konkrétně 120 tepů)
2. stoj – dokud jedinci není změřeno 360 tepů (tzn. cca 5 minut)
3. leh – znovu po dobu 360 tepů (tzn. cca 7 minut)

Časy v polohách jsou kontrolovány a určovány pomocí aplikace mySASY zvukovým a grafickým upozorněním o změně polohy.

2.2.3 Metoda testování VO_2max

Tento test se využívá pro určení aktuální fyzické kondice. Standardně se využívá ve výkonnostním i vrcholovém sportu k hodnocení aktuálního stavu výkonnosti sportovce. Pro náš experiment jsme zvolili bicyklový ergometr, jelikož je cyklistům nejbližší.

Před testem byl každý z probandů zvážen přístrojem Tanita BC 418 MA, následně mu byl ergometr přizpůsoben dle jeho proporcí. Před testem vždy proběhlo měření FVC, které proběhlo okamžitě po nasazení spirometrické masky. Samotný test byl zahájen čtyřminutovým rozjetím se zátěží $1 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$, bezprostředně po tomto rozjetí následoval začátek stupňované zátěže. Test začínal v nízké intenzitě, která se postupně progresivně zvyšovala v pravidelných minutových intervalech. Test byl vždy ukončen maximálním vyčerpáním jedince, kdy jedinec nebyl schopen udržet stálou kadenci. Otáčky klik v průběhu testu si určovali probandi individuálně s tím, že museli udržet konstantní hodnotu kadence. Aby mohl být test validně vyhodnocen, musela se doba testového protokolu pohybovat mezi 8–12 minutami. Po samotném testu následovalo vyjetí po dobu tří minut o nízké intenzitě.

Abychom mohli test považovat za validní pro stanovení hodnoty $VO_2\text{max}$ museli být dodrženy alespoň dvě ze tří základních podmínek. První podmínkou bylo dosažení plata ve spotřebě kyslíku i přes další stupňování zátěže. Druhou bylo dosažení hodnoty $RER > 1$ (u vytrvalostních sportovců se doporučuje dokonce $RER > 1,1$). Poslední podmínkou bylo dosažení teoretické maximální srdeční frekvence ($220 - \text{věk} = SF_{\text{max}}$) (Heller, 2018).

Testování $VO_2\text{max}$ pro náš experiment proběhlo v laboratoři funkční zátěžové diagnostiky Jihočeské univerzity. K naměření hodnot byly využity tyto přístroje: Tanita BC 418 MA, Cortex MetaControl 3000, Ergometr LODE Excalibur sport, Cortex MetaLyzér 3B. Jako další příslušenství nám sloužily Hrudní pás POLAR H7 a anatomicky tvarovaná spirometrická maska.

2.2.4 Metoda testování 20minutový test (20TT=20 minut time trial)

Tento test se užívá zejména u zkušených cyklistů pro kontrolu pokroku v tréninkovém procesu. Používá se pro určení funkčního prahového výkonu (FTP – „*Functional Threshold Power*“) a prahové tepové frekvence (THR – „*Threshold Heart Rate*“), na základě těchto hodnot můžeme determinovat tréninkové zóny (Wattbike, 2020).

FTP je nejvyšší průměrná hodnota výkonu, kterou dokážeme udržet po dobu jedné hodiny. V ideálních podmínkách se FTP určuje při hodinové časovce. Nejčastěji se ale tato hodnota determinuje pomocí 20minutového testu, jelikož test je využitelnější i při terénním testování. Při testu je snahou udržovat stálé tempo a výkon. Při pravidelném testování můžeme pomocí FTP monitorovat úroveň zdatnosti. FTP lze vypočítat z 20TT pomocí jednoduchého vzorce *průměrný výkon 20TT x 0,95 = FTP* (Bicycling, 2021).

Testování proběhlo téměř v laboratorních podmínkách v prostorách internátu Všeobecného a sportovního gymnázia, Vimperk, Pivovarská 69. Teplota vzduchu pro testování byla mezi 17 až 20 stupni Celsia. Před testem byl každý proband zvážen na osobní váze. Následovalo 20minutové rozjetí na volných válcích při nízké intenzitě s kadencí 90–110 rpm. V rámci rozjetí jel každý z probandů 15 minut těsně pod individuálním prahem VT_1 , kontrola byla prováděna pomocí wattmetru i srdeční frekvence. Následovala 3 minuty dlouhá pauza a přisednutí na Wattbike, připojení monitoru srdeční frekvence a zapnutí testového protokolu. Probandům byla poskytnuta

pouze data – kadence a uplynulý čas testu. Test trval 20 minut, při kterých se probandi snažili udržet vysoký výkon při kadenci 90–110 rpm.

2.2.5 Statistická analýza dat

Statistická analýza byla využita pro porovnání naměřených hodnot testů $VO_2\max$ a 20TT. Pomocí této metody bylo možné potvrzení či vyvrácení stanovených hypotéz. V rámci výzkumu byly porovnávány hodnoty skupin (ES a KS) mezi sebou. Jelikož soubor probandů v jednotlivých skupinách byl omezený, byla zvolena analýza rozptylu. Obecně statistické metody, které umožňují provádět vícenásobné porovnávání středních hodnot, souhrnně nazýváme zkratkou ANOVA (Analysis of Variance). Tyto metody jsou založeny na hodnocení vztahů mezi rozptyly porovnávaných výběrových souborů (testování shody středních hodnot se převádí na testování shody dvou rozptylů (F-test)). Základním úkolem analýzy rozptylu je posouzení hlavních a interakčních účinků jednotlivých faktorů (v našem případě vliv využívání HRV) na závisle proměnné kvantitativního typu (v našem případě $VO_2\max$, PPO, VT1, VT2, 20TT, R20TT). Konkrétně byla zvolena jednofaktorová analýza rozptylu tzv. one-way ANOVA. Jedná se o standardní analýzu, jejíž postup je běžně využíván u vzorků s nízkým počtem probandů. ANOVA analýza byla provedena za pomoci tabulkového editoru MS Excel. Statistická významnost rozdílů mezi skupinami byla hodnocena na základě „hodnoty p “. Tento rozdíl se obvykle udává v hladině významnosti $p < 0,05$, která je považována jako statisticky významnou, nebo v hladině $p < 0,01$, která je považována za statisticky velmi významnou.

2.3 Rešerše literatury

Zásadním zdrojem informací a podkladů o kineziologii cyklistiky se staly publikace: Ericson, M. O., Nisell, R., Arborelius, U. P., & Ekholm, J. (1986). Power output and work in different muscle groups during ergometer cycling. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 55(3), 229-235, kde autoři hovoří o zapojení svalů do pohybu cyklisty. Jedná se o jednu z prvních rozsáhlých studií tohoto zaměření. Ryan, M., & Gregor, R. (1992). EMG profiles of lower extremity muscles during cycling at constant workload and cadence. *Journal of Electromyography and Kinesiology: Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 2(2), 69-80, pojednávající o důkladnějším rozboru zapojení svalů do pohybu cyklisty. Hurst, H. T., Swarén, M., Hébert-Losier, K., Ericsson, F., Sinclair, J. K., Atkins, S., & Holmberg, H. C.

(2012). Influence of course type on upper body muscle activity in elite cross-country and downhill mountain bikers during off road downhill cycling. *Journal of Science and Cycling (JSC)*, 1(2), 2-9, kdy z této publikace bylo čerpáno zejména z důvodu využití závodníků na horských kolech.

Pro charakteristiku olympijského sportu cross-country horských kol jsme využili informací z oficiálních pravidel této disciplíny UCI Cycling Regulations (2021). Part 4 Mountain Bike. Oficiální pravidla jsme doplnili o vědecké poznatky z této disciplíny publikacemi: Granier, C., Abbiss, C. R., Aubry, A., Vauchez, Y., Dorel, S., Hausswirth, C., et al. (2018). Power output and pacing during international cross-country mountain bike cycling. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 13, 1243–1249., Inoue, A., Sa Filho, A. S., Mello, F. C., and Santos, T. M. (2012). Relationship between anaerobic cycling tests and mountain bike cross-country performance. *J. Strength Cond. Res.* 26, 1589–1593., Næss, S., Sollie, O., Gløersen, Ø. N., & Losnegard, T. (2021). Exercise intensity and pacing pattern during a Cross-country Olympic mountain bike race. *Frontiers in Physiology*, 12, 1105.

Obecně tréninkem vytrvalostních schopností se zabývají publikace: Lehnert, M., Novosad, J., & Neuls, F. (2001). *Základy sportovního tréninku I*. Olomouc: Hanex., Lehnert, M., Novosad, J., Neuls, F., Langer, F., & Botek, M. (2010). *Trénink kondice ve sportu*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci., Dovalil, J., Choutka, M., Svoboda, B., Hošek, V., Perič, T., Potměšil, J.,... Bunc, V. (2002). *Výkon a trénink ve sportu*. Praha: Olympia., které jsme využili pro přiblížení základních zásad tréninku. Stěžejní pro charakteristiku tréninkových metod cyklisty byla kniha Friel, J. (2009). *Tréninková bible pro cyklisty*. Praha: Mladá fronta. Další práce zabývající se tréninkem cyklistů byla Henke, S. (2008). *Skripta pro trenéry cyklistiky I. – III. třídy*. Praha: Český svaz cyklistiky, FTVS UK. Doplnující informace o faktorech ovlivňujících tréninkový proces byly čerpány z Fox, E. L. (1984). *Sports physiology*. Philadelphia, PA. Saunders College Publishing. Jirka, Z. (1990). *Regenerace a sport*. Praha: Olympia.

Za velmi podstatný zdroj informací o srdeční práci, frekvenci a variabilitě považujeme publikaci Javorka, K., Calkovska, A., Danko, J., Dokus, K., Funiak, S., Gwozdziwicz, M., ... Ondrejka, I. (2008). *Variabilita frekvencie srdca: Mechanizmy, hodnotenie, klinicke vyuzitie*. Martin: Osveta. Konkrétní informace o variabilitě srdeční frekvence jsme doplnili pomocí Camm, A. J., Malik, M., Bigger, J. T., Breithardt, G., Cerutti, S., Cohen, R. J.,... Lombardi, F. (1996). Heart rate variability: standards of

measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, 93, 1043–1065. Stejskal, P., & Salinger, J. (1996). Spektrální analýza variability srdeční frekvence – základy metodiky a literární přehled o jejím klinickém využití. *Medicina Sportiva Bohemica et Slovaca*, 5(2), 33–42.

Konkrétními poznatky o využití HRV ve sportu se zabývá spousta studií, pro náš experiment jako zásadní považujeme. Bahenský, P., & Grosicki, G. J. (2021). Superior Adaptations in Adolescent Runners Using Heart Rate Variability (HRV)-Guided Training at Altitude. *Biosensors*, 11(3), 77. Javaloyes, A., Sarabia, J. M., Lamberts, R. P., & Moya-Ramon, M. (2019). Training prescription guided by heart-rate variability in cycling. *International journal of sports physiology and performance*, 14(1), 23-32. Javaloyes, A., Sarabia, J. M., Lamberts, R. P., Plews, D., & Moya-Ramon, M. (2019). Training prescription guided by heart rate variability vs. block periodization in well-trained cyclists. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(6), 1511-1518. Kiviniemi, A. M., Hautala, A. J., Kinnunen, H., & Tulppo, M. P. (2007). Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. *European journal of applied physiology*, 101(6), 743-751. Kiviniemi, A. M., Hautala, A. J., Kinnunen, H., Nissilä, J., Virtanen, P., Karjalainen, J., & Tulppo, M. P. (2010). Daily exercise prescription on the basis of HR variability among men and women. *Medicine and science in sports and exercise*, 42(7), 1355-1363. Nuuttila, O. P., Nikander, A., Polomoshnov, D., Laukkanen, J. A., & Häkkinen, K. (2017). Effects of HRV-guided vs. predetermined block training on performance, HRV and serum hormones. *International journal of sports medicine*, 38(12), 909-920. da Silva, D. F., Ferraro, Z. M., Adamo, K. B., & Machado, F. A. (2019). Endurance running training individually guided by HRV in untrained women. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(3), 736-746. Vesterinen, V., Nummela, A., Heikura, I., Laine, T., Hynynen, E., Botella, J., & Häkkinen, K. (2016). Individual Endurance Training Prescription with Heart Rate Variability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48 (7), 1347-1354.

Pro tvorbu kapitoly Funkční zátěžová diagnostika nám poskytly cenné informace publikace Beunen, G. (2001). Physical growth, maturation and performance. In R. Eston & T. Reilly (Eds.), *Kinanthropometry and Exercise Physiology Laboratory Manual, vol. 1*, 65–90. London: Routledge. Friel, J. (2009). *Tréninková bible pro cyklisty*.

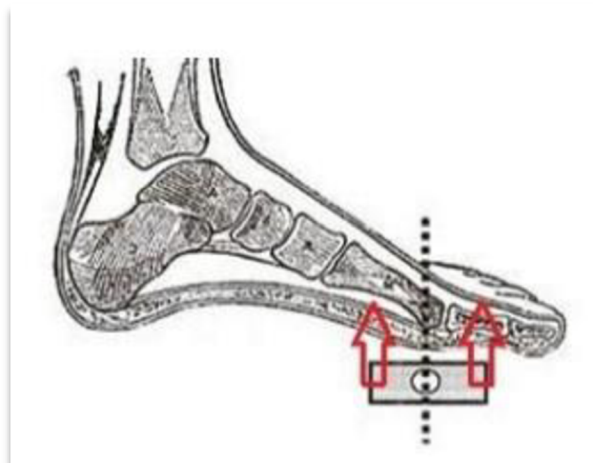
Praha: Mladá fronta. Heller, J. (2018). *Zátěžová funkční diagnostika ve sportu: východiska, aplikace a interpretace*. Praha: Karolinum.

3 Přehled poznatků

3.1 Kineziologický rozbor jízdy na horském kole

Jízda na kole je uzavřený kinetický řetězec, který se stále opakuje. Do výsledného pohybu se zapojují zejména velké svalové skupiny dolních končetin. Při jízdě na kole dochází ke koaktivaci agonistů a antagonistů. Výslednou sílu tvoří pohyb kotníků, kolen a kyčlí. Na horském kole jsou také kladeny velké nároky na svaly horní poloviny těla, zejména při zdolávání sjezdů a technických pasáží (Hurst et al., 2012; Hurst, & Atkins, 2006).

Abychom mohli hovořit o základních principech šlapání na jízdním kole musíme nejdříve přiblížit správné nastavení posedu. Pokud hovoříme o nastavení posedu, musíme mít dobře zvolenou velikost rámu a následně pracovat s jednotlivými proporcemi. Základní vzdálenosti, kterými se zabýváme, jsou výška sedla od šlapacího středu, vzdálenost mezi sedlem, řídítky a výška řídítek vůči sedlu. Dále se při nastavení posedu věnujeme předozadní poloze sedla a poloze kufrů na tretrách. Nastavením geometrie ovlivňujeme úhly v kloubech při jízdě. Existují různá doporučení, jaké úhly v kloubech jsou optimální (Ryan & Gregor, 1992; Gatti, Martiniani, & Gaffurini, 2017). Při nastavování ale musíme respektovat anatomii jedince, jeho tréninkovou historii i ambice. Musíme vzít v potaz i prodělané úrazy a rozsahy v kloubech. Zabýváme se úhlem v kolenním kloubu, ve kterém bychom měli mít úhel 140° – 150° při extenzi a 75° při flexi. Kyčelní kloub je také zásadní, v tomto kloubu bychom měli mít úhly 110° při natažení a 50° při flexi. Úhly v těchto kloubech by měly být zachovány jak na silničním kole, tak na horském. Úhel v ramenním kloubu by měl být mezi 80° – 90° , na horském kole se můžeme setkat s ostřejším úhlem. Úhel v loketním kloubu by měl být v základní pozici mezi 150° – 165° . Velké množství publikací se zabývá prací hlezenního kloubu a pozicí chodidla na pedálu. Autoři se většinou shodují, že by poloha chodidla na pedálu měla být nastavena, tak, že osa pedálu je přímo pod hlavičkou 1. a 5. metatarsu nebo, jinak řečeno v úrovni metatarsofalangeálního palcového kloubu (viz. obrázek 1) (Friel, 2009; Ryan, & Gregor, 1992; Burke, 1994).

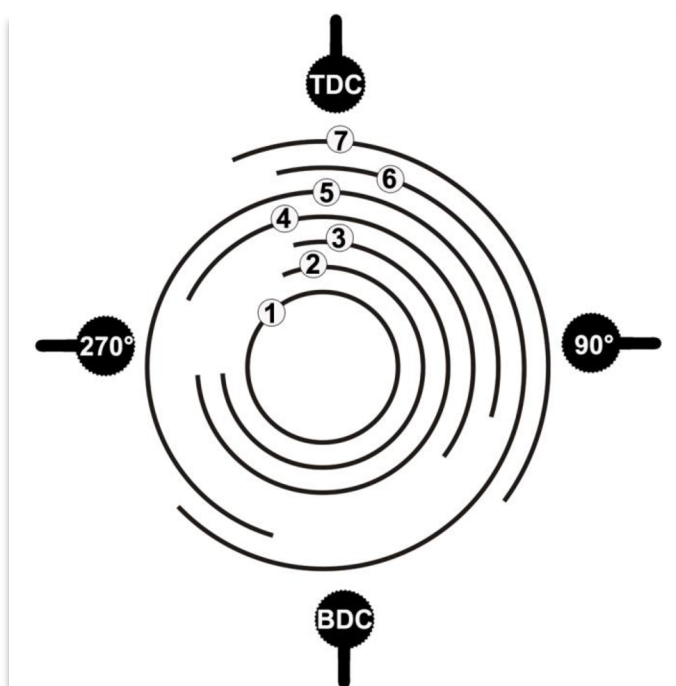


Obrázek 1 Poloha chodidla na pedálu (Gatti, Martiniani, & Gaffurini, 2017).

Z kineziologického hlediska si můžeme pohyb rozdělit na čtyři fáze. Fázi první nazýváme jako tlakovou fázi záběru. Je to část pohybu, při níž dochází k extenzi v kolenním i kyčelním kloubu a k plantární flexi hlezna. Současně dochází k největšímu přenosu síly na pedál asi 65 % z celku. Na diagramu tuto fázi můžeme znázornit mezi 20° a 145°. Následuje fáze druhá, kterou můžeme nazvat přechodnou. Dochází při ní k přechodu z extenze do flexe kolenního i kyčelního kloubu. Také dochází k překonání dolní úvratí cyklu neboli dolního mrtvého bodu (bottom dead center = BDC). Přenos síly je menší, asi 12 % z výsledné síly a znázorňujeme ho mezi 145°–215°. Následuje fáze zdvihu, při které dolní končetinu krčíme, tedy provádíme flexi kyčelního i kolenního kloubu a současně dorsální flexi v kotníku. Tato fáze tvoří 17 % výsledné síly a dochází k ní mezi 215°–325°. Poslední a druhá přechodná fáze prochází horní úvratí (top dead center = TDC). Dochází při ní k přechodu z flexe do extenze a tvoří pouze 6 % celkového výkonu. Na diagramu ji můžeme znázornit mezi 325° a 20° (Gatti, Martiniani, & Gaffurini, 2017).

Ryan & Gregor (1992) ve své publikaci dobře popisují načasování svalové aktivity v průběhu jízdy na kole. Pro představu využívají k popisu svalové aktivity 360° diagram viz. níže. Diagram nám ukazuje, ve které části otáčení klik daný sval nejvíce pracuje. Nahoře na tomto diagramu máme již zmíněné tzv. horní mrtvý bod a dolní mrtvý bod. Při otáčení klikami dochází nahoře v TDC k přechodu ze zdvihové do tlakové fáze záběru. Naopak dole v BDC dochází k přechodu z tlakové fáze do zdvihové. Jiné práce využívají pro demonstraci stejné problematiky hodinový ciferník (Friel, 2009; Ericson et al., 1986).

Svaly, které nejvíce zapojujeme při jízdě na kole, si můžeme rozdělit do dvou skupin. Podle toho, zda vytvářejí pohyb v jednom kloubu (single-joint muscles) nebo ve dvou kloubech (two-joint muscles). Mezi single-joint muscles patří: *m. gluteus maximus* (GMax), *m. gluteus medius* (GMed), *m. vastus lateralis* (VL), *m. vastus medialis* (VM), *m. tibialis anterior* (TA), *m. soleus* (SOL) a *m. iliopsoas* (IP). Do druhé skupiny svalů, které vytvářejí pohyb ve dvou kloubech patří: *m. rectus femoris* (RF), *m. semimembranosus* (SM), *m. semitendinosus* (ST), *m. biceps femoris* (BF), *m. gastroceminus lateralis* (GL) a *medialis* (GM) (Fonda, & Sarabon, 2010).



Obrázek 2 Přehled zapojení svalů dolních končetin při jízdě na kole ve vztahu kúhlu klik a šlapacímu středu. Přehled: 1=TA, 2=SOL, 3=GM, 4=VL&VM, 5=RF, 6=BF, 7=GMax (Ryan, & Gregor, 1992).

GMax provádí extenzi v kyčli a je aktivní mezi 340° a 130°, vrchol aktivity je na 80°. VL a VM provádí extenzi kolene a jsou aktivní ve stejné části cyklu 300° až 130°, s vrcholem ve 30°. RF provádí extenzi v kolenním kloubu a současně flexi v kyčelním kloubu. Svalová aktivita RF je znázorněna na diagramu mezi 200° a 110°, jejíž vrchol nastává ve 20°. SOL stabilizuje hlezenní kloub mezi 340° a 270°, při 90° vrcholí aktivita SOL a současně je celková síla přenášena na pedál nejvyšší. GM a GL mají podobnou funkci jako SOL, stabilizují hlezenní kloub a k tomu spolupracují na flexi v kolenním kloubu. Tyto svaly jsou aktivní při 350° až 270° s vrcholící aktivitou na 110°. TA také slouží ke stabilizaci kotníku a současně provádí jeho flexi. Je aktivní v průběhu celého cyklu, ale vrchol jeho aktivity se nachází na 280°. Svaly SM a ST provádějí primárně flexi v kolenním

kloubu a jsou aktivní mezi 10° a 230°, u obou svalů nastává vrchol aktivity na 100°. BF je flexorem kolenního kloubu a současně extenzorem kloubu kyčelního, jeho aktivita se pohybuje mezi 350° a 230°, jejíž vrchol je na 110° (Fonda, & Sarabon, 2010).

Při jízdě na horském kole, dochází k opakované aktivaci svalů horních končetin, trupu i zad. Tyto svaly poskytují strukturální ochranu kloubů a tlumí nárazy způsobené terénem. Stabilitu v oblasti pánve a beder zajišťují svaly *mm. abdominals*, *m. quadratus lumborum* a *m. piriformis*. O pohyby a stabilizaci v ramenním kloubu se starají svaly *m. trapezius*, *mm. rhomboids*, *m. pectoralis major* a *m. latissimus dorsi*. Při jízdě v terénu jsou aktivní zejména svaly, které umožňují pohyb v lokti a zápěstí, a to jsou *m. triceps brachii*, *m. biceps brachii*, *m. brachioradialis* a ostatní svaly předloktí a ruky. Stabilitu hlavy a krku udržují svaly *mm. scaleni*, *m. splenius* (Hurst, & Atkins, 2006).

Hurst et al. (2012) ve své studii zkoumali zapojení svalů horní poloviny těla na závodnících XCO i downhillu (DH). Dle jejich poznatků můžeme hovořit o tom, že nejvíce zapojované svaly při XCO jsou svaly předloktí, konkrétně *m. brachioradialis*. Závodníci DH zase z testovaných svalů nejvíce zapojují sval *triceps brachii* (Hurst et al., 2012). Jelikož se XCO od roku 2012 změnilo a materiál, na kterém jezdci tratě zdolávají se velmi posunul, můžeme konstatovat, že aktivita svalů horních končetin může být bližší jezdci DH.

3.2 Závodní horských kol Cross-country Olympic (XCO)

Od roku 1996, kdy byly závody horských kol XCO poprvé zařazeny do programu olympijských her, se formát těchto závodů výrazně změnil. Zásadní změna proběhla v roce 2007, kdy byla doba závodu zkrácena ze 150 minut na dnešních 90 minut. Současný trend, kterým se tato disciplína vyvíjí, klade velké nároky na technickou připravenost jezdce. Současná pravidla Union Cycliste Internationale (UCI) vyžadují, aby závody XCO elitních kategorií měly délku okruhu 4–6 km a dobu trvání závodu 80–100 minut. Tratě by měly obsahovat různé terény, od přírodních lesních překážek přes šotolinové cesty, až ke skokům. Dále by měla trať XCO obsahovat náročná stoupání a klesání (UCI Regulations, 2021).

XCO závod horských kol lze definovat jako závod s hromadným startem, který je vytrvalostního charakteru, při němž dochází k rychlým změnám rychlosti, pozice jezdce i kadence. Hodnoty výkonu (W) se mění podle náročnosti terénu a tím dochází k oscilaci

na křivky výkonu od nulových hodnot až k hodnotám maximálním (Inoue et al., 2012; Næss et al., 2021; Granier et al., 2018). Při závodech jsou také kladeny vysoké nároky na svaly horní poloviny těla, které musí tlumit vibrace a nárazy při průjezdu technických sekcí a sjezdů (Hurst & Atkins, 2006).

Do roku 2007 bylo vydáno mnoho studií o disciplíně XCO (Gregory et al., 2007; Impellizzeri, 2005; Lee et al., 2002; Stapelfeld et al., 2004; Impellizzeri & Marcora, 2007). Výsledky těchto autorů ukazují na to, že aerobní výkon ($VO_2\text{max}$) i maximální aerobní výkon mají významnou souvislost s výkony při XCO. Z toho vyplývá, že test $VO_2\text{max}$ je vhodný pro vyhodnocování tréninku mountainbikerů. Novější studie hovoří o souvislosti mezi anaerobní silou a dobou trvání závodu XCO. Inoue et al. (2012) píšou o alternativním testovacím protokolu pro tuto disciplínu, který zaznamenal statistickou významnost. Ve studii použili vedle klasického Wingate testu (dále WIN) také 5x WIN za sebou na 50 % výkonu klasického jednorázového WIN a tyto hodnoty porovnali s výkony v závodě (Inoue et al., 2012). S tím přichází myšlenka, že jednou z hlavních determinant výkonu pro závody XCO je anaerobní výkon. Konstatujeme však, že to není potvrzeno více studiemi.

3.3 Tréninkové metody využívané v cyklistice

Základní metody, které využíváme v tréninkových jednotkách cyklistů, jsou metody souvislé a intervalové. Při tréninku horských kol využíváme tréninku techniky jízdy, kdy využíváme zásad motorického učení.

3.3.1 Souvislý trénink

Tuto metodu využíváme především pro rozvoj základní vytrvalosti. Jedná se o zatížení s minimální délkou 30–40 minut ve střední intenzitě (70–80 % maximální srdeční frekvence = SF max). Souvislý trénink si můžeme ještě rozdělit na souvislý s konstantní intenzitou, souvislý se střídavou intenzitou a na tzv. fartlek (Henke, 2008).

Souvislý trénink se stejnou intenzitou můžeme charakterizovat jako trénink o konstantní intenzitě. Tento trénink řídíme pomocí srdeční frekvence, kdy si stanovíme spodní a horní hranici SF a mezi nimi tréninkovou jednotku absolvujeme. Rychlost a hodnotu výkonu jedinec přizpůsobuje tepové frekvenci, která setrvává v předem stanoveném rozsahu (Henke, 2008).

Souvislý trénink se střídavou intenzitou je charakteristický změnami intenzit. Obvykle se jedná o střídání nižší intenzity (základní vytrvalosti) a vyšší intenzity (na

hranici speciální závodní vytrvalosti). Tyto dva intervaly se střídají podle potřeby aktuálního období a tréninku. Jedná se o úseky specifické intenzity po delší dobu (Henke, 2008).

Posledním typem souvislého tréninku podle Henkeho et al. (2008) je **fartlek**. Je to specifický typ tréninku, který probíhá bez přestávky s různou rychlostí pohybu v různých časových intervalech. Doba trvání ani intenzita jednotlivých úseků není dopředu definována. Slovo „fartlek“ pochází ze švédštiny a ve své podstatě znamená „hra s rychlostí“. Pozorujeme pouze hraniční SF, která by znamenala kritickou úroveň přetížení organismu.

3.3.2 Intervalový trénink

Metoda intervalového tréninku se postupem času vygenerovala ze souvislých metod. Při této metodě dochází k pravidelnému střídání zátěže vyšší intenzity se zátěží nízké intenzity nebo úplným odpočinkem během jednoho tréninku (Dovalil et al., 2002; Helgerud et al., 2007).

Intervalové metody můžeme ještě dělit podle intenzity na intenzivní, extenzivní, „rychlé“ a „pomalé“ nebo podle doby trvání na krátkodobé, střednědobé a dlouhodobé (Dovalil et al., 2002).

Henke et al. (2008) hovoří o tom, že pokud je intenzita intervalu zatížení střední, interval odpočinku by měl být 50 % doby zatížení. Když je intenzita zatížení vyšší, interval zatížení i odpočinku je poměrně krátký (10–60 s). Počet intervalů a dobu odpočinku obvykle volíme podle rychlosti poklesu SF ve fázích odpočinku (Henke, 2008).

Někteří autoři tvrdí, že nevýhodou intervalových metod vysoké intenzity mohou být vysoké nároky na psychiku jedince. Hovoří o nechuti k tréninku při příliš častém zařazování těchto metod (Friel, 2009).

3.4 Faktory ovlivňující tréninkový proces

Trenéři a sportovci by se měli zabývat i vnějšími vlivy, které ovlivňují tréninkový proces. Na efektivitu tréninkového procesu nemá vliv pouze dobře odvedený trénink, ale také to, co se děje po jeho ukončení. Dokonce můžeme tvrdit, že hlavní zvýšení trénovanosti probíhá nikoliv během pohybové aktivity, ale po jejím skončení (přestavby organismu, obnova energie, návrat k rovnováze vnitřního prostředí, změny ve tkáních) (Dovalil et al., 2012).

3.4.1 Únava

Nejen závodní, ale i tréninková činnost vyvolává únavu. Únava se může projevovat různými příznaky a může vést k celkovému snížení výkonnosti. Únava je obranným a ochranným mechanismem organismu. Chrání organismus před možným poškozením z přetížení. Můžeme rozlišovat únavu na duševní (mentální) nebo fyzickou (fyziologickou). Zaměříme se na fyziologickou únavu, kterou můžeme dále dělit podle jednotlivých aspektů na:

- Celkovou (globální) vs. místní (lokální),
- akutní (krátkodobou) vs. chronickou (dlouhodobou),
- periferní (únava svalového aparátu) vs. centrální (únava CNS),
- aerobní (pomalu nastupující) vs. anaerobní (rychle nastupující).

Všechny tyto druhy fyziologické únavy mají vliv na tréninkový proces, ať už o žádoucí krátkodobou únavu, nebo nežádoucí celkovou, chronickou a centrální únavu. Každý druh únavy má své specifické projevy a opodstatnění. Mezi subjektivní projevy únavy můžeme zařadit slabost, závratě, nevolnost a další. Za objektivní fyziologické ukazatele rostoucí únavy považujeme například zvyšování srdeční frekvence při konstantním zatížení nebo zvyšující se hladinu laktátu (Dovalil et al., 2012; Lehnert et al., 2010; Jirka, 1990).

Patologická únava je taková únava, které se z dlouhodobého hlediska snažíme v průběhu tréninkového procesu vyhýbat. V literatuře se pod patologickou únavou můžeme setkat s termíny jako přetížení, schvácení, přepětí, krátkodobé přetrénování či přetrénování. V odborných cizojazyčných textech se můžeme setkat s pojmy „overloading“ (přetížení, přepětí), „overtraining“ (přetrénování) nebo „overreaching“ (krátkodobé přetrénování). Přepětí bývá vysvětlováno jako akutní, dočasné narušení normálních funkcí organismu, které bylo vyvoláno nadměrnými nároky na organismus, přičemž dochází k velkému vyčerpání a častokrát bývá narušena normální funkce oběhové soustavy (hypotonie, hypoxie). Projevuje se bolestmi hlavy nebo oblasti okolo srdce, závratěmi a celkovými slabostmi. Přetížení nebo také krátkodobé přetrénování můžeme považovat za přirozenou součást kondičního tréninku. Přetrénování se nejčastěji vyskytuje u vrcholových sportovců a je to forma chronické únavy. Přetrénování nastává v důsledku opakovaného dlouhodobého překračování adaptační

kapacity organismu, které má za následek trvalejší pokles výkonnosti a ztrátu sportovní formy (Fox, 1984; Lehnert et al., 2010).

V případě dlouhodobého přetrénování se obvykle projeví syndrom přetrénování. Tento syndrom má dvě základní formy, které se odlišně projevují v činnosti autonomního nervového systému. První je sympatická nebo sympatikotonická forma, o které hovoříme jako o hyperaktivitě sympatického systému. Může se vyskytnout u sportovců zaměřených na rychlostně-silové disciplíny a mezi její projevy řadíme narušený spánek, redukci hmotnosti, sníženou chuť k jídlu, klidová tachykardie, deprese, svalový třes a další. Druhou formou je parasympatická nebo vagová u které hovoříme o hypoaktivitě sympatiku a typicky se objevuje u vytrvalostních sportovců. Projevy parasympatické formy přetrénování jsou abnormální únava, klidová bradykardie (utlumení aktivity sympatiku ve prospěch vagu), flegmaticnost, porucha koordinace, snížená nervosvalová excitace nebo zpomalená reakční rychlost a další (Lehnert et al., 2010).

3.4.2 Zotavení

Zotavení představuje komplex fyziologických a psychologických procesů, které směřují k likvidaci únavy a návratu do klidového, eventuelně výchozího stavu (Buzek, 2007). Jiní autoři za zotavení považují biologický proces obnovy přechodného poklesu funkčních schopností organismu (Lehnert, Novosad, & Neuls, 2001). Obecně se tedy zotavení považuje za přirozený biologicko-anabolický proces, při kterém dochází k postupnému návratu klidových funkcí organismu, obnově energetických substrátů, které byly v průběhu zatížení redukovány (především sacharidy), a také k proteosyntéze. Základní funkcí zotavení je odstranění únavy. Správně vedený trénink musí být založen na znalostech zotavení hlavně na vyšší výkonnostní úrovni, protože rychlejší a dokonalejší průběh zotavovacích procesů umožňuje další trénink (Dovalil et al., 2002).

Průběh zotavných procesů je značně ovlivněn a determinován vnitřními a vnějšími faktory. Za vnitřní faktory ovlivňující průběh zotavení považujeme pohlaví, věk, genetické dispozice, trénovanost, psychologické faktory a rychlost odstraňování katabolitů. Mezi vnější faktory řadíme typ pohybové aktivity, dostupnost suplementů a vliv časových posunů (Botek, Stejskal, & Svozil, 2009).

Z časového hlediska průběh zotavení nemá lineární charakter. Podle dostupných zdrojů můžeme rozlišit rychlou (časnou) a pomalou fázi. V první rychlé fázi dochází ke

splácení kyslíkového dluhu pomocí tzv. zotavného kyslíku. Ten se využívá pro obnovu kyslíku v krvi a svalového myoglobinu. Během této rychlé fáze se obnovují zásoby ATP (adenosintrifosfát), CP (kreatin fosfát) a spolu s návratem sodíku (Na^+) a draslíku (K^+) dochází k návratu rovnováhy na buněčné úrovni. Celý proces obnovy ATP, CP a návrat rovnováhy iontů trvá zhruba 2 minuty. Při rychlé fázi dochází k poklesu tepové frekvence, což souvisí s rychlostí po zátěžové aktivace vagu. Na základě rychlosti poklesu TF a rychlosti vagu lze hodnotit úroveň trénovanosti. Druhá pomalejší fáze je charakteristická přeměnou laktátu na glykogen za přístupu cca 60 % přijatého kyslíku, zbylých 40 % kyslíku organismus spotřebuje na tvorbu energie potřebné pro termoregulaci. Vyrovnaní kyslíkového dluhu po zátěži trvá přibližně 30 minut. Údajně lze v pomalé fázi zotavení pozorovat změny v SF. Ve variabilitě srdeční frekvence lze pozorovat změny i 24 hodin po ukončení zátěže. Dokonce se hovoří o mírně zvýšené spotřebě kyslíku během 24 hodin od ukončení zátěže (Lehnert, 2014). Obnovu jednotlivých fyziologických funkcí po různém druhu zatížení můžeme sledovat v tabulce 1.

Tabulka 1 Doporučený čas pro zotavení po vyčerpávajícím cvičení (Fox, 1984, upraveno).

Proces zotavení	minimum	maximum
Obnova ATP – CP	2 minuty	3–5 minut
Náhrada alaktátového O_2 dluhu	3 minuty	5 minut
Náhrada O_2 – myoglobinu	1 minuty	2 minuty
Náhrada laktátového O_2 dluhu	30 minut	60 minut
Resyntéza zásob svalového glykogenu		
po intervalové metodě	2 hodiny pro resyntézu 40 %	
	5 hodin pro resyntézu 55 %	
	24 hodin pro resyntézu 100 %	
po prolongované kontinuální metodě	10 hodin pro resyntézu 60 %	
	48 hodin pro resyntézu 100 %	
odstranění laktátu ze svalů a krve	10 minut pro odstranění 25 %	
	20–25 minut pro odstranění 50 %	
	60–75 minut pro odstranění 95 %	

3.4.3 Regenerace

Regeneraci lze definovat jako proces, při kterém dochází k nahrazování vyčerpaných energetických zásob a dochází k obnově opotřebovaných nebo odumřelých tkáňových buněk novými. Orgány, které byly funkčně oslabeny a namáhány nebo jinak postiženy, prochází také obnovou. Regenerovat potřebují přetěžované vnitřní orgány i kosterní svaly. Ve většině případů dochází při regeneraci i k relaxaci (Kukačka, 2010).

Proces regenerace je důležitá součást sportovní přípravy a zahrnuje všechny děje vedoucí k návratu tělesných a psychických sil, jejichž klidová rovnováha byla předcházející činností posunuta do určitého stupně únavy. Schematicky lze tento proces znázornit takto: práce – únava – zotavení (regenerace) (Stackeová, 2011).

Regenerace má dvě základní formy aktivní a pasivní. Dle časového hlediska autoři hovoří o časně a pozdní regeneraci. Za pasivní regeneraci považujeme spontánní aktivitu organismu vedoucí k zotavení. Probíhá neustále i během tělesné zátěže, nejintenzivněji v období na zátěž navazujícím, kdy se vychýlená řada fyziologických funkcí superkompenzačním mechanismem posunuje žádaným směrem proti výchozím hodnotám. Pasivní regenerací je i klidný spánek, racionální stravování, dostatek volného času pro záliby jedince a dostatečný prostor pro kulturní a společenské vyžití. Každý jedinec má určitou toleranci a v jejích mezích se rušivé zásahy do denního režimu neprojeví negativně. Trvalé narušování vypracovaného životního režimu má negativní dopad na tělesnou a duševní výkonnost a může se projevit narušením ochranné imunitní bariéry (Dovalil et al., 2002).

Aktivní regenerace jsou všechny vnější zásahy do procesu zotavení, které cíleně odbourávají únavu a snaží se urychlit proces regenerace. V tréninkovém procesu se aktivní regenerací snažíme zkrátit zotavení a tím umožnit dřívější návrat k tréninku (Stackeová, 2011). Mezi základní formy aktivní regenerace patří kompenzační cvičení, strečink, spinální cvičení, cvičení ve vodě či aktivní relaxace. Dále se využívá regenerace pohybem velmi nízké intenzity po tréninku či závodě. Pro aktivní regeneraci pohybem se využívají koordinačně jednodušší cvičení jako jsou procházky, vyklusání, vyplavání aj. cvičení nevyšší intenzity zaměřující svaly, které nebyly předchozí činností zatíženy. I během aktivity o nízké intenzitě dochází k poněkud zvýšené aktivitě metabolismu, která vede k rychlejšímu odstraňování nepříznivých produktů látkové výměny nahromaděných v důsledku předchozí intenzivní pohybové činnosti. Zkušenost naznačuje, že efekt aktivního odpočinku se zvyšuje s trénovaností, ve stavu vysoké únavy naopak klesá. Větší význam má po zatížení vyšší intenzity (Dovalil et al., 2002).

Časná regenerace probíhá v závěru pohybové činnosti nebo bezprostředně po ní. Jejím cílem je odstranit akutní únavu (Stackeová, 2011; Jirka, 1990). Za pozdní regeneraci považujeme období po skončení závodní sezóny (Stackeová, 2011; Jirka, 1990).

3.5 Periodizace tréninkového procesu v cyklistice

Periodizaci tréninku můžeme definovat jako stanovení po sobě jdoucích tréninkových cyklů, jejichž velikost zatížení, obsah a opakování se podílejí v určitém časovém úseku na zvyšování trénovanosti a optimální sportovní formy (Lehnert, Novosad, & Neuls, 2001).

Tvorba tréninkového plánu začíná naplánováním celého roku. Při tvorbě plánu musíme začít stanovením cílů potažmo závodů, na které chceme být nejlépe připraveni. Menší stavební jednotkou plánu jsou úkoly, které nám pomohou stanovených cílů dosáhnout. Další věc, kterou si musíme určit, je roční objem odtrénovaných hodin. Někdo může mít na kole strávených 300 hodin za rok jiný až 1200. Pokud cílíme na vrcholný závod, musíme si stanovit priority při ostatních závodech. Některým závodům přiřadíme malou prioritu, tím pádem je třeba absolvujeme z plného tréninku, kdežto závody s velkou prioritou jsou takové, na které ladíme formu. V dalším bodě si rozdělíme sezónu do určitých tréninkových období, příklad může vypadat takto – přípravné, základní, stupňovací, vrcholné, závodní, přechodné. Jako poslední krok si musíme přiřadit tréninkové hodiny k týdnům v roce. Každé období má trochu jinou dotaci tréninkových hodin a obsahuje různé tréninkové metody (Friel, 2009).

Lehnert et al. (2010) ve svém modelu periodizace rozdělují rok do třech období (přípravné, hlavní, přechodné). Základní stavebním prvkem plánu je tréninková jednotka, již náplň respektuje průběh zotavných procesů. Úkol každé jednotky vyplývá ze zaměření a specifik dané disciplíny. Struktura zatěžování je tvořena stavbou mikrocyklů, které vytvářejí specifické bloky s různým zaměřením. Tyto tréninkové bloky jsou kombinovány podle stavu a výkonnosti jedince a také podle soutěžního programu (Lehnert et al., 2010).

Celkový systém tréninkového procesu si můžeme rozdělit na cykly, které dělíme podle časového hlediska na mikrocykly, mezocykly a makrocykly. Mikrocyklus je nejkratší, obvykle týdenní nebo kratší, a skládá se z několika tréninkových jednotek. Mezocyklus je střednědobý cyklus, který je obvykle čtyřtýdenní. V rámci mezocyklů regulujeme zatížení vyvolané mikrocykly. Makrocyklus je dlouhodobý, obvykle roční, a dělí se na již zmiňovaná období (přípravné, hlavní a přechodné) (Lehnert, Novosad & Neuls, 2001).

Friel (2009) hovoří o tom, že bychom vytvořený plán měli dodržovat, ale do jisté míry. Pokud se stane něco nenadálého jako nemoc, úraz či problémy v rodině, měl by se plán upravit podle potřeby jezdce. Další z možností, kdy dochází k úpravě tréninkového plánu je, pokud nedochází k žádoucímu pokroku. Autor také popisuje způsoby, jak se navrátit po výpadku tréninku v několika stupních – návrat po výpadku tří dnů a méně, návrat po čtyřech až sedmi dnech, návrat po dvou až čtyřech týdnech a návrat po delší době (Friel, 2009).

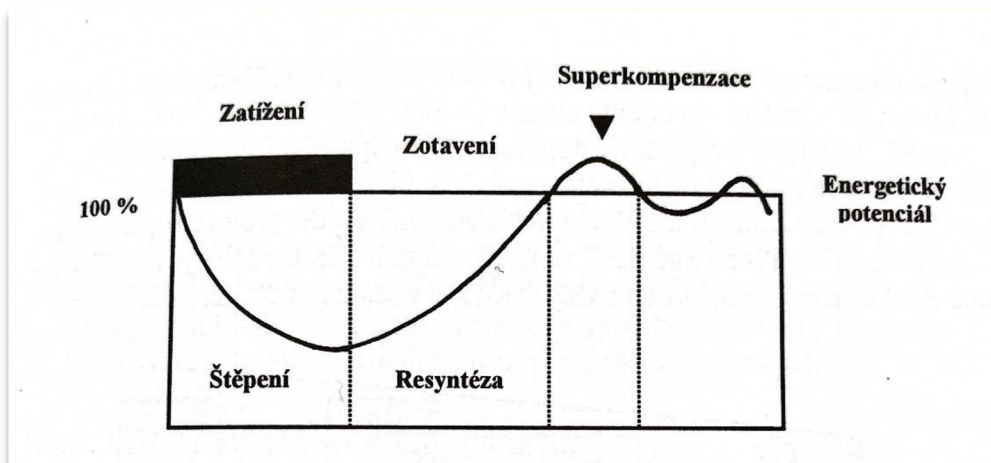
Nedílnou součástí tréninkového plánu je zotavení. Friel (2009) popisuje dva základní způsoby, jak zařadit zotavení do týdenního tréninkového plánu. Pro začátečníky nebo lidi, kteří mají problémy s regenerací doporučuje každý druhý den lehčí trénink nebo volno. Pro zkušené cyklisty se doporučuje seskupení těžších tréninků do dvou až tří dnů za sebou. Následuje den úplného volna nebo aktivita/trénink nízké intenzity (Friel, 2009).

3.5.1 Princip superkompenzace

Pokud hovoříme o superkompenzaci na úrovni energetického zabezpečení pohybové činnosti, charakterizujeme ji jako zvýšenou úroveň energetického potenciálu v důsledku předchozí činnosti. Zatímco svalová práce je doprovázena intenzivním štěpením a určitou resyntézou energetických zdrojů, při zotavení dochází primárně k resyntéze. Díky tomu tento proces vede nejen k obnově, ale i k převýšení výchozí úrovně energetických rezerv. Větší množství energetických rezerv má vliv na zlepšení výchozích podmínek pro následnou svalovou práci, proto může být intenzivnější nebo delší (Dovalil et al. 2002).

Na základě poznatků Dovalila et al. (2002) je možné vyvodit tuto zákonitost: rychlost obnovy energetických rezerv, velikost a trvání superkompenzace závisí na intenzitě vyčerpávání zdrojů (funkcí), tedy na intenzitě a době trvání cvičení. V zásadě, čím rychleji (vyšší intenzitou) je při jednorázovém zatížení spotřebována energie, tím rychleji dochází k výchozímu stavu a také rychleji nastupuje superkompenzace. Naopak platí, že po déle trvajícím zatížení (nižší intenzity) nastává superkompenzace později (Dovalil et al., 2002).

Tento princip je důležité respektovat zejména v týdenním cyklu, kde je načasování následného tréninku i volba optimální zátěže stěžejní (Bahenský & Bunc, 2018). Tento princip tedy úzce souvisí s periodizací tréninku ve vztahu týdne, měsíce i roku. Volbu tréninkového zatížení nám může zjednodušit dlouhodobé monitorování variability srdeční frekvence.



Obrázek 3 Efekt ve sportovním tréninku (superkompenzace) (Dovalil et al. 2002, s. 93).

Pokud se na tento princip podíváme pomocí variability srdeční frekvence, můžeme popsat aktivitu autonomního nervového systému (ANS) od zatížení až po dosažení superkompenzace. Když je jedinec optimálně zotavený, jeho ANS je aktivní směrem k vagu. Při fyzickém zatížení organismu dochází k aktivaci sympatiku a poklesu aktivity vagu. Následuje zotavení, při kterém opět stoupá aktivita vagu a přibližně po 24 hodinách se tato aktivita dostává na podobnou hodnotu jako před zatížením a může tuto hodnotu i překonat. Ve chvíli, kdy je hodnota vagu vyšší než byla výchozí hodnota, dochází k tzv. superkompenzaci a v tuto chvíli je optimální zařadit další trénink. Aktivita sympatiku je v tento moment stejná jako před zatížením. Pokud tento moment nezachytíme, dojde opět k poklesu aktivity vagu a nedojde k optimálnímu zvýšení trénovaných schopností. Pokud naopak budeme zařazovat zatížení dříve po nedostatečném zotavení a při nízké aktivitě vagu, může dojít k trvale zvýšené aktivitě sympatiku, dokonce i ke ztrátě sportovní formy a přetrénování (Stejskal, 2008).

3.6 Charakteristika variability srdeční frekvence a její využití ve sportu

První zmínka o variabilitě srdeční frekvence a její aplikace v klinické praxi byla v práci autorů Hona a Leeho z roku 1965.

Lidské srdce je stavěno tak, že umožňuje měnit srdeční výdej v závislosti na aktuálních potřebách organismu, především pro udržení homeostázy. Změny tepové frekvence odpovídají změnám v ANS, zejména v tonu sympatiku a parasympatiku, které jsou reakcí na stres či zátěž. Udává se, že dokonce i při absenci vnějších vlivů nejsou srdeční úderů chronograficky přesné. Tento jev tedy nazýváme variabilita srdeční frekvence (Stejskal & Salinger, 1996; Camm et al., 1996).

Monitorování HRV dostalo využití nejprve v klasických medicínských oborech – kardiologii a diabetologii. Následně došlo k využití i v zátěžové a sportovní medicíně. Nejvíce se využívá při hodnocení adaptace organismu na fyzické zatížení, k řízení a individualizaci sportovního tréninku (Stejskal, 2007).

V současnosti se používají řady metod a technik pro měření HRV, které mají různou vypovídající a interpretační hodnotu. Variabilita délky R-R intervalů (intervaly mezi jednotlivými srdečními stahy) reflektuje změny autonomního nervového systému z kvalitativního i kvantitativního hlediska, proto se využívá ke sledování změn tonu sympatiku a parasympatiku. Jako základní dostupné metody analýzy HRV se používají metody jednoduché (Valsalvův manévr), metoda časové domény (time domain) a frekvenční domény (frequency domain). Tyto metody lze měřit v krátkodobých záznamech (5 minut, tzv. STV – „short term variability“), nebo v dlouhodobých záznamech pomocí 24hodinového EKG záznamu (LTV – „long term variability“). Jelikož dochází k zdokonalování nových matematických postupů a výpočetní techniky, je tato problematika lépe chápána a tím vznikají další metody hodnocení HRV (Javorka, 2008).

Při analýze HRV lze použít dva různé matematické postupy, a to metody časové domény dále se dělí na metody statistické a geometrické, a metody frekvenční domény, která zahrnuje metody parametrické a neparametrické (Javorka, 2008).

Metoda časové domény je jedna z metod, která je založena na monitorování délky R-R intervalů EKG záznamu v určitém časovém úseku. Sledujeme rozdíly v délce R-R intervalů a v celé délce monitorovaného časového úseku. Zjišťované proměnné jsou jednak modifikace standardní odchylky délky srdečních intervalů v průběhu celkového záznamu EKG signálu nebo proměnné vycházející z diferencí mezi následujícími R-R intervaly, což jsou rMSSD (druhá odmocnina průměru druhých mocnin rozdílů mezi sebou jdoucími R-R intervaly), pNN50 (poměry mezi rozdíly následných intervalů při diferencii větší jak 50 milisekund) a pNN 6,25 % (pNN při diferencii větší než 6,25 %

průměrné srdeční periody). Jmenované proměnné odrážejí krátkodobé změny v srdeční frekvenci, nezávisí na dlouhodobých trendech, a tak vypovídají o změnách v parasympatickém systému (Javorka, 2008; Camm et al., 1996).

Metody frekvenční domény reprezentují postup kvantifikující aktivitu ANS, tedy sympatiku i parasympatiku. Pro výpočet polohy a síly spekter se užívají dvě metody, které obvykle poskytují téměř shodné výsledky. Jsou to rychlá Fourierova transformace (FFT – „Fast Fourier Transformation“) a autoregresivní metoda (Javorka, 2008; Camm et al., 1996).

3.6.1 Spektrální analýza variability srdeční frekvence (SA HRV)

Rychlá Fourierova transformace se může označovat jako Spektrální analýza variability srdeční frekvence (SA HRV – „Spectral Analysis of Heart Rate Variability“). SA HRV je jednou z nejlépe interpretovatelných metod, která umožňuje kvantifikovat aktivitu vegetativního systému. SA HRV dokáže skvěle reprodukovat nejen aktivitu parasympatiku a balanci vagu, ale i aktivitu sympatiku (Vlčková, Bednařík, Buršová, Šajgalíková, & Mlčáková, 2010).

SA HRV specifikuje informace o pravidelných oscilacích spolu tvořících HRV. To umožňuje převést časovou řadu vytvořenou R-R intervaly do frekvenční oblasti, která je schopna odhalit tyto periodické komponenty HRV. Pro spektrální analýzu variability srdeční frekvence je využívána buď autokorelační metoda, která srovnává aktuální hodnoty vstupní časové řady s hodnotami téže časové řady, avšak periodicky zpožděnými, nebo rychlá Fourierova transformace rozkládající vstupní časovou řadu na součet harmonických signálů s různou frekvencí, amplitudou a fází (Stejskal & Salinger, 1996; Salinger & Gwozdziwicz, 2008).

FFT poskytuje přesný záznam výsledků, který nám umožňuje detailní rozbor komponent HRV. Jednotlivé komponenty se získají převedením intervalů R-R (vyjádřených v milisekundách) do „spektrálního obrazu“ – rozmezí frekvence 0–0,5 Hz. Analýza krátkodobého záznamu (obvykle 5 minut) umožňuje rozlišit spektrální komponenty:

- ULF (ultra low frequency) je spektrální výkon v pásmu o ultra nízké frekvenci (ULF <3 mHz).

- VLF (very low frequency), což je velmi pomalá frekvence v rozsahu 20–50 mHz, jíž výkon bývá spojován s termoregulační sympatickou aktivitou cév, hladinou cirkulujících katecholaminů a s oscilacemi renin – angiotensinového systému.
- LF (low frequency), což je pomalá frekvence v rozsahu 50–150 mHz, označovaná též jako Mayerova tlaková vlna. Pomalá frekvence je nejvíce ovlivněna baroreflexní sympatickou aktivitou a odpovídá pomalým oscilacím variability arteriálního tlaku. LF však nesmí být považována za celkový ukazatel aktivity sympatiku.
- HF (high frequency) je vysoká frekvence překračující hranici 150 mHz a je ovlivňována výlučně eferentní vagovou aktivitou. HF komponenta nese název respirační vlna, protože frekvence oscilací kolem 250–300 mHz koreluje s dechovou frekvencí. Rostoucí dechový objem zvyšuje velikost komponenty HF, přičemž zvyšující se dechová frekvence ji posouvá doprava a redukuje ji. Dechová frekvence i objem přímo ovlivňují výkonové spektrum HRV (Stejskal & Salinger, 1996).

Hodnoty výkonu jednotlivých komponent se vyjadřují v absolutních hodnotách (ms^2), stejně jako hodnoty maximální amplitudy (maximální denzita spektrálního výkonu) ($\text{ms}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$). Z hlediska vztahu k ANS mají větší výpovědní hodnotu ukazatele relativní, vyjádřené v procentech celkového výkonu nebo zúženého spektra od 50 do 500 mHz jako tzv. normalizované jednotky (Stejskal & Salinger, 1996).

Během aktivace sympatiku klesá absolutní hodnota všech komponent. Vyjádříme-li hodnoty jednotlivých komponent v relativních jednotkách, zjistíme zvýšení zastoupení komponenty LF a opačnou dynamiku LF a HF. U zdravých osob vyvolává pasivní nebo aktivní postavení pokles celkového spektrálního výkonu, zvýšení komponenty LF (v relativních jednotkách) a snížení komponenty HF, a tedy i zvýšení poměru LF/HF. Spektrální výkon s frekvencí vyšší než 150 mHz můžeme tedy považovat za ukazatel aktivity parasympatiku, frekvence nižší (pod touto hranicí) odpovídá oscilacím jak parasympatiku, tak sympatiku, kdy se zásadní dominance parasympatiku na celkovém spektrálním výkonu snižuje. Oblast okolo frekvence 100 mHz poukazuje na zvýšenou aktivitu baroreceptorů (Stejskal & Salinger, 1996).

3.6.2 Vlivy ovlivňující HRV

Srdeční rytmus, jinak řečeno HRV, ovlivňují mnohé procesy odehrávající se vně i uvnitř organismu. Vnější faktory, které se podílejí na charakteru srdečního rytmu, jsou zejména: svalové a psychické zatížení, příjem stravy a na to navazující trávení, poloha těla, hluk, sluchové vjemy z okolního prostředí, podnebí, počasí a další. Vnitřní faktory, které se ovlivňují kvalitu srdečního rytmu, jsou: dýchání (např. při frekvenci dýchání 10 až 30 dechů/min HRV představuje hodnoty 0,15–0,5 Hz), oscilace tlaku krve (baroreflex – spontánní oscilace o frekvenci cca 0,1 Hz způsobené mimo jiné konečnou rychlostí šíření elektrického vzruchu nervovými vlákny), termoregulace (oscilace o frekvencích přibližně do 0,08 Hz) a zdravotní stav jedince (Task force, 1996).

Věk je fyziologický parametr, který z velké míry ovlivňuje výsledky spektrální analýzy variability srdeční frekvence. Při interpretaci SA HRV je důležité brát ohled na biologický věk jedince (Vlčková, Bednařík, Buršová, Šajgalíková, & Mlčáková, 2010). S vyšším věkem klesá srdeční frekvence, a tím dochází k významným změnám ve variabilitě srdeční frekvence. Byl prokázán pokles aktivity vagu, tím pádem se rovnováha autonomního nervového systému přesouvá směrem k stimulaci sympatiku u osob vyššího věku. Se snížením srdeční frekvence byl diagnostikován i pokles variability srdeční frekvence zejména ve vysokofrekvenční složce (Šlachta, 1999; Šlachta, Stejskal, Elfmark, & Salinger, 2002).

Hlavní faktor, který ovlivňuje HRV, je vliv **fyzického/svalového zatížení**. Mezi projevy dlouhodobého vytrvalostního tréninku patří snížení klidové srdeční frekvence. Pravidelná pohybová aktivita má pozitivní vliv nejen na subjektivní pocit lepšího zdraví, ale způsobuje i zvýšenou aktivitu vagu. U longitudinálně trénovaných vytrvalostních sportovců pozorujeme díky zvýšené aktivitě parasympatiku nižší srdeční frekvenci a rychlejší zotavení srdeční frekvence po zatížení (Buchheit, Simon, Piquard, Ehrhart, & Brandenberger, 2004).

Dalším faktorem je **stres** či výraznější **alternace spánkového režimu**. Vliv tohoto faktoru nemůžeme spolehlivě vyloučit ani přes to, že jedinci při diagnostice byli dotazováni. Obvykle však není možné tento vliv eliminovat. Někteří autoři se domnívají, že případný vliv stresu či spánkové alterace na nálezy kontrolního souboru nesnižuje validitu zjištěných dat ani jejich použitelnost pro nastavení norem a hodnocení reprodukovatelnosti SA HRV (Vlčková et al., 2010). Autorka Tonhajzerová (2008) uvádí,

že psychická složka má vliv na zpracování informace na úrovni CNS (emoce, adaptace atd.). Může s tím být tedy spojený např. jakýkoliv sociální problém, možnost začínající nemoci, předstartovní stav, reakce hráče na konkurenci atd. Dále dodává, že reakce na všechny tyto faktory je u jednotlivců specifická a individuální, ať jde o sport kolektivní nebo individuální (Tonhajzerová, 2008). Ve výzkumu disciplíny BMX se objevil výskyt předstartovního neklidu jako emoční změny projevující se i na variabilitě srdeční frekvence. Mateo uvádí, že tento stav neklidu je spojený s určitými potížemi (např. somatické a kognitivní změny, snížené sebevědomí atd.), které mohou narušovat sportovní výkon i při krátkodobých silově-koordinačních sportech, jako je právě BMX. Mateo potvrdil, že analýza HRV poskytuje komplementární nástroj pro hodnocení závodního tlaku (stresu) (Mateo, Blasco-Lafarga, Martínez-Navarro, Guzmán, & Zabala, 2012). Stejných výsledků se povedlo dosáhnout u elitních plavců. Psycho-fyziologické fáze stavu byly sledovány v tréninku a následně v závodě. Výsledky v závodě ukázaly pohyb aktivity ANS směrem k sympatiku. Na základě těchto poznatků můžeme označit metodiku HRV jako možný způsob hodnocení sympatovagové rovnováhy (rovnováhy ANS) v přítomnosti předstartovního stresu (Blásquez, Font, & Ortís, 2009).

Kvalita a délka spánku má velký vliv na parametry variability srdeční frekvence, tím pádem můžeme HRV považovat za biomarker spánkové kvality. Lepší klidové parametry HRV mají významnou souvislost s vyšší kvalitou spánku u mladých univerzitních studentů (n = 39) (Gouin, Wenzel, Deschenes, & Dang-Vu, 2013). Michels, Clays, De Buyzere, Vanaelst, De Henauw, & Sioen (2013) provedli výzkum, ve kterém se zabývali vlivem délky a kvality spánku na HRV u dětí (n = 334) mezi 5 a 11 lety věku. Z jejich poznatků můžeme vyzdvihnout fakt, že dlouhá spánková latence může predikovat nižší hodnoty HF, zatímco probouzení v noci, nízká kvalita a délka spánku u dětí způsobuje změny rovnováhy LF/HF. Hovoří, že dlouhodobá nízká kvalita spánku predikuje nezdravé dlouhodobé změny na autonomní rovnováze. Nízká kvalita spánku souvisela se výšenou dominancí sympatiku nad parasympatikem při porovnání hodnot na začátku a na konci po jednom roce (Michels, Clays, De Buyzere, Vanaelst, De Henauw, & Sioen, 2013).

Změna polohy těla ovlivňuje činnost kardiovaskulárního systému a tím i hodnoty HRV. Prokázaný vliv na HRV má poloha ortostázy i klinostázy (změna polohy ze stoje do

lehu) (Javorka et al., 2008). Aktivita sympatiku je vyšší v poloze ve stoje a naopak aktivita parasympatiku dominuje v poloze v lehu (Opavský, 2002).

Tělesná teplota a její změny mají velký vliv na kardiovaskulární systém. Srdeční frekvence se například při hladovém stresu zvyšuje pro zvýšení dodávky okysličené krve do tkání a pro podporu metabolismu. Pokud tělesná teplota klesne pod 33,3 °C, srdeční frekvence klesá pod 32 a může docházet k abnormalitám srdečního rytmu (Javorka, 2008). Při zvýšení tělesné teploty dochází ke zvýšení TF, tonu sympatiku a poklesu celkové HRV (Banjar, Gazzaz, Langley, Bradshaw, & Szabadi, 2000).

Pohlaví je dalším významným faktorem ovlivňujícím SA HRV. U žen se objevuje vyšší srdeční frekvence zejména v reprodukčním období. Podle Acharya et al. (2006) se udává, že u žen v reprodukčním období se nachází snížená aktivita sympatiku při regulaci srdeční aktivity, dále také snížená hodnota celkového výkonu v nízkofrekvenčním pásmu a poměr výkonu nízkofrekvenčního pásma ku výkonu ve vysokofrekvenčního pásma je nižší (Acharya et al., 2006). V některých studiích jsou považovány rozdíly absolutních hodnot celkového spektrálního výkonu mezi pohlavími za statisticky nevýznamné (Vlčková et al., 2010). Rozdílné hodnoty průměrné srdeční frekvence a HRV u žen jsou ovlivněny pravděpodobně hormonálními změnami (zejména estrogenními), rozdílnou tělesnou stavbou, vyšším procentem tukové tkáně a také rozdílnou výkonností, která má blízký vliv na rovnováhu sympatiku a parasympatiku (Javorka, 2008). Studie zabývající se periodizací tréninku na základě HRV u mužů i žen hovoří o tom, že mezipohlavní rozdíly nemají zásadní vliv na HRV. U žen hovoří o mírně prodlouženém zotavení HRV po vysoce intenzivním zatížení. Z tohoto důvodu je u žen vhodné zařazovat intenzivní tréninky pouze při vysokých hodnotách HRV. Tyto poznatky, ale mohly být ovlivněny nižší relativní i absolutní výkonností skupiny žen (Kiviniemi et al., 2010).

Vliv **tělesného složení** na variabilitu srdeční frekvence. Lidé s nadváhou či obezitou mají obecně problémy se srdečními onemocněními, jelikož obezita má velký vliv na stav krevních žil a cév. Na variabilitu srdeční frekvence má obezita takový vliv, že jedinci s ní mají dlouhodobě zvýšené parametry HF a tím pádem i aktivitu sympatiku na úkor vagu. Bylo prokázáno, že hodnoty HRV se při snížení hmotnosti zlepšují (Karason, Mølgaard, Wikstrand, & Sjöström, 1999).

Vliv večerní stravy na ranní měření HRV zhodnotili autoři Ucar, Özgöçer, & Yıldız (2021) a na základě jejich závěrů lze říci, že jídlo snědené okolo 22 hodiny nemá vliv na

ranní HRV. Rozlišovali, zda má vliv i rychle stravitelné jídlo (dezert) či pomalu stravitelné (kebab) (Ucar, Özgöçer, & Yıldız 2021). V jiné obsáhlé studii autoři hovoří o tom, že druh stravy nemá statisticky vliv na HRV, ale vynechávání snídaně v denním režimu může ovlivnit parametry rMSSD. U nesnídajících osob byly zaznamenány nižší hodnoty rMSSD, které reprezentují převahu sympatiku (Ozpelit, & Ozpelit, 2017).

3.6.3 Využití HRV ve sportu

Autoři Botek, Stejskal, Jakubec, & Kalina (2004) poukazují na užitečnost korekce tréninkového procesu pomocí HRV. K řízení tréninkového procesu využívají zjednodušený model, který nám stanovuje křivku kompenzace, na které můžeme sledovat fáze superkompenzace (Botek, Stejskal, Jakubec, & Kalina, 2004).

Individualizace tréninkového zatížení pomocí HRV má mnoho benefitů, které zlepšují sportovní výkonnost oproti standardizovaným tréninkovým plánům. O této problematice využívání HRV v tréninkovém procesu hovoří mnoho autorů (al-Ani et al., 1996; Tulppo et al., 2003; Garet et al., 2004; Hautala et al., 2004; Kiviniemi et al., 2006).

Vliv vytrvalostního tréninku na změny srdečního rytmu je podložen mnoha studiemi. Na řízení tréninkového zatížení podle HRV poukazuje také mnoho studií. Výzkumy zabývající se HRV tréninkem byli provedeny na běžné sportující populaci (Kiviniemi et al., 2007), na běžcích a běžkařích (Bahenský, & Grosicki, 2021; Schmitt et al., 2018; Vesterinen et al., 2016), i na veslařích (Plews, Laursen, Kilding, & Buchheit, 2014). Publikace nejbližší našemu experimentu se zabývají problematikou HRV tréninku využívaného se skupinou silničních cyklistů (Javaloyes, Sarabia, Lamberts, Plews, & Moya-Ramon, 2019). Doposud, ale nebyla zveřejněna žádná studie, která by popisovala využití HRV u závodníků na horských kolech.

Vliv časového posunu na HRV popsali ve svých publikacích (Botek, Stejskal, & Svozil, 2009; Stejskal, Jakubec, Přikryl, & Salinger, 2003). Jejich poznatky lze využít jako dobrý prostředek pro sportovce, kteří cestují za soutěžími přes více časových pásem. Pomocí HRV mohou hodnotit adaptaci organismu na časový posun (Botek, Stejskal, & Svozil, 2009; Stejskal, Jakubec, Přikryl, & Salinger, 2003).

Využitelnost HRV ve vytrvalostních sportech je nesporná, ale u rychlostních běžců a vrhačů se tato skutečnost neprokázala (Kouidi, Haritonidis, Koutlianos, & Deligiannis 2002). Hovoříme ale pouze o jediné studii. Existují studie, které ukazují vliv silového tréninku na HRV. V jedné z těchto studií poukazují na fakt, že zotavení z únavy

po vzpěračském tréninku trvá déle než 48 hodin. Dále poukazují na skutečnost, že subjektivní hodnocení bolesti svalů nemá přímou souvislost se stavem HRV (Chen et al., 2011).

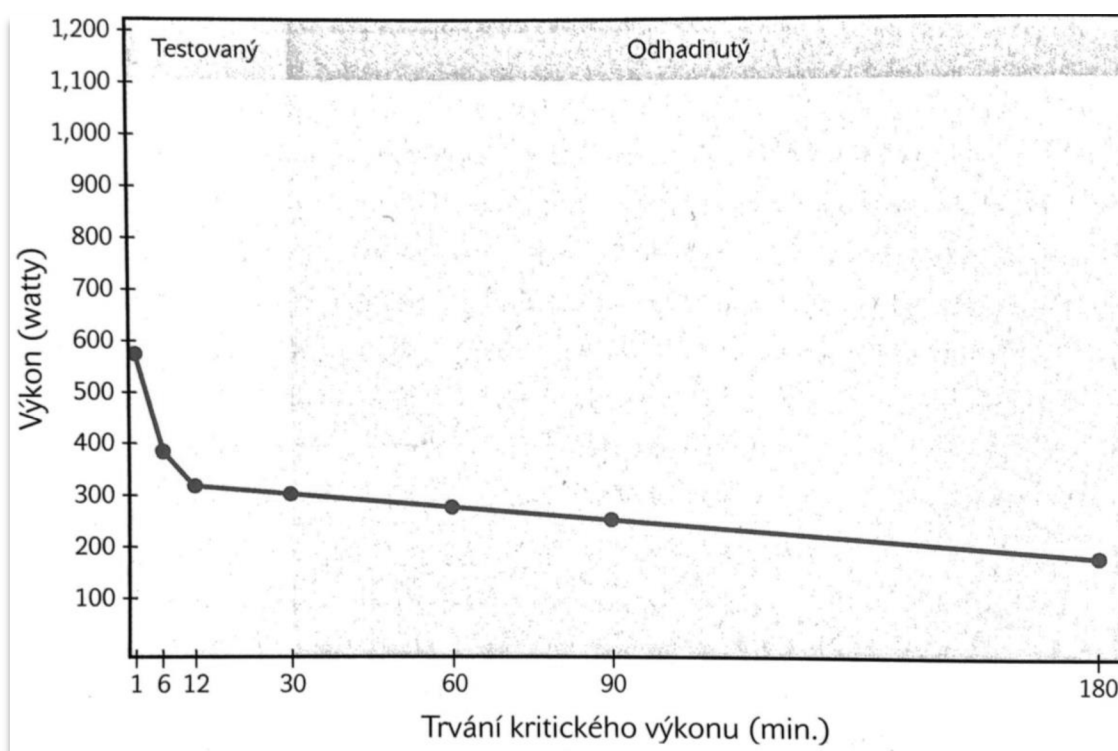
3.7 Funkční zátěžová diagnostika využívaná v cyklistice

Všeobecně je hlavním významem funkční zátěžové diagnostiky ve sportu vyšetřování zdatnosti a výkonnosti sportovce. Abychom mohli hovořit o zdatnosti, musíme si ji definovat. Zdatnost je tedy připravenost či způsobilost organismu konat fyzickou činnost a současně odolávat aktuálním vnějším vlivům. Jiný z autorů ji popisuje jako schopnost řešit určené úkoly, které jsou spojeny s pohybovým výkonem, bez zjevné únavy (Beunen, 2001). Výkonnost si můžeme definovat jako schopnost podávat objektivně měřitelný výkon, který jedinec vykonává při určitém pohybu či sportovním odvětví (Heller, 2018).

V zátěžové diagnostice se využívá celá řada postupů a metod. Mezi tyto postupy a metody patří především laboratorní zátěžové testy. Jeden z nejvíce využívaných testů je test VO_2max , který se využívá pro stanovení maximální spotřeby kyslíku. Tento test je možné aplikovat na řadě ergometrů, např. běžeckém, bicyklovém či ergometru horních končetin. Hodnotu VO_2max lze také určit nepřímou. K tomuto určení se využívají různé varianty step testů či známý a hojně využívaný test W170. Pro nepřímé stanovení VO_2max mimo laboratorní podmínky slouží např. Cooperův 12minutový test, Balkeho 15minutový test či test chůze na 2 km (Heller, 2018).

V cyklistice se pro hodnocení výkonnosti nejčastěji využívají stupňované testy buď do vřta maxima tzv. test VO_2max nebo testy do submaxima, které se používají zejména při stanovování laktátových prahů. Tyto testy nám stanovují aerobní výkonnost jedince a často se využívají pro zjištění zón srdeční frekvence. Mezi terénní testování patří i námi použitý test 20TT, který můžeme také znát pod pojmem FTP test – „functional threshold power test“ (test funkčního prahového výkonu). FTP test lze provádět jak na stacionárním ergometru v laboratořích, tak i v terénních podmínkách. Jeho výsledky můžeme interpretovat absolutních [W] i relativních jednotkách [$W \cdot kg^{-1}$]. Pro hodnocení anaerobního výkonu se v cyklistice nejčastěji využívá 30vteřinový Wingate test. Pomocí kterého hodnotíme anaerobní schopnosti jedince (Friel, 2009).

Obecně z několika dílčích maximálních (tzv. all-out) testů můžeme sestavit křivku kritických výkonů. Za jeden z těchto testů můžeme považovat Wingate test, který nám stanovuje maximální dosažený výkon za 30 vteřin. Jako další protokoly pro stanovení křivky výkonu se využívají maximální testy výkonu po dobu 12 vteřin, 1 minutu (CP1), 6 minut (CP6), 12 minut (CP12) a 30 minut (CP30) (Friel, 2009). Za jeden z takových testů můžeme považovat i 20TT. Jiní autoři využívají ještě 3minutový all-out test nebo i delší např. 40minutové časové úseky. Délka těchto testů se obvykle stanovuje podle specializace sportovce. Pro výsledky testů kritického výkonu se obvykle využívají absolutní jednotky [W]. Křivka výkonu se stanovuje zanesením výkonu do grafu závislosti výstupního výkonu na čase. Kritické hodnoty pro delší časový úsek se obvykle odhadují prodloužením klesající křivky výkonu v závislosti na čase nebo podobných výpočtů jako FTP. Tyto testy lze provádět v laboratoři i v terénu.



Obrázek 4 Vzorový profil výkonu (Friel, 2009).

Využití spirometrické a spiroergometrické ukazatele pro tuto práci

Spotřeba či příjem kyslíku (VO_2) je množství spotřebovaného kyslíku za jednu minutu (moderní terminologie vyhraduje pojem příjem kyslíku výměně dýchacích plynů organismu a prostředí, zatímco spotřebou kyslíku se míní spotřeba kyslíku v buňce periferních tkání, někdy označovaná jako QO_2), užívají se jak absolutní [$l \cdot \text{min}^{-1}$] tak i

relativní hodnoty vztažené na kilogram tělesné hmotnosti [$\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$] nebo na kg tukuprosté hmoty. Pro srovnání jedinců s výrazně odlišnými tělesnými rozměry se využívá tzv. normalizované vyjádření [$\text{ml.kg}^{-0,66}.\text{min}^{-1}$]. **VO₂max** je maximální spotřeba (příjem) kyslíku, které se snažíme dosáhnout při stejně nazývaném se testem VO₂max. Tato hodnota se udává ve stejných jednotkách jako VO₂ (Heller, 2018).

Pro maximální ergometrický výkon (**Pmax**), (**PPO**) nebo (**WR**) dosažený na bicyklovém ergometru se užívají absolutní [**W**] i relativní hodnoty [W.kg^{-1}] (Heller, 2018).

Poměr respirační výměny „Respiratory Exchange Ratio“ (**RER**) udává poměr mezi vydaným oxidem uhličitým a přijatým spotřebovaným kyslíkem. RER je také ukazatelem energetického zdroje, který právě v těle převládá. Pomocí RER můžeme určit rozdíl mezi aerobním metabolismem a anaerobním systémem organismu (Bartůňková et al., 2013).

Aerobní práh nebo také první ventilační práh (**VT1**) je hodnota na které dohází k přechodu energetický zdrojů z tukových na sacharidové. Určování VT1 v rámci VO₂max testu je velmi obtížné a jedná se spíše o odhad. Pro jeho hodnocení se v praxi využívají jednotky [**W**] a [l.min^{-1}]. Druhý ventilační anaerobní práh (**ANP** = anaerobní práh, **AP** = „anaerobic threshold“, **VT2**), též stresový práh je metabolický přechod či předěl mezi převážně aerobním a anaerobním krytím energetických nároků, současně se jedná o předěl mezi intenzitou zátěže bez výrazné kumulace laktátu v krvi a intenzitou zátěže s výraznou kumulací laktátu. Vyjadřuje se zpravidla intenzitou zátěže (ergometrický výkon [**W**], respektive rychlost pohybu), spotřebou kyslíku [l.min^{-1}] a srdeční frekvencí na úrovni anaerobního prahu i relativním vyjádřením vzhledem k maximálním hodnotám vyšetřovaného jedince (% VO₂max, % PPO a % SFmax) (Heller, 2018).

4 Projekt experimentu, jeho organizace a průběh

Výběr zkoumaného vzorku nebyl vybrán náhodně, a proto nemůžeme hovořit o experimentu jako takovém. Naše zkoumání tedy můžeme nazvat jako kvaziexperiment, jelikož náš vzorek byl vybrán na základě sportovní specializace a věku probandů. Podle Ferjenčíka (2000) se při kvaziexperimentu využívá porovnávací nebo komparační skupina místo skupiny kontrolní. Kvaziexperiment se snaží, podobně jako řízený experiment, o zjišťování kauzálních vztahů mezi proměnnými, ale disponuje nižší mírou interní validity (Ferjenčík, 2000).

Data pro experiment jsme získali primárně ve spolupráci s Laboratoří funkční zátěžové diagnostiky Katedry tělesné výchovy a sportu Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Techniku pro měření variability srdeční frekvence nám poskytl Bike klub Vimperk.

4.1 Organizační a přístrojové zabezpečení experimentu

4.1.1 Design experimentu

Měření variability srdeční frekvence bylo zahájeno v polovině února 2021 u všech probandů experimentální skupiny. Pro určení výchozích hodnot HRV a získání základních poznatků o reakcích ANS na trénink bylo měření zahájeno čtyři týdny před pretestem. Tyto čtyři týdny nazýváme základní období neboli „*base line*“. V tomto období byl trénink všech probandů řízen podle tradiční tréninkové metody.

Tabulka 2 Design experimentu.

	4 týdny		4 týdny		
Start HRV	Tradiční trénink	PRE TEST	HRV trénink	POST TEST	ES
	Base line		Zkoumané období		
	Tradiční trénink	PRE TEST	Tradiční trénink	POST TEST	KS

Pretest proběhl u všech probandů v období 24.–26.3.2021. Nejdříve proběhl 24.3. test $VO_2\max$ v laboratoři, následně, s odstupem dvou dnů probandi absolvovali test 20TT. Pretestem jsme zahájili zkoumané období, ve kterém byla tréninková náplň probandů odlišná. U experimentální skupiny (ES) probandů bylo změněno řízení tréninku. Zahájili jsme řízení tréninku pomocí variability srdeční frekvence. Komparační skupina (KS) pokračovala podle tradičního tréninkového plánu. Zkoumané období jsme

ukončili posttestem, který proběhl 20.–22.4.2021. Opět proběhlo nejdříve testování $VO_2\text{max}$ následně, s odstupem dvou dnů, proběhlo testování 20TT.

4.1.2 Předdefinovaný tréninkový plán pro náš experiment

Při tvorbě tréninkového plánu musíme postupovat podle základních pravidel, kdy každý plán směřuje k nějakému cíli. Naši probandi považovali za hlavní vrchol sezony Mistrovství České republiky v cross-country, které se uskutečnilo 19.–22.8.2021 v Harrachově. Jako dílčí vrchol sezóny byl stanoven Světový pohár Nové Město na Moravě 15. 5. 2021. K těmto závodům se soustředila největší pozornost. Kromě již zmíněných závodů měli závodníci v plánu absolvovat 10–15 přípravných závodů v průběhu sezóny. Náš experiment byl proveden při jarním soustředění, dva měsíce před prvním vrcholem. Závodníci na tomto soustředění absolvovali určitý počet tréninků pro rozvoj základní vytrvalosti na silničním kole i specializované tréninky na horském kole. Při tvorbě tréninkového plánu jsme volili souvislé metody, obvykle se střídavou intenzitou. Na horském kole byla zařazována i metoda „fartlek“, vycházející ze švédského „hra s rychlostí“. V tabulce níže máme tréninkový plán na období celého experimentu, ze kterého vycházela experimentální i komparační skupina.

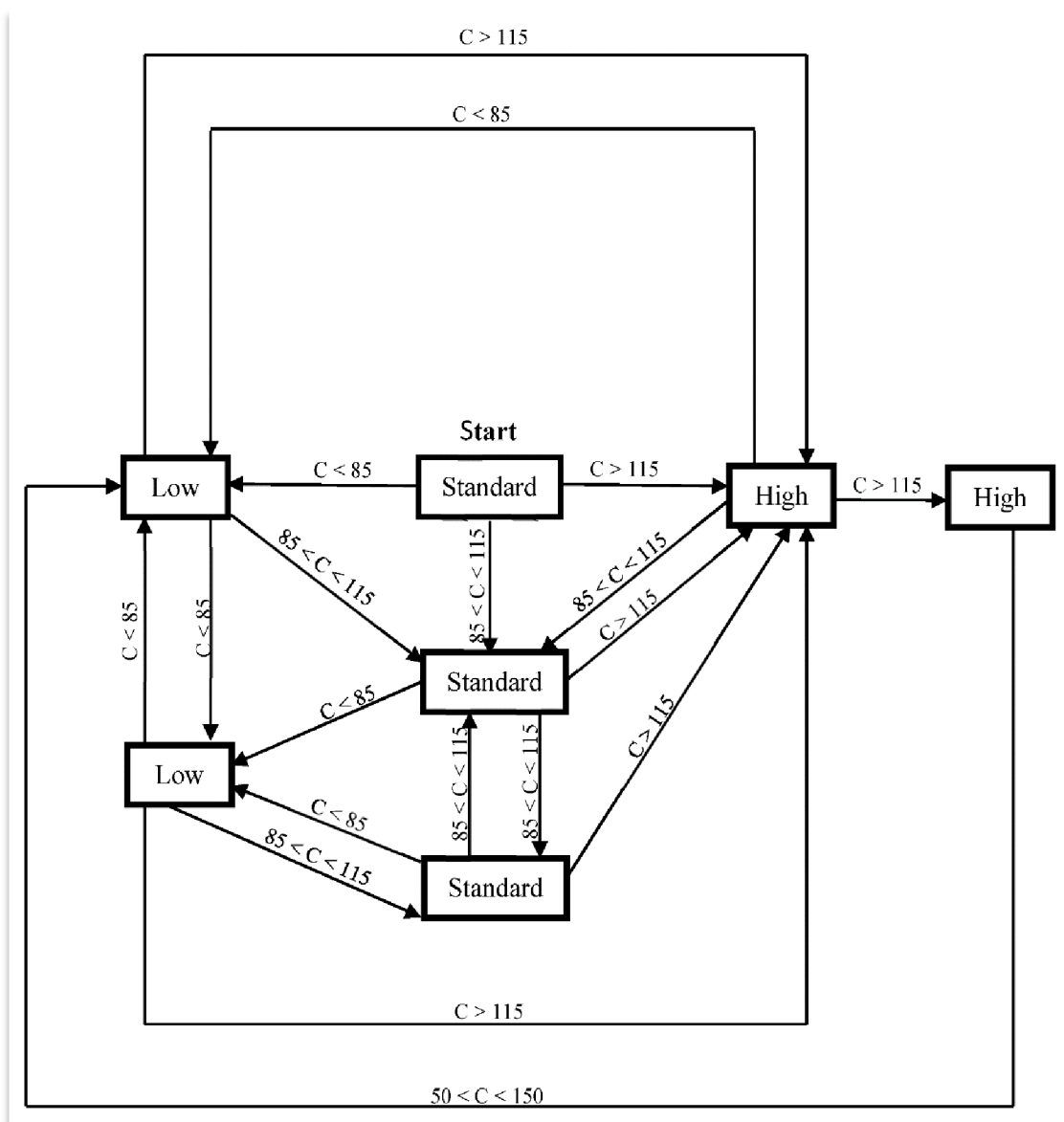
Tabulka 3 Tréninkový plán pro obě skupiny.

Den	1. fáze	Doba trvání (min)	Vzdálenost (Km)	2. fáze	Doba trvání (min)	Vzdálenost (Km)
	PRETEST					
1.	Volný den – cestování			Volno		
2.	Silniční kolo – vytrvalost souvislá metoda	240	120	Kompenzační cvičení	45	
3.	Horské kolo – vytrvalost "fartlek"	180	50–60	Silniční kolo – vyjetí	60	30
4.	Horské kolo – vytrvalost souvislá metoda	180	50–60	Kompenzační cvičení	45	
5.	Volný den			Tenis	60	
6.	Silniční kolo – vytrvalost střídavá metoda	240	130	Protažení a kompenzační cvičení	45	
7.	Horské kolo – vytrvalost střídavá metoda (síla)	160	50–60	Kompenzační cvičení	60	
8.	Silniční kolo – vyjetí	60	30	Kompenzační cvičení	45	
9.	Silnice – vytrvalost střídavá metoda (kopce)	285	130–150	Volno		
10.	Horské kolo – specifický trénink techniky	160	50–60	Volno		
11.	Volný den			Silnice – Vyjetí všichni	60	30
12.	Silniční kolo – vytrvalost střídavá metoda (kopce)	240–300	120–140	Kompenzační cvičení	45	
13.	Horské kolo – vytrvalost souvislá metoda	180–240	50–60	Volno		
14.	Silniční kolo – vytrvalost střídavá metoda	180–240	90–120	Volno		
15.	Cestování			Cestování		
16.	Volno			Volno		
17.	Silniční kolo – vytrvalost	90–120	40–60	Volno		
18.	Horské kolo – rychlostní intervaly	90–120	20–30	Volno		
19.	Horské kolo – vytrvalost "fartlek"	90–120	20–40	Kompenzační cvičení	45	
20.	Volno			Volno		
21.	Horské kolo – specifický trénink techniky	90–120	15–25	Volno		
22.	Horské kolo – závody	60–90	15–25	Horské kolo – vyjetí	30	10
23.	Horské kolo – vytrvalost souvislá metoda	60	20–25			
24.	Volno			Volno		
	POSTTEST					

4.1.3 Způsob optimalizace tréninku pomocí SA HRV

Jak jsme využili HRV v tréninkovém procesu cyklistů? Na základě spektrální analýzy variability srdeční frekvence jsme přizpůsobili tréninkový proces tak, aby nedocházelo k přetrénování ani maladaptaci. HRV nám zjednodušuje zjistit aktuální stav organismu a tím zabránit například nežádoucí nemoci. Pro tuto analýzu jsme využili softwaru MySASY, který nám stanovil aktuální stav kompenzace. Tato aplikace stanovuje velké množství hodnot, my jsme stanovili jako zásadní kompenzaci. Na obrázku níže je zobrazen diagram, který byl z velké části převzat z publikace (Bahenský, & Grosicki, 2021). Jelikož soustředění, které jsme využili pro náš experiment, se nenacházelo ve

vysoké nadmořské výšce, mohli jsme si dovolit absolvovat první tréninky bez aklimatizace, na rozdíl od experimentu prováděného ve zmíněné publikaci. Řídili jsme se podle diagramu, pokud byla kompenzace jedinců mezi 85 a 115, absolvovali standardní trénink podle plánu. Obecně, když došlo ke snížení kompenzace pod 85, bylo sníženo tréninkové zatížení na lehký trénink nebo byl trénink úplně vynechán. Naopak, pokud hodnota kompenzace stoupla nad 115, byl zařazen obtížný trénink většinou o vysoké intenzitě. Pokud došlo k opakování vysokých hodnot dva dny po sobě, třetí den byl zařazen lehký trénink bez ohledu na kompenzaci. Podrobně máme optimalizaci znázorněnou v diagramu.



Obrázek 5 Diagram pro optimalizaci tréninkového zatížení pomocí variability srdeční frekvence (HRV). Přehled: C= kompenzace, Low= nízká intenzita tréninku, High= vysoká intenzita tréninku (Bahenský, & Grosický, 2021, upraveno).

4.1.4 *Přístrojové zabezpečení experimentu*

Přístroje použité pro experiment můžeme rozdělit na přístroje pro měření HRV a přístroje použité pro testování v laboratoři.

Pro měření variability srdeční frekvence byly využívány osobní tzv. „chytré telefony“ s připojením k internetu a se softwarem Android či IOS. Telefon musel obsahovat technologii Bluetooth, pomocí které byl připojován k hrudnímu pásu. Pro měření HRV byly využity hrudní pásy Garmin typu HRM Dual, které nabízí připojení k externímu příslušenství pomocí technologie ANT+ nebo Bluetooth. Podmínkou pásů pro měření variability srdeční frekvence byla schopnost měřit R-R interval s přesností na tisícinu vteřiny (mySASY, 2020).

Přístroje použité pro testování byly standardizovány a pravidelně kalibrovány. Zásadním přístrojem využitým pro náš experiment byl **Ergometr LODE Excalibur Sport**. Mezi jeho přednosti patří přesnost, spolehlivost a stabilita. Byl navržen i pro extrémní zátěž těch nejsilnějších cyklistů (až 2500 wattů). Tento ergometr disponuje širokou možností nastavení výšky a vzdálenosti řídítek, sedadlo lze posunout nejen horizontálně a vertikálně, ale jde nastavit i jeho sklon (Compek, 2010).

Druhým námi využitým ergometrem byl **Wattbike Pro**. Tento ergometr nabízí možnost měřit parametry, jako jsou watt, kadence, rychlost, tepová frekvence a mnohé další. Wattbike poskytuje i grafickou a numerickou informaci o technice šlapání, kterou je možné sledovat přímo v průběhu tréninku. Reálný pocit z jízdy jako na klasickém silničním kole je vytvořen unikátní konstrukcí vzduchové brzdy spojené se setrvačником. Sekundární brzda je magnetická, používá se jen při velmi vysokých zátěžích a imituje vysokoprocentní stoupání. 10 stupňů odporu vzduchové brzdy a 7 stupňů magnetické brzdy umožňuje imitaci širokého spektra převodů 39–56 × 12–20. Maximální možný odpor ergometru Wattbike Pro je 3760 wattů. Veškeré informace mohou být bezdrátově vysílány pomocí ANT+ do počítače, kde mohou být podrobně analyzovány pomocí softwaru Wattbike Expert. Velmi důležitou součástí je „mozek“ přístroje, Wattbike Performance Computer, spojený s tenzometrickým senzorem výkonu umístěným u středu na řetězu umožňujícím přesné měření výkonu s chybou do 2 %. Počítač trvale snímá 40 parametrů ve frekvenci 100x za sekundu a umožňuje velmi detailní analýzu výkonu, včetně Polar View, který graficky znázorňuje, zda šlapete efektivně. Z nejdůležitějších měřených parametrů zmiňme nezávislé údaje o výkonu levé a pravé

nohy, včetně zobrazení křivky práce, úhlu náběhu maximální síly, kadence, průměrného, maximálního a aktuálního wattového výkonu, hodnoty wattů na kilogram [$W \cdot kg^{-1}$] a další (Wattbike, 2021).

Pro analýzu složení těla byla využita laboratorní váha **Tanita BC 418 MA**. Tato váha určuje tělesné složení pomocí bioelektrické impedanční analýzy (BIA). Používá princip segmentálního měření pomocí osmi katod. Pomocí těchto katod je do těla vysílán velmi slabý elektrický signál. Přístroj funguje na tomto principu: Tuková tkáň obsahuje více vody než tkáň svalová, tím pádem je v ní i nižší elektrický odpor. Na základě těchto poznatků a pomocí matematických vzorců přístroj vypočítává tělesné složení. Data z této váhy můžeme analyzovat pomocí softwaru Gmon PRO (Fitham, 2020).

Cortex MetaControl 3000 je sestava přístrojů určená ke spirometrickému měření. Jednotlivé přístroje jsou spolu synchronizovány, a tím zajišťují kompatibilitu a spolehlivost při testování (Compek medical services, 2014).

Systém **Cortex Metalyzer 3B** slouží pro celkovou diagnostiku a kardiopulmonální testy. Je vhodným vybavením do tréninkových center, laboratoří sportovních lékařů či nemocnic. Přístroj nabízí mnoho vyšetření, včetně vyšetření plic, srdce a stavu metabolismu. Vše je možné měřit v klidu i při zátěži. Pro vyhodnocení dat přístroj využívá počítačový program MetaSoft Studio (Compek medical services, 2014).

4.1.5 Programové zabezpečení experimentu

Software Wattbike Expert monitoruje při jízdě na stacionárním ergometru wattbike více než 39 odlišných parametrů a snímá tyto parametry s vysokou citlivostí 100x za sekundu. Vše je pomocí tohoto programu zobrazováno a současně i nahráváno. Software tedy umožňuje analyzovat všechny aspekty výkonu při každém otočení pedálu. Základními parametry, které program zaznamenává, jsou: čas, kadence [$1/min$], rychlost [km/h], celková vzdálenost [m], tepová frekvence [$1 \cdot min^{-1}$], tempo na kilometr [$1 \cdot km^{-1}$], výkon [W], výkon/hmotnost [$W \cdot kg^{-1}$], vyvážení práce pravé a levé dolní končetiny [%], úhel pravé a levé nohy [%] (Fletcher, 2010). Pro náš výzkum jsme využili primárně data průměrného výkonu přepočteného na kilogram hmotnosti jedince. Tento software byl využit při analýze testového protokolu 20TT.

Metasoft studio je program, který nám umožnil zobrazení a průběh zátěžového testu VO_{2max} . Dále jsme pomocí tohoto softwaru měli možnost výsledky zanalyzovat a následně vytvořit report ve formě PDF protokolu. Program Metasoft studio propojuje a

ovládá funkce všech těchto zařízení: Ergometr Lode Excalibur sport, Cortex MetaControl 3000, Cortex MetaLyzér 3B, dále také běžecký pás Lode a přístroj pro měření EKG i oxymetrie.

MySASY mobile je mobilní webová aplikace, která nám umožňuje pomocí mobilního telefonu a hrudního pásu monitorovat variabilitu srdeční frekvence. Tento systém používá metodu frekvenční domény, konkrétně analýzu s využitím Fourierovy transformace. Tato metoda bývá nazývána jako spektrální analýza variability srdeční frekvence. Na základě této analýzy můžeme pozorovat stav autonomního nervového systému. MySASY využívá vědeckých poznatků, originálních algoritmů analýzy a interpretace dat, které hodnotí obě větve autonomního nervového systému a detailně popisuje vliv předchozího zatížení na vnitřní rovnováhu organismu. Systém MySASY tak umožňuje stanovit optimální tréninkový režim. Monitorování ANS umožňuje sledovat: doplňování energetických zásob, úroveň aktuální kompenzace a adaptace (mySASY, 2020). Software umožňuje dlouhodobé monitorování HRV, které nám zobrazuje pomocí 2D grafu. Na tomto grafu hodnotíme pohyby jednotlivých měření. Můžeme sledovat jak aktuální, tak předešlé výsledky.

MS Office je seskupení softwarů, které nám zjednodušují práci na počítači. Obsahuje velké množství programů, u nichž jsme využili pro naši práci pouze zlomek. Pro zpracování formální stránky práce jsme využili program MS Word, což je textový editor. Pro práci s daty, tvorbu tabulek a grafů jsme využili tabulkový editor MS Excel.

4.2 Charakteristika souboru

Tabulka 4 Charakteristika souboru.

	ES (HRV-G) (n= 4)	KS (TRAD) (n= 3)
Věk (roky)	16,8 ± 0,5	17,7 ± 1,5
Výška (cm)	178,3 ± 9,6	181,5 ± 5,6
Hmotnost (kg)	67,3 ± 8,2	74,2 ± 12
VO ₂ max (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	65,4 ± 3,6	61,2 ± 6,6
PPO (W)	419,5 ± 59,5	421,8 ± 41,4
WVT1 (W)	224,9 ± 71,2	255,3 ± 47,6
WVT2 (W)	344,4 ± 90,5	360,7 ± 40,4
20TT (W)	310,5 ± 46,9	306,8 ± 20,3
R20TT (W.kg ⁻¹)	4,7 ± 0,4	4,3 ± 0,4

4.3 Sběr dat

V rámci experimentu byl sledován vývoj výkonových ukazatelů před intervencí a po vstupu HRV tréninku do procesu. Před intervencí byli sledovány reakce HRV na tréninkové zatížení. Následně po prvním hodnocení výkonových schopností (po pretestu) byl tréninkový proces ES řízen podle stavu HRV. U druhé skupiny probandů nebyla variabilita srdeční frekvence měřena. Po intervenci řízení HRV následoval posttest pomocí něhož bylo hodnoceno, zda přizpůsobování tréninku podle ranního hodnocení stavu organismu ovlivnilo vytrvalostní schopnosti cyklistů experimentální skupiny, či nikoliv. Pro testování vytrvalostních schopností byli využity dva testy. Jedním byl stupňovaný test do vita maxima neboli VO₂max a druhým testem byl 20minutový maximální test. Výsledky těchto testování (pretestu a posttestu) byli statisticky porovnány pomocí jednofaktorové ANOVA analýzy a byli hodnoceny v hladině významnosti $p < 0,05$.

5 Výsledky

5.1 Souhrnné výsledky laboratorních šetření

Rozdíly v rámci skupin

Pro náš experiment bylo zásadní ověřit využitelnost HRV. Ověřovali jsme na základě dvou zátěžových testů $VO_2\max$ a 20TT. Výsledky prezentujeme v absolutních i relativních hodnotách. Současně byla provedena statistická analýza jednofaktorová ANOVA, která nám umožnila hodnotit věcnou významnost a efekt. Za statisticky významné považujeme pouze ty výsledky, které jsou v pětiprocentní hladině ($p \leq 0,05$).

Konkrétní výsledky v rámci skupin prezentujeme v této kapitole. U experimentální skupiny hodnoty $VO_2\max$ dosáhly negativních změn (PRE 66,3 ml.kg⁻¹.min⁻¹; POST 64,5 ml.kg⁻¹.min⁻¹). U komparační skupiny proběhly minimální změny v hodnotách maximální spotřeby kyslíku (PRE 61,3 ml.kg⁻¹.min⁻¹; POST 61 ml.kg⁻¹.min⁻¹). Negativní změny byly naměřeny v hodnotách RER komparační skupiny (PRE 1,26 $VCO_2.VO_2^{-1}$; POST 1,16 $VCO_2.VO_2^{-1}$) a RER max (PRE 1,56 $VCO_2.VO_2^{-1}$; POST 1,44 $VCO_2.VO_2^{-1}$) u těžší skupiny. U Experimentální skupiny jsme naměřili rozdíl pouze v hodnotě RER max (PRE 1,53 $VCO_2.VO_2^{-1}$; POST 1,48 $VCO_2.VO_2^{-1}$).

Existuje velké množství faktorů, které výsledky mohou ovlivnit, ač jsme se snažili negativní faktory minimalizovat. Domníváme se, že mohlo dojít k nedostatečné regeneraci po soustředění, proto nedošlo ke zlepšení respiračních parametrů. Dále mohla ovlivnit výsledky volba dne testování po návratu ze soustředění. Test $VO_2\max$ probandi absolvovali desátý den po návratu.

V protokolu 20TT jsme zaznamenali zlepšení v hodnotách výkonu. Při této 20minutové časovce na přístroji Wattbike se průměrná hodnota výkonů experimentální skupiny změnila z 303,5 W na 317,5 W a v relativních hodnotách byly zaznamenány taktéž pozitivní změny (PRE 4,58 W.kg⁻¹; POST 4,68 W.kg⁻¹). Kdežto u skupiny komparační nedošlo k žádným změnám průměrného výkonu (PRE 308 W; POST 305,7 W) a

v relativních hodnotách (PRE 4,20 W.kg⁻¹; POST 4,20 W.kg⁻¹). V rámci statistické významnosti hovoříme o nesignifikantním rozdílu s nulovým efektem mezi PRE a POST.

Tabulka 5 Souhrn průměrných výsledků pretestu a posttestu.

Veličina (jednotky)	Experimentální skupina (n=4)		Komparační skupina (n=3)	
	PRE	POST	PRE	POST
VO ₂ max (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	66,3 ± 4,3	64,5 ± 3	61,3 ± 9,1	61 ± 5,3
PPO (W)	424,3 ± 65,4	414,8 ± 62,7	418,7 ± 48,7	425 ± 43,3
WVT1 (W)	194,5 ± 47,8	255,3 ± 84,1	233 ± 36,1	277,7 ± 53,5
WVT2 (W)	358,3 ± 60	330,5 ± 122,5	361,3 ± 37,5	360 ± 53,7
20TT (W)	303,5 ± 39,9	317,5 ± 58,5	308 ± 26,5	305,7 ± 17,9
R20TT (W.kg ⁻¹)	4,58 ± 0,46	4,68 ± 0,41	4,20 ± 0,2	4,20 ± 0,49
<i>Průměrná hodnota (směrodatná odchylka)</i>				

Přehled: PRE = pretest, POST = posttest, PPO = vrcholný výkon při testu VO₂max (peak power output), WVT1 = výkon na 1. ventilačním prahu, WVT2 = výkon na 2. ventilačním prahu, 20TT = průměrný výkon při maximálním 20minutovém testu, R20TT = relativní průměrný výkon při maximálním 20minutovém testu.

Rozdíly mezi skupinami

Při porovnání skupin mezi sebou nebyl prokázán žádný vliv HRV tréninku na ukazatele výkonnosti: VO₂max (p = 0,565), PPO (p = 0,419), VT1 (p = 0,624), VT2 (p = 0,572), 20TT (p = 0,317) a R20TT (p = 0,589). Statistická analýza všech měřených parametrů tedy nedostala žádných signifikantních výsledků.

5.2 Objem tréninkového zatížení

V průběhu experimentu jsme monitorovali tréninkové zatížení. Pro přesný záznam časů v tréninkových zónách jsme využili software TrainingPeaks.com. Použili jsme jednoduché rozdělení na tři tréninkové zóny podle srdeční frekvence. Nízká intenzita (zóna 1) znamená čas strávený pod prvním ventilačním prahem (VT1). Střední intenzita (zóna 2) znamená čas strávený mezi ventilačními prahy VT1 a VT2. Čas strávený ve vysoké intenzitě (zóna 3) značí práci nad druhým ventilačním prahem (VT2). Ventilační prahy byly určeny na základě testu VO₂max absolvovaném při pretestu. V následující tabulce máme souhrny experimentální skupiny. Ve sloupci hodiny je čas strávený tréninkem v průběhu celého šetření, tedy od pretestu až po poslední trénink před posttestem. V dalších sloupcích máme časy v minutách strávené v jednotlivých intenzitách.

Když se podrobně podíváme na tabulky 4 a 5, můžeme porovnat ES a KS mezi sebou. Jako první můžeme zmínit vyšší objem tréninku u ES. Tento vyšší počet hodin byl

způsoben zejména tím, že když v tréninkovém plánu bylo volno, ES měla tréninky, protože jejich hodnoty HRV byly vhodné pro trénink. U prvního z probandů můžeme považovat za chybu velký objem ve střední intenzitě. Mohlo by se zdát, že vysoký objem u probanda 1 napovídá jeho vysoké trénovanosti, ale není tomu tak. Velký objem ve střední intenzitě mohl být způsoben tréninkem ve skupině, kde proband nebyl schopen se udržet v požadované zóně 1. Jednou z méně pravděpodobných příčin mohlo být špatné stanovení tréninkových zón. Naopak probandi 2, 4 a 7 se ani při intenzivních trénincích nedostali za celou dobu šetření nad deset minut v zóně 3. Na základě těchto souhrnů můžeme demonstrovat případ, při kterém i přes podobné tréninkové zatížení, každý jedinec reagoval na zátěž jinak.

Pokud porovnáme časy v zónách mezi skupinami můžeme hodnotit zásadní rozdíly, zatímco rozdíl mezi skupinami v rámci celkového objemu zatížení je minimální. Probandi z experimentální skupiny absolvovali v průměru pouze o 3 % více objemu hodin tréninku. Rozdíly časů v jednotlivých intenzitách jsou zřejmé. Skupina řízená pomocí HRV strávila v průměru o 30 % méně času v zóně 1. Naopak v mezi prahové zóně 2 ES trénovala v průměru o 75 % více. V nejvíce intenzivní zóně 3 strávila experimentální skupina o 115 % více času.

Tabulka 7 Objem tréninkového zatížení a časy v zónách ES.

	Čas (00h00min)	Zóna 1 (min)	Zóna 2 (min)	Zóna 3 (min)
Proband 1	46h45min	749	1891	23
Proband 2	42h04min	1316	1132	6
Proband 3	43h21min	1430	915	117
Proband 4	42h44min	1838	699	9
Průměr	43h44min ± 2h41min	1333	1159	38

Tabulka 7 Objem tréninkového zatížení a časy v zónách KS.

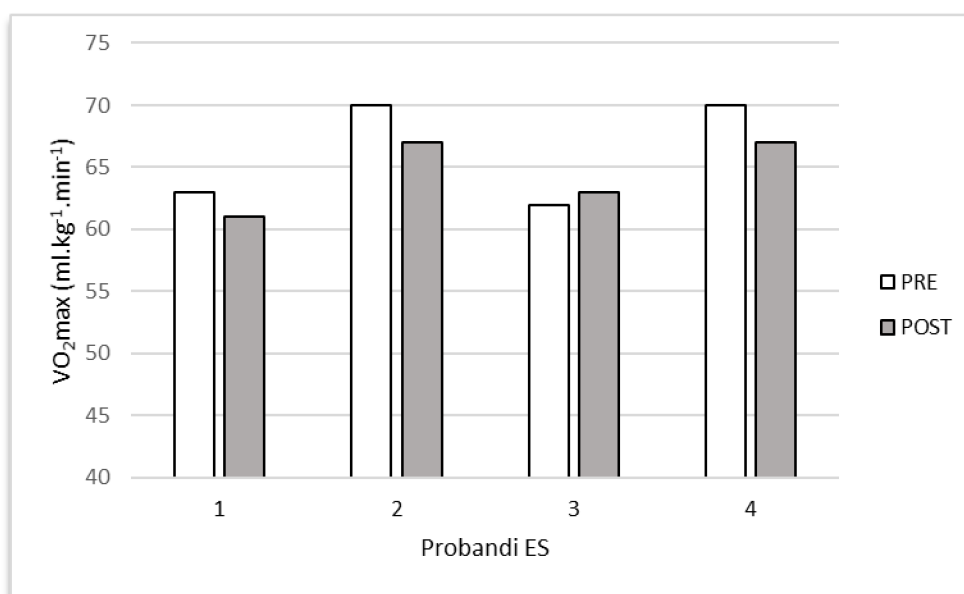
	Čas (00h00min)	Zóna 1 (min)	Zóna 2 (min)	Zóna 3 (min)
Proband 5	39h39min	1514	874	27
Proband 6	45h01min	2333	387	19
Proband 7	42h25min	1844	728	8
Průměr	42h22min ± 2h05min	1897	663	18

Přehled: Zóna 1 (TF <VT1), zóna 2 (VT1 <TF <VT2), zóna 3 (VT2 <TF), *TF = tepová frekvence.

5.3 Individuální výsledky laboratorních šetření

V této kapitole jsou prezentovány výsledky testů $VO_2\max$ a 20TT. První graf obsahuje výsledky protokolů $VO_2\max$ experimentální skupiny. Na ose x máme jednotlivé probandy a na ose y jsou hodnoty aerobní kapacity $VO_2\max$ ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Sloupce rozlišené různými odstíny odlišují výsledky PRE a POST. Ty se světlou výplní znázorňují výsledky z pretestu a ty s tmavou výplní zobrazují výsledky posttestu.

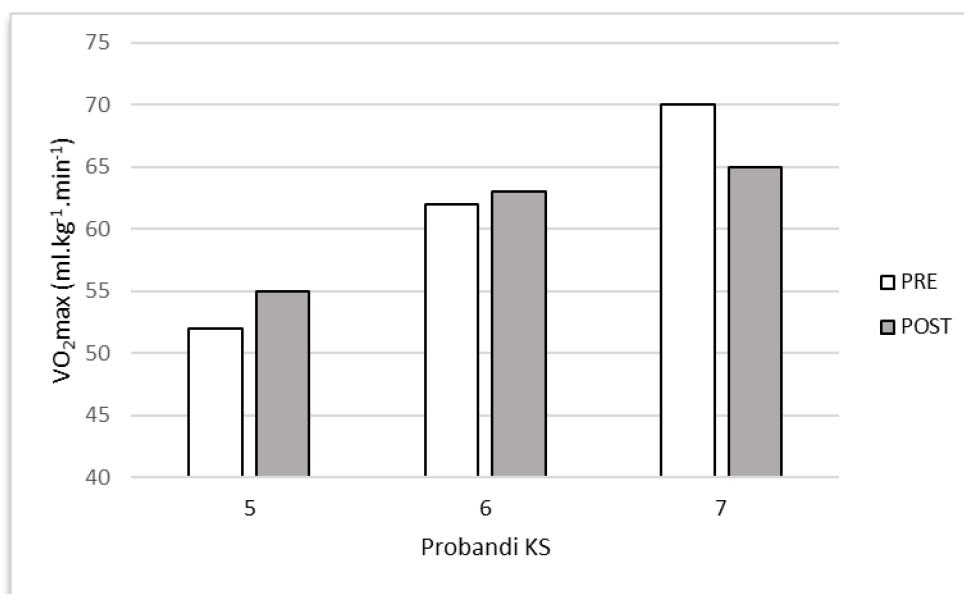
Ve výsledcích probanda číslo jedna pozorujeme pokles maximální spotřeby kyslíku z hodnoty $63 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ při PRE na $61 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ při POST (-3,1 %). U druhého z probandů také pozorujeme negativní změny v této hodnotě. Při pretestu mu byla naměřena tzv. $VO_2\max$ $70 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, zatímco při posttestu pouze $67 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (-4,3 %). Třetí z probandů je jediný z ES, u kterého jsme zaznamenali pozitivní změny v hodnotě $VO_2\max$, konkrétně zlepšení z $62 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ na $63 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (1,6 %). U posledního čtvrtého člena experimentální skupiny jsme zaznamenali výsledky PRE $70 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ a POST $67 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (-4,3 %).



Graf 1 Změny v maximální spotřebě kyslíku mezi pretestem a posttestem při testu $VO_2\max$, experimentální skupina.

Na grafu 3 pozorujeme výsledky testu $VO_2\max$ komparační skupiny. U probanda číslo 5 jsme zaznamenali zlepšení v hodnotě maximální spotřeby kyslíku, a to s rozdílem mezi pretestem a posttestem (PRE $52 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; POST $55 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; 5,7 %). U dalšího, 6 probanda jsme získali výsledky (PRE $62 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; POST $63 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; 1,6 %). U sedmého z probandů můžeme pozorovat největší pokles hodnoty $VO_2\max$

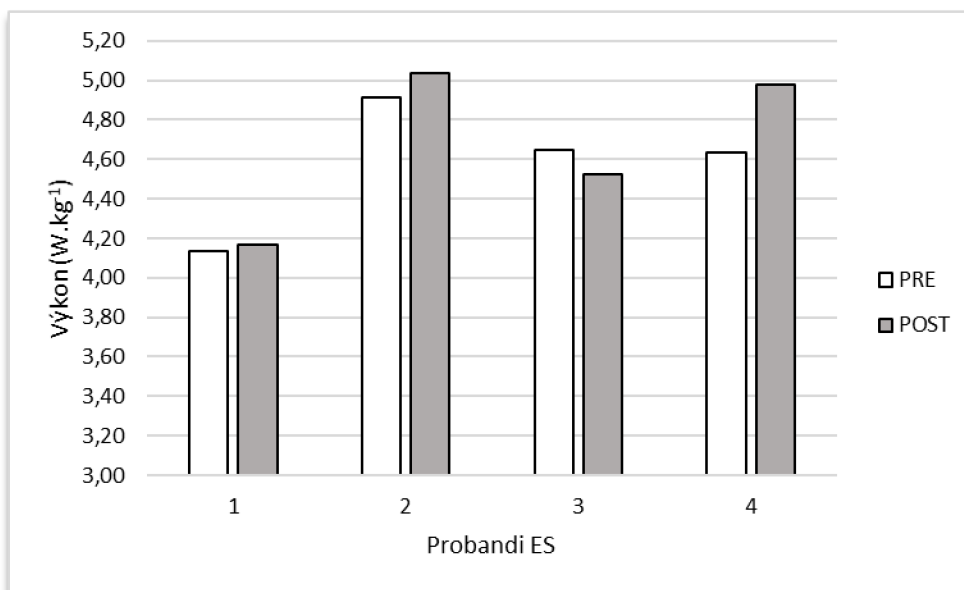
v průběhu našeho šetření. Konkrétně jsme zaznamenali pokles ze $70 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ na $65 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (-7,1 %).



Graf 2 Změny v maximální spotřebě kyslíku mezi pretestem a posttestem při testu VO₂max, komparační skupina.

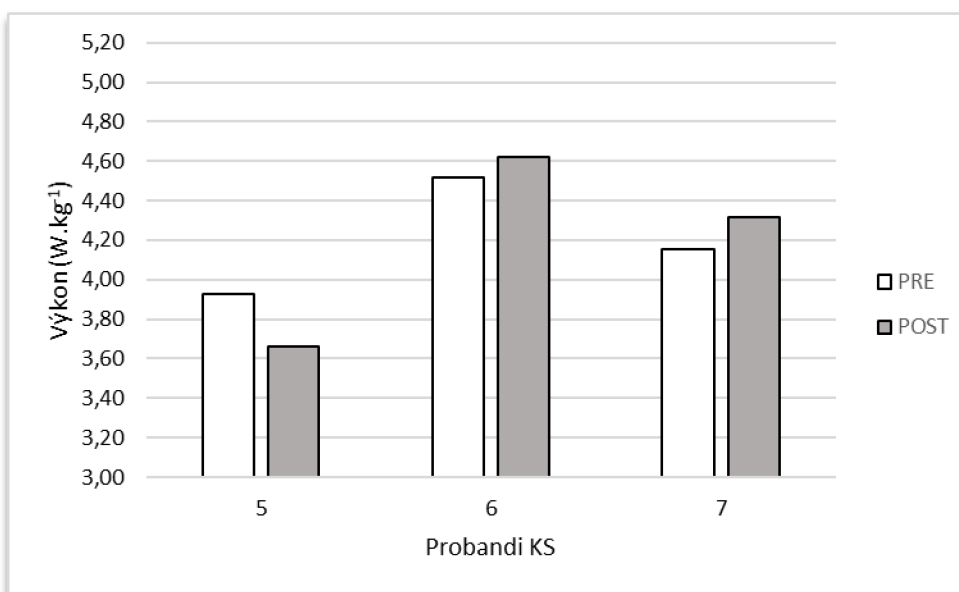
V grafu 4 máme vyobrazeny výsledky probandů z experimentální skupiny, konkrétně výsledky testového protokolu 20TT, a to hodnoty průměrného výkonu přepočteného na kilogram lidské hmotnosti. Na ose X jsou číselná označení probandů a na ose Y již zmiňovaný relativní průměrný výkon.

U probanda 1 pozorujeme minimální zlepšení, konkrétně z $4,14 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ na $4,17 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ (0,7 %). Zaměříme-li se na probanda 2 můžeme vidět větší zlepšení než u probanda 1, konkrétně PRE $4,91 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ a POST $5,03 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ (2,4 %). Výsledky probanda číslo tři obsahují zhoršení v relativních hodnotách výkonu (PRE $4,64 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$; POST $4,53 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$; -2,3 %). U posledního ze skupiny řízené HRV jsme zaznamenali největší zlepšení zmiňované hodnoty, konkrétně z $4,63 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ na $4,98 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ (7,6 %).



Graf 4 Změny průměrného výkonu mezi pretestem a posttestem při protokolu 20TT, experimentální skupina.

Pomocí grafu 5 demonstrujeme výsledky komparační skupiny. Typ grafu je stejný jako v předchozím případě. Konkrétně se jedná o výsledky probandů 5, 6 a 7. Jak jsme již zmiňovali, osmý z probandů nemohl absolvovat posttest kvůli zranění, proto není zahrnut ve výsledcích. Proband číslo 5 zaznamenal výrazné zhoršení v hodnotách výkonu (PRE 3,93 W.kg⁻¹; POST 3,66 W.kg⁻¹; -6,9 %). Další, proband číslo 6, prokázal zlepšení z 4,52 W.kg⁻¹ na W.kg⁻¹ (2,2 %). Poslední z probandů také zaznamenal zlepšení, při pretestu dosáhl výkonu 4,15 W.kg⁻¹ a při posttestu se dostal na hodnotu 4,32 W.kg⁻¹ (4,1 %).

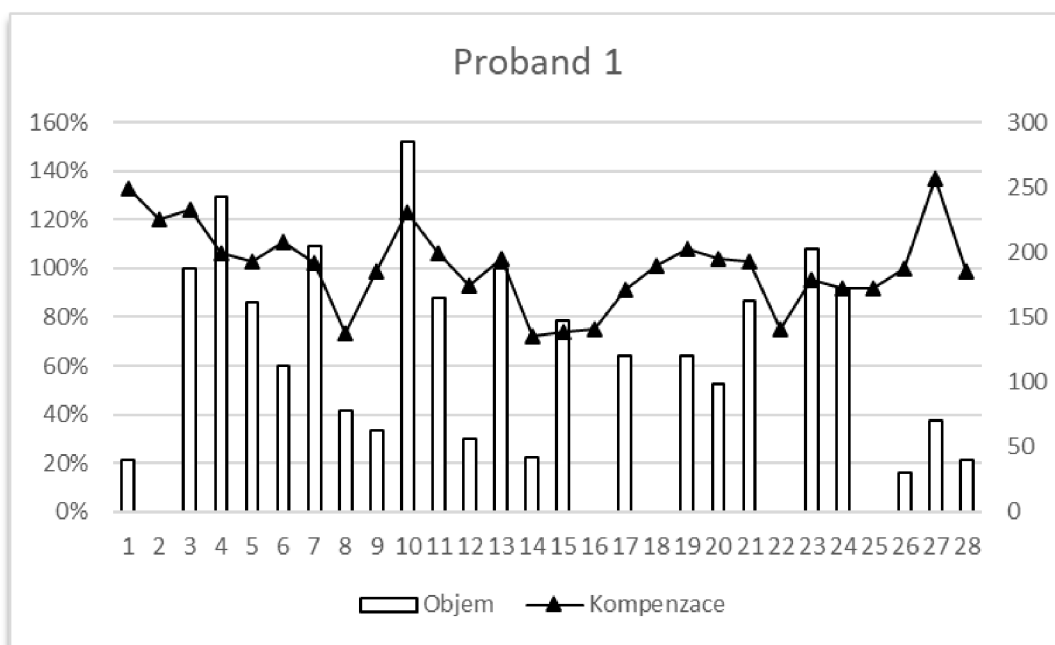


Graf 3 Změny průměrného výkonu mezi pretestem a posttestem při protokolu 20TT, komparační skupina.

5.4 Výsledky HRV

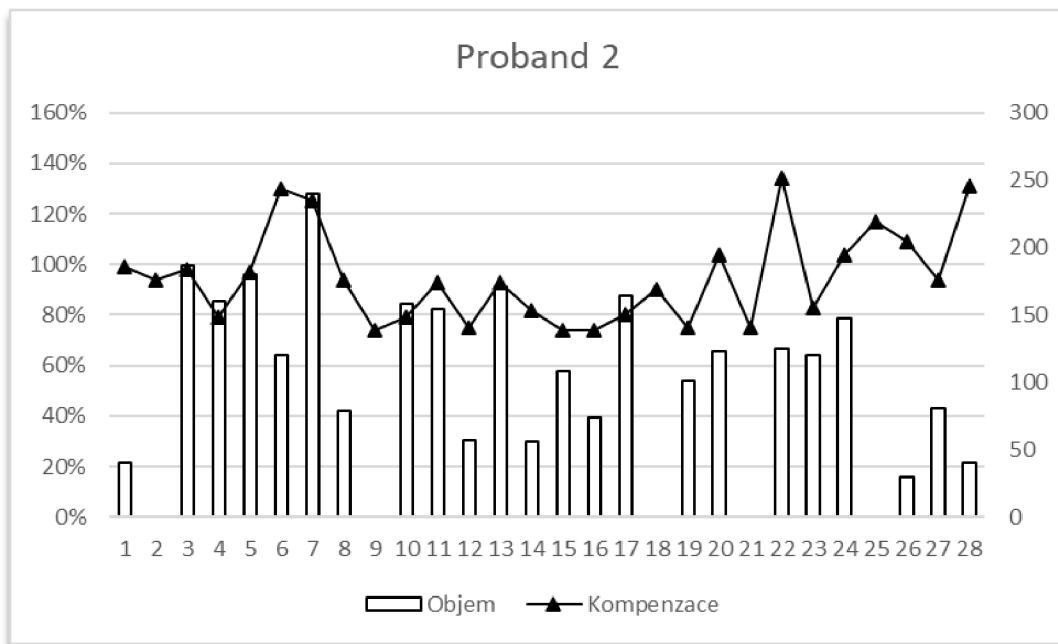
V této kapitole je hodnocen základní parametr variability srdeční frekvence, konkrétně kompenzace. Parametr kompenzace je porovnáván s objemem tréninkového zatížení v průběhu času experimentální intervence. V jednotlivých kombinovaných grafech jsou prezentovány výsledky probandů. Na ose x grafu jsou jednotlivé dny intervence a na ose y vlevo se nachází stupnice kompenzace v procentech a vpravo se nacházejí hodnoty objemu zatížení v minutách. Limitací tohoto grafu je absence vyjádření intenzity zatížení.

Na prvním grafu této kapitoly se nacházejí výsledky probanda číslo 1. V jeho výsledcích můžeme pozorovat typický vzrůst hodnot kompenzace po snížení objemu zatížení. Například 8. den soustředění došlo k poklesu kompenzace po předchozím těžkém tréninkovém zatížení, na základě tohoto poklesu byl snížen objem i intenzita zatížení (den 8., 9.). Toto snížení tréninkového zatížení mělo za následek zvýšení kompenzace (den 10.). 16. den proběhl návrat ze soustředění, proto nebylo zařazeno žádné zatížení a byla zahájena regenerační fáze tréninku (16.–18. den), kde došlo k viditelnému zotavení organismu (postupné zvyšování kompenzace). Následovaly aktivační tréninky, a to mělo za následek výrazné zvýšení kompenzace (den 27.).



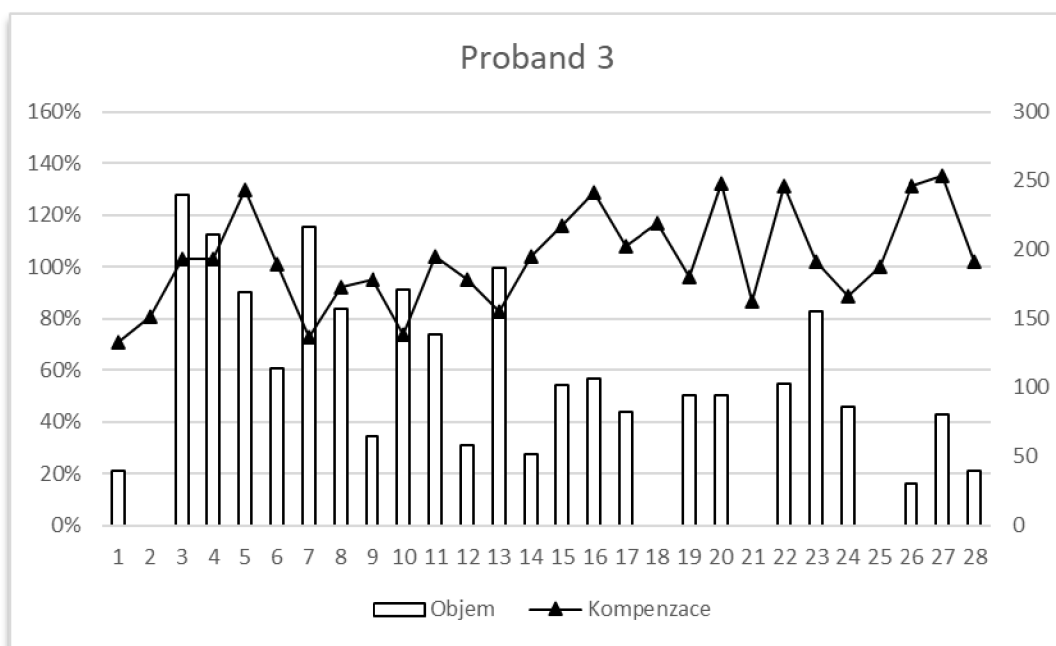
Graf 5 Kompence a objem zatížení v čase, proband 1.

V grafu výsledků probanda číslo 2 můžeme vidět paradoxní reakci organismu na vysoké zatížení (6. den), kde došlo k výraznému zvýšení kompenzace po velkém zatížení. Tato reakce se může objevovat i po závodním výkonu. Po této reakci ale došlo k výraznému poklesu kompenzace a tím snížení intenzity zatížení. I přes snižování intenzity i objemu do konce soustředění nedošlo k výraznému vzrůstu hodnoty kompenzace. Po návratu (18. den) docházelo k oscilaci hodnot kompenzace (dny 18.–23.) a k jejímu postupnému zvyšování. Zvyšování hodnot kompenzace mohlo být způsobeno adaptací na tréninkové soustředění.



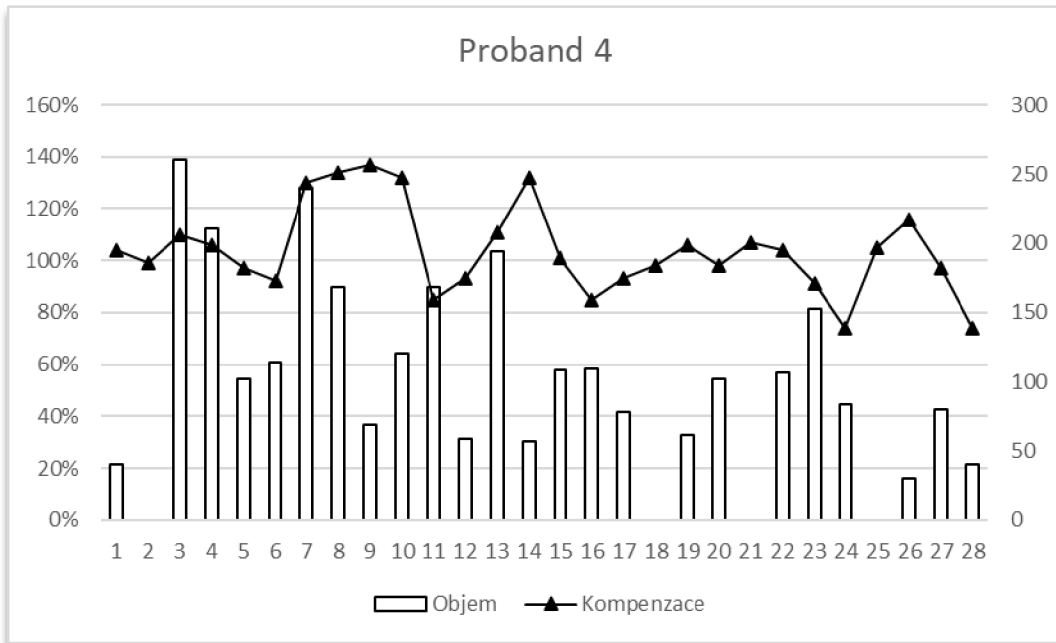
Graf 6 Kompence a objem zatížení v čase, proband 2.

Ve variabilitě srdeční frekvence probanda 3 jsme zaznamenali negativní reakci kompenzace na nízké nebo žádné zatížení. Pokud jsme zařadili volný den při středních nebo vysokých hodnotách kompenzace, došlo následující den k poklesu kompenzace (viz. den 7., 10., 12.). Jelikož jsme věděli, že se jedná o paradoxní reakci HRV, zařazovali jsme aktivační trénink, po kterém obvykle došlo k opětovnému zvýšení kompenzace. Po návratu ze soustředění (od 18. dne) se tento jev vytratil a došlo k celkovému zvýšení parametru kompenzace.



Graf 8 Kompensace a objem zatížení v čase, proband 3.

Graf posledního z probandů experimentální skupiny je odlišný od předchozích hlavně tím, že hodnoty kompenzace s poklesem zatížení po soustředění také klesly. Sportovec se po většinu intervenčního programu pohyboval ve středních až vysokých hodnotách kompenzace. Trénoval tedy téměř podle předdefinovaného tréninkového plánu. Na základě tohoto grafu můžeme spekulovat o tom, zda by jedinec mohl absolvovat vyšší tréninkové podněty po soustředění pro vyšší růst kompenzace nebo bylo snížení pohybové aktivity adekvátní, jelikož jeho adaptační kapacita byla vyčerpána. Graf probanda číslo 4 může doprovázet spousta otázek např. proč jedinec ve dni 9. neabsolvoval dlouhé intenzivní zatížení, když byla kompenzace 137. Odpovědí je, že podle stanoveného schématu po dvou intenzivních trénincích následuje trénink nízké intenzity. Druhý zvláštní bod je 14. den, kdy jedinec absolvoval trénink krátkého trvání, ale vysoké intenzity. Na základě grafů v této kapitole můžeme hovořit o tom, že reakce variability srdeční frekvence jsou odlišné u každého jednotlivce, proto je vhodné tréninkové zatížení sportovců individualizovat.



Graf 7 Kompenzace a objem zatížení v čase, proband 4.

6 Diskuse

Tato studie byla zaměřena na porovnání tradičního předdefinovaného tréninku a tréninku řízeného ze dne na den pomocí HRV. Na základě studia literatury můžeme považovat za zásadní individualizaci tréninkového procesu. Výsledky této práce tato tvrzení nepotvrzují, jelikož hovoří o statisticky nevýznamných rozdílech mezi pretestem a posttestem při zátěžovém testu $VO_2\max$. Na dechových parametrech, konkrétně na relativní maximální spotřebě kyslíku, se čtyřtýdenní experiment nepromítl ve statisticky významné míře u žádné ze skupin. V rámci druhého testového protokolu 20TT hovoříme o pozitivních změnách v hodnotách průměrného výkonu. Jedná se o statisticky nevýznamné změny ($p > 0,05$).

V rozporu s těmito tvrzeními jsou výsledky studie Bahenský, & Grosicki (2021), kteří publikovali studii, jíž výsledky hovoří o statisticky významném zlepšení hodnoty relativní spotřeby kyslíku u probandů HRV-G (HRV-G – „heart rate variability guided“ neboli řízený pomocí variability srdeční frekvence) oproti jedincům, kteří se řídili klasickým předdefinovaným tréninkovým plánem. Konkrétně prezentují zlepšení průměru hodnot $VO_2\max$ z 65,6 na 68,3 $ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$ ($p = 0,002$) u HRV řízené skupiny a 65,3 vs. 66,1 $ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$ ($p = 0,643$) u KS. Celý experiment uskutečnili na šestnácti atletech ve vysokohorském prostředí (+1000 m. n. m.) (Bahenský, & Grosicki, 2021).

Kiviniemi et al. (2007) uskutečnili podobný experiment u běžně sportující populace v běžné nadmořské výšce. Hovoří o statisticky významném zlepšení skupiny řízené HRV oproti skupině trénující podle běžného tréninkového plánu. Konkrétní výsledky HRV-G ($n = 9$) hovoří o zlepšení průměrných hodnot $VO_2\max$ z 56 na 60 $ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$ ($p = 0,002$) oproti komparativní skupině ($n = 8$) z 54 na 55 $ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$ ($p = 0,224$). O statisticky významných změnách hovoří u hodnot maximální dosažené rychlosti při testování (Kiviniemi et al., 2007). V jiné studii se zabývali tréninkem běžkařů řízeným HRV v kombinaci s hypoxickým tréninkem. Hovoří o statisticky významném zlepšení v hodnotách $VO_2\max$ u skupiny H-HRV (hypoxic heart rate variability) ($3,8 \pm 3,1$ %; $p = 0,02$), ale i ve skupině s předdefinovaným tréninkem také využívající hypoxického tréninku ($3,0 \pm 4,4$ %; $p = 0,08$). Naopak u kontrolní skupiny nebylo statisticky významné zlepšení ($0,9 \pm 5,1$ %; $p = 0,7$) (Schmitt et al., 2018).

Vesterinen et al. (2016) provedli experiment na 31 rekreačních běžcích. Jejich výsledky hovoří o nízkém efektu při porovnání skupin v hodnotách: $VO_2\max$, průměrná

rychlost na 3000 m, RS_{LT2} (running speed at lactate threshold 2 neboli naměřená rychlost na druhém laktátovém prahu). Výjimkou je parametr RS_{LT1} (running speed at lactate threshold 1), což je rychlost na prvním laktátovém prahu, u kterého prezentují střední efekt ($d = 0,54$) (Vesterinen et al., 2016). Za limitaci studie Vesterinen et al. (2016), považují poměrně vysokou nemocnost v testovacím vzorku. Naši studii ovlivnila zranění dvou probandů, což snížilo statistickou významnost výsledků.

V další publikaci autoři prezentují pozitivní střední až vysoký efekt pro HRV-G skupinu v parametrech: absolutní VO_{2max} ($d = 0,52$), V_{max} ($d = 0,95$). V ostatních proměnných hovoří o nízkém efektu: relativní VO_{2max} ($d = 0,42$), RS_{LT1} ($d = 0,32$), RS_{LT2} ($d = 0,37$) (Nuuttila et al., 2017).

Výše zmíněné studie daly vznik hypotéze 1, jelikož hovoří o výrazném zvýšení parametrů maximální spotřeby kyslíku u skupin HRV-G. Při porovnání s výsledky našeho experimentu se tato hypotéza nepotvrdila.

Existují publikace, které se věnují tréninku cyklistů řízeným HRV. Autoři Javaloyes, Sarabia, Lamberts, Plews, & Moya-Ramon (2019) publikovali dvě obdobné studie. V té první prezentují u skupiny HRV-G výsledky se statisticky významnými změnami v hodnotách PPO v hladině ($p < 0,01$) a VO_{2max} , 40 TT (výkon při 40minutové časovce), WVT1, WVT2 v hladině ($p < 0,05$). V kontrolní skupině nezaznamenali významné změny s výjimkou parametru WVT2 ($p < 0,05$). Rozdíly mezi skupinami jsou však nejasné (Javaloyes, Sarabia, Lamberts, Plews, & Moya-Ramon 2019). V druhé studii se zabývají totožným tématem také se souborem cyklistů, prezentují však odlišné výsledky. Ve výzkumu nezaznamenali v hodnotě VO_{2max} žádné signifikantní rozdíly mezi pretestem a posttestem ani mezi experimentální a kontrolní skupinou. Změny v hodnotách druhého ventilačního prahu byly signifikantně vyšší u obou skupin HRV-G (275 W vs. 311,11 W) i kontrolní skupiny (256,25 W vs. 281,25 W). Ve výsledcích 40TT hovoří o statisticky významných pozitivních změnách u HRV-G (243,11 W vs. 260,78) oproti KS (214,42 W vs. 223,13 W) (Javaloyes, Sarabia, Lamberts, Plews, & Moya-Ramon 2019).

Jejich výsledky částečně korespondují s naším experimentem, jelikož hovoří o pozitivních výsledcích při ustáleném výkonu 40TT, respektive 20TT. Poznatky autorů Javaloyes, Sarabia, Lamberts, Plews, & Moya-Ramon (2019) posloužili ke vzniku H2, jelikož hovoří o zvýšení průměrného výkonu při testu výkonnosti. Tuto hypotézu

částečné potvrzujeme, jelikož u naší experimentální skupiny došlo ke zlepšení absolutního i relativního výkonu na rozdíl od skupiny komparační. Ze statistického hlediska nejsou naše výsledky signifikantní. Nesignifikantní výsledky byly způsobeny nehomogenitou výsledků jednotlivých probandů.

Kouidi, Haritonidis, Koutlianos, & Deligiannis (2002) ve své studii hovoří o využitelnosti HRV u vytrvalostních běžců, dokonce jejich výsledky poukazují na souvislost změn tzv. heart rate variability triangular indexu (HRVI) se změnami $VO_2\max$ (Kouidi, Haritonidis, Koutlianos, & Deligiannis, 2002).

Relativně objemný výzkumný vzorek využili ve své studii da Silva, Ferraro, Adamo, & Machado (2019), kde využili 36 žen běžné populace, které rozdělili do dvou skupin. Hodnotili jejich výkonnost pomocí terénního testování v běhu na 5 km. U skupiny HRV-G zaznamenali zlepšení ($-17,5 \pm 5,6 \%$; $p < 0,001$) oproti kontrolní skupině ($-14 \pm 4,7 \%$; $p < 0,001$). Rozdíl mezi skupinami prezentují ve střední hladině významnosti (da Silva, Ferraro, Adamo, & Machado, 2019).

7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo ověřit využití metody měření variability srdeční frekvence v tréninkovém procesu adolescentních cyklistů. Pro ověření metody HRV bylo využito čtyřtýdenního experimentu, jehož úspěšnost byla hodnocena pomocí testu maximální spotřeby kyslíku VO_{2max} a testu aktuální výkonnosti 20TT. Oba testy byly provedeny v laboratorních podmínkách ve spolupráci se Všeobecným a sportovním gymnáziem, Vimperk, Pivovarská 69 a Laboratoří funkční zátěžové diagnostiky na Katedře tělesné výchovy a sportu Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích.

Z poznatků získaných na základě experimentu lze tvrdit, že HRV je vhodné pro individualizaci tréninku, ale při cyklistickém objemovém soustředění je obtížné přizpůsobovat trénink jedinci, jelikož velké procento tréninků je závislé na tréninkové skupině. Snaha o individualizaci tréninku na základě HRV byla maximální, ale je zřejmé, že se organizace neobešla bez komplikací. Za nevýhodu užívání metody HRV považují komplikované organizování skupinových tréninků z důvodu odlišných individuálních hodnot HRV.

Výsledky práce nehovoří o výrazném zlepšení ventilačních parametrů u ani jedné ze skupin, což mohlo být způsobeno dobrou výkonností jedinců. U dobře trénovaných jedinců se hodnoty maximální spotřeby mohou zvyšovat už jen minimálně. Druhou možností, proč tyto parametry nezaznamenaly zlepšení, může být fakt, že tréninkový kemp nebyl zaměřen na rozvoj maximální spotřeby kyslíku. Zaměření kempu bylo primárně na dlouhodobou vytrvalost, což může být důvodem lepšího parametru při testu hodnocení výkonnosti v ustáleném stavu 20TT. Domníváme se, že pokud bude kemp zaměřen na rozvoj maximální spotřeby kyslíku, dojde ke zlepšení tohoto parametru.

Na základě obsahové analýzy literárních zdrojů byla sestavena teoretická část práce. Podkladem pro stanovení hypotéz byly vědecké publikace. H1 se nepotvrdila, jelikož nebyly naměřeny žádné statisticky významné rozdíly v hodnotách spiroergometrických ukazatelů mezi skupinami. Nedošlo k žádným pozitivním změnám parametrů spotřeby kyslíku ve prospěch experimentální skupiny.

Druhá hypotéza byla částečně potvrzena, jelikož došlo ke zlepšení hodnot průměrného výkonu probandů z experimentální skupiny. Jednalo se o zlepšení absolutních i relativních hodnot průměrného výkonu při testu 20TT. Ze statistického

hlediska, ale tato zlepšení nejsou signifikantní. Komparační skupina nenaznamenala žádné zlepšení v hodnotách průměrného výkonu 20TT. K pozitivnímu vlivu HRV tréninku došlo pouze u některých z jedinců. Na základě těchto poznatků můžeme hovořit o jisté využitelnosti HRV v individuálním tréninku, nikoliv však v tréninku skupiny. Došlo k určitému zlepšení výkonových parametrů části jedinců, kteří využívali hodnocení variability srdeční frekvence k řízení tréninku.

Za limitaci této práce lze považovat malou velikost zkoumaného souboru. Dále může být spekulativní nesprávné rozdělení jedinců do skupin. Jelikož byli jedinci rozřazeni randomizovaným způsobem, nebylo přihlíženo na různorodé parametry výkonnosti jedinců. I přes určité limitace se podařilo experiment uskutečnit a byly splněny všechny stanovené úkoly práce. Přínos naší práce shledáváme v rozšíření poznatků o tréninku cyklistů řízeném variabilitou srdeční frekvence.

Referenční seznam literatury

- Acharya, R., Joseph, K. P., Kannathal, N., Min L. C., & Suri, S. (2006). Heart rate variability: a review. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 44, 1031–1051.
- al-Ani M, Munir SM, White M, Townend J, Coote JH (1996). Changes in R-R variability before and after endurance training measured by power spectral analysis and by the effect of isometric muscle contraction. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 74(5):397–403
- Bahenský, P., & Bunc, V. (2018). *Trénink mládeže v běžích na střední a dlouhé tratě*. Praha: Karolinum.
- Bahenský, P., & Grosicki, G. J. (2021). Superior Adaptations in Adolescent Runners Using Heart Rate Variability (HRV)-Guided Training at Altitude. *Biosensors*, 11(3), 77.
- Banjar, W. M. A., Gazzaz, J., Langley, R. W., Bradshaw, C. M., & Szabadi, E. (2000). Effects of high ambient temperature on parasympathetically mediated cardiovascular reflexes in normal man. *British journal of clinical pharmacology*, 50(4), 360–365.
- Bellenger, C. R., Fuller, J. T., Thomson, R. L., Davison, K., Robertson, E. Y., & Buckley, J. D. (2016). Monitoring athletic training status through autonomic heart rate regulation: a systematic review and meta-analysis. *Sports medicine*, 46(10), 1461–1486.
- Beunen, G. (2001). Physical growth, maturation and performance. In R. Eston & T. Reilly (Eds.), *Kinanthropometry and Exercise Physiology Laboratory Manual, vol. 1*, 65–90. London: Routledge.
- Blásquez, J. C. C., Font, G. R., & Ortís, L. C. (2009). Heart-rate variability and precompetitive anxiety in swimmers. *Psicothema*, 21(4), 531–536.
- Botek, M., Stejskal, P., & Svozil, Z. (2009). Autonomic nervous system activity during acclimatization after rapid air rapid travel across time zones: A case study. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Gymnica*, 39(2), 13–21.
- Botek, M., Stejskal, P., Jakubec, A., & Kalina, M. (2004). Kvantifikace aktivity autonomního nervového systému v zotavení s možností monitorování procesu superkompenzace metodou spektrální analýzy variability srdeční frekvence. In J. Salinger (Eds.), *Variabilita srdeční frekvence a její hodnocení v biomedicínských oborech – od teorie ke klinické praxi*. Olomouc: Univerzita Palackého, 4, 10–17.
- Buchheit, M., Simon, C., Piquard, F., Ehrhart, J., & Brandenberger, G. (2004). Effects of increased training load on vagal-related indexes of heart rate variability: a novel sleep approach. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 287(6), H2813–H2818.
- Burke, E. R. (1994). Proper fit of the bicycle. *Clinics in Sports Medicine*, 13(1), 1–14.
- Buzek, M. (2007). *Trenér fotbalu "A" UEFA licence*. Praha: Olympia, a. s.
- Camm, A. J., Malik, M., Bigger, J. T., Breithardt, G., Cerutti, S., Cohen, R. J.,... Lombardi, F. (1996). Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology*, 93, 1043–1065.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral science (2nd ed.)*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Cortina, J. M., & Nouri, H. (2000). *Effect size for ANOVA design*. Thousand Oaks, CA: Sage.

- da Silva, D. F., Ferraro, Z. M., Adamo, K. B., & Machado, F. A. (2019). Endurance running training individually guided by HRV in untrained women. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(3), 736–746.
- Dovalil, J., & Choutka, M. (2012). *Výkon a trénink ve sportu*. Olympia.
- Dovalil, J., Choutka, M., Svoboda, B., Hošek, V., Perič, T., Potměšil, J.,... Bunc, V. (2002). *Výkon a trénink ve sportu*. Praha: Olympia.
- Ericson, M. O., Nisell, R., Arborelius, U. P., & Ekholm, J. (1986). Power output and work in different muscle groups during ergometer cycling. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 55(3), 229–235.
- Ferjenčík Ján. (2000). *Úvod do metodologie psychologického výzkumu: jak zkoumat lidskou duši*. (1. vyd., 256 s.) Praha: Portál.
- Fonda, B., & Sarabon, N. (2010). Biomechanics of cycling. *Sport Science Review*, 19(1–2), 187–210.
- Fox, E. L. (1984). *Sports physiology*. Philadelphia, PA. Saunders College Publishing.
- Friel, J. (2009). *Tréninková bible pro cyklisty*. Praha: Mladá fronta.
- Garet M, Tournaire N, Roche F, Laurent R, Lacour JR, Barthelemy JC, Pichot V (2004) Individual interdependence between nocturnal ANS activity and performance in swimmers. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 36(12): 2112–2118.
- Gouin, J., Wenzel, K., Deschenes, S., & Dang-Vu, T. (2013). Heart rate variability predicts sleep efficiency. *Sleep medicine*, 14, e142.
- Granier, C., Abbiss, C. R., Aubry, A., Vaucher, Y., Dorel, S., Hausswirth, C., et al. (2018). Power output and pacing during international cross-country mountain bike cycling. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 13, 1243–1249.
- Gregory, J., Johns, D. P., and Walls, J. T. (2007). Relative vs. Absolute physiological measures as predictors of mountain bike cross-country race performance. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 21, 17–22.
- Hautala AJ, Mäkikallio TH, Kiviniemi A, Laukkanen RT, Nissilä S, Huikuri HV, Tulppo MP (2004). Heart rate dynamics after controlled training followed by a home-based exercise program. *European Journal of Applied Physiology* 92(3):289–297
- Helgerud, J., Hkydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, ... Hoff, J. (2007). Aerobic High – Intensity Intervals Improve V̇O₂max More Than Moderate Training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(4), 665–671.
- Heller, J. (2018). *Zátěžová funkční diagnostika ve sportu: východiska, aplikace a interpretace*. Praha: Karolinum.
- Henke, S. a kolektiv (2008). *Skripta pro trenéry cyklistiky I. – III. třídy*. Praha: Český svaz cyklistiky, FTVS UK.
- Hon, E. H., & Lee, S. T. (1965). The fetal electrocardiogram: III. Display techniques. *American Journal of Obstetrics & Gynecology*, 91(1), 56–60.
- Hurst, H. T., and Atkins, S. (2006). Power output of field-based downhill mountain biking. *Journal of Sports Sciences*, 24, 1047–1053.
- Hurst, H. T., Swarén, M., Hébert-Losier, K., Ericsson, F., Sinclair, J. K., Atkins, S., & Holmberg, H. C. (2012). Influence of course type on upper body muscle activity in elite cross-country and downhill mountain bikers during off road downhill cycling. *Journal of Science and Cycling (JSC)*, 1(2), 2–9.
- Chen, J. L., Yeh, D. P., Lee, J. P., Chen, C. Y., Huang, C. Y., Lee, S. D., ... & Kuo, C. H. (2011). Parasympathetic nervous activity mirrors recovery status in weightlifting

- performance after training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(6), 1546–1552.
- Impellizzeri, F. M. (2005). Correlations between physiological variables and performance in high level cross country off road cyclists. *British Journal of Sports Medicine*, 39, 747–751.
- Impellizzeri, F. M., and Marcora, S. M. (2007). The physiology of mountain biking. *Sports Medicine*, 37, 59–71.
- Inoue, A., Sa Filho, A. S., Mello, F. C., and Santos, T. M. (2012). Relationship between anaerobic cycling tests and mountain bike cross-country performance. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 26, 1589–1593.
- Javaloyes, A., Sarabia, J. M., Lamberts, R. P., & Moya-Ramon, M. (2019). Training prescription guided by heart-rate variability in cycling. *International journal of sports physiology and performance*, 14(1), 23–32.
- Javaloyes, A., Sarabia, J. M., Lamberts, R. P., Plews, D., & Moya-Ramon, M. (2019). Training prescription guided by heart rate variability vs. block periodization in well-trained cyclists. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(6), 1511–1518.
- Javorka, K., Calkovska, A., Danko, J., Dokus, K., Funiak, S., Gwozdziwicz, M., ... Ondrejka, I. (2008). *Variabilita frekvencie srdca: Mechanizmy, hodnotenie, klinicke vyuzitie*. Martin: Osveta.
- Jirka, Z. (1990). *Regenerace a sport*. Praha: Olympia.
- Karason, K., Mølgaard, H., Wikstrand, J., & Sjöström, L. (1999). Heart rate variability in obesity and the effect of weight loss. *The American journal of cardiology*, 83(8), 1242–1247.
- Kiviniemi AM, Hautala AJ, Mäkikallio TH, Seppänen T, Huikuri HV, Tulppo MP (2006) Cardiac vagal outflow after aerobic training by analysis of high-frequency oscillation of the R-R interval. *European journal of applied physiology*, 96(6):686–692
- Kiviniemi, A. M., Hautala, A. J., Kinnunen, H., & Tulppo, M. P. (2007). Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. *European journal of applied physiology*, 101(6), 743–751.
- Kiviniemi, A. M., Hautala, A. J., Kinnunen, H., Nissilä, J., Virtanen, P., Karjalainen, J., & Tulppo, M. P. (2010). Daily exercise prescription on the basis of HR variability among men and women. *Medicine and science in sports and exercise*, 42(7), 1355–1363.
- Kouidi, E., Haritonidis, K., Koutlianos, N., & Deligiannis A. (2002). Effect of athletic training on heart rate variability triangular index. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 22, 279–284.
- Kukačka, V. (2010). *Udržitelnost zdraví: vědecká monografie*. Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta.
- Lee, H., Martin, D. T., Anson, J. M., Grundy, D., and Hahn, A. G. (2002). Physiological characteristics of successful mountain bikers and professional road cyclists. *Journal of Sports Sciences*, 20, 1001–1008.
- Lehnert, M., Novosad, J., & Neuls, F. (2001). *Základy sportovního tréninku I*. Olomouc: Hanex.
- Lehnert, M., Novosad, J., Neuls, F., Langer, F., & Botek, M. (2010). *Trénink kondice ve sportu*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Mateo, M., Blasco-Lafarga, C., Martínez-Navarro, I., Guzmán, J. F., & Zabala, M. (2012). Heart rate variability and pre-competitive anxiety in BMX discipline. *European journal of applied physiology*, 112(1), 113–123.

- Michels, N., Clays, E., Buyzere, M. D., Vanaelst, B., Henauw, S. D., & Sioen, I. (2013). Children's sleep and autonomic function: low sleep quality has an impact on heart rate variability. *Sleep*, 36(12), 1939-1946.
- Næss, S., Sollie, O., Gløersen, Ø. N., & Losnegard, T. (2021). Exercise intensity and pacing pattern during a Cross-country Olympic mountain bike race. *Frontiers in Physiology*, 12, 1105.
- Nuutila, O. P., Nikander, A., Polomoshnov, D., Laukkanen, J. A., & Häkkinen, K. (2017). Effects of HRV-guided vs. predetermined block training on performance, HRV and serum hormones. *International journal of sports medicine*, 38(12), 909-920.
- Opavský, J. (2002). *Autonomní nerovnový systém a diabetická autonomní neuropatie*. Praha: Galén.
- Ozpelit, M. E., & Ozpelit, E. (2017). How we eat may be as important as what we eat: eating behaviour and heart rate variability. *Acta Cardiologica*, 72(3), 299-304.
- Pichot, V., Busso, T., Roche, F., Garet, M., Costes, F., Duverney, D., ... & Barthélémy, J. C. (2002). Autonomic adaptations to intensive and overload training periods: a laboratory study. *Medicine & science in sports & exercise*, 34(10), 1660-1666.
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2014). Heart-rate variability and training-intensity distribution in elite rowers. *International journal of sports physiology and performance*, 9(6), 1026-1032.
- Ryan, M., & Gregor, R. (1992). EMG profiles of lower extremity muscles during cycling at constant workload and cadence. *Journal of Electromyography and Kinesiology: Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 2(2), 69-80.
- Salinger, J., & Gwozdziwicz, M. (2008). Systémy používané pro vyšetření krátkodobé variability srdeční frekvence. In K. Javorka, A. Calkovska, J. Danko, K. Dokus, S. Funiak, M. Gwozdziwicz, ... I. Ondrejka (Eds.), *Variabilita frekvencie srdca: Mechanismy, hodnotenie, klinické využitie* (pp. 57–60). Martin: Osveta.
- Stackeová, D. (2011). *Relaxační techniky ve sportu*. Grada Publishing as.
- Stapelfeldt, B., Schwirtz, A., and Schumacher, Y. O. (2004). Workload demands in mountain bike racing. *Int. J. Sports Med. International Journal of Sports Medicine*, 25, 294–300.
- Stejskal, P. (2007). Spektrální analýza srdeční frekvence při rekreačních pohybových aktivitách a při sportovním tréninku. In *Sborník z interdisciplinární konference s mezinárodní účastí „Optimální působení tělesné zátěže a výživy“* (pp. 10–20). Hradec Králové: Univerzita Hradec Králové.
- Stejskal, P. (2008). Využití hodnocení variability srdeční frekvence ve sportovní medicíně. In K. Javorka, A. Calkovska, J. Danko, K. Dokus, S. Funiak, M. Gwozdziwicz, ... I. Ondrejka (Eds.), *Variabilita frekvencie srdca: Mechanismy, hodnotenie, klinické využitie* (pp. 168–195). Martin: Osveta.
- Stejskal, P., & Salinger, J. (1996). Spektrální analýza variability srdeční frekvence – základy metodiky a literární přehled o jejím klinickém využití. *Medicina Sportiva Bohemica et Slovaca*, 5(2), 33–42.
- Šlachta, R. (1999). *Sledování závislosti hodnot ukazatelů spektrální analýzy variability srdeční frekvence na věku vyšetřovaných osob* (Disertační práce, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, Česká republika).
- Šlachta, R., Stejskal, P., Elfmark, M., & Salinger, J. (2002). Age influence on the short term record of SA HRV. *Pohyb a zdraví*, 502–505.

- Task Force of the European Society of Cardiology. (1996). the North American Society of Pacing and Electrophysiology (1996) Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation*, 93(5), 1043-1065.
- Tonhajzerová, I., & Javorka, K., (2008). Zmeny autonómneho nervového systému pri poruchách príjmu potravy (mentálna anorexia). *Česko-slovenská pediatrie*, 63(5), 266–271.
- Tulppo MP, Hautala AJ, Makikallio TH, Laukkanen RT, Nissilä S, Hughson RL, Huikuri HV (2003) Effects of aerobic training on heart rate dynamics in sedentary subjects. *Journal of Applied Physiology*, 95(1):364–372
- Ucar, C., Özgöçer, T., & Yıldız, S. (2021). Effects of late-night eating of easily—or slowly—digestible meals on sleep, hypothalamo-pituitary-adrenal axis, and autonomic nervous system in healthy young males. *Stress and Health*, 37(4), 640-649.
- Vesterinen, V., Nummela, A., Heikura, I., Laine, T., Hynynen, E., Botella, J., & Häkkinen, K. (2016). Individual Endurance Training Prescription with Heart Rate Variability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48 (7), 1347-1354.
- Vlčková, E., Bednařík, J., Buršová, Š., Šajgalíková, K., & Mlčáková, L. (2010). Spektrální analýza variability srdeční frekvence – normativní data. *Česká a Slovenská neurologie a neurochirurgie*, 73/106 (6), 633–672.

Referenční seznam internetových zdrojů

- Compek (2010). Cortex Metacontrol 3000. Získáno 20. 12. 2018, z <http://www.compek.cz/cortex-metacontrol-3000.htm>.
- Compek medical services (2014). Vybavení funkčních laboratoří. Získáno 14. 08. 2018, z http://www.compek.cz/pool/vzor/upload/pdf/Katalog_Vybaveni_funkcnich_laboratori_2014_web.pdf.
- Fitham (2020). Tanita BC-418 MA. Získáno 5. 1. 2020, z <https://www.fitham.cz/tanita-bc-418-ma>.
- Fletcher, E. (2010). Beginners Guide to Wattbike Expert Software. Získáno 8. 12. 2021, z <https://www.manualslib.com/manual/801528/Wattbike-Exercise-Bike.html?page=23#manual>.
- Gatti, O., Martiniani, G., & Gaffurini, P. (2017). Introduction to cycling biomechanics and bikefitting. Získáno 26.9.2021 z: <https://www.slideshare.net/OmarGatti/introduction-to-cycling-biomechanics>.
- Lehnert, M. (2014) Kondiční trénink. FTK UP Olomouc. Získáno 24.2.2022, z <https://publi.cz/books/149/Tiraz.html>.
- MySASY (2020). Vliv tělesné práce na HRV. Získáno 29.3.2020 z: <https://mysasy.com/vliv-telesne-prace-na-hrv>
- UCI Cycling Regulations (2021). Part 4 Mountain Bike. Získáno 10. 6. 2021, z: <https://www.uci.org/docs/default-source/rules-and-regulations/2021.01.18--mtb-en-left-column---egi.pdf>
- Wattbike (2021). Wattbike Pro/Trainer. Získáno 23.2.2022, z <https://wattbike.com/cz/product/wattbike>
- What Exactly Is the FTP Test, and Can It Really Improve Your Performance? (2020). Získáno 23.2.2021, z <https://www.bicycling.com/skills-tips/a23402043/what-is-ftp-test/#>.

Seznam použitých zkratek

- 2D graf – dvojrozměrný graf
- 20TT – „20 minute time trial“ 20minutová časovka na ergometru
- 40TT – „40 minute time trial“ 40minutová časovka
- ANS – autonomní nervový systém
- ATP – adenosintrifosfát
- BDC – „bottom dead center“ dolní mrtvý bod při otáčení klikami
- BF – „breathe frequency“ dechová frekvence
- BF – „musculus biceps femoris“/ „Breathe Frequency“ dvouhlavý sval stehenní/ dechová frekvence
- CNS – centrální nervová soustava
- CP – kreatin fosfát
- CP1, 6, 12, 30 – „Critical Power“ kritický výkon na 1, 6, 12 a 30 minutě
- EKG – elektrokardiograf
- ES – experimentální skupina
- FFT – „Fast Fourier Transformation“ Fourierova transformace
- FTP – „Functional Threshold Power“ funkční prahový výkon
- FVC – vitální kapacita plic
- GL – „musculus gastroceminus lateralis“ vnější hlava trojhlavého svalu lýtkového
- GM – „musculus gastrocemnius medialis“ vnitřní hlava svalu lýtkového
- GMax – „musculus gluteus maximus“ velký hýžděový sval
- GMed – „musculus gluteus mediu“ střední hýžděový sval
- HF – „high frequency“ vysoká frekvence
- HR, SF nebo TF – srdeční frekvence
- HRV – „Heart Rate Variability“ variabilita srdeční frekvence
- IP – „musculus iliopsoas“ bedrokyčlostehenní sval
- k – kompenzace
- K⁺ – draselný iont
- KS – komparační skupina
- LF – „low frequency“ pomalá frekvence
- LTV – „long term variability“, dlouhodobý záznam variability srdeční frekvence
- n – počet probandů

Na⁺ – sodíkový iont

O₂ – dvě molekuly kyslíku

pNN 6,25 % – pNN při diferenci větší než 6,25 % průměrné srdeční periody

pNN50 – poměry mezi rozdíly následných intervalů při diferenci větší jak 50 milisekund

POST – posttest neboli testování po intervenci

PPO – „peak power output“ maximální dosažená výkon při testu VO₂max

PRE – pretest neboli testování před intervencí

R20TT – relativní výkon při časovce na 20 minut

RER - „Respiratory Exchange Ratio“ poměr respirační výměny

RF – „musculus rectus femoris“ přímá hlava čtyřhlavého svalu stehenního

rMSSD – druhá odmocnina průměru druhých mocnin rozdílů mezi po sobě jdoucími R–R intervaly

RPE – Borgova škála

rpm – „rounds per minute“ otáčky za minutu neboli kadence

SA HRV – spektrální analýza variability srdeční frekvence

SFmax – maximální srdeční frekvence

SM – „musculus semitendinosus“ pološlašitý sval

SOL – „musculus soleus“ trojhlavý sval lýtkový

STV – „short term variability“ krátkodobý záznam variability srdeční frekvence

TA – „musculus tibialis anterior“ přední sval holenní

TDC – „top dead center“ horní mrtvý bod při otáčení klikami

UCI- „Union Cycliste Internationale“ mezinárodní cyklistická unie

ULF – „ultra low frequency“ spektrální výkon v pásmu o ultra nízké frekvenci

V'E nebo VE – minutová ventilace

VL – „musculus vastus lateralis“ vnější hlava čtyřhlavého svalu stehenního

VLF – „very low frequency“ velmi pomalá frekvence

VM – „musculus vastus medialis“ vnitřní hlava čtyřhlavého svalu stehenního

VO₂ – spotřeba kyslíku

VO₂max – zátěžová test do vita maxima

VT – dechový objem

VT1 – první ventilační práh

VT2 – druhý ventilační práh

W – watt

W170 – název zátěžového testu

WIN – Wingate test

WVT1 – výkon na prvním ventilačním prahu

WVT2 – výkon na druhém ventilačním prahu

XCO – „Cross-country Olympic“ disciplína závodů horských kol